



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

TESIS
DOCTORAL

**TEORÍAS ÁCIDO - BASE Y CONCEPTOS
RELACIONADOS, UN ESTUDIO
EXPLORATORIO EN ESTUDIANTES
UNIVERSITARIOS DE LA UNIVERSIDAD DE
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.**



ENRIQUE TAGLE PÁEZ

**LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
2017**

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN FORMACIÓN
DEL PROFESORADO



TEORÍAS ÁCIDO - BASE Y CONCEPTOS
RELACIONADOS, UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN
ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN
CANARIA.

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR: ENRIQUE TAGLE PÁEZ

DIRIGIDA POR: MARÍA DEL CARMEN MATO CARRODEGUAS

LA DIRECTORA

EL DOCTORANDO

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, 2017.

En reconocimiento a toda mi familia y a mi país natal.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación nació del deseo de conocer más sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje que se producen en los estudiantes de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria en el ámbito de la química, por tanto, estos cinco intensos años dedicados a la tesis doctoral parten de ahí y de mi agradecimiento al esfuerzo de tantas y tantas personas que trabajan en esta institución universitaria, ya que sin él me habría sido imposible formarme como titulado y, por supuesto, como ciudadano del siglo XXI. Dentro de esta universidad, debo hacer mención especial a la catedrática María del Carmen Mato Carrodegas, directora de esta tesis, por su guía hacia la consecución de la meta perseguida, además de a todos mis profesores durante la Licenciatura, Máster y Doctorado.

Mi gratitud es enorme hacia todos los profesores universitarios y colaboradores citados en el cronograma que permitieron que se administrara correctamente el cuestionario y evidentemente también a los numerosos alumnos de todos los grados, que de forma anónima rellenaron las encuestas.

Quiero agradecer a la librería *El Libro Técnico* y sus trabajadores, donde pude hallar una obra que fue determinante para dirigir el curso de esta investigación, también, muy especialmente, a la *Librería Canaima* y sus trabajadores por su paciencia para conseguir todas las fuentes documentales que me fueron necesarias y por, cuando no pudieron conseguirlas, guiarme hacia el portal de *iberlibro.com* con el fin de hallar los documentos requeridos. A dicha página web y a Correos de España debo que me llegaran obras completamente imprescindibles. Por último, pero no menos importante, a la *Biblioteca de la U.L.P.G.C.* y todos sus trabajadores, sin cuyo servicio habría sido imposible realizar esta tesis.

Por último y más importante, a mi numerosa familia, cuyo sostén fue primordial para poder llevar a cabo una obra de esta envergadura, durante el enorme espacio de tiempo que conlleva.

ÍNDICE

	Pág.
PREFACIO	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.	7
MARCO TEÓRICO	
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	9
2.1. Tratamiento e importancia de los contenidos ácido-base en los currículos de los grados de la U.L.P.G.C.	11
2.1.1. Contenidos ácido-base en los currículos de los grados de la U.L.P.G.C.	11
2.1.2. Importancia de los contenidos ácido-base para los grados de la U.L.P.G.C.	20
2.1.2.1. Ámbito de las Ingenierías.	20
2.1.2.2. Ámbito de las Ciencias Marinas.	25
2.1.2.3. Ámbito de las Ciencias de la Salud.	28
2.2. Generalizaciones en la evolución histórica de las teorías ácido-base y conceptos relacionados.	33
2.2.1. Desde la antigüedad hasta el siglo XVII: las generalizaciones empíricas.	34
2.2.2. Desde finales del siglo XVII hasta el siglo XVIII: la entrada del atomismo.	37
2.2.3. Desde el siglo XVIII hasta el siglo XIX: las primeras generalizaciones teóricas.	41
2.2.4. Desde el siglo XIX hasta la teoría ácido-base de Arrhenius.	49
2.2.5. Desde la teoría ácido-base de Arrhenius hasta la teoría de Brønsted-Lowry.	56
2.2.6. Desde la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry hasta la teoría de Lewis.	81
2.2.7. Desde la teoría ácido-base de Lewis hasta la teoría ABDB de Pearson.	94
2.2.8. Desde la teoría ABDB de Pearson hasta la actualidad.	101
2.2.9. Síntesis de las tres teorías ácido-base principales	108
2.3. El Conocimiento Precedente en la Didáctica de las Ciencias Experimentales: propuestas teóricas generales.	111
2.3.1. Las Nociones Cotidianas	124
2.3.2. Las Concepciones Alternativas.	140
2.3.3. Las Teorías Marco.	155

2.3.4. Las Teorías Implícitas.	159
2.3.5. Los Primitivos Fenomenológicos.	163
2.3.6. Las Categorías Ontológicas.	166
2.3.7. Los Modelos Mentales.	169
2.3.8. Aplicación general al ámbito de la química.	175
2.4. El Conocimiento Precedente en la Didáctica de las Ciencias Experimentales: investigaciones sobre el tópico ácido-base.	182
2.4.1. Resultados en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria	191
2.4.1.1. Resultados en investigaciones desde 1979 hasta 1989.	191
2.4.1.2. Resultados en investigaciones desde 1990 hasta 1999.	198
2.4.1.3. Resultados en investigaciones desde 2000 hasta 2009.	209
2.4.1.4. Resultados en investigaciones desde 2010 hasta 2013.	222
2.4.2. Resultados en estudiantes universitarios.	230
2.4.2.1. Resultados en investigaciones desde 1978 hasta 1989.	230
2.4.2.2. Resultados en investigaciones desde 1990 hasta 1999.	236
2.4.2.3. Resultados en investigaciones desde 2000 hasta 2009.	242
2.4.2.4. Resultados en investigaciones desde 2010 hasta 2012.	252
2.5. La teoría de las entidades mentales fundamentales como soporte de la teoría de las generalizaciones.	260

MARCO EMPÍRICO

CAPÍTULO III: DISEÑO Y DESARROLLO DE LA FUNDAMENTACIÓN EMPÍRICA.	277
3.1. Introducción al ámbito de estudio.	277
3.2. Justificación y objetivos del estudio.	278
3.2.1. Objetivos Generales.	279
3.2.2. Objetivos específicos.	279
3.3. Desarrollo metodológico.	281
3.4. Población y muestra.	282
3.5. Instrumento de recogida de datos.	284
3.6. Toma de datos.	288
3.7. Análisis primario y codificación de datos.	288
3.7.1. Codificación de las variables (desde la 1 hasta la 22).	288
3.7.2. Codificación de las variables (desde la 23 hasta la 26).	292

3.7.3. Codificación de las figuras generadas por los estudiantes.	295
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	299
4.1. Bloque I: Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.	299
4.1.1. Grado en Ingeniería Química.	300
4.1.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.	319
4.1.3. Grado en Ciencias del Mar.	333
4.1.4. Grado en Medicina.	347
4.1.5. Grado en Veterinaria.	362
4.1.6. Grado en Enfermería.	378
4.1.7. Grado en Fisioterapia.	392
4.2. Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.	406
4.2.1. Grado en Ingeniería Química.	406
4.2.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.	413
4.2.3. Grado en Ciencias del Mar.	419
4.2.4. Grado en Medicina.	426
4.2.5. Grado en Veterinaria.	433
4.2.6. Grado en Enfermería.	440
4.2.7. Grado en Fisioterapia.	447
4.3. Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.	454
4.3.1. Grado en Ingeniería Química.	455
4.3.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.	457
4.3.3. Grado en Ciencias del Mar.	459
4.3.4. Grado en Medicina.	461
4.3.5. Grado en Veterinaria.	463
4.3.6. Grado en Enfermería.	465
4.3.7. Grado en Fisioterapia.	467
CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	471
5.1. Bloque I: Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.	471
5.2. Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.	501
5.3. Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.	513

5.3.1. Teoría de Brønsted-Lowry.	514
5.3.2. Teoría de Arrhenius.	520
5.3.3. Teoría de Lewis.	527
CONCLUSIONES	537
FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.	541
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	545
ANEXOS	599
Anexo I. Cuestionario utilizado para esta tesis doctoral.	599
Anexo II. Cronograma de la administración del cuestionario.	605
Anexo III. Permiso otorgado por el departamento de didácticas especiales.	607

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Arrhenius.	109
Figura 2. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Brønsted-Lowry.	110
Figura 3. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Lewis.	111
Figura 4. Descripción gráfica de la propuesta de las Teorías Marco.	156
Figura 5. Descripción gráfica de la propuesta de las Teorías Implícitas.	160
Figura 6. Descripción gráfica de las categorías ontológicas (modificado de Chi, 1992).	167
Figura 7. Propuesta de los Impedimentos de Aprendizaje (modificado de Taber, 2002a).	175
Figura 8. Los impedimentos de aprendizaje y los modelos mentales en el tópico ácido-base (modificado de Lin y Chiu, 2010).	182
Figura 9. Síntesis evolutiva del tratamiento del conocimiento precedente dado al contenido ácido-base en secundaria-preuniversitario y universitario.	260
Figura 10. Las tres entidades mentales fundamentales.	269

Resultados Específicos.

Bloque I. Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.

En el grado de Ingeniería Química.

Figura 11. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).	301
Figura 12. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).	302
Figura 13. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).	303
Figura 14. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	304
Figura 15. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	305
Figura 16. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	306
Figura 17. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	307
Figura 18. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	308
Figura 19. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	309
Figura 20. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	310
Figura 21. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	311
Figura 22. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	312

Figura 23. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	313
Figura 24. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	314
Figura 25. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	315
Figura 26. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	315
Figura 27. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	316
Figura 28. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	317
Figura 29. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	318
Grado en Ingeniería de Organización Industrial.	
Figura 30. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).	320
Figura 31. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).	320
Figura 32. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).	321
Figura 33. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	322
Figura 34. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	323
Figura 35. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	323
Figura 36. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	324
Figura 37. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	325
Figura 38. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	325
Figura 39. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	326
Figura 40. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	327
Figura 41. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	327
Figura 42. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	328
Figura 43. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	329
Figura 44. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	329
Figura 45. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	330
Figura 46. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	331
Figura 47. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	331

Figura 48. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c). 332

Grado en Ciencias del Mar.

Figura 49. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a). 334

Figura 50. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b). 335

Figura 51. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c). 335

Figura 52. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d). 336

Figura 53. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e). 337

Figura 54. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f). 337

Figura 55. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g). 338

Figura 56. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h). 339

Figura 57. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i). 339

Figura 58. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j). 340

Figura 59. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k). 341

Figura 60. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l). 341

Figura 61. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a). 342

Figura 62. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3). 343

Figura 63. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a). 343

Figura 64. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b). 344

Figura 65. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a). 345

Figura 66. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b). 345

Figura 67. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c). 346

Grado en Medicina.

Figura 68. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a). 348

Figura 69. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b). 349

Figura 70. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c). 349

Figura 71. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	350
Figura 72. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	351
Figura 73. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	352
Figura 74. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	353
Figura 75. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	354
Figura 76. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	354
Figura 77. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	355
Figura 78. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	356
Figura 79. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	356
Figura 80. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	357
Figura 81. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	358
Figura 82. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	358
Figura 83. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	359
Figura 84. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	360
Figura 85. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	360
Figura 86. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	361
 Grado en Veterinaria.	
Figura 87. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones es su estructura (1a).	363
Figura 88. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).	364
Figura 89. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).	364
Figura 90. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	365
Figura 91. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	366
Figura 92. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	367
Figura 93. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	367
Figura 94. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	368

Figura 95. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	369
Figura 96. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	370
Figura 97. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	371
Figura 98. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	371
Figura 99. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	372
Figura 100. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	373
Figura 101. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	374
Figura 102. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	374
Figura 103. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	375
Figura 104. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	376
Figura 105. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	376
 Grado en Enfermería.	
Figura 106. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).	378
Figura 107. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).	379
Figura 108. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).	380
Figura 109. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	380
Figura 110. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	381
Figura 111. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	382
Figura 112. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	382
Figura 113. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	383
Figura 114. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	384
Figura 115. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	384
Figura 116. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	385
Figura 117. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	386
Figura 118. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	387

Figura 119. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	387
Figura 120. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	388
Figura 121. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	388
Figura 122. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	389
Figura 123. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	390
Figura 124. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	390
Grado en Fisioterapia.	
Figura 125. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).	392
Figura 126. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).	393
Figura 127. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).	394
Figura 128. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	394
Figura 129. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	395
Figura 130. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	396
Figura 131. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	396
Figura 132. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	
Figura 133. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	398
Figura 134. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	398
Figura 135. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	399
Figura 136. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	400
Figura 137. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	400
Figura 138. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).	401
Figura 139. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).	402
Figura 140. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	402
Figura 141. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	403
Figura 142. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	404
Figura 143. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	404

Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.

Grado en Ingeniería Química

- Figura 144.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a). 406
- Figura 145.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b). 407
- Figura 146.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c). 408
- Figura 147.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a). 408
- Figura 148.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 409
- Figura 149.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c). 410
- Figura 150.** Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 411
- Figura 151.** Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 411
- Figura 152.** Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 412
- Figura 153.** Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 412

Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

- Figura 154.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a). 413
- Figura 155.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b). 414
- Figura 156.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c). 414
- Figura 157.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a). 415
- Figura 158.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 416
- Figura 159.** Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c). 416
- Figura 160.** Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 417
- Figura 161.** Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 418
- Figura 162.** Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 418

Figura 163. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 419

Grado en Ciencias del Mar.

Figura 164. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO₂ si se disuelve CaCO₃ en la disolución? (Esquema 6a). 420

Figura 165. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO₂ si precipita CaCO₃? (Esquema 6b). 420

Figura 166. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c). 421

Figura 167. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a). 422

Figura 168. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 422

Figura 169. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH₃ hacia la sangre? (Esquema 7c). 423

Figura 170. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 424

Figura 171. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 424

Figura 172. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 425

Figura 173. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 426

Grado en Medicina.

Figura 174. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO₂ si se disuelve CaCO₃ en la disolución? (Esquema 6a). 426

Figura 175. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO₂ si precipita CaCO₃? (Esquema 6b). 427

Figura 176. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c). 428

Figura 177. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a). 429

Figura 178. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 429

Figura 179. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH₃ hacia la sangre? (Esquema 7c). 430

Figura 180. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 431

Figura 181. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 431

Figura 182. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 432

Figura 183. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 433

Grado en Veterinaria.

Figura 184. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO₂ si se disuelve CaCO₃ en la disolución? (Esquema 6a). 434

Figura 185. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO₂ si precipita CaCO₃? (Esquema 6b). 434

Figura 186. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c). 435

Figura 187. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a). 436

Figura 188. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 436

Figura 189. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH₃ hacia la sangre? (Esquema 7c). 437

Figura 190. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 438

Figura 191. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 438

Figura 192. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 439

Figura 193. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 440

Grado en Enfermería.

Figura 194. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO₂ si se disuelve CaCO₃ en la disolución? (Esquema 6a). 441

Figura 195. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO₂ si precipita CaCO₃? (Esquema 6b). 441

Figura 196. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c). 442

Figura 197. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a). 443

Figura 198. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 443

Figura 199. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH₃ hacia la sangre? (Esquema 7c). 444

Figura 200. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 445

Figura 201. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 445

Figura 202. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 446

Figura 203. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 447

Grado en Fisioterapia.

Figura 204. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO₂ si se disuelve CaCO₃ en la disolución? (Esquema 6a). 448

Figura 205. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO₂ si precipita CaCO₃? (Esquema 6b). 448

Figura 206. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c). 449

Figura 207. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a). 450

Figura 208. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b). 450

Figura 209. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH₃ hacia la sangre? (Esquema 7c). 451

Figura 210. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8). 452

Figura 211. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a). 452

Figura 212. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b). 453

Figura 213. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c). 454

Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

Grado en Ingeniería Química

Figura 214. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 455

Figura 215. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 456

Figura 216. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 456

Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Figura 217. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 457

Figura 218. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 458

Figura 219. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 458

Grado en Ciencias del Mar.

Figura 220. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 459

Figura 221. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 460

Figura 222. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 460

Grado en Medicina.

Figura 223. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 461

Figura 224. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 462

Figura 225. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 462

Grado en Veterinaria.

Figura 226. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 463

Figura 227. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 464

Figura 228. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 464

Grado en Enfermería.

Figura 229. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 465

Figura 230. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 466

Figura 231. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 466

Grado en Fisioterapia.

Figura 232. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b). 467

Figura 233. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c). 468

Figura 234. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d). 468

Resultados Generales

Bloque I. Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido base y conceptos relacionados.

Figura 235. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a). 473

Figura 236. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b). 475

Figura 237. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c). 476

Figura 238. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).	477
Figura 239. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).	479
Figura 240. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).	481
Figura 241. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).	483
Figura 242. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).	485
Figura 243. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).	487
Figura 244. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).	488
Figura 245. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).	489
Figura 246. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).	491
Figura 247. Distribución de porcentajes en general para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).	493
Figura 248. Distribución de porcentajes en general para el carácter ácido-base de los suelos (3).	494
Figura 249. Distribución de porcentajes en general para la clasificación de la lejía (4a).	495
Figura 250. Distribución de porcentajes en general para la clasificación de la sosa cáustica (4b).	496
Figura 251. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).	497
Figura 252. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).	498
Figura 253. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).	499

Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.

Figura 254. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).	502
Figura 255. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).	503
Figura 256. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).	504
Figura 257. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a)	506
Figura 258. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).	507

Figura 259. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).	508
Figura 260. Distribución de porcentajes en general para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).	509
Figura 261. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).	510
Figura 262. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).	511
Figura 263. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).	512

Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

Figura 264. Distribución de porcentajes en general para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).	515
Figura 265. Ejemplo de solución correcta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	516
Figura 266. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	517
Figura 267. Único ejemplo de solución tentativa de tipo mixto de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	518
Figura 268. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	519
Figura 269. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	519
Figura 270. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.	520
Figura 271. Distribución de porcentajes en general para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).	521
Figura 272. Ejemplo de solución correcta para la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo la teoría de Arrhenius.	522
Figura 273. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.	523
Figura 274. Ejemplo de solución tentativa de tipo mixto de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.	524
Figura 275. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.	524
Figura 276. Ejemplo de solución errónea o incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la hibridación de la teoría de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry.	525
Figura 277. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.	526
Figura 278. Distribución de porcentajes en general para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).	528
Figura 279. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.	529
Figura 280. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular estructural-puro de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.	530

Figura 281. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular estructural-reacción de la autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.	531
Figura 282. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis, confundida con la teoría de Arrhenius	531
Figura 283. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis, confundida con la teoría de Brønsted-Lowry.	532
Figura 284. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.	533

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ingeniería Química.	12
Tabla 2. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado de Ingeniería en Organización Industrial.	13
Tabla 3. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ciencias del Mar.	14
Tabla 4. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Medicina.	15
Tabla 5. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Veterinaria.	17
Tabla 6. Resumen de contenidos curriculares ácido-base para el Grado en Enfermería.	18
Tabla 7. Resumen de contenidos curriculares ácido-base para el grado en Fisioterapia.	19
Tabla 8. Síntesis cronológica del conocimiento antecedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1979 a 1989.	198
Tabla 9. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1990 a 1999.	207
Tabla 10. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 2000 a 2009.	221
Tabla 11. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 2010 a 2013.	229
Tabla 12. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 1978 a 1989.	235
Tabla 13. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 1990 a 1999.	241
Tabla 14. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 2000 a 2009.	251
Tabla 15. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 2010 a 2012.	259
Tabla 16. Desglose del número de alumnos encuestados por curso académico y grado universitario.	283
Tabla 17. Compendio de sentencias más comunes en el conocimiento precedente ácido-base.	284
Tabla 18. Segmentos por categoría para la clasificación diseñada.	286
Tabla 19. Plantilla diseñada para representar el conocimiento precedente más común acerca de los conceptos ácido-base.	286
Tabla 20. Bloques objetivo con sus correspondientes preguntas asignadas y los aspectos que se evalúan.	287
Tabla 21. Descripción de las variables estudiadas desde la primera hasta la número veintidós, con sus correspondientes significados y valores categóricos.	292
Tabla 22. Descripción de las variables estudiadas desde la número veintitrés hasta la número treinta y cinco, con sus correspondientes significados y valores categóricos.	294

Tabla 23. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado de Ingeniería Química.	318
Tabla 24. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ingeniería de Organización Industrial.	332
Tabla 25. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ciencias del Mar.	346
Tabla 26. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Medicina.	361
Tabla 27. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Veterinaria.	377
Tabla 28. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Enfermería.	391
Tabla 29. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Fisioterapia.	405
Tabla 30. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación para el conjunto de estudiantes universitarios de la U.L.P.G.C.	500

ABREVIATURAS, SIGLAS Y SIGNOS CONVENCIONALES

ALP	Almacén de Largo Plazo
ABDB	Ácido Base Duro Blando
a. C.	Antes de Cristo
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
(aq)	En disolución acuosa
ATP	Trifosfato de adenosina
BRAIN	Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies
B.U.P.	Bachillerato Unificado Polivalente
C.O.U.	Curso de Orientación Universitaria
CRA	Capacidad de Retención de Agua
DPR	Diagnosis Prescription Remedy
E.S.O.	Educación Secundaria Obligatoria
HBP	Human Brain Project
HOMO	Highest Occupied Molecular Orbital
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
Kg	Kilogramos
K_w	Producto iónico del agua
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital
M	Concentración molar
MCHN	Mapeo Cerebral Humano y Neuroinformática
mL	Mililitro
MSCLI	Mental State Conceptual Learning Inventory
NSCLS	National Science Concept Learning Study
<i>PFnet</i>	Pathfinder network
<i>pH</i>	Potencial de hidrógeno
pK_a	Logaritmo negativo en base 10 de la constante de disociación de un ácido
pK_w	Logaritmo negativo en base 10 del producto iónico del agua
pOH	Logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los aniones hidroxilo
SI	Sistema Internacional de Unidades
T	Temperatura
U.L.P.G.C.	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

ΔH	Variación de la Entalpía
ΔN	Número de electrones transferidos
ΔS	Variación de la Entropía
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius

PREFACIO

Retomemos escuetamente la obra de Engels para el siglo XXI, la mano sigue siendo nuestra herramienta principal para controlar los dispositivos que ofrece la sociedad de la información. Engels (1981:46), dijo que la mano es la *herramienta*, debemos convenir en que la mano es, ahora, la *herramienta principal* y aquellas que maneja *herramientas secundarias*.

La mano adquirirá, a falta de pruebas de que lo haya hecho ya, nuevas funciones a causa del manejo de las actuales herramientas de la información y la comunicación, como ha sido siempre en la historia de la humanidad. Antes fueron herramientas de piedra y hueso, ahora son aquellas con procesadores de silicio y pantalla táctil, pero herramientas al fin y al cabo que requieren de ciertas capacidades y además van modificando nuestra mente. Todas han transformado nuestro cerebro de una u otra manera. La mente humana está siendo transformada por las nuevas tecnologías a través de los nuevos usos de nuestra herramienta principal.

¿Engels superado? se preguntan irónicamente Griese y Horz (1973), cuando realizan una valoración de los avances científico-tecnológicos en su época respecto de la teoría que Engels consideró en la suya, al igual que podríamos pensar en la época actual tras los vertiginosos cambios tecnológicos. Debemos concordar con estos autores, que Engels tiene toda la vigencia actual en el siglo XXI así como la tuvo en el siglo XX, sólo debemos entender cómo aplicar su esencia en nuestra época.

A colación de las ideas sobre la influencia de la mano descrita por Engels (1981:46), son comprensibles ciertas reticencias de la intelectual Pogolotti (2016), en cuanto al uso actual dado a las nuevas tecnologías y su influencia sobre el aprendizaje, no obstante, no son tan comprensibles sus críticas a la relación establecida entre la mano y el cerebro aunque posteriormente reconozca que no sería conveniente volver a la época de las cavernas.

A estas reticencias se unen autores españoles como, por ejemplo, el director del grupo de Neurociencia Cognitiva de la Universidad de Granada Juan Lupiáñez o el psicopedagogo Pablo Canosa recogidas en un artículo periodístico (Quijada y Trillo, 2014), donde manifiestan sus preferencias hacia la escritura tradicional cursiva en contra de la escritura mecanográfica.

Luego, intenta Pogolotti (2016), nivelar la cuestión, indicando que lo más adecuado sería dejar para las primeras fases del aprendizaje de los niños ciertas capacidades psicomotrices en virtud del desarrollo del cerebro y para una fase posterior el manejo del teclado y las nuevas tecnologías. Este aspecto parece coincidir con lo propuesto por Minna Harmannen, responsable del Instituto Nacional de Educación de Finlandia en una entrevista concedida al diario *ABC* (Arrizabalaga, 2014), en la cual corrige el malentendido que ha recorrido todos los rotativos europeos en cuanto a la eliminación de la escritura manual de sus currículos escolares. Harmannen, en esa misma entrevista, se decanta por un uso de la escritura manual y principalmente de la tipo imprenta en las primeras fases de la enseñanza escolar primaria y una potenciación posterior del uso del teclado dada la relevancia que tiene la escritura mecanográfica en la sociedad actual de la información.

Lo nuevo suele crear incertidumbre pero no por ello debemos negarnos a los avances de la ciencia y de la técnica, si bien es correcto decir que no todos los avances son siempre recibidos por la sociedad de igual manera. ¿Se imaginan que los mismos reparos que guardamos hoy sobre el uso de las nuevas tecnologías lo hubiésemos hecho respecto a la aparición de la escritura? Entonces tendríamos un grave problema pues no se habrían alcanzado los avances producidos en nuestro cerebro. ¿Cómo se relaciona la herramienta principal con la investigación propuesta? Recurrimos a Vigotsky (1979), quien basándose en los postulados de Engels explica que, a efectos de la psicología, la *herramienta* es ahora el lenguaje y que su internalización en el cerebro conduce a los procesos psicológicos superiores y dicha internalización depende del medio social.

A su vez, debemos decir que el lenguaje es pensamiento condensado y generalizado, objetivado en la palabra. Así, el lenguaje cada vez se ha ido convirtiendo en más abstracto y generalizado (Rubinstein, 1967: 466-467). En vista de los cambios sociales, debemos albergar nuevas expectativas hacia los avances o capacidades que traerán las nuevas tecnologías a nuestra mente y cerebro, provenientes de la nueva utilización de nuestra herramienta principal y de las nuevas formas sociales de asimilar el lenguaje.

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

Püren y Ömer (2005), nos recuerdan de manera global la importancia capital que posee la Química por sí misma en la satisfacción de las demandas de la actual sociedad científico-técnica en el Siglo XXI. Desde el interior de la Química tenemos que los conceptos ácido-base revisten una gran importancia en el estudio del medio ambiente, la biología, la propia química, las industrias, la contaminación, los medicamentos, la medicina, etc.

Estos conceptos y teorías abarcan diversos aspectos de la sociedad como podrían ser: el sabor y conservación de alimentos cotidianos y envasados, el control de variables relacionadas con los diversos procesos que se llevan a cabo en las industrias, el valor del pH de la lluvia como control de parámetros medioambientales, la calidad de los suelos para la agricultura, la absorción de medicamentos y muchos más. Todo esto conlleva necesariamente que este tópico deba ser consecuentemente asimilado por los alumnos universitarios, en nuestro caso especial aquellos que pertenecen a la Universidad de Las palmas de Gran Canaria, para luego poder aplicarlos correctamente en su vida cotidiana, en sus futuros puestos laborales, en el análisis y control del medioambiente, en toda clase de investigaciones, etc.

A partir de los estudios de Piaget (1926) y Vigotsky (1956), principalmente, se observó que los alumnos llegaban a clase con una serie de ideas preformadas a la escuela. Más adelante, se descubrió que este conocimiento podía entorpecer o facilitar la asimilación del material de estudio. Todas estas investigaciones se realizaron en estudiantes de primaria básicamente y a esas ideas preconcebidas se les ha venido a denominar, a grandes rasgos, como *nociones cotidianas* o *concepciones alternativas*.

Ya en la década de los años setenta y ochenta es mérito de varios autores pero específicamente de Driver y Easley (1978) extender este tipo de evaluaciones hacia la educación secundaria. Posteriormente, esta tendencia abarcó la educación preuniversitaria y finalmente se extendió hacia la universitaria. No

obstante, hasta la fecha se ha podido investigar escasamente en estudiantes universitarios puesto que todos los estudios posteriores han estado centrados básicamente en tres carreras: Licenciatura o Grado en Ciencias Químicas, Licenciatura o Grado en Farmacia y Magisterio; escasamente el Grado en Bioquímica.

A colación de esta estrechez de miras sobre la investigación en concepciones alternativas, nunca se ha producido un estudio que investigase sobre las *concepciones alternativas*, que trataré como **generalizaciones**, en el tópic ácido-base en estudiantes de La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; se trata por tanto de un estudio pionero para este enfoque y de carácter exploratorio. Además, supone una ampliación al sesgo introducido por las anteriores investigaciones que se centraban en una serie de carreras solamente procediendo al examen de los siguientes grados: Medicina, Veterinaria, Fisioterapia, Enfermería, Ciencias del Mar, Ingeniería Química e Ingeniería de Organización Industrial.

En primer lugar, se procederá a una revisión de los contenidos curriculares en los grados anteriormente mencionados, la evaluación de su importancia y la descripción de las teorías explicativas psicológicas más destacadas para la asimilación de dichos contenidos. En segundo lugar, basándonos en el análisis bibliográfico, se elabora un cuestionario que fue administrado a una muestra de estudiantes de los grados de la U.L.P.G.C. precedentes y cuyas respuestas son repartidas en tres *bloques objetivo* para su estudio. Finalmente y en tercer lugar, se sintetizan las conclusiones alcanzadas tras revisar los datos obtenidos.

Capítulo II:
ANTECEDENTES Y
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Los principales trabajos realizados con anterioridad a la presente tesis doctoral quedarán analizados a partir de estos renglones. Se revisará la presencia e importancia de los contenidos ácido-base en los currículos universitarios de distintos grados Universidad de Las Palmas de Gran Canaria susceptibles de ser investigados. Posteriormente acudiremos a las fuentes documentales que hayan tratado la vertiente psicológico-didáctica en forma de propuestas generales para caracterizar el aprendizaje de los sujetos. A modo de *súmmum*, culminaremos con el estudio de los artículos científicos de la didáctica de las ciencias experimentales dedicados al tópico ácido-base en estudiantes universitarios.

2.1. Tratamiento e importancia de los contenidos ácido-base en los currículos de los grados de la U.L.P.G.C.

Antes de proceder a la selección de la población a la que aplicar el instrumento de obtención de datos, es imprescindible conocer en qué carreras universitarias se estudia contenido ácido - base y sus conceptos relacionados, es decir, aquellas que lo contengan en sus currículos, puesto que debe ser relevante la investigación para la U.L.P.G.C. Basta, para este fin, con acudir a la página web de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y acceder a los Títulos de Grado Oficiales de carácter presencial en donde se pueden obtener los datos requeridos. Posteriormente, mediante los planes de estudios podemos conocer los *proyectos docentes* que rigen el funcionamiento de cada asignatura pudiendo extraerse toda la información sobre enseñanzas teórico-prácticas. Los proyectos docentes consultados fueron aquellos correspondientes al período lectivo 2013 - 2014.

2.1.1. Contenidos ácido-base en los currículos de los grados de la U.L.P.G.C.

Siguiendo este procedimiento se encontró que para el Grado de Ingeniería Química (tabla 1), tenemos que la asignatura de Química General de primer año incluye contenido teórico donde se imparte: Introducción a los equilibrios

en disolución, equilibrios ácido-base y cálculos de pH dentro del tema diez. En cuanto a las visitas al laboratorio, esta asignatura incluye dos experiencias prácticas: la primera se enfoca en realizar medidas de pH y la segunda en calcular volumetrías de neutralización. Manteniéndonos en el primer curso, en el caso de la asignatura de Química Analítica, como contenido del tema tres se estudian teóricamente las volumetrías de neutralización que ya se habían descrito en las sesiones del laboratorio, lo que incluye: curvas de valoración, indicadores para evaluar el punto final de la neutralización, disoluciones patrón y patrones primarios.

Asimismo, en el tema doce que versa sobre métodos electroanalíticos se incluyen las determinaciones potenciométricas de pH. Avanzando hacia el segundo curso, en la asignatura de Química Inorgánica, el carácter ácido-base de los elementos no metálicos es tópico de enseñanza. Finalmente, en la asignatura de Experimentación en Ingeniería Química I de tercero de grado, se realiza una práctica de laboratorio donde se estudia el control del pH en procesos propios este ámbito de conocimiento de dicha ingeniería.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Ingeniería Química	Química General	<ul style="list-style-type: none"> •<i>Experiencias Teóricas:</i> - Equilibrios ácido-base en disolución acuosa. - Cálculos de pH dentro del tema diez. •<i>Experiencias prácticas:</i> - Medidas de pH - Cálculos de volumetrías de neutralización.
	Química Analítica	<ul style="list-style-type: none"> - Volumetrías de neutralización. - Curvas de valoración de punto final. - Disoluciones patrón y patrones primarios. - Determinaciones potenciométricas de pH.

Tabla 1. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ingeniería Química.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Ingeniería Química	Química Inorgánica	- Carácter ácido-base de los elementos no metálicos.
	Experimentación en Ingeniería Química I	- Control de pH en procesos industriales.

Tabla 1 (continuación). Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ingeniería Química.

Por otra parte, en el Grado de Ingeniería de Organización Industrial en la asignatura de Química de primer curso se presenta el tema seis que incluye a bases y ácidos, sus equilibrios, el valor de sus respectivas fuerzas, la autoionización del agua y cálculos de pH (tabla 2). Hasta aquí lo hallado para el ámbito de las ingenierías cuyos currículos poseen contenido relacionado con nuestra investigación.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Ingeniería de Organización Industrial	Química	- Ácidos, bases y sales. - Equilibrios ácido-base. - Fuerzas relativas. - Autoionización del agua. - Concepto y cálculos de pH.

Tabla 2. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado de Ingeniería en Organización Industrial.

En la tabla 3, para el Grado en Ciencias del Mar, tenemos la asignatura de Química General en cuyo primer curso estudia en su tema nueve los ácidos, bases y sales y sus respectivos equilibrios. Además de las teorías ácido-base más importantes para la descripción de estos compuestos, como la conocida teoría clásica de Arrhenius, la teoría protónica de Brønsted - Lowry o bien la teoría electrónica de Lewis. Además, la fuerza relativa de ácidos y bases, su constante de ionización, la autoprotólisis del agua junto al concepto y cálculo del pH.

En su tema diez, son foco de atención equilibrios ácido-base más complejos, la hidrólisis de las sales así como su constante y grado de hidrólisis, el efecto del ión común, el papel de las disoluciones reguladoras, los indicadores ácido-base junto a las volumetrías de neutralización. Como refuerzo práctico a este conocimiento, se realizan tres experiencias de laboratorio como son la valoración de disoluciones previamente diseñadas, la obtención de disoluciones reguladoras y la utilización de un pHmetro para la valoración de ácido clorhídrico con carbonato sódico. En el segundo año, la asignatura de Química Marina en el tema seis, se ocupa de las reacciones ácido-base así como los sistemas ácido-base en aguas oceánicas, las diversas escalas de pH, la intensidad de tamponamiento y capacidad de neutralización, además del equilibrio del sistema del dióxido de carbono en el laboratorio y el océano.

A lo largo del grado, muchos de estos conocimientos están implícitos en muchas otras asignaturas, como no son vinculaciones totalmente directas con nuestro análisis no las trataremos en el presente escrito.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Ciencias del Mar	Química General	<ul style="list-style-type: none"> •<i>Experiencias teóricas:</i> - Ácidos, bases y sales, fuerzas relativas y constantes de ionización. Hidrólisis de sales. - Equilibrios ácido-base sencillos y complejos. - Teorías de Arrhenius, Brønsted - Lowry y Lewis. - Autoprotólisis del agua. - Concepto y cálculos de pH, disoluciones reguladoras e indicadores. - Volumetrías de neutralización. •<i>Experiencias prácticas:</i> - Volumetrías de neutralización. - Disoluciones reguladoras. - Utilización del pHmetro.

Tabla 3. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ciencias del Mar.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Ciencias del Mar	Química Marina	<ul style="list-style-type: none"> - Reacciones ácido-base. - Sistemas ácido-base en aguas oceánicas: escalas de pH, tamponamiento y neutralización. - Sistema del CO₂ en laboratorio y océano.

Tabla 3 (continuación). Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Ciencias del Mar.

Nos trasladamos ahora al ámbito de las Ciencias de la Salud donde en el Grado en Medicina (tabla 4), se encuentra la asignatura de Bioquímica I de primer curso en cuyo tema dos, se observa el estudio del agua con los posibles equilibrios iónicos en disolución y el concepto de pH. También se contempla un seminario sobre problemas de disoluciones y equilibrios de pH al igual que una práctica de laboratorio donde se determina mediante espectrofotometría el pK_a de un ácido débil. Al igual que ocurría en Ciencias Marinas, mucho de este contenido forma parte de manera indirecta de lo estudiado en el currículo de otras asignaturas del grado que por su vinculación indirecta dejaremos sin tratar.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Medicina	Bioquímica I	<ul style="list-style-type: none"> •<i>Experiencias teóricas:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Autoionización del agua y equilibrios ácido-base. - Concepto y cálculos de pH. •<i>Experiencias prácticas:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de pK_a por Espectrofotometría de un ácido débil. •<i>Seminario:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Problemas de disoluciones y equilibrios de pH.

Tabla 4. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Medicina.

En el mismo ámbito, pero situándonos ahora en el Grado en Veterinaria, desplazamos nuestro foco hacia la asignatura de Física y Química de primer año académico son el objeto de analizar sus contenidos curriculares. Se encontró que dentro del tema cuatro existe un apartado dedicado a las reacciones ácido-base.

Más adelante, en la asignatura de Bioquímica y Biología Molecular del mismo curso en su tema uno tenemos contenido explícito sobre el concepto de pH y su significado biológico incluyendo el concepto ácido-base, la ecuación de Henderson-Hasselbach y las disoluciones tamponantes.

Por otro lado, en Nutrición Animal de segundo año, en el bloque dos que trata la nutrición de animales monogástricos se manejan los contenidos referidos a la digestión de los alimentos que obliga a comprender numerosos conceptos relacionados con las bases y los ácidos.

Posteriormente en el bloque cuatro sobre la nutrición en animales rumiantes o poligástricos se completan los conocimientos en relación con los procesos digestivos en este tipo de animales. La asignatura de Farmacología y Farmacia trata en su tema cuatro la absorción y distribución de los fármacos por el tubo digestivo lo que requiere manejar los conocimientos ácido-base y en el tema seis la farmacocinética, donde el pH es una variable importante a estudiar.

En Tecnología de los Alimentos de segundo año se imparte en el tema cuatro la conservación de los alimentos basados en la modificación del pH, atmósfera y actividad del agua; los procesos de evaporación y deshidratación, donde se introduce la influencia del pH en el procesado y conservación de alimentos como la leche.

En el tema siete se tratan los pigmentos, colorantes y aditivos alimentarios de carácter ácido, tampones y sales. Por último, el tema vigésimo sexto requiere de conocimientos específicos ácido-base para entender el mecanismo de la CRA y sus modificaciones. Esta síntesis queda recogida en la tabla 5.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Veterinaria	Física y Química	- Reacciones ácido-base.
	Bioquímica y Biología Molecular	- Ácidos y bases. - Concepto de pH. - Disoluciones reguladoras. - Ecuación de Henderson-Hasselbach.
	Nutrición Animal	- Digestión ácida en monogástricos y poligástricos.
	Farmacología y Farmacia	- Absorción de fármacos en el sistema digestivo. - Farmacocinética y pH.
	Tecnología de los Alimentos	- Conservación de alimentos y pH.

Tabla 5. Resumen de contenidos curriculares ácido-base en el Grado en Veterinaria.

En el Grado en Enfermería (tabla 6), dentro de la asignatura de Farmacología de primero de grado, se estudia en el bloque uno, los principios generales de la farmacocinética y la farmacodinámica, los cuales, requieren de conocimientos sobre conceptos ácido-base para que puedan ser comprendidos.

Asimismo en dicho currículo, en el bloque ocho relacionado con la farmacología del aparato digestivo se requieren también de de estos conocimientos específicos. La asignatura de Biología posee en el tema tres contenido sobre el citoplasma donde los equilibrios ácido-base tienen una importante función además se realiza una práctica de laboratorio donde se analizan muestras mediante microscopía óptica cuyos tratamientos pueden requerir la utilización de reactivos de esa clase.

El tema uno de Bioquímica versa sobre los fundamentos químicos y biológicos de las biomoléculas orgánicas básicamente en el cual se verifican varios aspectos ácido-base como pueden ser el carácter anfiprótico del agua, la influencia del pH sobre las estructura biológicas, etc. Ya en el tema tres se estudian los factores que influyen sobre la actividad enzimática entre los cuales

se está el pH. Podemos encontrar que en el tema cuatro se imparte la absorción y digestión de alimentos así como la acción de las enzimas digestivas que es conocida su relación con los conceptos de acidez, basicidad, pH, etc.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Enfermería	Farmacología	- Farmacocinética, pH y sistema digestivo.
	Biología	- Equilibrios ácido-base en sistemas biológicos.
	Bioquímica	- Aspectos ácido-base en sistemas biológicos.

Tabla 6. Resumen de contenidos curriculares ácido-base para el Grado en Enfermería.

Por último, en el Grado en Fisioterapia, los alumnos que llegan a este curso, provienen en su gran mayoría del Bachillerato de Ciencias de la Salud en donde se estudian los contenidos que se abordan en este estudio, además de la preparación tan intensa en los temas de química y biología que deben tener si quieren aprobar la prueba de acceso a la universidad.

Por lo recogido en la tabla 7, vemos que el proyecto docente de la asignatura de Bioquímica y Fisiología general de primer curso hallamos varios aspectos relacionados con nuestro tópico de estudio. Así, en el tema dos se describen aquellos factores que afectan a la actividad de las enzimas, uno de los más importantes es el rango de pH ya que son muy sensibles a los valores que toma esta variable y depende de la concentración de protones del estómago y que a su vez conecta con el tema cuatro donde se examina la digestión ácida de los alimentos en seres humanos.

Varios temas se encargan del metabolismo de compuestos con carácter ácido o básico, el tema ocho se centra en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, el tema diez en los ácidos grasos, el tema doce en el ciclo de la urea y su excreción y finalmente el tema dieciséis en el metabolismo del músculo con

especial énfasis en el ácido láctico. Destacar por último una sesión práctica donde se estudian los factores que determinan la actividad enzimática. Todo se cumple también para los grados en Veterinaria, Medicina y Enfermería.

Grado	Asignatura	Resumen contenido
Fisioterapia	Bioquímica y Fisiología General	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Experiencias teóricas:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Actividad enzimática y pH. - Digestión ácida. - Ciclo de los ácidos tricarboxílicos. - Metabolismo músculo y ácido láctico. • <i>Experiencias prácticas:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de la actividad de una enzima.

Tabla 7. Resumen de contenidos curriculares ácido-base para el grado en Fisioterapia.

Dentro de todos estos grados pero en otras asignaturas que aquí no se han mencionado, así como en el ejercicio profesional de los graduados será necesario conocer los temas relacionados con los conceptos ácido - base. De manera que aunque sean éstos los cursos en los que se imparten contenidos explícitos sobre el tema a investigar debe recordarse que el graduado deberá manejarlos durante todo el grado y vida laboral.

Ahora bien, en los párrafos siguientes se expone la importancia teórico-práctica que poseen los conceptos ácido - base y otros relacionados con estos en los grados que hemos examinado en líneas superiores, para dicho fin agruparemos a dichas titulaciones por áreas.

Así en el ámbito de las Ingenierías se incluirán la Ingeniería Química y la Ingeniería de Organización Industrial, las Ciencias Marinas quedarán en medio y en el ámbito de las Ciencias de la Salud quedarán incluidas Medicina, Enfermería, Veterinaria y Fisioterapia.

2.1.2. Importancia de los contenidos ácido-base para los grados de la U.L.P.G.C.

2.1.2.1. Ámbito de las Ingenierías.

La ingeniería química abarca procesos industriales diversos, en ellos, es necesario tener controlado y conocer el pH de los procesos que se están llevando a cabo, también el carácter ácido - base de los compuestos que se añaden o retiran. En la industria alimentaria, la calidad de muchos alimentos depende del pH que posean cuando se envasan y que se espera conserven hasta la fecha de caducidad. Por ejemplo, de las propiedades de la carne envasada se denomina capacidad de retención de agua (CRA) y debe mantenerse bajo la aplicación de fuerzas externas como el corte, la trituración o el prensado. El pH afecta a esta capacidad ya que ésta alcanza su valor mínimo cuando el pH equivale a 5,5. Si se quiere conservar la carne de manera correcta se debe evitar que esta retenga poca agua porque de lo contrario se endurecerá, por tanto, controlando el valor de pH con conservantes se puede mantener la carne fresca incluso envasada ya que éste afecta al entrecruzamiento de las proteínas del músculo; mecanismo que interviene en su rigidez o suavidad.

Siguiendo con el estudio de los conservantes, éstos son necesarios no sólo en la industria alimentaria y procesos como la conservación de la carne sino también en todos los alimentos envasados como zumos, refrescos, embutidos, etc. Muchos de los conservantes que se utilizan en la industria son ácidos o bases aunque entre ellos también se encuentran sales conjugadas de dichos compuestos.

Esto nos revela la importancia que poseen dichos compuestos para la industria química, farmacéutica, cosmética y alimentaria donde prima el control del pH para garantizar la calidad de los productos. Como ejemplos de ácidos conservantes industriales tenemos el ácido sórbico (E - 220), el ácido benzoico (E - 210) y el sulfito ácido de sodio (E - 222); como ejemplos de bases

conservantes tenemos el sorbato sódico (E - 201) o el sorbato cálcico (E - 203). El ácido cítrico es un conservante muy utilizado en la industria, en bebidas regula el pH, saboriza e incrementa la efectividad de los antibióticos; en conservas dulces también regula el pH y ayuda al proceso de gelificación; en combinación con el ácido ascórbico previene la oxidación en verduras procesadas. Los cosméticos son otra importante industria que requiere que muchos de sus productos se mantengan estables hasta el momento de su aplicación. Durante el proceso de extracción de compuestos naturales y su introducción en los envases. En cosméticos, los conservantes ácidos más utilizados pueden ser el ácido benzoico, el propiónico y el salicílico, en cuanto a los básicos pueden ser la urea y la metenamina.

En la industria farmacéutica, no sólo es necesario conservar correctamente los principios activos de los medicamentos sino conocer mediante la farmacocinética cómo se van a absorber mejor en los sistemas biológicos y en que zona ocurre con mayor efectividad. En el caso de la aspirina (ácido acetilsalicílico), utilizando la ecuación de Henderson - Hasselbach, conociendo el pH del intestino o del estómago y el pK_a propio del compuesto, puede predecirse qué proporción de moléculas estarán disociadas y que proporción estará sin disociar, así las moléculas no disociadas (las que estén en su forma molecular) son las que mejor atraviesan las membranas biológicas y por consiguiente es dónde se producirá una mejor absorción. Gracias a esto, se estudian los *órganos diana* donde se absorberá mejor el medicamento y en que proporción de la dosis suministrada.

Para la Ingeniería Química Medioambiental y respecto a los análisis de calidad de aguas, el pH es una variable imprescindible para los controles medioambientales. Los *pHs* propios de cada tipo de agua se han definido en normativas de carácter nacional e internacional como criterio de calidad. También el pH es indicador de la potabilidad o no de las aguas, por lo que como indicador es muy interesante para las aguas envasadas y no envasadas destinadas al consumo humano.

Además tanto la propia variable, como otros análisis que requieren su determinación, permiten detectar una serie de compuestos propios de las aguas residuales y su gestión adecuada a la vez que también permite estudiar y caracterizar cuerpos de aguas naturales como los acuíferos, aguas subterráneas, lagos, ríos, etc. Un grave problema al que se enfrentan los ingenieros químicos es la lluvia ácida que actualmente en la comunidad científica se ha empezado a incluir a este término en uno más amplio: la deposición ácida, que agrupa al granizo, la niebla y la nieve (Singh y Agrawal, 2008). Con el incremento en la altura de las chimeneas de las industrias, las emisiones atmosféricas responsables de la deposición ácida pueden ser transportadas ya no sólo regionalmente sino también globalmente (Galloway y Whelpdale, 1980; Wagh *et al.*, 2006), lo que ha incrementado la magnitud del problema.

Son ampliamente conocidas los efectos de la lluvia ácida como: destrucción de bosques (Abrahamsen *et al.*, 1983; Crossley *et al.*, 2001; Jiang y Jagels, 1999; Sant Anna-Santos *et al.*, 2006; Takanashi *et al.*, 2001; Tift, 1985; Tomlinson, 1983), acidificación de cuerpos de agua (Driscoll *et al.*, 2001; Whelpdale, 1983), acidificación de suelos (Dai *et al.*, 1998; Kopstik, *et al.*, 2001; Tamm y Hallbacken, 1988; Watmough y Dillon, 2003), diversas afectaciones sobre edificaciones y monumentos (Keuken *et al.*, 1990; Okochi *et al.*, 2000; Sersale *et al.*, 1998), etc.

También debemos contar con el análisis de los suelos, así, las aplicaciones en agricultura del pH son variadas, entre ellas aporta información sobre diversos aspectos en edafología. Las plantas absorben los minerales disueltos en el agua intersticial retenida pero el pH modifica la solubilidad de dichos minerales por lo que no siempre estarán biodisponibles para las plantas.

Como ejemplo, puede citarse al elemento metálico aluminio, que es más soluble cuando el agua edáfica posee un valor de pH ácido, esto lo convierte en biodisponible, el cual al ser absorbido produce toxicidad sobre las plantas. Por otro lado, las sales de fósforo como el fosfato de calcio, que son nutrientes

importantes, son menos solubles a pH básicos por lo que no estarán biodisponibles influyendo en la nutrición de las plantas. Como ejemplo, Hizal y Apak (2006), han estudiado cómo los minerales de arcilla adsorben los metales pesados individualmente y en presencia de ácido húmico para poder modelar dicha absorción a partir de la teoría ABDB (Ácido Base Duro Blando).

A pesar de que existen en la naturaleza plantas adaptadas a ambientes extremos, las producciones agrícolas suelen sustentarse sobre suelos cuyo intervalo de pH esté entre 6 y 7 para permitir un rendimiento óptimo. No obstante, los suelos pueden ser adaptados si se les añade cal para corregir la acidez o añadir sulfatos para disminuirla en aquellos que sea muy básico, incluso se han llegado a utilizar derivados de algas para este fin. En el pH del suelo influyen muchas variables como son el desarrollo de determinados tipos de plantas, los lixiviados y la descomposición de los restos vegetales, así como la actividad biológica del suelo. Entre otros factores también se encuentra la composición mineral del suelo, la pluviometría, la mineralogía, etc.

Comprender la naturaleza ácido - base del suelo nos lleva a controlar mejor la agricultura como tema de estudio en la ingeniería agrónoma o como apartado medioambiental de la ingeniería química y de la de organización industrial, lo cual repercute en una mejora del aprovechamiento de este recurso natural. Un ejemplo importante de recurso natural asociado al suelo es el *caliche*, producto frecuentemente asociado a formaciones basálticas en regiones con clima árido. Existen depósitos importantes de estos horizontes carbonáticos cementados en las Islas Canarias orientales donde han sido explotados como materia prima para la fabricación de cal.

Con respecto a las reacciones químicas propiamente dichas, nos recuerdan Geerlings y De Proft (2000), que los principios de la teoría de Pearson (1963), se pueden aplicar a multitud de reacciones químicas, bien en su aproximación a visiones de procesos locales o globales. Así, se pueden comprender: la alquilación de iones enolato (Geerlings y De Proft, 2000), las cicloadiciones de Diels-Alder y su selectividad regional (Chandra y Nguyen, 1998; Herrera *et al.*,

2001; Ponti y Molteni, 2005; Zhao, Xu y Yang, 2013) o la variación del comportamiento duro-suave de algunos compuestos del Boro en función del cambio de conformación (Ghosh y Jana, 2003).

Se ha descubierto recientemente que la teoría ABDB parece dar muy buenos resultados en la explicación de la sensibilidad y el desempeño de materiales explosivos con las evidentes consecuencias que tiene esto para el uso de este tipo de compuestos en las ingenierías: voladura controlada de edificaciones, explotación de minas, entre otras. Se ha determinado que el número de electrones transferidos (ΔN) permite predecir las propiedades de estos materiales en el caso en que sean homogéneos, así como estimar la velocidad de la reacción y como indicador de la sensibilidad de un sistema binario (Kock, 2005).

La teoría ABDB cuenta con más aplicaciones, como el estudio de la toxicidad de metales y procesos de destoxificación. De hecho, Jones y Vaughn (1978), consiguieron correlacionar datos respectivos a la toxicidad de determinados iones metálicos con la efectividad relativa de agentes quelantes de uso terapéutico basándose en parámetros que normalmente permiten caracterizar la blandura y la dureza de ácidos y bases. Estos datos pueden ayudar, en el caso de que no se disponga de parámetros biológicos y químicos necesarios para la descripción de la toxicidad de una metal, a seleccionar, según Jones y Vaughn (1978), el compuesto quelante más adecuado en las pruebas terapéuticas. Baeten *et al.* (1999) también estudiaron la aplicación de esta teoría al estudio cuantitativo de la toxicidad de hidrocarburos clorados.

Se pudo observar que existía una relación entre la toxicidad de los productos químicos mencionados y la energía del *orbital molecular desocupado de más baja energía (LUMO* por sus siglas en inglés) de dichos productos, lo que según Baeten *et al.* (1999), confirma la relación existente entre la actividad reductora de la glutatión S-transferasa y el metabolismo de los hidrocarburos estudiados. Cuando en esta investigación se consideraron metabolitos resultantes de la actividad de esta enzima, se pudo observar que

posteriormente actuaban sobre el ADN de los propios organismos específicamente sobre la Guanina (Baeten *et al.*, 1999). De igual forma, la interacción con macromoléculas biológicas (entre ellas el ADN) y su interacción con compuestos tóxicos también fue sujeto de investigación por LoPachin *et al.* (2012). Los resultados vienen a confirmar lo que ya se ha venido exponiendo y es que las interacciones entre moléculas, iones, etc., viene dictada, hasta cierto punto por las clases duro-dura y blando-blanda y la utilidad de la teoría ABDB para predecir este comportamiento además de que dicha interacción permitir discernir las posibles dianas biológicas y los mecanismos moleculares por los que podría ejercer su toxicidad. Gracias a estos conocimientos es posible la identificación de potenciales citoprotectores de carácter nucleofílico para destruir compuestos electrofílicos que sean tóxicos (LoPachin *et al.*, 2012).

Haciendo uso también de la teoría ABDB, Tsurumaki, Kagimoto y Ohno (2011) calcularon las energías propias de los HOMO y LUMO de una serie de moléculas disueltas en óxido de polietileno para la mezcla de doce líquidos iónicos diferentes. Los autores proponen que, en base a lo obtenido, la conductividad iónica debería estar soportada en las técnicas de separación, concretamente en la separaciones de microfases entre polímeros y líquidos iónicos. Las aplicaciones de la teoría ABDB son múltiples, una aproximación totalmente nueva supone su utilización como eje director para la fabricación de compuestos que se utilicen como detectores de metales en disolución acuosa. Suresh *et al.* (2010) utilizaron per-6-amino- β -ciclodextrina y *p*-nitrofenol para detectar de forma colorimétrica metales de transición como el Fe^{3+} y el Ru^{3+} . La unión de los compuestos con los metales disueltos provoca un cambio de color apreciable a simple vista.

2.1.2.2. Ámbito de las Ciencias Marinas.

Continuamos con la aplicación de las teorías ácido-base y sus conceptos relacionados en el ámbito de las ciencias marinas. Así, la Oceanografía Química, por su parte, se ocupa de los procesos químicos que afectan a la distribución y circulación de los distintos elementos químicos en las aguas

oceánicas. A este respecto, Stumm y Morgan (1981:1), comentan que en una gran mayoría de casos, los estudiantes de química no son plenamente conscientes de que las leyes de la físicoquímica se pueden aplicar, no sólo al laboratorio, sino que también se cumplen y además, regulan los procesos que ocurren en la naturaleza. Estos autores se adhieren a la idea de la desconexión entre la realidad y las teorías enseñadas en la enseñanza formal; cuando realmente dichas teorías se han creado con el propósito de explicar esa realidad que nos rodea.

Los distintos procesos entre ellos los equilibrios ácido - base en agua oceánicas, son exactamente iguales en la naturaleza que en laboratorio, sin embargo, la mayor diferencia entre ambos procesos se debe a la escalas espacio - temporales y a las condiciones en las que suceden las reacciones. La composición de estas aguas naturales está influenciada por las interacciones ácido - base; hace unas décadas Sillén (1962:549), planteaba que el océano debería ser considerado como un **gran reactor ácido-base** en el cual se mezclaban los ácidos que procedían del interior de la tierra con las bases que procedían de la meteorización de las rocas.

A pesar de la simplificación del modelo original propuesto por Sillén (1961), y del tiempo transcurrido, esta concepción es totalmente válida en pleno siglo XXI y no ha parado de crecer su investigación, especialmente sobre el dióxido de carbono disuelto en aguas oceánicas (Bolin *et al.*, 1979; Deffeyes, 1965; Doney *et al.*, 2009; Garrels y Christ, 1965; Gattuso y Hansson, 2012; Gieskes, 1974; Mehrbach *et al.*, 1973; Millero, 2013; Park, 1969; Quay, Tilbrook y Wong, 1992; Stuiver, 1978; Whitfield, 1975; Woodwell, 1978), dada su relación con el cambio climático actual.

En este contexto de cambio climático y como sustitución del anterior protocolo de Kioto, ha ocurrido que el 5 de Octubre de 2016 la Unión Europea ha ratificado el Acuerdo de París que supone la reducción de los gases de efecto invernadero, muy especialmente el dióxido de carbono, para intentar mitigar los efectos del calentamiento global, fundamentalmente, sobre la acidificación de

los océanos. Así, en relación directa con la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y el calentamiento global se encuentra la concentración de protones de las aguas naturales, en especial las oceánicas, es de gran importancia en todas las reacciones químicas que involucren la formación, alteración y disolución de los minerales. El pH será quien determine la dirección a seguir por los procesos naturales que puedan ocurrir. Inclusive, la importancia de los océanos para la química ha quedado reflejada en las unidades de la adaptación para España del **Proyecto Química Salters** en el bachillerato (Caamaño, Llopis y Martín, 1999).

La actividad biológica, como la fotosíntesis y la respiración y los fenómenos físicos como la turbulencia, influyen sobre la regulación del pH debido a su capacidad para variar la concentración de dióxido de carbono disuelto. Además de la fotosíntesis y la respiración, otros procesos biológicos también afectan a la concentración de protones en aguas naturales, la desnitrificación y la reducción de sulfatos aumenta el pH mientras que las reacciones de oxigenación lo disminuyen. Debido a la gran cantidad de rocas carbonatadas presentes en la naturaleza, el bicarbonato y el carbonato son bases comunes en las aguas naturales, además suelen estar presentes también pequeñas concentraciones de borato, fosfatos, arseniatos, amonio y silicatos.

Los volcanes y determinadas fuentes hidrotermales introducen ácidos en el agua de mar en forma gaseosa como el HCl y el SO₂. Otros ácidos llegan al océano a causa del vertido de aguas residuales. De manera similar, también se produce acidez mediante la hidrólisis de iones metálicos polivalentes, concepto más ligado a la teoría de Lewis y ABDB de Pearson. Otros componentes ácidos son el ácido bórico, el silícico y el amoníaco.

Desde el punto de vista de la interacción con los sólidos y las bases disueltas, el ácido más importante es el dióxido de carbono que reacciona con el agua para dar ácido carbónico que posteriormente se disocia dando lugar a protones libres en disolución acuosa lo que controla principalmente la alcalinidad de las aguas oceánicas. También los organismos oceánicos modifican el pH de aguas

superficiales, eliminan sustancias de desechos con carácter básico y ácido hacia el medio, forman sus caparazones a partir del carbonato disuelto en el agua de mar, etc., lo que evidencia la importancia de los equilibrios ácido-base en la biología acuática.

2.1.2.3. Ámbito de las Ciencias de la salud.

En los grados en Medicina, Veterinaria, Enfermería y Fisioterapia la importancia de los equilibrios ácido - base está ligada directamente a su importancia y desempeño en los medios biológicos como son las disoluciones amortiguadoras en las células, el efecto del pH sobre la actividad enzimática, la procesos de digestión de alimentos, la obtención de energía en la célula, y muchísimos otros imposibles de mencionar aquí.

Los equilibrios ácido - base se desarrollan en su gran mayoría en disoluciones acuosas, es por ello que en biología (y por ende medicina, veterinaria y también la biología marina) se les dedique un gran espacio para su estudio puesto que ya sabemos que el agua es la sustancia más abundante en los organismos vivos, constituyendo el 70% o más del peso de la mayoría de éstos. Los primeros organismos aparecieron en un entorno acuoso y el curso de la evolución ha sido moldeado por las propiedades de dicho medio. Las fuerzas de atracción entre las moléculas de agua y la débil tendencia a ionizarse (sustancia anfótera), tienen una importancia crucial para la estructura y función de las biomoléculas que forman parte de los organismos. La molécula de agua y sus productos de ionización influyen de manera profunda sobre la estructura, autoformación y propiedades de los componentes celulares.

Casi todos los procesos biológicos son dependientes del pH, un pequeño cambio en éste produce un gran cambio en las propiedades de dichos procesos. Las enzimas que catalizan las reacciones celulares, y muchas de las moléculas sobre las que actúan, contienen grupos ionizables con valores de pK_a característicos. Los grupos amino y carboxilo protonados de los aminoácidos y el grupo fosfato de los nucleótidos, por ejemplo, funcionan como

ácidos débiles; su estado iónico depende del pH del medio que los rodea. Las interacciones iónicas se cuentan entre las fuerzas que estabilizan una molécula proteica y permiten que una enzima reconozca y se fije a su sustrato.

Las células y los organismos mantienen un pH citosólico específico y constante, que mantiene las biomoléculas en su estado iónico óptimo, normalmente cerca de la neutralidad para la temperatura del organismo en cuestión. En los organismos multicelulares, el pH de los fluidos extracelulares también se mantiene estrechamente regulado. Éste se mantiene constante principalmente gracias a las disoluciones reguladoras biológicas, que son mezclas de ácidos débiles y de sus bases conjugadas y que tienden a resistir los cambios pH cuando ocurren adiciones de ácidos o bases dentro de un margen; uno de ellos es el tampón bicarbonato que también está presente en el agua de mar regulando el intercambio de dióxido de carbono entre la atmósfera y el océano, como ya habíamos visto.

Algunos orgánulos altamente especializados y compartimentos extracelulares contienen elevadas concentraciones de compuestos que contribuyen a la capacidad reguladora: los ácidos orgánicos tamponan las vacuolas de las células vegetales y el amoníaco la orina. Dos tampones biológicos especialmente importantes son los sistemas del fosfato y del bicarbonato. El sistema tampón del fosfato, que actúa en el citoplasma de todas las células tiene su efectividad máxima cuando el pH ronda su valor de pK_a que es 6,86 y tiende pues a resistir los cambios de pH en el intervalo de 5,9 y 7,9; siendo efectivo en los fluidos biológicos de los mamíferos incluido el ser humano.

El plasma sanguíneo está tamponado en parte por el sistema del bicarbonato que consiste en ácido carbónico como dador de protones y en bicarbonato como aceptor de protones. Este sistema tampón es más complejo que otros pares ácido - base conjugados, ya que uno de sus componentes, el ácido carbónico, se forma a partir de dióxido de carbono disuelto y agua. El plasma sanguíneo humano tiene normalmente un pH cercano a 7,4 merced de este sistema de regulación.

Sabemos que, si fallan los mecanismos de regulación de pH, tal como suele suceder en la *diabetes grave* no controlada, el pH de la sangre puede descender de sus valores medios, lo que conduce a lesiones celulares irreparables y a la muerte celular.

Uno de los ejemplos sobre los que se encuestará a los discentes universitarios es el equilibrio del CO_2 en animales pulmonados. El tampón bicarbonato mantiene el pH fisiológico de la sangre de animales pulmonados cerca de 7,4 ya que el H_2CO_3 está en equilibrio con una gran capacidad de reserva de CO_2 gaseoso en el espacio aéreo de los pulmones. Cuando se añaden protones, por ejemplo desde el músculo durante el ejercicio, a la sangre el equilibrio se desplaza hacia la formación del anhídrido carbónico, lo cual incrementa la concentración de su forma disuelta que al estar en equilibrio con su forma gaseosa aumenta la concentración de este último en los pulmones, así el dióxido de carbono sobrante se exhala.

De manera inversa, cuando aumenta el pH del plasma sanguíneo, debido al catabolismo de las proteínas que produce amoníaco, se ve disminuida la concentración de protones de la sangre que se unen a esta base. Esto provoca una mayor disociación del ácido carbónico y por tanto desplaza el equilibrio provocando una mayor disolución de dióxido de carbono gaseoso en la sangre. La velocidad de la respiración puede ajustar rápidamente estos desajustes

Éste no es el único proceso influido por el tampón bicarbonato y el dióxido de carbono en la sangre, también la actividad de la hemoglobina se ve afectada. La hemoglobina es una proteína cuya función es el transporte de oxígeno hacia las células y transportar hacia los pulmones parte del dióxido de carbono proveniente de los desechos metabólicos.

El CO_2 no es un gas muy soluble en disolución acuosa debido a su escasa o nula polaridad, sin embargo, éste es muy reactivo con el agua dando lugar a ácido carbónico. Dicha reacción está catalizada en el interior de los eritrocitos mediante la carbónico anhidrasa, enzima también presente en organismos

vegetales acuáticos para convertir el bicarbonato en dióxido de carbono gaseoso y agua en los cloroplastos. La hidratación del dióxido de carbono disminuye el pH sanguíneo, éste cambio afecta a la unión de oxígeno a la hemoglobina, por lo que el tampón bicarbonato es de gran importancia para la regulación de dicho proceso y de la liberación del oxígeno hacia la sangre.

La unión de protones y CO_2 está relacionada inversamente con la captación de oxígeno. Con un pH relativamente bajo y elevadas concentraciones de dióxido de carbono en los tejidos, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno disminuye a medida que se van uniendo protones y moléculas de dióxido de carbono, liberándose oxígeno hacia los tejidos. Simultáneamente, a medida que se excreta dióxido de carbono en los pulmones, aumenta el pH de la sangre y también la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno. Queda patente, por tanto, la importancia de los conceptos ácido - base sobre un proceso tan importante para los organismos como es la respiración aeróbica y por supuesto también la anaeróbica.

Aunque son muchos los aspectos de la estructura y función celulares influidos por el pH, es la actividad catalítica de las enzimas una de las más afectadas. Las enzimas funcionan correctamente a un pH característico denominado óptimo. A ambos lados del pH óptimo su actividad catalítica desciende de forma abrupta. Así, un pequeño cambio en el pH puede provocar una gran diferencia en la velocidad de alguna reacción crucial catalizada enzimáticamente y de la que puede depender la supervivencia del organismo.

El control biológico de pH de las células y fluidos corporales es, por consiguiente, de primerísima importancia en todos los aspectos del metabolismo y de las actividades celulares. Los cambios de pH también influyen sobre el metabolismo energético, es la fuerza protón motriz la responsable de la obtención de energía en la mitocondria durante la respiración aeróbica. La energía procedente del transporte de electrones en la mitocondria se utiliza para bombear protones desde la matriz hacia la zona intermembranosa de la mitocondria. Cuando los protones fluyen

espontáneamente a favor de su gradiente electroquímico, hay energía disponible para producir energía (ATP). Determinadas sustancias como el cianuro, el monóxido de carbono y la antimicina A, bloquean la síntesis de ATP pudiendo provocar la muerte.

Por otra parte, en la digestión tenemos también la influencia del pH. El pH juega un papel crucial en el funcionamiento normal de todo el sistema digestivo. En el caso de la boca, la faringe y el esófago, el pH suele estar en torno a la neutralidad variando entre los valores 6 y 8, es decir, de ligeramente ácido a ligeramente alcalino; es la saliva quien se encarga de controlar el pH de estas regiones. La mayoría de las enzimas que intervienen en la digestión, al igual que muchas otras ya mencionadas anteriormente, son sensibles a los valores de pH del medio, la amilasa salival por ejemplo, inicia la degradación de los polisacáridos en la boca pero no puede actuar en un pH tan bajo como en el estómago donde se encuentra inhibida.

El pH del estómago es muy ácido, sus valores están en torno a 1 ó 2, en este medio las enzimas digestivas de carbohidratos están inhibidas pero si están activas aquellas que degradan toda clase de proteínas y péptidos. El fuerte contenido ácido del estómago provee dos ventajas, un ambiente favorable para la digestión de las proteínas y a su vez desfavorable para la vida de patógenos que puedan entrar vía oral.

Posteriormente, cuando el contenido estomacal pasa al intestino se produce un cambio de pH brusco pasando a tener valores cercanos al 9, en este caso se produce un ambiente propicio para la digestión de los carbohidratos ya que las enzimas que los digieren pasan a estar activas. Recordemos también la importancia que ha de tener los valores de pH para el estudio de la digestión en animales monogástricos y poligástricos para la medicina veterinaria.

Como ejemplo en la medicina, tenemos la acidez estomacal denominada *pirosis*, donde se produce una regurgitación del ácido gástrico el cual provoca dolor o quemazón en el esternón. Una de las varias soluciones propuestas para

mejorar este estado de salud es tomar antiácidos, caso del bicarbonato de sodio. Al añadir este compuesto, se forma cloruro de sodio y el ión bicarbonato al encontrarse en un medio muy ácido verá su equilibrio desplazarse hacia el ácido carbónico produciendo a su vez agua y dióxido de carbono que es expelido por la boca.

Hasta aquí una revisión de la implicación de los conceptos ácido-base y relacionados en los grados universitarios que serán objeto de examen. Pasamos a continuación a estudiar la evolución histórica de esos contenidos y cómo podemos comprenderlos mejor aplicándoles una descripción didáctico-psicológica.

2.2. Generalizaciones en la evolución histórica de las teorías ácido-base y conceptos relacionados.

Tras la revisión de la importancia del contenido ácido-base para los estudiantes universitarios de la U.L.P.G.C. daremos paso a un análisis de los antecedentes sobre las diferentes visiones que se han acumulado para definir qué es un ácido, qué es una base y todo lo que envuelve este tema. Esta revisión comienza desde que se tienen registros de estos vocablos y va introduciéndose lentamente en la perspectiva científica. De la misma manera que ocurre con los ácidos y con las bases, situar un comienzo a lo que en la actualidad denominamos como ciencia resulta harto complejo ya que de por sí la propia *ciencia* es difícil de definir.

¿Dónde un comienzo histórico concreto? Fedoseev *et al.* (1978:13), consideran que determinar la aparición de una forma de abordar la realidad metódicamente sería un principio. Ahora bien, este principio es complicado de localizar, no obstante, la causalidad parece una idea apropiada para entender cuándo el hombre comienza a obtener conocimiento de su entorno. Las causalidades mágicas, religiosas, supersticiosas, etc., son propias de los hombres y sociedades primitivas, nos recuerdan Fedoseev *et al.* (1978:13) y Tokarev (1990:7), lo cual no resta que en la actualidad se sigan manifestando

comportamientos de esta clase, como podrían ser muchas de las *ideas previas* o *creencias* que se observan a nivel social o personal.

Bien desde una metodología primitiva o bien desde las técnicas del siglo XXI, siempre que el hombre intente conocer el mundo, ahí habrá ciencia. Seguidamente revisamos el devenir histórico de las teorías sobre ácidos y bases. Por último, pero no menos importante, las teorías que describen cómo los sujetos asimilan esta información generada por la ciencia.

2.2.1. Desde la antigüedad hasta el siglo XVII: las generalizaciones empíricas.

Para el propósito de esta disertación, situaremos el origen y partiremos consecuentemente de la primeras ideas sobre los ácidos y bases que conocían los antiguos egipcios, griegos y romanos. Éstos, ya conocían el vinagre como uno de los ácidos que se formaban a partir de la oxidación aeróbica del zumo de fruta fermentado o lo que es lo mismo, el vino (Kolb, 1978). Hoy sabemos que esto se debe a un tipo especial de fermentación bacteriana realizado por estos microorganismos pertenecientes al género *Acetobacter* y cuyo resultado es el ácido acético responsable del carácter ácido que presenta el vinagre. Esta fermentación se produce gracias a la oxidación del alcohol que está presente en el vino y pasa a convertirse en un ácido carboxílico.

Claramente, en esa época no lo denominaban ácido porque contuviese un compuesto químico concreto como el mencionado, ya que no estaba desarrollada aún la alquimia como tal que fue el contexto dónde empezaron a aparecer estos nombres, más bien el término *ácido* parece surgir del empirismo, de la sensación que producía el vinagre en la lengua. Así, el vocablo ácido proviene etimológicamente del latín *acidus* que se forma a partir de la raíz *acer* que indica que algo es punzante o agudo. A esta raíz se le añade el sufijo *idus* que se presenta en adjetivos que califican ciertas cualidades que sean perceptibles para los sentidos. Siguiendo la etimología del término, podemos observar que describe a cualquier sabor que sea hiriente o

punzante para nuestro sentido del gusto, de ahí la calificación antigua de ácido al vinagre y otras sustancias afines.

En lo que respecta a lo que hoy denominamos bases, se conocía el carbonato de potasio obtenido a partir de las cenizas de la madera, el carbonato de sodio obtenido a partir de la evaporación de aguas ricas en sales carbonatadas y el óxido de calcio obtenido a partir del tostado de conchas marinas cuyo producto es, al fin y al cabo, la cal puesto que mediante el calor se deshidrata el carbonato cálcico y magnésico que forma parte de las conchas convirtiéndose en óxido de calcio.

A pesar de esto, empieza a aparecer una clasificación informal por grupos, lo cual empieza a indicar una especie de generalización empírica. Un poco más adelante en el tiempo, podemos concordar con Asimov (2010:39), que la ciencia griega empezó a estar a disposición de los escolásticos europeos al menos en Europa occidental aproximadamente desde el siglo XIII, tras una gran cantidad de traducciones de obras árabes que se iniciaran unos años antes. La ciencia griega antigua introduciría componentes muy abstractos en la química como el de átomo, como más adelante mencionaremos.

Es de hacer notar que existía, en el caso intelectualista de los griegos antiguos, una separación entre la práctica y la teoría. A este respecto, explican Fedoseev *et al.* (1978:52), que sentían un desprecio por los trabajos físicos porque iba en contra el espíritu de la ciencia y la filosofía griegas. Por ello, no conocían el experimento, salvo los mentales que por supuesto eran fundamentales. Para Fedoseev *et al.* (1978:70), las raíces de este comportamiento puramente intelectualista deberían hallarse en la actitud social de los antiguos griegos hacia el trabajo manual que provenía de su ideología esclavista, la cual consideraba la práctica como una ocupación impropia de los hombres libres. Por ende, resulta poco verosímil la conclusión de Asimov (2010:20), por la cual los eruditos griegos simplemente estaban menos interesados en las profesiones prácticas o manuales y sí en las causas de las cosas.

A partir de mediados del siglo XVII, Johann Rudolph Glauber comenzó a realizar experimentos con ácidos y álcalis. Éste sabio postuló que las sales que se formaban como resultado de las reacciones de neutralización estarían compuestas por dos partes, una que proviene del ácido y otra que proviene del álcali; idea que después vemos también expresada en la explicación del químico Nicolás Lémery. También se percató de las distintas fuerzas de los ácidos o la idea de neutralización, que estaba ligada para este autor, a una batalla entre estas dos sustancias opuestas.

Esta generalización empírica sobre la lucha de los opuestos entre los ácidos y los álcalis fue tomada, por la misma época, como principio general de todas las interacciones químicas por Otto Tachenius y Francois Sylvius. Pretendían reducir todos los cambios químicos a esta clase de reacciones, incluso aquellas que se producían en el interior de los organismos, obteniendo mucha información a partir de las reacciones de efervescencia que se producen cuando un ácido se añade a los carbonatos.

Para Kolb (1978), Tachenius estaba convencido de que todas las sustancias debían ser o bien ácidos o bien álcalis y por tanto todos los cambios químicos serían reacciones de neutralización. Como se puede observar este argumento estaba en contra de las ideas generales que se tenían de las sales.

Robert Boyle en 1663, rechazó la idea general propuesta por Tachenius y Syvius, sin dejar de reconocer la importancia que tenían los ácidos y los álcalis como un grupo concreto de sustancias.

En ese mismo año, Boyle poseía ya muchos conocimientos sobre éstas, así un ácido poseía sabor agrio, un poder disolvente excepcional, sobretodo al estar aplicado sobre los metales, la capacidad de tornar rojo el color de una disolución, extraída de ciertos colorantes vegetales colorantes como el de las amapolas o el tornasol, inicialmente azul (Boyle, 1680: 84-95; Christen, 1986:398; Kolb, 1978; López, 2003:190; Szabadváry, 1964) y además su acción precipitadora del azufre disuelto.

En cuanto a los álcalis, se constituyó como grupo por aquellas sustancias que poseían un sabor amargo, tenían carácter jabonoso o resbaladizo, la capacidad de disolver aceites y sulfuros y la capacidad de contrarrestar los efectos de los ácidos destruyendo sus propiedades así como retornar el color original a las disoluciones cuyo color había se cambiado anteriormente por el efecto de la adición de un ácido.

Hasta aquí, no hay más que generalizaciones empíricas que se derivan de la obtención de rasgos comunes a una serie de fenómenos, en este caso de la observación del comportamiento en las reacciones de neutralización y otros cambios químicos de las sustancias denominadas ácidos y álcalis, que permiten su adhesión a un grupo concreto por la comparación y atribución de las características propias de cada grupo a nuevas observaciones.

2.2.2. Desde finales del siglo XVII hasta el siglo XVIII: la entrada del atomismo.

Por oposición a estas ideas tan básicas, veremos ahora que en dos explicaciones dadas hacia finales del siglo XVII aparecen razones que exceden, hasta cierto punto, el empirismo que ha dominado anteriormente en la clasificación de los ácidos y las bases y también una interesantísima vinculación directa entre la ciencia griega, especialmente de la doctrina del *atomismo*, con las propiedades macroscópicas de los procesos de reacción ácido-base observados hasta ese momento; casi podríamos decir que aparece por primera vez la vinculación atómica con la química, lo cual ocurre en la explicación del proceso de neutralización, dentro del contexto de ácidos y bases.

Siguiendo a Taton (1988:390) y a De Manuel *et al.* (1999b), tenemos la primera de estas explicaciones propuesta por un médico de Caen en 1672, en las que consideraba que para el fenómeno de la neutralización las puntas de los ácidos eran tan similares en forma y dimensiones con los poros de los álcalis que los llenaban perfectamente. Así, cuando todos los poros estaban cubiertos, otro

ácido podía actuar violentamente para desplazar de los orificios a las púas de los que antiguamente estaban. De aquí se puede deducir que los ácidos estarían formados, por tanto, por unos cuerpos diminutos con forma puntiaguda y que las bases o álcalis estarían formadas por unos cuerpos diminutos que contendrían unos orificios complementarios en los cuales se insertarían los ácidos. El resultado de la unión de esos complementarios daría lugar a unos productos neutros, los cuales son las sales y en los que ningún poro queda sin ser cubierto por una púa.

Empezamos a observar, por primera vez quizás, una descripción microscópica de sustancias y procesos macroscópicos; es decir, una descripción atomista con una nueva lógica y un nuevo sentido. Razonando de igual forma tenemos la explicación dada por Nicholas Lémery en 1675; Kolb (1978) y De Manuel *et al.* (1999b), exponen que según este científico los ácidos estarían compuestos de átomos puntiagudos y afilados lo que produce esa sensación punzante sobre la piel (De Manuel *et al.*, 1999b; Kolb, 1978). Las bases, a su vez, estarían formadas por partículas redondeadas y porosas que le dan un aspecto resbaladizo o jabonoso (Kolb, 1978) lo que debe hacernos recordar la relación que existe entre el jabón que antiguamente se obtenía a partir de grasas animales y cenizas las cuales vimos ya eran consideradas álcalis. Cuando se mezclan los ácidos con las bases las partículas puntiagudas de los primeros se insertan en los poros de las segundas obteniéndose como resultado las sales cuyas partículas no producirían sensaciones punzantes ni resbaladizas.

Una parte fundamental que tomarían estos dos autores se deberían a varios conceptos de la ciencia griega como por ejemplo el que aducen De Manuel *et al.* (1999a), quienes plantean que este pensamiento de neutralidad se ajusta al concepto filosófico neutro o equilibrado, empleado por Anaximandro aproximadamente en el siglo VII a.C., en el que consideraba que la lucha de dos opuestos conducía a un resultado armonioso. Aún nos faltaría entender cómo encaja aquí la doctrina atomística que conlleva llegar a realizar el paralelismo entre ácidos, álcalis y sales y las formas distintas de los posibles átomos o partículas. Para este propósito debemos dirigirnos a lo expuesto por

Kirk y Raven (1969:581), dónde hallamos sobre los filósofos presocráticos, definiciones sobre las formas de los átomos y las fuerzas que los unen o separan, prácticamente idénticas a la descrita por el médico de Caen. De aquí puede colegirse fácilmente la asociación que realizan los autores precedentes para poder generar estas *ideas atomistas* sobre los ácidos, bases y sales en el proceso de neutralización, identificando átomos con ciertas formas concretas con los ácidos, bases y sales.

Ahora bien, ¿es esto un intento de alcanzar una teoría atómica global para la química o es simplemente una manera de explicar un fenómeno empírico? Claramente la segunda, sin embargo, se puede percibir ya un cambio cualitativo en estas explicaciones dado que ¿qué sentido tendría aplicar a un reacción macroscópica un contenido puramente teórico como el griego que despreciaba la actividad práctica? Es claramente un momento de transición, entre especulaciones teóricas que podrían aplicarse a la realidad o no, puesto que no se buscaba una demostración empírica de una teoría sino la explicación intelectualista, casi teórica, de un hecho empírico.

Este pensamiento todavía no posee las características del pensamiento teórico puesto que no planteó preguntas en la teoría que luego pretenda resolver en la práctica sino que siguió el camino inverso; habiéndose observado ciertas regularidades empíricas o de carácter similar en un grupo de reacciones se busca ahora hallar una interpretación microscópica procedente de la sabiduría griega pero manteniéndose todavía en los límites del pensamiento empírico.

Resulta sorprendente que exponiendo la evolución histórica que daría lugar a la entrada del atomismo en la química, Asimov (2010:89-93), no tuviese en cuenta las aportaciones de Nicolás Lémery, al ser uno de los primeros en establecer una correlación entre partículas pequeñas y las propiedades macroscópicas de la materia sino que pone el acento en la obtención de la idea de unas proporciones definidas. Fuere como fuese, es a través de las reacciones ácido-base, concretamente del estudio de las reacciones de neutralización las que según Asimov (2010:89-93), ponen sobre la pista de la teoría atómica a Dalton.

Por tanto, la importancia de las reacciones de neutralización han sido históricamente cruciales para alcanzar, junto a otros descubrimientos científicos el sustento del edificio teórico de la ciencia que hoy denominamos química. Por estas fechas, ya se conocía que existía un grupo de sustancias que compartían en común las características de ser químicamente activos, sabor agrio cuando se permitía por disolución ser probados, reaccionar fuertemente con los metales, disolviéndolos y produciendo burbujas de gas y cambiar de color las disoluciones de determinados colorantes vegetales; se trata pues de los ácidos.

Asimismo, otro grupo de sustancias manifestaba justamente las propiedades contrarias a las del grupo anterior: eran también químicamente muy activas, pero tenían un sabor amargo y hacían cambiar de color las mismas disoluciones de colorantes vegetales al color contrario inducido por los ácidos; se trata pues de las bases. La mezcla de una disolución de una sustancia de uno de estos grupos con otra del grupo contrario, especialmente ácidos fuertes con álcalis fuertes, conducía a nueva disolución que manifestaba propiedades que no eran ni ácidas ni básicas, las cuales se llamaron sales.

Las reacciones de neutralización eran uno de los muchos cambios químicos, posteriormente denominados reacciones químicas, que se estaban estudiando en la época. Partiendo de aquí y siguiendo a Asimov (2010:90), las ideas que planteó Lavoisier sobre el estudio preciso de los cambios químicos en 1764 y en adelante como continuación de lo propuesto por los químicos Black y Cavendish estimularon a otros científicos a poner en práctica estos métodos en otras clases de reacciones. Es en este contexto donde más adelante volverán a aparecer los estudios sobre las reacciones de neutralización.

Los elementos de los que se suponía estaban formadas las sustancias, no eran aún considerados átomos como los entendemos actualmente. Las nociones de elemento que llegaron hasta los sabios del siglo XIII en adelante, partían primero de que la materia o sustancia debía estar formada por cuatro elementos descritos por Aristóteles (384 - 322 a. de C.) y concretada en la

doctrina aristotélica y procedente de las ideas sincréticas de Empédocles (490 - 430 a. de C.).

El *agua* como elemento no sería la sustancia que podemos percibir como agua sino que es la sustancia real más vinculada a ese elemento; de esa misma manera tendríamos también la *tierra*, el *fuego* y el *aire*. No trataremos aquí del quinto elemento, el éter, que en latín se denominó quintaesencia ya que éste formaba parte de los cielos y las estrellas y por tanto no era un elemento terrenal de los cuales se servían estudiar los químicos. Lo que resulta interesante de esta visión era el asignar determinadas propiedades innatas a los elementos, por ejemplo: el aire es mezcla de calor y humedad. Además estos elementos ya poseerían una serie de propiedades que le son innatas como que le es propio al *fuego* elevarse y a la *tierra* caerse. Como puede observarse es un esquema de razonamiento sencillo, si una sustancia está formada por unos determinados elementos poseerá unas características concretas a causa de ello.

2.2.3. Desde el siglo XVIII hasta el siglo XIX: las primeras generalizaciones teóricas.

Es en el siglo XVIII dónde comienzan las teorías o explicaciones que nos interesan ahora, se habían descubierto muchísimos más elementos y por supuesto se habían desterrado sólo en parte los cuatro iniciales, pues la esencia de la doctrina aristotélica seguía muy presente. Es importante observar hasta dónde perduró esta teoría, que no es hasta 1783 con un experimento de Cavendish sobre la combustión, cuando se descubre que el agua no era elemento sino sustancia, concretamente formada por dos gases.

Los elementos y sustancias sistematizadas hasta la época las publicó Lavoisier en 1789 en su *Tratado elemental de Química*. De todo esto, debemos entender que en aquellos momentos se entendía que las propiedades de determinadas sustancia lo eran a causa de contener o no un determinado elemento. De esta suerte, el *flogisto*, era el elemento que permitía que las sustancias sufriesen

combustión, es decir que fueran combustibles. Por lo tanto la propiedad de ser combustible radicaba en poseer o no, dentro de su composición, a dicho elemento. Resulta muy curioso que esta teoría de la inflamabilidad o *teoría del flogisto* proviene de una formulación particular de la doctrina aristotélica de los cuatro elementos que ya habíamos mencionado por el químico Johann Becher en 1667 y continuada por Georg Stahl y Joseph Priestley, entre otros.

Lavoisier fue uno de los que tuvo en cuenta esta teoría al estudiar los procesos de combustión y dividió al aire en dos gases, es decir lo trató como una mezcla, y no como una única sustancia como se suponía hasta el momento. Denominó *aire flogistificado* al *ázoe*, posteriormente conocido como *nitrógeno*, y *aire desflogistificado* al *oxígeno*. Basándose en esta premisa del oxígeno, el propio Lavoisier, en 1777, expone su explicación sobre el carácter de los ácidos. Para Kolb (1978), esta es la primera explicación que puede denominarse teoría en contraposición con las anteriores que la autora considera meras tentativas de explicar ciertos fenómenos como la neutralización, sin embargo, realmente dicha autora no es capaz de explicar el porqué de esta diferenciación.

Así, para explicar el carácter ácido de las sustancias, Lavoisier se basó en una serie de reacciones de combustión, principalmente la quema de fósforo o azufre y cuyos productos fueron posteriormente disueltos en agua, verificándose que dichas disoluciones resultantes poseían carácter ácido. Esto le llevó a concluir que el *principio acidificador* presente en todos los materiales era el oxígeno y que debía ser éste su elemento común ya que sólo el oxígeno era el gas que formaba parte del aire que se combinaba con los metales.

La vinculación a un elemento químico del carácter ácido de una sustancia supone el cambio de visión desde las anteriores teorías empíricas que se basaban en la simple clasificación en ácidos o bases mediante propiedades observables como cambios de color de indicadores, reacciones con metales etc., a demostrar que es la combinación de una sustancia o con otra, es decir, a la posesión de un elemento o no lo que confería carácter ácido a una determinada sustancia.

Esta idea no ha sido expresada por Kolb (1978), que se limita a una exposición histórico lineal de las teoría ácido-base sin determinar el porqué de su clasificación en la cual supone que unas explicaciones son teorías y otras no. En esta misma línea encontramos a otros autores (Babor e Ibarz, 1962: 413-421; Caamaño, 2003: 223-228; Christen, 1986: 389-396; De Manuel *et al.*, 1999a, 1999b; López, 2003: 190-196, Furió-Mas *et al.*, 2005) que se constriñen a realizar un exposición de las teorías ácido-base sin implicar en este recorrido un análisis del pensamiento a fin de poder realmente comprenderlas sino que se decantan por los límites, fallos, aciertos o aportaciones.

Estos autores entienden que una explicación detallada de los contenidos es condición suficiente para que se produzca una comprensión de estos. Tampoco Asimov (2010), da cuenta de este análisis aunque sin duda pone mucho mejor en contexto las corrientes de pensamiento de la química alcanzadas en cada época y cómo han podido influir en determinados campos de esta ciencia lo cual, desde luego, facilita mucho la comprensión da cada teoría en particular.

Siguiendo con nuestro particular análisis histórico-lógico de teorías ácido-base, ocurre que la explicación dada por Lavoisier sobre la presencia en todos los ácidos del elemento causante de esa propiedad, el oxígeno, resultó ser falsa. Visto desde nuestra perspectiva, debemos considerar que Lavoisier llegó a lo que se denomina una *generalización precipitada o incompleta*, la cual consiste en llegar a conclusiones generales sin haber examinado todo el campo de alternativas posibles; y siendo aún más concretos, una extrapolación inductiva empírica incompleta.

No podemos saber si el razonamiento de Lavoisier se basó en los silogismos aristotélicos, que buscaban el conocimiento cierto mediante la inducción completa, aún sabiendo de la influencia que tenía en aquellos momentos la ciencia griega antigua. Más bien la influencia aquí se deba a causa del método experimental utilizado, ya que Lavoisier al observar el resultado de los experimentos de combustión que realizó, extrapoló los resultados al resto de

ácidos con los que no trabajó; parece por tanto una mezcla de empirismo y teoría.

Hemos entendido anteriormente que para los científicos de esta época que seguían el idealismo filosófico griego, la presencia de un elemento común en los cuerpos tenía que ser el causante de unas propiedades concretas, por ello, podemos plantear la cuestión de la manera siguiente: los ácidos contienen un *elemento acidificador* que es el responsable de dicha propiedad, los ácidos observados contienen un elemento en común que es el oxígeno. La conclusión que se deriva de estas premisas es, por tanto: *el elemento acidificador es el oxígeno*. Es probable que Lavoisier razonará así o quizás no.

Analizando los silogismos en la obra de Aristóteles, Fedoseev *et al.* (1978:42) concluyen, en consonancia con Meyerson (1931:41), que el modelo silogístico planteado por éste sólo puede ser considerado un mero planteamiento de carácter artificial, dada la dificultad de ser aplicado al conocimiento científico real, dado que sólo se puede afirmar que la conclusión que se obtiene no está libre de errores que podrían hallarse más adelante.

Esta proposición se confirma con los hallazgos posteriores de los químicos Berthollet, Davy y probablemente también de Liebig, donde sus estudios sobre los ácidos aportan nuevas alternativas e indican que la generalización empírica de Lavoisier, no necesariamente tiene que ser cierta, dada la ausencia de oxígeno en compuestos que carecían de oxígeno pero presentaban propiedades ácidas.

No obstante, siguiendo esta misma vía, la búsqueda de un elemento al que asignar una propiedad heredado de la ciencia griega antigua, vemos que Claude Louis Berthollet en 1789 publicó los resultados de sus experimentos con el ácido prúsico, que es en la actualidad conocido como ácido cianhídrico (HCN), donde se observó que no contenía al elemento oxígeno, por lo que daba al traste con la teoría de Lavoisier; teniendo aquí un claro ejemplo de refutación. Como este ácido es bastante débil dado que su constante de

disociación es muy baja, produjo que, siguiendo las palabras de Kolb (1978), no se tomara como un ácido verdadero por lo que este hecho durmió la cuestión por un tiempo hasta que aparecieron nuevas pruebas.

A pesar de este ligero revés a la refutación de la generalización propuesta por Lavoisier, ya estaba sembrada la duda de que el elemento oxígeno fuera la causa del carácter ácido de las disoluciones observadas. Decidido a apuntalar la visión de Berthollet, en 1811 el químico Humphry Davy experimentó con el ácido muriático (hoy conocido como ácido clorhídrico) del cual se sabía que era un ácido muy fuerte y pudo demostrar que este ácido no contenía oxígeno, por lo tanto el *principio acidificador* no podía ser dicho elemento.

Estas conclusiones le llevaron a plantear que el principio acidificador era entonces el hidrógeno y todos los ácidos, por lógica general debían contenerlo. No obstante, explica Herradón (2011), que Davy en 1814 planteó que la acidez no dependía de ninguna sustancia elemental concreta sino que se debía a una combinación peculiar de varios elementos, lo cual pueda ser debido a que, como comenta Kolb (1978), se conocían por ese entonces muchos compuestos que contenían al elemento hidrógeno y no eran ácidos.

Lo que desgraciadamente no podemos saber es cómo razonó exactamente Davy, quizás quería demostrar lógicamente que existía un elemento acidificador en determinados compuestos que a su vez carecían de oxígeno, lo cual le lleva a demostrar que es falsa la tesis de Lavoisier; o simplemente dio con este hecho empírico que era un caso que refutaba dicha hipótesis. Dado el asentamiento del método experimental de la época es más fácil decantarse por lo último.

Hemos visto que, en el caso de Berthollet, los científicos de la época decidieron impugnar sus conclusiones basándose en que el ácido prúsico o cianhídrico no era realmente un ácido por su baja disociación. Para las pruebas aportadas por Davy ocurrió que, como habían varios compuestos conocidos que poseían el elemento hidrógeno sin ser ácidos, era difícil catalogar al hidrógeno como

elemento única y exclusivamente responsable del carácter ácido de las sustancias.

En la década de 1830, Justus von Liebig, comenzó a realizar estudios con diferentes ácidos orgánicos como el ácido ciánico, el ácido tartárico o el ácido cítrico. Este científico retomó la idea de los experimentos realizados por Thomas Graham en 1833, quien había estudiado los ácidos del fósforo. Graham decidió que los ácidos fueran nombrados con los prefijos orto, meta y piro (H_3PO_4 , HPO_3 , $H_4P_2O_7$) ya que diferían en la cantidad de agua que contenían. Lo más notable que realizó Graham no fue el descubrir esta variabilidad sino que además, el número de unidades de base que podían neutralizar era distinto. Partiendo de esta idea, fue Liebig, quien observando ese mismo comportamiento en sus ácidos orgánicos decidió acuñar los términos de ácidos *monobásicos*, *dibásicos* o *tribásicos*.

Con estos resultados, en 1838, Liebig volvía a reavivar la idea del hidrógeno como ingrediente esencial de los ácidos, pero claro, ¿cómo justificar los compuestos que poseyendo hidrógeno no fuesen ácidos? La respuesta parece radicar en las reacciones de los ácidos con los metales en las cuales se desprende hidrógeno cambiando drásticamente el enfoque de la teoría que anteriormente se basara en análisis empíricos de la fórmula química por el principio rector de la reacción química. De esta manera, Liebig asumió que los hidrógenos ácidos de los compuestos son aquellos que sólo pueden ser reemplazados fácilmente por un metal en estas reacciones. Siguiendo a Caamaño (2003:225), en las explicaciones de Liebig no se da justificación al hecho de que algunos hidrógenos son reemplazables por la reacción con los metales y otros, sin embargo, no lo sean. Tampoco se aclara, dice esta misma autora, el porqué se producen estas reacciones en disolución acuosa.

Todas estas explicaciones sobre el comportamiento de los ácidos han estado circunscritas a determinados avances de la química. Sus métodos experimentales, sumado a las consideraciones teóricas no surgieron de la nada por generación espontánea, sino que hemos visto como los distintos avances y

proposiciones de cada momento histórico van siendo la base de las nuevas interpretaciones sin que ello derive en una evolución lineal de la ciencia, sin embargo, se comprende que muchas ideas no han aparecido sin más sino que incluso pueden ser centrales, intentándose demostrar mediante las nuevas metodologías.

La base interpretativa de muchas de estas explicaciones está en la ley de conservación del peso propuesta por Lavoisier en 1785, basada en su metodología de medidas muy cuidadosas de los pesos antes y después de los cambios químicos, las reacciones de neutralización con las bases, la formación de hidrógeno en la disolución de metales y, por supuesto, las reacciones de combustión. A estas ideas básicas se unió la teoría atómica que dentro de las teorías ácido-base parece ejercer su mayor influencia a partir de la teoría de Arrhenius y no tanto en las anteriores que parecen decantarse por la búsqueda de un *elemento acidificador* propio de las teorías griegas sobre los elementos que conforman la materia.

Así, pues, en consonancia con la metodología de medidas lo más precisas posibles, el químico alemán Jeremías Benjamin Richter decidió aplicarlo a las reacciones de neutralización ácido-base, buscando conocer las cantidades concretas que se necesitaban de una de estas sustancias para neutralizar cierta cantidad de la otra. Su trabajo fue publicado en 1792 y explicaba sus hallazgo por los cuales la mezcla entre ácidos y bases debía realizarse con una cantidades definidas y no arbitrarias si quería conseguirse la total neutralización. Lógicamente, esto aportaba pruebas de una especie de constancia de proporciones o pesos equivalentes en los cambios químicos y no la mezcla de cantidades arbitrarias.

Joseph-Louis Proust pretendía determinar si la exactitud determinada por Richter en las reacciones ácido-base podía extenderse a todos los cambios químicos o si por el contrario se trataba de una ley particular. Procediendo así, Proust comenzó a realizar estudios muy precisos con el carbonato de cobre para intentar demostrar que se producía una combinación en proporciones

definidas de sus elementos químicos constituyentes. Pudo demostrar en 1799 que dicha sustancia contenía, en unas proporciones concretas, los siguientes elementos: cobre, oxígeno y carbono; sin importar si el origen era natural o en el laboratorio; estas proporciones son: 5.3, 4 y 1, respectivamente.

En la época de Proust, los cuatro elementos que procedían de la filosofía griega antigua finalmente habían sido sustituidos por los nuevos elementos, muchos de los cuales procedían de los tratados alquimistas, adicionándose los nuevos que se habían ido descubriendo con la ayuda de nueva instrumentación y del análisis químico. Lo más importante que debemos comprender es que los sabios del siglo XVIII, entendían la materia o los cuerpos como continuos y no discontinuos, como plantea la teoría atómica actual.

Como anteriormente vimos, sólo Lémery en las reacciones ácido-base había planteado una especie de teoría corpuscular que no sabemos exactamente de dónde la tomó puesto que fue a finales de 1683 cuando comienza su doctorado en medicina en la ciudad de Caen de donde parece provenir esta idea, aunque él ya había propuesto su teoría en 1675; antes de ingresar en dicha institución.

Jiménez-Aponte *et al.* (2015), indican que la idea particulada de la materia que guardaba Lémery proviene de que este científico aplicó la teoría corpuscular de Newton al estudio de los ácidos y las bases. Esta relación propuesta por los autores precedentes, es bastante compleja, más aún conociendo que la teoría corpuscular de Newton se aplicaba al estudio de la luz de la cual sabemos no se comprendió su relación con la química por esta época sino mucho más adelante, no obstante, formaba parte de la corriente compleja en Europa sobre el atomismo, por lo que sin duda debió ejercer cierta influencia.

Aún así, parece mucho más plausible su vinculación con las ideas expresadas por los filósofos griegos y que ha sido recogido en el texto de Fedoseev *et al.* (1978). Indica Pellón (2012:18) que quienes realmente influyeron sobre Lémery fueron Pierre Gassendi (1592 - 1655) y René du Perrón Descartes (1596 - 1650), defendiendo las ideas de los atomistas griegos. Exceptuando esta

aportación particular de Lémery, no se habían dado hasta el momento indicios de teorías atómicas o corpusculares en el estudio de la química de ácidos y bases lo que complicaba mucho el avance teórico y mantenían sobre una base empírica el desarrollo de esta ciencia.

2.2.4. Desde el siglo XIX hasta la teoría ácido-base de Arrhenius.

Pero a principios del siglo XIX todo empezó a cambiar basándose, efectivamente, en el empirismo pero comenzando a trascenderlo mediante la lenta aparición y aceptación de la teoría atómica, la cual supone dejar de pensar en elementos que se encontraban físicamente como los metales, los gases, etc., y empezar a pensar en términos intangibles y cuya demostración empírica es mucho más compleja.

Este camino comienza, lógicamente con los pensadores griegos, como son Leucipo (siglo V a. C.) y Demócrito (460 a. C. - 370 a. C.) quienes aportan las raíces en las cuales se va a sostener la teoría atómica de la materia. Leucipo dudaba que, por ejemplo, al reducir una piedra a polvo, se pudiera dividir hasta el infinito en trozos. Debería llegar un momento en que se haría imposible esta división. Dicho trozo de materia indivisible vino a ser acuñado por su discípulo Demócrito como *átomo* que literalmente significa *indivisible*. No obstante, Nekrasov (1975:173), indica que la idea aportada por estos pensadores podría haber estado vigente desde mucho antes, gracias al filósofo materialista hindú Caniada o Chárvaka (anterior al siglo V a. C.) y que podría haberse difundido hacia la Grecia antigua desde el Asia antigua. Fuere como fuese, a la doctrina fundada por estos pensadores se le denominó *atomismo*.

Fue Demócrito quien avanzó mucho más que su predecesor indicando que los átomos de cada elemento (no los elementos químicos actuales sino los propuestos por los griegos antiguos), eran de distintos tamaños y formas lo cual le confería las propiedades según la mezcla. La materia tangible estaría formada por los elementos que a su vez estarían formado, cada uno de ellos,

por átomos que también se mezclan conforme a la mixtura de elementos establecida.

Sin embargo, parece ser que la tradición atomista no sobrevivió hasta los científicos de esta época gracias a estos dos sabios griegos antiguos sino gracias a Epicuro (342 a. C. - 270 a. C.). Éste último incorporó a su línea de pensamiento la doctrina atomística y sus obras sobrevivieron para ser leídas por varios científicos de la época de nuestro interés. Lo que es realmente interesante es que en el seno del estudio de las reacciones ácido-base en dónde se produce el germen de la teoría atómica, combinado, como nos indica Pellón (2012:18), con las corrientes de pensamiento de la época. Por consiguiente, habiendo Proust demostrado las proporciones definidas de los elementos que formaban un compuesto, aún no se acababa de dar el salto cualitativo que suponía introducir en la química la teoría atómica y por tanto la naturaleza discontinua de la materia, no obstante empezaban a sentarse las bases que promovieron ese salto cualitativo desde el pensamiento empírico hacia uno más teórico, coadyuvado por las obras de Gassendi y Descartes.

Para Asimov (2010:93), fue Dalton quien comenzó a revisar una serie de razonamientos que se estaban produciendo en el interior de la química durante los primeros años del siglo XIX, opinión que también comparte Pellón (2012: 24-25). A partir de la publicación de la *ley de Proust* se produce una ruptura lógica de la concepción continua de los cuerpos o las sustancias. Si los elementos se combinaban entre sí mediante unas proporciones siempre fijas y enteras o casi enteras, ¿cómo es posible que la materia fuese continua? Siendo continua la materia lo lógico es que las proporciones fueran muy variables y por supuesto no siempre enteras. No obstante, si la materia fuera de naturaleza *atómica* o *particulada* entonces sí que es posible hacer encajar de alguna manera los datos proporcionados por el estudio de numerosas reacciones donde se demostraba que se cumplía esta ley.

Dalton ya conocía las ideas de Leucipo, Demócrito y Epicuro que habían considerado al átomo como una parte de materia indivisible a través de las

contribuciones de Gassendi, Descartes, Newton, Charleton, Hill, entre otros. No parecía muy razonable que un átomo perdiese una parte o bien que una parte de otro se añadiese a uno ya presente en los cambios químicos. Utilizando lo ya descrito, en combinación con experimentos propios, Dalton pudo publicar en 1803 la ley de proporciones múltiples donde se explicaba como dos elementos pueden combinarse de manera distinta formando diferentes compuestos pero siempre siguiendo una relación de números enteros sencillos.

Para Asimov (2010:95), esta ley encajaba perfectamente con los supuestos teóricos del atomismo. Como puede verse, se buscaba encajar, con resultados empíricos, una teoría que venía desde mucho tiempo atrás intentando tomar auge en Europa.

En esa misma publicación, Dalton introdujo por primera vez su teoría atómica, basada lógicamente, en la ley de proporciones definidas encontrada por Proust y en la ley de las proporciones múltiples, hallada por él mismo, y que quedó ratificada en ese mismo año por el químico inglés Wollaston. Lo realmente interesante de esta cuestión es como se pasó de observaciones empíricas sobre pesos, proporciones y volúmenes para llegar a la conclusión de que la materia estaba efectivamente formada por unas partículas que procedían del razonamiento completamente intelectualista de los griegos antiguos.

Aquí empieza hasta cierto punto a surgir el pensamiento teórico en la química ya que se empieza a abandonar paulatinamente lo estrictamente sensible y se empieza a buscar en los experimentos la respuesta a los planteamientos teóricos. Esto puede verse cuando Dalton publica en 1808 su *Un nuevo sistema de filosofía química* en el cual discute su teoría química y se plantea la cuestión de que los átomos son demasiado pequeños para ser observados y por tanto ser objeto de medidas directas mientras que mediante medidas indirectas, como los volúmenes de combinación de los gases propuesto por Gay-Lussac también en 1808, se podía aportar información sobre los pesos relativos de dichos e inobservables átomos constituyentes.

A partir de aquí queda fundamentada la teoría atomista que no contó con la aceptación de todos los científicos, al igual que la corriente atomística previa a Dalton, como es el caso de Faraday; no obstante, permitió en combinación con los conocimientos de la utilización de la electricidad en las reacciones químicas el establecimiento de teorías ácido-base tan importantes como la de Arrhenius.

A la teoría atómica de Dalton, se hizo necesario que los nuevos químicos dieran explicación a las nuevas aplicaciones de la electricidad en la química que terminaban por mezclar campos que estuvieron inicialmente separados. Sabemos que el conocimiento de la electricidad parece datar, nuevamente, de la ciencia griega antigua que seguía siendo el paradigma científico a seguir en la Europa del siglo XIX. Los griegos antiguos habían observado la propiedad por la cual al frotar el ámbar éste podía atraer los objetos de carácter ligero (Asimov, 2010:97).

Partiendo de aquí, con etapas intermedias en el desarrollo físico del conocimiento sobre la electricidad llegamos al químico francés Charles François de Cisternay quien en 1733 describió dos tipos de electricidad, una que surgía del vidrio al ser frotado y que denominó *electricidad vítrea* y otra la perteneciente al ámbar que denominó *electricidad resinosa*. También, este sabio descubrió que las cargas opuestas se atraían y que las iguales se repelían. Así, con este científico empieza a penetrar la electricidad en el ámbito de la química. Posteriormente, Benjamin Franklin toma a estas dos *especies de electricidad* postulándolas como dos versiones de un mismo fluido eléctrico y denominando *carga positiva* a los cuerpos que según él les sobraba fluido o bien como *carga negativa* al cuerpo cuya carga se correspondía con una falta de fluido eléctrico.

Adviértase la coincidencia además de la idea de la electricidad como si de un fluido se tratase, al igual que el flogisto, el calórico, etc., que se encuentra en el interior de los cuerpos y que se traslada de unos a otros o que permite la interacción, lo que nos sigue indicando la influencia de las teorías idealistas de la Grecia antigua en la ciencia europea e inclusive en la norteamericana. A

pesar de la ya introducción de la electricidad en el ámbito de la química, fueron los experimentos de Alessandro Volta en 1800 los que realmente comenzaron a dar indicaciones de la relación entre las reacciones químicas y la electricidad. Este científico descubrió que dos metales separados por disoluciones capaces de conducir la corriente eléctrica podían disponerse que las cargas eléctricas pasasen a través de un alambre conductor. Dicho paso de carga eléctricas o corriente eléctrica era posible gracias a la reacción de los dos metales.

Tras la publicación de este trabajo, los químicos William Nicholson y Anthony Carlisle pudieron demostrar que era posible que la electricidad produjese una reacción química. Al hacer pasar una corriente eléctrica a través de un depósito con agua, ésta se descomponía en dos gases que se acumulaban en dos varillas. Estos gases fueron recogidos y medidos sus volúmenes que resultaron ser dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno. A esta ruptura del agua por la electricidad en su elementos constituyentes se le denominó *electrólisis* por el científico Michael Faraday.

Ahora bien, haciendo uso de esta técnica, Jöns Jacob Berzelius y William Hisinger en 1803 encontraron que las disoluciones salinas que utilizaba Volta para cerrar el circuito y permitir el paso de la corriente estaban sujetas a electrólisis igual que el experimento con el agua que habían desarrollado Nicholson y Carlisle, es decir, invirtieron también el procedimiento de Volta. Descubrieron que si se hacía esto, las bases iban a parar al polo negativo y los ácidos al polo positivo. La interpretación que realizaron de esta evidencia fue que los ácidos y las bases deben poseer, inevitablemente, cargas opuestas. Estos datos llevaron a Berzelius a concluir que las reacciones ácido-base eran simplemente a causa de la atracción eléctrica entre esos dos compuestos.

Posteriormente, en 1812, sintetizó estos resultados en una teoría llamada *teoría dual*, por la cual no sólo las reacciones ácido-base sino todas las reacciones debían ser explicadas en términos de la neutralización de cargas eléctricas opuestas. Los trabajos con la electricidad aplicadas al estudio de las reacciones químicas continuaron, en este caso, Humpry Davy poco antes de

proponer al hidrógeno como *elemento acidificador*, ya estaba experimentando alrededor de 1807 con diversas sustancias fundidas como la potasa, la cal, etc.

Sin embargo, fue su discípulo Michael Faraday quien llegó a realizar grandes descubrimientos en este campo. Además de acuñar el término electrólisis, utilizó la sugerencia del sabio inglés William Whewell por la cual debía nombrar *electrolitos* a las disoluciones que fueran capaces de permitir el paso de la corriente eléctrica. Haciendo uso de esta terminología, las varillas que eran introducidas en la disolución se denominaron *electrodos*, el electrodo que poseyera una carga positiva sería el *ánodo* y el *cátodo* el que poseyera una carga negativa.

A pesar de que ya se estaba estableciendo la teoría atómica por parte de Dalton y otros científicos, Faraday nunca fue entusiasta de esta teoría. No obstante, resulta sorprendente que Faraday estableciera el vocablo *ión*, que en griego quiere decir *viajero*, pues él suponía que correspondía a dichas *entidades* transportar la corriente eléctrica a través del fundido introducido en el depósito que servía de cuba electrolítica. Los iones que viajaban hacia el ánodo fueron llamados *aniones* y los que viajaban en sentido contrario, es decir, hacia el cátodo fueron llamados *cationes*. En 1832, Faraday promulgó sus dos leyes de la electrólisis, en la primera ley quedó descrito que la masa de la sustancia liberada en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que se hace pasar a través de la disolución; mientras que en la segunda quedó expuesto que el peso de un metal liberado por una cantidad dada de electricidad sería proporcional al peso equivalente de dicho metal.

Asimov (2010: 113), considera que los aportes al campo de la electroquímica por parte de Faraday ayudaron a algunos químicos de aquella época a pensar que la electricidad no sería un tipo de fluido, idea que provenía del pensamiento griego antiguo, sino que ésta podría subdividirse en pequeñas unidades definidas como si fuesen los átomos. Por tanto, al igual que existen *átomos de materia*, deberían existir *átomos de electricidad*.

Siguiendo con la línea de investigaciones que involucraban a la electricidad y la química de las disoluciones tenemos en 1853 el trabajo del físico alemán Johann Wilhelm Hittorf quien señaló que algunos iones viajaban más rápido que otros, fue lo que llevó a pensar en las diferentes velocidades a la que los distintos iones podían transportar la corriente eléctrica. Este descubrimiento aún no podía resolver la cuestión sobre los iones y fue necesario acudir más adelante a los trabajos del químico francés François Marie Raoult.

Por otro lado, Kohlrausch en 1876, desarrolló un nuevo método de determinación de la conductividad y con éste pudo obtener la importante *ley de migración independiente de los iones*. Bien, los resultados de los experimentos de Raoult culminaron con la proclamación de la *ley de Raoult* para disoluciones diluidas en 1887 en donde la presión de vapor parcial del disolvente en equilibrio con la disolución era directamente proporcional a la fracción molar en la disolución del disolvente. Esta ley permitía estimar el número relativo de partículas del soluto y del disolvente. Además de llegar a esta ley, Raoult midió los puntos de congelación de las disoluciones respecto del disolvente puro. Al compararlos, se observó que los puntos de congelación de las disoluciones eran siempre inferiores al del disolvente puro. Se pudo demostrar que este descenso no era arbitrario sino que era equivalente a ese número relativo de partículas de soluto presentes en la disolución.

Szabadváry (1964), considera que los químicos de la época se preguntaban cómo era posible para los iones moverse a ratios que eran mutuamente independientes si estaban unidos entre ellos en los compuestos mediante afinidades de diferente fuerza. Esta preocupación de la época es también compartida por Asimov (2010:193), que añade al anterior problema los cambios en los puntos de ebullición en las disoluciones de electrolitos.

Se había observado que las sustancias que no conducen la electricidad en agua cumplían perfectamente la ley de Raoult, siendo proporcional su descenso crioscópico con la cantidad de soluto disuelto, sin embargo, los electrolitos no la cumplían de esta manera sino que si el compuesto estaba

formado por dos partículas entonces el descenso del punto de congelación era el doble de lo esperado; si el número de partículas eran tres, el descenso era el triple. Todos estos nuevos conocimientos teóricos ya distanciados de los idealismos de la ciencia griega transformada por la ciencia europea, con sus nuevos descubrimientos empíricos, serían la base para una de las más importantes teorías ácido-base, la de Arrhenius.

2.2.5. Desde la teoría ácido-base de Arrhenius hasta la teoría de Brønsted-Lowry.

Svante August Arrhenius (1859 - 1927), tenía que explicar todos los hechos anteriores, pero no ya basándose en elementos continuos que se encontraban en el interior de la materia o en ausencia de la teoría atómica. En su poder contaba, no sólo un acervo empírico enorme acumulado tras cincuenta años desde la última teoría ácido-base de Liebig, sino además un aparato teórico tan potente como el de la doctrina atómica, así como los iones, los átomos de electricidad (aún no llamados electrones), etc.

Es bueno recordar que para cuando Liebig propuso sus explicaciones ya la teoría atómica de Dalton contaba con 30 años. Sin embargo, Liebig no la utilizó, algo que le diferencia enormemente de Arrhenius y que no es capaz de explicar Kolb (1978), como un deslinde entre ambas proposiciones.

Observando el comportamiento del descenso crioscópico de las disoluciones de electrolitos con el número de elementos atómicos que componían la molécula del soluto permitió a Arrhenius entre 1880 y 1890 postular su teoría sobre ácidos y bases. Primero, Arrhenius sugirió que al disolver determinadas moléculas en agua éstas se descompondrían en átomos separados lo que permitía explicar el porqué dos átomos que pertenecían a una misma molécula al disolverse en agua al ser realmente dos permite que el descenso crioscópico sea el doble, ya que son dos y no una las sustancias presentes en la disolución. El mismo razonamiento se aplica a las moléculas triples que daría

lugar, como ya sabemos a un descenso del punto de congelación tres veces superior al correspondiente.

Las moléculas de los no electrolitos no se descompondrían por ello cumplen con la ley establecida dentro de unos límites de dilución. Estos átomos en los que se dividirían las moléculas no serían los *átomos de materia* ordinaria que vimos anteriormente sino que portarían carga eléctrica para poder justificar las migraciones, encontradas anteriormente, hacia los electrodos. Con esta idea, empiezan a mezclarse la materia y la electricidad mucho más que lo que lo habían hecho con los descubrimientos de Faraday.

Así, Arrhenius propuso que aquellas partículas que Faraday había denominado *iones* eran los átomos de materia o grupo de átomos de materia que llevaban una carga eléctrica positiva o negativa; o eran los átomos de electricidad o los portaban, finalmente lo cierto es que los portaban. Esta separación de las partículas que formaban una molécula en agua se llamo *disociación iónica*. La teoría de la disociación iónica expuesta por Arrhenius (1884, 1887) es, para Szabadváry (1964), una explicación totalmente satisfactoria para el factor *i* descrito en las observaciones de van't Hoff como factor de corrección en las ecuaciones de comportamiento del punto de congelación de la disoluciones de electrolitos que no se ajustaban a la ley de Raoult. Asimismo, este mismo autor indica que también permite explicar la migración independiente de los iones encontrada en 1876, como ya vimos, por Kohlrausch.

En este contexto, Arrhenius decidió clasificar a los electrolitos en tres grandes grupos: ácidos, bases y sales, lo cual nos vuelve a conectar con dos de las últimas de las explicaciones sobre estos compuestos: la teoría dual de Berzelius y la del elemento acidificador de Liebig. Flotaba en el aire la posibilidad de que el hidrógeno fuera el causante de la acidez de la sustancias, idea que parece haber tenido en cuenta Arrhenius, además de conocer que los ácidos, cuyo comportamiento electrolítico estaba descrito, efectivamente poseían esa característica.

Así los ejemplos normalmente citados para esta teoría suelen ser: el ácido clorhídrico (HCl), el hipocloroso (HClO), el sulfúrico (H₂SO₄), el fosfórico (H₃PO₄), el bórico (H₃BO₃), el crómico (H₂CrO₄) y el cianídrico (HCN). La observación de sus fórmulas químicas no deja lugar a dudas de lo común del elemento hidrógeno, no obstante siguen ante nosotros las dudas ya conocidas; existen compuestos que poseen hidrógeno y no son ácidos y la reemplazabilidad de algunos de éstos por los metales. ¿Cómo utilizar estos conocimientos acumulados hasta el momento?

Arrhenius lo hizo así: los ácidos son definidos como sustancias que al disolverse en disolución acuosa dan lugar a protones (iones H⁺) y añade que este hidrógeno es reemplazable por un metal o un radical positivo (catión) para formar una sal. Por lo visto la idea de la reemplazabilidad metálica y del hidrógeno como elemento acidificador, sumado a la teoría de neutralización de cargas, no ha abandonado la química, sino que parecen superponerse sobre la teoría electrolítica; la reemplazabilidad metálica es sustituida por la reemplazabilidad catiónica como un criterio mucho más general gracias a un proceso eductivo que nos lleva desde algo general hasta algo aún más general como nos indicarían las explicaciones de Bunge (1963).

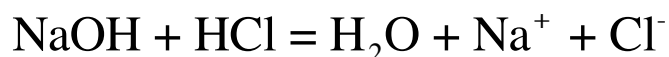
Las bases, sin embargo, han estado siempre un poco menos estudiadas que los ácidos, de hecho Kolb (1978), nos recuerda que en la teoría de Liebig las bases seguían siendo consideradas como cualquier sustancia que neutralizara el efecto de un ácido sin más. Según De Manuel *et al.* (1999a), fue en el siglo XVIII cuando el término *álcalis*, que era el que venía usándose por entonces, fue cambiado por el vocablo *bases* gracias a Rouelle un profesor de Lavoisier y quien además amplió el grupo clasificatorio de sales donde únicamente se adscribían los compuestos neutros solubles y quien extrajo de sus observaciones la posibilidad también de existencia de sales de tipo ácido o básico; esta visión está muy clara también en la disociación electrolítica de Arrhenius.

Afortunadamente, las bases adquieren un mayor protagonismo con Arrhenius viéndose equiparadas a la misma categoría que los ácidos. Las bases de Arrhenius son sustancias que en disolución acuosa ceden hidroxilos (iones OH^-) al disolvente (el agua), esto quiere decir que estos compuestos químicos poseen uno o más grupos hidroxilo reemplazables por radicales negativos para formar sales. La idea de elemento común se traslada también a las bases, sólo que ahora se trata de un grupo de átomos que en disolución acuosa posee una carga negativa para compensar la carga positiva del protón. Como ejemplos más típicos tendríamos al hidróxido sódico (NaOH), al hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), al hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), al hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), al hidróxido de cromo ($\text{Cr}(\text{OH})_3$), o al hidróxido de potasio (KOH).

Además, las sales serían aquellas sustancias que en disolución acuosa se disocian sin dar lugar a ninguno de los dos iones anteriormente mencionados y como ejemplos tendríamos al cloruro de sodio (NaCl), el sulfato de calcio (CaSO_4), etc. No obstante, ya habíamos mencionado las aportaciones de Rouelle sobre las observaciones de tres tipos de sales: ácidas, neutras y básicas. Esto no pasó desapercibido para Arrhenius quien consideró las tres posibilidades.

Ahora bien, una sal se considerará ácida si en su composición además de contener un catión cualquiera alberga iones H^+ junto al anión que puede ceder al disolvente; por el contrario, si junto al catión vemos que se encuentra un ión hidroxilo que se puede ceder al disolvente, estaríamos en presencia de una sal básica. Esto nos lleva a considerar que las sales ácidas pueden entenderse como formadas por un ácido poliprótico el cual sufre una sustitución parcial de esos hidrógenos disociables por cationes, análogamente se pueden entender las sales básicas como bases con varios grupos hidroxilo disociables y que son sustituidos solo parcialmente por aniones. Como ejemplos de las sales básicas en esta teoría tendríamos al yoduro básico de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})\text{I}$), al nitrato básico de bismuto ($\text{Bi}(\text{OH})\text{NO}_3$) y como ejemplo de sales ácidas al sulfato ácido de potasio (KHSO_4) y al hidrogenocarbonato de sodio (NaHCO_3).

La neutralización en esta teoría es vista como un intercambio iónico. Las bases verían sustituidas su catión por el protón que proviene del ácido dando lugar a una molécula de agua; a su vez, el catión de la base y el anión del ácido formarían una sal, si bien, probablemente disociados en forma iónica.



Una vez más la teoría de Arrhenius da una explicación satisfactoria a las ideas clásicas o más antiguas que se tenían sobre los ácidos, las bases y sus interacciones; es muy inclusiva. Dado el análisis que venimos desarrollando parece mucho más una explicación teórica que hace uso de los conocimientos ya acumulados que una revolución en toda regla.

Se suele indicar como limitación de esta teoría en muchos textos (*videtur*: Babor e Ibarz, 1962; Kolb, 1978; López, 2003; Furió-Más *et al.*, 2005) la imposibilidad de la existencia en disolución del protón por su reducido tamaño y elevada carga. Este debate es actual y no propio de la época en que se formuló esta teoría, ni siquiera lo es de sus sustituciones posteriores. Es muy probable que esta idea parta de una mezcla de la descontextualización de la teoría y de una injerencia del presente sobre cuestiones pasadas no exactamente relacionadas.

Recordemos someramente los postulados de la teoría de disociación electrolítica de Arrhenius. Los electrolitos, bien en disolución o fundidos, se disociarán en iones cargados eléctricamente, produciéndose que la carga total de los iones negativos será idéntica a la carga total en los iones positivos por lo que la disolución tomada en su conjunto debe ser eléctricamente neutra; es decir, no habrá un exceso de cargas positivas ni negativas sino que estarán igualadas.

Los iones son identificados con átomos o bien con grupos atómicos, según el caso, que formarán los radicales o iones de los electrolitos que permanecerán químicamente inmodificados en las sustancias análogas de las cuales se parte,

o sea, el ión sulfato es el grupo sulfato en las sales de esta clase, el ión potasio es el átomo de potasio en las sales potásicas, etc. La carga del ión equivale a su valencia y tendrá signo negativo en el caso de los aniones mientras que tendrá signo positivo en el caso de los cationes.

Por lo tanto, en el caso del cloruro de potasio (KCl), la disociación será en un ión de potasio con una carga positiva (K^+) y un ión cloruro con una carga negativa (Cl^-). Los iones actuarán de manera independiente unos de otros y de aquellas moléculas que se encuentren sin disociar; todas ellas constituyen, por tanto, partículas distintas con características propiedades físicoquímicas. Finalmente la disociación de un electrolito es reversible ocurriendo que los iones disociados pueden volver a unirse para formar las moléculas correspondiente de las cuales surgieron.

El equilibrio establecido entre las moléculas no disociadas y sus iones se desplaza en el sentido de los iones cuando se aumenta la dilución ya que estarán mucho más separados y por consiguiente les costará volver a unirse para formar nuevamente la molécula sin disociar; esto nos lleva a la idea de dilución infinita dónde Arrhenius suponía que los electrolitos estaban plena y permanentemente disociados.

Vemos pues la plena aceptación de Arrhenius del protón en disolución pero: ¿qué pensaban los químicos de la época? Al parecer la cuestión del supuesto tamaño del protón en disolución no era realmente relevante. Si seguimos a Babor e Ibarz (1962:399), los químicos de ese tiempo no podían aceptar la teoría de Arrhenius debido a cuestiones empíricas.

Les era difícil entender que en la disolución del cloruro sódico existiesen separadamente los átomos de cloro y sodio siendo estos conocidos como elementos fuertemente activos en su interacción con el agua. Por ejemplo, el sodio (Na) en contacto con el agua (H_2O) produce hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno (H_2) en una reacción fuertemente exotérmica.

Desde nuestra perspectiva actual, estos químicos confundían las propiedades de los átomos con las propiedades de los iones que son entidades diferentes; esto concuerda con lo que nos recuerdan Babor e Ibarz (1962:399), que la carga eléctrica supuesta en los iones no era más que una característica poco significativa en lo correspondiente a las propiedades del elemento o átomo. El ión era concebido como una simple suma de un átomo que conservaba todas las características empíricas conocidas de los átomos más una o varias cargas eléctricas asociadas que en nada influían en él, salvo en su comportamiento eléctrico.

Esta concepción atómica del ión se parece mucho al modelo atómico de Thomson que apareció poco después en 1904 y que parece que los hechos descubiertos iban dándole ya una cierta forma. Se recurrió también al ejemplo de un alambre de cobre cargado eléctricamente el cual no cambiaba en nada sus propiedades químicas. También aducían que cuando el cloro (Cl) y el sodio (Na) se combinaban se producía un gran desprendimiento de energía y que para poder volver a separarlos se requería otra gran cantidad de energía con una considerable elevación de la temperatura, hecho que no se observa ni en la precipitación, ni la asociación, ni en la disolución a la escala previamente observada.

Era pues difícil comprender mentalmente y luego empíricamente que la simple disolución de un compuesto electrolítico como el ácido clorhídrico (HCl) condujese a la separación espontánea de sus átomos constituyentes. Así, el pensamiento empírico adquirido y diversas concepciones procedentes de la filosofía griega antigua fueron los verdaderos enemigos del pensamiento teórico propuesto por Arrhenius y no el tamaño del protón en disolución en el período histórico que estamos examinando, como apuntan los autores citados como límite de esa teoría.

El verdadero problema estribaba en los cálculos del factor i y el *grado de disociación* de los electrolitos que podían dar al traste con la idea de la independencia de los iones en disolución.

Habíamos visto que la teoría de electrolítica de Arrhenius permitía explicar el factor i encontrado por van't Hoff respecto del descenso crioscópico en disoluciones de electrolitos. Sin embargo, a pesar de suponer que para un electrolito divalente la propiedad coligativa debe ser el doble o para uno trivalente debería ser el triple, lo cierto es que solamente se cumple esta condición en escasas ocasiones cuando el electrolito se encuentra totalmente dissociado, lo cual se produce a muy altas diluciones siendo electrolitos fuertes y supone prácticamente un comportamiento ideal de la disolución.

Lo anterior, es una de las verdaderas críticas suscitadas a la teoría electrolítica que incluye los ácidos y las bases. ¿Cómo explicar estas desviaciones de la idealidad? Lógicamente, no considerando un comportamiento ideal de los electrolitos, es decir, un comportamiento no ideal de su disociación. Esto quiere decir que los electrolitos nunca estarán totalmente dissociados sino en equilibrio de sus formas dissociadas y no dissociadas estableciéndose un *grado de disociación* del compuesto. Se define, por tanto, el grado de disociación como aquella fracción de moléculas dissociadas. Su valor disminuye al aumentar la concentración y se acerca a la unidad cuando tenemos disoluciones muy diluidas.

A partir de aquí se puede establecer la relación entre el factor i de van't Hoff y el grado de disociación de un electrolito, previamente definido, que permite calcular dicho grado. Aparentemente, se había solucionado el problema de las desviaciones corrigiendo la disociación ideal o perfecta de los electrolitos por un factor corrector que es el grado de disociación, no obstante, aún no se había realmente dado carpetazo al asunto.

Se empezaron a realizar medidas del grado de disociación de los electrolitos basándose en las distintas medidas de descenso crioscópico para todo un rango de concentraciones molales. Si se realiza un examen de la evolución del grado de disociación de los electrolitos, se observa que para valores de la molalidad muy pequeños, los resultados parecen concordantes con la teoría y se obtienen valores del grado de disociación lógicos y admisibles. Ocurre que

superado este valor, principalmente acercándonos a la unidad en valores de la molalidad, los resultados calculados mediante la ecuación comienzan a dar resultados incorrectos. Concretamente, superar la unidad, lo cual es imposible, o presentar valores negativos, los cuales no tendrían sentido alguno. Esto conllevó a sustituir las medidas del grado de disociación mediante el descenso crioscópico por las medidas de conductividad equivalente; sustituyendo convenientemente en la ecuación de la constante de equilibrio se obtiene la *ley de dilución de Ostwald* que permite calcular dicha constante y por ende el grado de disociación del electrolito.

Con esta nueva herramienta se realizaron varias medidas de numerosos compuestos electrolíticos a una misma temperatura y variando las concentraciones al igual que se había procedido anteriormente con las medidas del descenso crioscópico. Observando el comportamiento de la constante de equilibrio para varios compuestos, es de notar que para algunos, se mantenía prácticamente constante para cualquier valor de la concentración mientras que había otros para los cuales aumentaba conforme lo hacía la concentración.

En el caso del HCl, por ejemplo, su constante de equilibrio aumenta con la concentración y su grado de disociación comienza a disminuir ligeramente hacia elevadas concentraciones; por otro lado, existen casos como el del ácido acético (CH_3COOH), donde el grado de disociación disminuye con el aumento de la concentración y su constante de equilibrio se mantiene oscilando en torno a un valor casi constante.

Tanto estos resultados, como los encontrados con la ayuda de las propiedades coligativas, llevaron a los químicos a la conclusión de que la teoría de Arrhenius no puede aplicarse más que a disoluciones diluidas, lo que la convierte en una ley límite. ¿Cómo explicar, a partir de las evidencias, que los solutos no siguieran disociándose más y más conforme aumenta la concentración?

Mediante esta teoría no se puede explicar este comportamiento, tal y como explican Babor e Ibarz (1962:406), la teoría de Arrhenius explicaría

satisfactoriamente los equilibrios supuestos sólo para el caso de los electrolitos débiles, es decir los que están poco disociados, pero no para los que están muy disociados o electrolitos fuertes. Este equilibrio debía quedar modificado por alguna razón por la que no puede encajar con los datos cuantitativos. Veremos como muy posteriormente en 1923, justo el año que también aparecía una nueva teoría sobre ácidos y bases, se describe también una nueva visión teórica sobre los electrolitos que describe con mayor precisión los errores de la teoría de Arrhenius.

A pesar de estas limitaciones, las medidas de conductividad equivalente como método para determinar el grado de disociación de los electrolitos, sirvieron a Ostwald en 1888 para establecer las fuerzas de ácidos y bases (Szabadvary, 1964). La idea de la fuerza de ácidos y bases vino a ser cuantificada y refrendada con la teoría electrolítica, poco después por este mismo químico. Se aplicó la ley de acción de masas, establecida por Guldberg y Waage en 1867, a la disociación electrolítica de ácidos y bases y se calculó la constante de disociación de numerosos compuestos de estas dos clases, desde las medidas de conductividad equivalente y se pudo demostrar que la magnitud de la constante de disociación es un criterio de la fuerza de estos compuestos.

El grado de disociación se convierte en una relación, o proporción, entre la conductividad medida a una concentración determinada y el valor de referencia que es la conductividad del mismo electrolito a dilución infinita, además de un referente de la fuerza de los ácidos y las bases; a mayor grado de disociación mayor fuerza del ácido o la base y a menor grado de disociación menor fuerza del ácido o la base. Las diferentes fuerzas de estos compuestos observadas desde la antigüedad cobran pleno sentido en la teoría electrolítica con las nuevas medidas de conductividad equivalente.

De las limitaciones de la teoría electrolítica de Arrhenius quedaba claro que el aumento de concentración producía algún efecto no explicado sobre los iones que no permite entender que se manifestaran de manera independiente y sin ninguna interacción entre ellos como suponía Arrhenius. La concepción del ión

como un átomo con carga eléctrica que poseía las mismas propiedades del átomo en sí y la consideración de que los iones se manifiestan de manera independiente sin interacciones entre sí era incorrecta.

Los iones interactúan entre ellos mediante atracciones electrostáticas lo cual hace que se modifiquen los valores de concentración previstos por la teoría y se vea afectado el grado de disociación previsto. Entonces, ¿porqué a bajas concentraciones la teoría predice tan buenos resultados? Esto se debe a que a bajas diluciones se hace muy difícil la interacción eléctrica entre los iones debido a que están muy separados entre ellos y la constante dieléctrica del disolvente y la interacción de éste último con el soluto mantiene muy alejados los unos de los otros comportándose de manera, podríamos decir, ideal (sin interacción aparente). Pero la realidad es que toda vez que las concentraciones aumentan, esta supuesta idealidad desaparece y encontramos fuertes desviaciones respecto de las predicciones debido al aumento de las interacciones entre los iones.

La limitación anterior es una de las más importante de la teoría de Arrhenius porque realmente señala la cuestión clave: los electrolitos y su comportamiento eléctrico en disolución. Sin embargo, en la literatura actual (*videtur*: Babor e Ibarz, 1962; Kolb, 1978; López, 2003), se cita como una de las primeras limitaciones de la teoría de Arrhenius a la hidratación del protón o la imposibilidad del protón como ión independiente en disolución acuosa olvidando lo demás. Esta revisión previa que hemos realizado demuestra que lo más importante como limitación de esta dicha teoría no es, ni mucho menos, esta cuestión. Se trata como en toda la ciencia que tenemos actualmente de una reinterpretación; incluso, como ya se ha mencionado, es una injerencia actual sobre unos postulados teóricos pasados.

Pasando al tema de la hidratación del protón, tenemos que existe controversia dentro de la química si es o no correcto la forma de escribir al protón como ión independiente o hidratado. Ault (2010), se decanta por la fórmula propuesta por Brønsted y Lowry, H_3O^+ (aq) mientras que Moore *et al.* (2010), son partidarios

de conservar la forma antigua y simplificadora, H^+ (aq). Ault (2010), se basa principalmente, en que la teoría que sucedió a la de Arrhenius, cuyo principio a mantener es que la base es una aceptora de protones, en que la mejor manera de expresar simplemente este concepto es utilizar el ión hidronio (H_3O^+). Sin embargo, Moore *et al.* (2010), prefieren basarse en los datos aportados por varios autores (Castleman *et al.*, 1991; Clever, 1963; Giguère, 1979; Saykally y Blake, 1993), en los cuales se aprecia que cuando un ácido se ioniza el grupo de moléculas (*cluster*) de agua que rodea al protón está conformado por un número variable (diez o más) de moléculas de agua, invalidando el argumento de Ault (2010).

Silverstein (2000, 2011, 2014), se pregunta, basándose también en los argumentos de Moore *et al.* (2010), si es realmente necesario hacer una excepción con el protón sabiendo que para ningún otro ión escribimos las moléculas de agua que forman parte de su esfera de hidratación; ¿porqué hacer entonces esta excepción? Muchos resultados propuestos (Reed, 2013; Stoyanov *et al.*, 2006; Stoyanov *et al.*, 2010, 2011), coinciden en que el ión hidronio sólo serviría como un intermedio cinéticamente importante en los mecanismos de reacción pero no como entidades estables termodinámicamente y que los resultados de espectroscopía infrarroja utilizados durante décadas para fundamentar esas conclusiones son incorrectos (Silverstein, 2000, 2014).

Esto se opone a la consideración de Brown *et al.* (2012), que en consonancia con Ault (2010), indican que el ión hidronio (H_3O^+) es la forma química escrita que más se acerca a la realidad. Si aplicáramos la esfera hexahidratada encontrada por Stoyanov *et al.* (2010, 2011), utilizando la ecuación de reacción modelo ácido-base de la teoría de Brønsted-Lowry e inclusive la de Lewis, sería, termodinámicamente rigurosa; sin embargo, como bien nos dice Silverstein (2014), es realmente incómoda. Por tanto, Silverstein (2000, 2011, 2014), se decanta por que sigamos utilizando la nomenclatura que en origen correspondió a Arrhenius, la cual es el protón hidratado, H^+ (aq).

Para la disociación de un ácido se comprendería, con el término *acuoso* (aq), que se está hablando de la esfera de hidratación que rodea al protón, al igual que se hace con cualquier otro ión. Esta nomenclatura estaría en consonancia con los resultados propuestos por Stoyanov *et al.* (2010, 2011), y así no comprenderíamos que el protón se transfiere a una sola molécula de agua, como indican Brønsted y Lowry, rompiéndose el enlace con el anión y formándose con una molécula de agua, sino que, por el contrario, la ionización o disociación debe verse como una debilitación del enlace entre el catión y el anión mediante las interacciones con los dipolos del agua que conforman la esfera de hidratación.

Esta idea de la esfera de hidratación y su efecto debilitador sobre las interacciones de un compuesto iónico se pueden intuir perfectamente en la teoría de la interacción iónica propuesta por Peter Debye y Erich Hückel en 1923, aproximadamente 36 años después que Arrhenius describiera su teoría y el mismo año que Brønsted y Lowry presentaran la suya. Así, la representación de Debye-Hückel se complementa perfectamente con las ideas actuales de la esfera de hidratación interactuando eléctricamente con el compuesto iónico. Esta teoría corrigió una de las verdaderas limitaciones de la teoría de Arrhenius que como vimos anteriormente, se debe a la concepción de la actividad independiente de los iones.

Siguiendo la teoría de Debye-Hückel-Onsager, al disolver un electrolito en agua, las moléculas del disolvente, al chocar contra el soluto terminan arrancando iones de la red iónica del compuesto. Debido a su carga eléctrica, los iones se unen a las moléculas de disolvente que polarizan formando una esfera compleja de hidratación. Si el soluto es de naturaleza covalente, la reacción de sus moléculas con el disolvente da lugar primero a iones produciéndose una *ionización* para, finalmente, separarse estos iones dando lugar a un proceso de *disociación*.

Aunque disociación e ionización parecen procesos similares realmente son diferentes pero no debemos olvidar que ningún enlace es puro al ciento por

ciento, todos los enlaces covalentes no son iguales y siempre tienen algo de carácter iónico. La teoría de Debye-Hückel-Onsager permite explicar la disminución de la conductividad y el efecto sobre el punto de congelación mediante la interacción iónica. También la discrepancia frente a la concentración ideal esperada mediante la teoría de Arrhenius que es lo verdaderamente importante aquí.

Dicho esto, Silverstein (2014), considera que el esquema propuesto por Brønsted y Lowry sigue siendo perfectamente válido para todas las demás reacciones entre ácidos y bases, estos argumentos solo debemos tenerlos en cuenta cuando sea el agua la receptora de un protón o bien para la ecuación de autoprotólisis del agua. Se vuelve importantísimo recalcar que esto es una corrección sobre las teorías pasadas y que no se han tomado en esta tesis como referencia de las teorías ácido-base sobre las que se preguntó a los estudiantes universitarios. Además, Silverstein (2000, 2014), aduce que la utilización de la notación del protón hidratado permite, en cursos introductorios, estudiar la ionización sin caer en el estudio de la química de la coordinación, además según Brown *et al.* (2012), se ha encontrado que estudiantes y profesores creen que realmente existe el ión hidronio a pesar de las numerosas pruebas en contra lo que parece dar la razón a Arrhenius más que a Brønsted - Lowry en este sentido.

Continuemos con otras limitaciones realmente verdaderas de la teoría de Arrhenius y que muchos autores mencionan correctamente. Uno de los postulados principales descritos por Arrhenius mencionaba que para considerar a un compuesto químico como base tenía que poseer un grupo OH disociable.

Podríamos decir que, para Arrhenius, este grupo químico era el causante de las propiedades básicas, es decir, pasaba a ser una especie de *elemento basificador* en el sentido de Lavoisier y el hidrógeno disociable era el causante de las propiedades ácidas lo que le convertía nuevamente, en el sentido propuesto por Lavoisier, en una especie de *elemento acidificador*.

Resultó que esta nueva inducción, esta generalización empírica, en la que se necesita saber si el grupo químico es disociable o no, era incorrecta. Hasta que no sepamos empíricamente si el grupo químico es disociable o no, no se puede saber si se trata de una base o no, puesto que existen compuestos con grupos hidroxilos que no son disociables como grupo en sí. No todos los compuestos que exhibían propiedades básicas, considerados bases por tanto, poseían en su composición ese grupo hidroxilo disociable. Furió-Más *et al.* (2005), nos recuerdan los ejemplos más claros, los cuales son: el carbonato de sodio (Na_2CO_3), el cloruro de amonio (NH_4Cl), el sulfuro de sodio (Na_2S) y el cianuro de potasio (KCN).

¿Cómo explicar entonces el comportamiento básico encontrado? Quizás para este propósito nos sirva un ejemplo que también causó controversia por aquella época, el amoníaco. Si el amoníaco (NH_3) no posee ningún grupo hidroxilo disociable, ¿cómo es que manifiesta propiedades básicas en disolución acuosa? Para ello se recurrió a un subterfugio empírico-teórico: la reacción previa de este compuesto con el agua ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH}$) que posteriormente se disociaría ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$), lo que resuelve la cuestión desde el punto de vista de la teoría de Arrhenius.

Furió-Más *et al.* (2005), consideran que este fue el mecanismo preponderante, el de la hidrólisis, para poder explicar el comportamiento básico de estas sales que no se ajustaban a la teoría sin despreciar ese elemento basificador que era el grupo hidroxilo disociable.

Por esta misma vía se enfila la explicación dada por Babor e Ibarz (1962), quienes además de manifestar el mecanismo antes mencionado comentan también el caso de las pseudosales como el cloruro de aluminio (AlCl_3) y que por su complejidad dejaremos su tratamiento al margen en esta tesis. Por otro lado, el considerar a los ácidos como compuestos que poseían protones disociables, fue una generalización bastante correcta puesto que no sería hasta la teoría de Lewis en 1923 que se considerarían ácidos compuestos que no contuvieran a tales, de acuerdo con Kolb (1978).

Otra polémica suscitada por la teoría de Arrhenius proviene desde la didáctica de la química, principalmente de la *línea científico-técnica*. Carr (1984), considera que los libros tienden a superponer la teoría de Arrhenius sobre la de Brønsted-Lowry, en concordancia con Furió-Más *et al.* (2005) de manera independiente, lo que según estos autores supondría un problema para comprender correctamente el resto del contenido en una fase posterior. Furió-Más *et al.* (2005), coinciden con Carr (1984), de forma independiente, en señalar a las obras de Chang (1984, 1994) respectivamente, como una de las que más posee ese tipo de errores, describiendo la neutralización sólo en la forma en que Arrhenius la comprendía o no tener en cuenta que según la teoría de Brønsted-Lowry el grupo hidroxilo es la base y no el hidróxido de sodio propiamente hablando; además de fomentar la mezcla de ambas teorías.

Pero es Hawkes (1992), quien se toma más en serio este asunto y publica una serie de errores que le llevan a la conclusión de que deberíamos desprendernos de los aportes de Arrhenius y comenzar por las proposiciones de Brønsted-Lowry. Los fundamentos de Hawkes (1992), son muy débiles y su artículo adolece de todas las características propias de la línea de supuesta investigación didáctica científico-técnica que probablemente sean las que le conduzcan a transmitir sentencias escasamente fundamentadas.

El autor comienza declarando que la presentación tradicional de los textos científicos, sin mencionar cuáles, de la teoría de Arrhenius antes que la teoría de Brønsted-Lowry genera confusión y tiende a engañar a los estudiantes. Opina que esta teoría puede considerarse más tarde de forma histórica pero que no es viable como definición en la enseñanza de ácidos y bases.

Como toda la didáctica que se enmarca en esta línea sufre de varios errores primordiales, los cuales mencionaremos sucintamente. Sus cimientos principales están centrados única y exclusivamente en los contenidos a impartir, vistos desde la óptica científica muchas veces es difícil decidir si es aceptable o no impartir determinados contenidos.

Podría darse lugar a pensar que su guía principal es la lógica interna de la ciencia en cuestión, es decir, la química para el caso que estamos tratando, no obstante, se puede observar como muchas de sus observaciones están arraigadas a simples opiniones. A partir de aquí establece una secuencia metodológica de los contenidos que no están comprobadas mediante estudios psicológico-didácticos ni de otra clase, por tanto carecen de datos para apoyar muchas de sus afirmaciones, las cuales son experiencias de clase.

No se trata aquí de excluir las experiencias de clase como fuente de organización de los contenidos, exploración de errores, etc., ya que se puede coincidir con Miras (2011:59), que es un recurso muy útil para la determinación de errores en los conocimientos previos en la experiencia docente y la toma de decisiones para la planificación del contenido; de lo que se trata, es de que el trabajo didáctico no esté realizado sobre meras observaciones acríticas e impresiones en clase, sino sobre datos como corresponde a la didáctica científica o pedagogía científica que se propugna en esta tesis.

Continuando con el análisis, el primer error que parece advertir Hawkes (1992), es la reacción del NH_3 con el HCl del que comenta que si hacemos caso a la necesidad de la presencia de grupos OH^- como condición indispensable del carácter de una base, ocurre que se necesita o bien explicar su reacción previa con el agua o bien indicar que al final la formación de la sal NH_4Cl se forma tanto en ausencia como en presencia de agua, es decir se tomaría ahora como criterio la formación de la sal. Estas explicaciones, las denota Hawkes (1992), como innecesarias salvo que se quiera intentar por todos los medios salvar la visión de Arrhenius cuando ya se ha demostrado que el agua no es necesaria en esta reacción y que el criterio de la formación de la sal no es suficiente. Este aspecto ya ha sido tratado en los textos científicos donde ha sido conocido como un fallo de la teoría y no tiene mayor trascendencia.

El segundo problema es, siguiendo a Hawkes (1992), que algunos textos, que vuelve a olvidar mencionar, se establece que en la reacción del ácido acético con el amoníaco al producirse en medio acuoso, se liberan protones y grupos

hidroxilo que serán los que posteriormente interactúen. Estas declaraciones provocan que los alumnos no piensen en las reacciones ácido-base como una interacción directa entre el ácido y la base sino como una reacción posterior de neutralización entre los grupos hidroxilos liberados por las bases y los protones liberados por los ácidos que se combinan para dar agua.

Nuevamente se refiere a un grupo de alumnos indeterminado del cual no aporta datos de ninguna clase para apoyar dicha afirmación, salvo sus experiencias de clase no registradas. Lo que es complicado de entender es que se sepa que la confusión en los alumnos sobre las reacciones ácido-base se deba a la teoría de Arrhenius sin poseer datos que justifiquen esta causalidad.

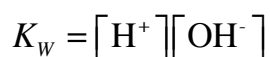
Como un tercer error, se advierte de la mala comprensión del concepto de acidez a causa de la definición de Arrhenius ya que al ser preguntados los alumnos, de quienes nada se vuelve a mencionar, sobre la disminución del pK_w con el aumento de la temperatura, suelen responder que la concentración de protones se verá compensada por la de grupos hidroxilo. Sin embargo, cuando se les plantea este mismo problema, menciona Hawkes (1992), sobre el decrecimiento del pK_a del ácido acético con el aumento de la temperatura, obvian completamente el papel basificador del ión acetato y responden al revés. Debemos entender primero el problema suscitado. Planteemos primero la ecuación de autoprotólisis del agua siguiendo la teoría de Arrhenius:



Ahora debemos escribir la constante de equilibrio que será la relación proporcional entre especies ionizadas y no ionizadas que nos sirve para entender el avance o estado de la reacción:

$$K_w = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

En esta ecuación se suele prescindir del agua por considerarse su concentración prácticamente constante o bien por considerar como la unidad su actividad. Por lo que nos queda escrita como:



Un aumento de temperatura aumenta las colisiones entre las moléculas de agua lo que conlleva que la reacción se desplace hacia la derecha y por tanto aumenta el número de moléculas ionizadas y se eleva el valor de la K_w ; como el pK_w equivale al logaritmo cambiado de signo de la constante de equilibrio, evoluciona al contrario por lo que disminuye en vez de aumentar. Por ello, se observa esa disminución del pK_w frente a un aumento de la temperatura para el producto iónico del agua.

Hawkes (1992), menciona que el pK_w del agua a 25°C vale 14 mientras que a 100°C equivale a 12,3 y por tanto la concentración de protones aumenta siguiendo la constante de equilibrio ya mencionada. Ocurre además que por igualdad, en dicha constante de equilibrio, la concentración de iones hidroxilo aumenta en esa misma cantidad como bien expresan las experiencias de clase que indican varios autores (Demerouti *et al.*, 2004; Hawkes, 1992; Pinarbasi, 2007) y por tanto el agua mantiene su equilibrio y la neutralidad; no obstante, si la nueva concentración de protones no se compara con el nuevo valor de pH neutro sino con el que se considera único a 25°C entonces aparecen los problemas.

Para un valor del pK_w de 12,3, donde la temperatura debe valer 100°C , la concentración de protones equivale a $10^{-6,15}$ por lo que la concentración de iones hidroxilo equivale a esa misma cantidad. El pH neutro es siempre dónde estas dos concentraciones valen lo mismo que evidentemente dependen de la variación del pK_w con la temperatura que será el valor que los determine.

Sobre esta cadena de razonamientos, el valor del pH neutro debe tomar el valor, por analogía, de 6,15. Así, si calculamos el pH, para determinar el carácter de la disolución, a esa misma temperatura también vale 6,15, lo que nos demuestra que estamos en el caso neutro. Si sólo tuviésemos en cuenta el valor del pH sin aplicar la referencia a un valor de temperatura sino que lo

comparamos con el valor siete entenderíamos incorrectamente que la disolución es ácida cuando realmente es neutra.

Hawkes (1992), señala que este error de comparación sin sistema de referencia es debido a la teoría de Arrhenius por la presencia de los grupos OH⁻ como neutralizantes de los protones. Si la constante de equilibrio la calculásemos utilizando el ión hidronio como en la teoría de Brønsted-Lowry ocurriría exactamente lo mismo con lo cual el argumento descrito por Hawkes (1992), no puede deberse más que a un prejuicio.

Esta idea fue investigada por Pinarbasi (2007), en alumnos universitarios y por Demerouti *et al.* (2004), en estudiantes de bachillerato. Las conclusiones de ambos autores es que esos sujetos indican que el pH siete es siempre neutro y esto nunca se puede cambiar, sin embargo, en ninguna de las investigaciones pudo establecerse causalidad, sólo Pinarbasi (2007), describe que no se tiene en cuenta el efecto de la temperatura sobre el producto de disociación iónico del agua lo que deriva en estos errores. En concordancia con nuestra exposición y siguiendo las ideas de Rubinstein (1963:57), según las cuáles debemos poner en relación la imagen del objeto con las condiciones que la determinan, podemos concluir que esos alumnos han llegado a una generalización; la cual consiste en, como indica Pinarbasi (2007), considerar al pH neutro de una disolución como siempre equivalente a siete porque no ponen en relación esta generalización con las condiciones de las cuáles se tomaron: la temperatura y, en menor medida, la presión.

Son los libros de texto a los que se les achaca, sin causalidad establecida, la posibilidad de transmitir estas generalizaciones. Para este error concreto, Pinarbasi (2007), cree que un ejemplo es el texto de Fine y Beall (1990:422). Tras este complejo error, Hawkes (1992), se refiere a la utilización de fórmulas como el NH₄OH para justificar el carácter básico del amoníaco, que se conoce es incorrecta, pero que habría aparecido en Tuttle (1991) y no sufrió corrección; además añade que los protones no son realmente donados, dada la elevada energía que supondría la expulsión calculándolo a partir de los datos aportados

por Chase *et al.* (1986), mediante fuerzas no explicadas, de este ión al agua. Estos dos aspectos sí pertenecen a las verdaderas limitaciones de la teoría de Arrhenius y se han discutido anteriormente, principalmente la ionización de una molécula a causa de las interacciones con las moléculas de agua, idea recogida dentro de la teoría de Debye-Hückel y que suscribe el propio Hawkes (1992).

Finalmente Hawkes (1992), afirma, sin ninguna clase de datos, que los alumnos que aprenden antes la teoría de Arrhenius tienen problemas para comprender que los aniones son bases aunque no sean hidroxilos (OH^-). Según se desprende del artículo, (Hawkes, 1992), expone que es inherente a la naturaleza del ser humano aceptar aquello que aprendimos por primera vez y cambiarlo o descartarlo en una fase posterior resulta muy difícil. Si nos atenemos a esta afirmación se puede enseguida concluir que se trata de uno de los postulados del constructivismo por el cual las ideas previas son resistentes al cambio. Se tiene la impresión de que este autor no ha consultado las propuestas de la psicología sobre esto, puesto que no cita nada a favor o en contra de esta aseveración.

El alumno ya llega con determinadas ideas a la educación secundaria y universitaria dónde asimila las teorías propuestas por la ciencia. ¿Cómo puede Hawkes (1992), establecer si la causa de la dificultades es a lo previo o la teoría de Arrhenius? En ningún caso ha citado literatura científica para avalar ninguna de estas conclusiones por lo que su análisis sobre la confusión de la teoría de Arrhenius sobre los alumnos está plagada de prejuicios y causalidades enraizadas en éstos.

A colación de los prejuicios de Hawkes (1992), vemos que Pozo y Gómez-Crespo (1998:174), opinan que las dificultades de la teoría de Arrhenius estriba en que los alumnos utilizan un razonamiento de causalidad simple y unidireccional dónde se cedería bien un protón o bien un grupo hidroxilo según el caso. Creen estos autores que al aparecer posteriormente las teorías de Brønsted-Lowry y Lewis esto se convierte en una dificultad dado que esas

teorías deberían entenderse mediante un razonamiento múltiple, para esta afirmación no poseen dato alguno.

Bajo el nuevo prisma de Brønsted-Lowry, según Pozo y Gómez-Crespo (1998:174), el razonamiento es que se cede o se capta una sola especie química a la misma vez, el protón, produciéndose procesos simultáneos que conducen a un equilibrio. Efectivamente puede concordarse con estos autores, que la teoría más utilizada en estudiantes de cursos superiores de enseñanza secundaria es la de Arrhenius (Bardanca *et al.*, 1993), resultado que también se observa en algunos estudiantes universitarios de primer año (Cros *et al.*, 1988). Este hallazgo no implica necesariamente que la utilización de la teoría de Arrhenius es más fácil para los alumnos un razonamiento de causalidad simple, como sugieren Pozo y Gómez-Crespo (1998:174), ya que dicho aspecto no fue evaluado en dichos estudios.

De hecho, se puede observar que en el propio estudio de Bardanca *et al.* (1993), los estudiantes de los primeros años de secundaria se decantan por definiciones empíricas o cotidianas, a nuestro efecto, generalizaciones empíricas, más que por ninguna teoría concreta. Además, para el caso de estudiantes universitarios de quinto de licenciatura de farmacia tenemos que sólo un 7% utilizó la teoría de Arrhenius para describir ácidos y bases, un 33% la de Brønsted-Lowry y un 53% restante hibridaba la teoría de Lewis con la de Brønsted-Lowry (Bardanca *et al.*, 1993).

Este y otros hechos indican que la descripción de ácidos y bases analizada en ámbitos escolares parece estar anclada, sin patrón evolutivo demostrado, con los contenidos de los currículos y aún no se ha podido determinar que esté vinculado expresamente a una serie de esquemas de razonamiento ancladas en etapas piagetianas, como pretenden indicar Pozo y Gómez-Crespo (1998:174). No obstante, el razonamiento no debe ser olvidado, ya que es una constante en esta tesis entendido como proceso, ya que Demerouti *et al.* (2004), han observado que existe una conexión con el estilo cognitivo y el grado de desarrollo en el estudio de temas ácido-base.

En apoyo de las hibridaciones teóricas halladas por Bardanca *et al.* (1993), Peña y Caamaño (2002), encontraron que estudiantes de Bachillerato tienden a mezclar postulados de varias teorías, lo cual también aparece en los libros de texto examinados, otra pista más sobre el posible paralelismo entre los conceptos que guardan los alumnos y el contenido impartido.

Difícil es también, deducir que a los alumnos les baste con un razonamiento causal-secuencial, como indican Pozo y Gómez-Crespo (1998:174), en su análisis, para la interpretación de la teoría de Arrhenius y no para la de Brønsted-Lowry o Lewis.

El razonamiento que supuestamente se requiere desde los postulados de una teoría no tienen que ser los que utilice un alumno para interpretarlos. Hasta la fecha no existen estudios que permitan entender si la comprensión de la teoría de Arrhenius se hace desde un razonamiento causal-secuencial o simultáneo y que el resto de teorías estén mal comprendidas a causa de un razonamiento causal-secuencial o bien comprendidas a causa de un razonamiento de causalidad múltiple.

Podría entenderse, por ejemplo, que un ácido de Arrhenius cede su protón al disolvente y asimismo que un ácido de Brønsted-Lowry le cede su protón a una base; ambos procesos vistos desde una misma perspectiva causal-secuencial si lo entendemos como Pozo y Gómez-Crespo (1998:174) plantean. La diferencia entre Hawkes (1992) y Pozo y Gómez-Crespo (1998:174), radica en que el primero culpa simplemente a los contenidos mientras que los segundos prefieren indicar que son las teorías implícitas las culpables.

Si examinamos atentamente el artículo de Silverstein (2000), donde se utiliza la analogía con el fútbol americano para explicar la teoría de Brønsted-Lowry, se puede observar que el razonamiento demostrado en la disociación de los ácidos sigue el patrón del supuesto razonamiento causal-secuencial o causalidad-lineal descrito por Pozo y Gómez-Crespo (1998:174) y también por Jiménez-Liso *et al.* (2003), en el caso de las titulaciones ácido-base.

La cuestión en torno al tipo de razonamiento y las tres teorías ácido-base parece estar lejos de solucionarse, especialmente con la teoría de Lewis que cuenta con escasos estudios. Esta polémica frente a la teoría de Arrhenius se ha decantado, en el caso de la IUPAC, por resolverlo a favor de la postura de Hawkes (1992). Podemos observar que en los glosarios de términos de esta asociación internacional (IUPAC, 1999; McNaught y Wilkinson, 1997; Nic *et al.*, 2006) que regula la utilización de todos los contenidos utilizados en la química actual ha desaparecido la visión de Arrhenius de los conceptos de ácido y de base. De hecho, se comienza por la de Brønsted-Lowry y se añade la de Lewis.

Retomemos, tras el análisis de las limitaciones y debates de la teoría de Arrhenius, nuestro desarrollo histórico. Las reacciones de disociación electrolítica de ácidos y bases tenía como fundamento que el proceso se realiza en disolución acuosa de ahí el carácter central de la suma del protón y en grupo hidroxilo para dar agua en una reacción de neutralización. Tengamos en cuenta que muchas de las investigaciones se realizaban en sistemas biológicos o naturales cuyo componente fundamental es el agua. De ahí la aceptación y validez casi universal de lo aportado por Arrhenius.

A pesar del éxito, las investigaciones científicas no se detuvieron ahí, no sólo por el propio espíritu científico sino porque hemos visto que se acumulaban argumentos en contra de la generalidad propuesta por esta teoría, ¿qué ocurriría si el sistema cuyo disolvente no fuera el agua? Se hacía necesario saber si estábamos frente a una teoría global o local pues no se habían planteado hasta el momento las reacciones ácido-base en otros disolventes distintos del agua e incluso sin agua.

En este punto, algunos textos (Babor e Ibarz, 1962; López, 2003; Stumm y Morgan, 1981; Wade, 2004), que se pueden tomar como representativos de la evolución cronológica de las teorías ácido-base, suelen dar un salto que nos puede llevar a pensar que la teoría de Brønsted-Lowry apareció como de la nada justo después de la teoría de Arrhenius en una especie de ruptura. Esto supone la misma idea que no considerar la teoría dual de Berzelius como un

cierto precedente de la de Arrhenius lo que nos dejaría fuera de contexto. Dedicados a la didáctica de las teorías ácido-base que siguen este mismo esquema tendríamos los trabajos de Caamaño (2003) y Furió-Más *et al.* (2005) a los que le faltarían otras teorías o ideas que complementan las que presentan de una manera más lógica.

Otros textos (Rubinson y Rubinson, 2000; Nelson y Cox, 2006; Spiro y Stigliani, 2004), centrados en contenidos, aplican una síntesis o visión moderna del contenido donde mezclan parte de las tres teorías principales, muchas veces incluso ignorando a Arrhenius, sin dar lugar a una transición ni explicaciones de cómo se llega a estas informaciones; es una especie de concepción pragmática muy parecida a lo que nos indicara Rubinstein (1963).

Parecidos a este enfoque tenemos, en el ámbito de la didáctica, algunos textos representativos (McDuell *et al.*, 2000; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Taber, 2002), que dispersan el contenido ácido-base dentro de otros temas como por ejemplo: en el concepto de reacción química (McDuell *et al.*, 2000; Taber, 2002) o en el de dualismo de razonamientos causales secuenciales/ razonamientos de causas múltiples o simultáneas (Pozo y Gómez-Crespo, 1998). Finalmente, Jiménez-Liso *et al.* (2002), tomándolo de Moeller (1988), sí describen la teoría de los sistemas disolventes aunque es Kolb (1978), quien mejor conecta ambas.

La teoría de Arrhenius comenzó a ser entendida como una teoría particular tras la nueva generalización propuesta por Edward Franklin en 1905 ya que su validez estaba restringida a aquellas reacciones que se producían en agua. Por ello, ya los científicos se habían planteado qué podría estar ocurriendo en reacciones donde el disolvente no fuese el agua o bien donde no existiese disolvente.

Por tanto, se vuelve a producir una nueva generalización por medio de Franklin (1912), quien estudiando las reacciones del cloruro de amonio con la amida de sodio disueltas en amoníaco, concluyó que eran de tipo ácido-base a pesar de

no estar presentes ni protones ni hidroxilo. La reacción estudiada era: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNH}_2 = \text{NaCl} + 2\text{NH}_3$ y que perfectamente puede ser sustituida por una de las propuestas por Arrhenius en disolvente acuosos como sería: $\text{HCl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$. Desde el punto de vista de la teoría electrolítica, en la primera reacción se combinarían los radicales amida (NH_2^-) y amonio (NH_4^+) para dar lugar a dos moléculas del disolvente (NH_3), por lo que una reacción de neutralización daría lugar a una sal más el disolvente.

Esta reacción, sugirió Franking (1912), es análoga a la propuesta por Arrhenius para la neutralización, vista también como un intercambio de radicales, en la cual se produciría la neutralización mediante la unión de un grupo hidroxilo (OH^-) más un protón (H^+) y formándose una molécula de disolvente. Mediante la nueva generalización de Franklin quedó patente que no era necesaria el agua como un disolvente para que se produjese una reacción ácido-base, esto deja fuera la idea de la presencia exclusiva de grupos hidroxilo como condición *sine qua non* para ser una base. El protón seguía sin sufrir un revés como una especie de elemento acidificador ya que seguía presente en los dos disolventes estudiados hasta el momento.

De acuerdo con Kolb (1978), el propio Frankling (1912) indicó que, en la reacción de formación de dos moléculas de amoníaco líquido a partir de la amida y el amonio, el primer reactivo actuaría como una base y el segundo como un ácido. De acuerdo con esta autora, podemos entender que prácticamente se encuentra aquí la base para la posterior teoría de Brønsted-Lowry y se desestima ese salto tan grande que se observan en otros textos que ya se ha analizado con anterioridad. Lo único que faltaba era dar el golpe de gracia creando ahora una generalización mayor.

2.2.6. Desde la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry hasta la teoría de Lewis.

Aún no se ha comentado sobre aquellas reacciones ácido-base que no se produjesen en el interior de un disolvente para completar nuestra exposición.

Resulta que si se hacen reaccionar ácido clorhídrico (HCl) con amoníaco (NH₃) ambos en fase gaseosa, se produce la siguiente reacción: $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$. De aquí se dedujo un nuevo principio generalizador, el cual indica que en las reacciones ácido-base lo que se produce es una transferencia de un protón desde un reactivo a otro sin la intervención de un disolvente. Si extrapolamos estos resultados al agua o al amoníaco se observa el mismo resultado, una transferencia de protones. Si además seguimos la clasificación de Franklin (1912, 1924), sobre qué era una base y qué un ácido, se sobreentiende que el ácido es aquel compuesto que cede el protón y la base aquel que los capta.

Estos resultados son los que probablemente llevaron, probablemente, a Thomas Martin Lowry y a Johannes Nicholas Brønsted a formular la teoría protónica de ácidos y bases que publicaron en un congreso de manera independiente y simultánea en 1923. No obstante, indica Kolb (1978), que aunque ambos químicos la propusieron de manera independiente, fue Brønsted quien la desarrolló posteriormente por lo que muchas veces podemos encontrar que se refieran a esta teoría como teoría protónica de Brønsted simplemente, algo en lo que no está del todo de acuerdo Moeller (1994:625), quien considera arbitrario el orden en que se trata a estos autores.

Una de las máximas diferencias que encontraremos respecto a Arrhenius resulta en el carácter relativo de la etiqueta ácido o base ya que esto dependerá de con qué compuesto se reaccione, es decir, ya no estamos en un caso de absolutismo ácido-base sino de relativismo ácido-base. En la teoría de Arrhenius o se era ácido o se era base ya que el patrón lo indicaba la disociación electrolítica, mientras que ahora el patrón lo va indicar la reacción verificada por lo que en un caso un compuesto puede actuar como base pero en otros casos como ácido, todo depende de a quién se enfrente.

Por consiguiente, mediante el desarrollo descrito, el proceso primario de un compuesto considerado ácido es ceder un protón a otro compuesto, esto nos lleva no a una definición de ácido de carácter absoluto y de la que se necesita un elemento acidificador sino del tipo de reacción que se verifica.

No obstante, el protón es ahora la partícula central de esta teoría en torno a la cual giran todos sus postulados. Se define, por ende, al ácido como todo aquel compuesto que ceda protones a otro, es decir, como un *dador o donador de protones*. Si alguien pierde protones, es porque otro compuesto los ha captado, según se desprende del estudio de las anteriores reacciones, por ello las bases son los compuestos *aceptores o captadores de protones*.

Pues bien, el proceso de captar o ceder un protón es reversible ya que si un ácido pierde un protón adquiere la posibilidad de volver a captarlo y en el caso de una base, una vez captado un protón adquiere ahora la posibilidad de cederlo. El ácido al ceder el protón se convierte en base, en una base conjugada; la base al captar un protón se convierte en ácido, su ácido conjugado. Toda la reacción pasa a denominarse *doble sistema conjugado*.

Moeller (1994:625), considera que las definiciones que acabamos de mencionar sobre los ácidos y las bases no está libre de complicaciones, siendo Brønsted quien en su publicación original definiera claramente lo que se consideraba un ácido y o una base mientras que Lowry habló del carácter único del protón pero no llegó a definir los mencionados términos aunque mucho del contenido de sus investigaciones se expone claramente las ideas claves que coinciden con Brønsted. Según este mismo autor, también se suelen ignorar las aportaciones de Bjerrum, un colega de Brønsted, que fueron muy importantes.

Bajo esta nueva visión se debe cambiar la reacción de autoprotólisis del agua. En el caso de Arrhenius debía ser vista como una disociación electrolítica, a saber: $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$, mientras que ahora pasa a ser un un equilibrio de un doble sistema conjugado que requiere de la participación de dos reactivos y dos productos, con lo que nos queda: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$. Aparece el ión hidronio (H_3O^+) cuya existencia a venido a ser tan discutida en la actualidad (*videtur*: Silverstein, 2000, 2011, 2014).

Las reacciones entre ácidos y bases para formar los correspondientes ácidos y bases conjugados pasan a denominarse *reacciones protolíticas* la transferencia

del protón de uno a otro es conocido como *protólisis*. Para Babor e Ibarz (1962), no se diferencian sustancialmente los compuestos que en la nueva teoría son considerados ácidos y bases en disolución acuosa por Arrhenius ya que son igualmente considerados ácidos, el ácido clorhídrico (HCl), el ácido sulfúrico (H₂SO₄) y el ácido acético (CH₃COOH) entre otros; se incluirían también el SH⁻ y el NH₄⁺, que presentaban problemas en la teoría de Arrhenius.

Para el caso de las bases, los hidróxidos de tipo iónico como el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) siguen siendo bases de Brønsted-Lowry pero con una salvedad, quien realmente ostenta la propiedad básica no es el hidróxido en sí sino el grupo hidroxilo (OH⁻), que es el que tiene la posibilidad de captar protones y que puede hacerlo una vez se ha disociado el compuesto en agua.

En este punto se muestra muy de acuerdo Carr (1984), quien ya había denunciado en los libros que analizó como se obvia esta cuestión. Caamaño (2003), se une a esta afirmación, indicando que la auténtica base es el grupo hidroxilo. Finalmente queda zanjada la cuestión del amoníaco (NH₃), al cual no es preciso imaginarlo en su reacción con el agua para formar el hidróxido iónico correspondiente que debía disociarse, sino que el amoníaco en sí ya posee la posibilidad de captar un protón, lo que le convierte en base, incluso en la reacción con el agua, donde abstraería un protón de esta molécula, liberando grupos hidroxilos responsables del carácter básico de la disolución resultante.

En este sentido, no se puede comprender la postura de Caamaño (2003), quien indica que la teoría de Arrhenius se sitúa en un nivel macroscópico cuando sabemos que depende de un nivel microscópico sino, ¿por qué hablamos de grupos hidroxilo y protones disociables? ¿Son éstas entidades macroscópicas? Además termina redundando en que la teoría de Brønsted-Lowry las propiedades de ácido y de base está en las moléculas o en los iones que básicamente es lo mismo que ha propuesto Arrhenius, la propiedad de ácido o de base dependía de determinados grupos químicos microscópicos de la molécula que eran disociables como iones o no.

La fuerza de ácidos y bases es otra de las ideas que sufre modificaciones en la nueva teoría. Fue Ostwald quien había establecido las medidas de conductividad equivalente como una manera de llegar a entender la fuerza de los ácidos y las bases. Actualmente sabemos que un ácido débil suele estar bastante ionizado a diluciones muy bajas para luego comenzar a decrecer hasta mantener un valor aproximadamente estable; por otra parte, los ácidos fuertes están prácticamente disociados desde el principio aunque con el aumento de la concentración aparecen las interacciones eléctricas que desvirtúan las medidas de conductividad. Estos aspectos son convenientemente explicados por Babor e Ibarz (1962: 403 - 410) y por Vinagre *et al.* (2013: 254-289).

Con la nueva visión de Brønsted y Lowry, la fuerza de ácidos y bases no va a depender tanto del grado de disociación del electrolito sino que dependerá de la comparación de los compuestos frente a una escala común. Babor e Ibarz (1962), explican que, en concordancia con Brønsted, la fuerza de un ácido o de una base debe medirse por su tendencia a aceptar o ceder los protones en acuerdo con las nuevas definiciones características de ácidos y bases.

En la reacción ácido-base, si un ácido presenta una fuerte tendencia a ceder protones su base conjugada necesariamente poseerá una escasa tendencia captarlos convirtiéndola en débil; si una base, tiene una fuerte tendencia a captar protones, su ácido conjugado debe ser necesariamente débil. El proceso inverso en este equilibrio de sistemas conjugados implica que un ácido que tenga escasa tendencia a donar un protón dará lugar a una base conjugada fuerte y una base débil que tenga escasa tendencia a aceptar protones dará lugar a un ácido conjugado fuerte.

Visto así el proceso parece unidireccional en el que sólo importa la tendencia de uno de los compuestos, pero nos aclaran Babor e Ibarz (1962), que se trata de un juego de dos, en la reacción va a importar tanto la tendencia a ceder como la tendencia a captar *simultáneamente*. Por ejemplo, en la disolución del ácido acético (CH_3COOH) en agua, se verifica que la constante de equilibrio

está muy desplazada hacia la izquierda (K_a muy pequeña en valor), es decir, está poco disociado el ácido acético en agua. Esto depende de la fuerza del agua como base para abstraer un protón del ácido acético y del propio ácido acético para ceder ese protón al agua.

Para babor e Ibarz (1962: 417), en las reacciones de transferencia de protones el sentido de la reacción está desplazado hacia la formación del ácido más débil o de la base más débil; en nuestro anterior caso el ácido acético es débil por ello está poco disociado y el equilibrio se encuentra desplazado hacia la izquierda.

Dejemos al margen estas supuestas reglas e intentemos ahora continuar con nuestro razonamiento aplicándolo a este problema de las fuerzas o tendencias de ceder y aceptar protones. Siguiendo este postulado, así sin más, para establecer si un ácido o una base es fuerte o débil tendríamos que medir la diferencia de fuerzas entre los dos reactivos y establecer la debilidad o la fortaleza de un compuesto para cada reacción. Dada la relatividad de esta diferencia de fuerzas no sería posible concluir para un compuesto una fuerza concreta única pues esta dependería de la reacción, lo cual, no sólo sería tedioso sino además excesivamente empírico obligándonos a cambiar el valor de la fuerza asignada a un ácido/base en dependencia de con cuál compuesto reacciona.

Es también, esta supuesta fuerza o tendencia, una medida un tanto ambigua pues no se aclararía si un ácido/base es fuerte o débil en términos generales sino que dependería de cada caso. No nos permitiría realizar comparaciones tampoco, pues no tenemos valores absolutos sino relativos dependientes de la reacción. Tanto la relatividad como la ambigüedad puede corregirse, sólo hasta cierto punto, si se utilizase una escala de referencia común.

Vamos a utilizar la síntesis de dos datos conocidos y su vinculación a nuestro problema químico lo cual nos ayudará a comprender cómo se puede llegar a la escala de fuerzas general para ácidos y bases; recordemos que nuestro

objetivo es asignar un valor de fuerza lo más general posible a cada compuesto y que además permita la comparación entre ellos. El primero de nuestros datos es aquel vinculado a los procesos de medida. Sabemos que medir es comparar y por tanto medir, vendría a indicar la magnitud o el tamaño de algo en su comparación con un *estándar* o *patrón común*; esto último es lo más importante para nosotros. De ejemplos de patrones, está repleta la química, como es el caso del *gramo* que se define exactamente como 1/1000 de una masa estándar que fuese idéntica a una masa de 10⁴ mL de agua a la temperatura de su densidad máxima registrada a 3,98°C; este patrón para el gramo se mantiene en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas en París.

¿Cómo podría aplicarse esta comparación con un patrón común en nuestro caso? Intentar establecer una medida de la fuerza de la base/ácido según cada reacción nos lleva a que el patrón de comparación va cambiando constantemente y es imposible entender si es débil o fuerte ya que es una magnitud que depende de los dos y no de un sólo. Realmente la comparación frente a un patrón común y la medida en general no son más que reglas proporcionales, una unidad establecida se denomina como un gramo, por lo tanto, otra unidad debe ser comparada proporcionalmente a la unidad de referencia para poder establecer su valor en la dicho nuevo sistema. De aquí ha surgido el Sistema Internacional de Unidades (SI) que se aplica actualmente en prácticamente todo el mundo. Ahora cabría preguntarse qué patrón universal podríamos utilizar para comparar dos ácidos o dos bases o en fin un sólo valor de fuerza que asignar a cada compuesto.

En la teoría de Brønsted-Lowry, en concordancia con varios autores (Jiménez-Liso *et al.*, 2002; López, 2003:194), ese patrón no es otro que el disolvente, el agua. Lo que se realiza entonces para asignar un valor de fuerza común y único para cada compuesto es comparar cómo se comporta frente al agua en el proceso de ionización: si le cede un protón al agua es un ácido, si por el contrario, se lo retira entonces es una base; esto se produce gracias al doble comportamiento del agua como ácido y como base conocido como *anfoterismo* ácido-base como bien nos recuerda López (2003:194). La constante de

equilibrio o constante de ionización sería la forma cuantitativa de medir esto y se denomina como K_a para el caso de los ácidos y como K_b para el caso de las bases.

Ahora nos faltaría tener en cuenta nuestro segundo principio, el cual también está relacionado con la comparación. Este principio es muy conocido y se aplica en matemáticas y también en química. Si tenemos una propiedad A que es equivalente a una propiedad C y a su vez tenemos otra propiedad B que es equivalente también a la propiedad C, podemos concluir por igualdad con un patrón común que A es igual a B. ¿Cómo se aplica a nuestro problema este principio? Derivando del patrón común el cual es el agua, podemos ahora comparar a través de su eliminación dos compuestos directamente si comparamos sus constantes de ionización.

No queremos en este caso utilizar la condición de igualdad sino la de comparación entre constantes de equilibrio; así, si $A > C$ y $B < C$, nos quedaría que $A > B$. Este principio es también utilizado en el ámbito de la química-física, concretamente Atkins (1999:16-17), lo utiliza como experiencia mental para definir lo que él cataloga como principio cero de la termodinámica que nos indica que si un objeto A se encuentra en equilibrio térmico con otro objeto B y a su vez éste se encuentra en equilibrio térmico con un tercer objeto C, entonces C debe estar en equilibrio térmico con A necesariamente. El objeto B ha sido el nexo común que permite a Atkins (1999), establecer el equilibrio térmico entre dos objetos, A y C, que no se han comparado directamente entre ellos.

Para Atkins (1999: 16-17), el principio cero de la termodinámica justifica el uso del concepto de temperatura y por consiguiente el empleo de un termómetro, no comparándose directamente las temperaturas de dos cuerpos sino a través de un patrón común que puede ser, en este caso, la longitud de la columna de mercurio de un termómetro. El principio cero de la termodinámica utiliza las dos ideas que aquí exponemos para medir la fuerza de un ácido o una base: la

comparación mediante un nexo común y la utilización de un patrón de referencia.

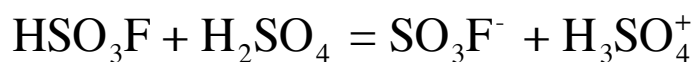
Por ende, el principio del patrón común explica la comparación directa entre las fuerzas cuantitativas de los ácidos y las bases y así es posible conocer qué ácidos son más fuertes que otros o que bases son más fuertes que otras lo que en caso de reacción pronostica quién actuará como base y quién como ácido, siendo incluso ambos compuestos catalogados como bases o como ácidos.

Antes habíamos explicado que amparándonos única y exclusivamente en las definiciones de ácido y base proporcionadas por Brønsted y Lowry para entender la fuerza de cada uno de ellos debíamos establecerlas a partir de su comparación con el compuesto con el que reaccionase en ese momento. Esto puede ser eliminado gracias a la utilización del agua como patrón común que permite, por el principio de comparación que antes se expuso, comparar directamente dos constantes de equilibrio de dos compuestos y en función de su valor predecir si abstraerá o donará un protón.

Esta idea de relatividad del carácter ácido-base, es una de las características que más impacta respecto de la teoría de Arrhenius que determinaba un carácter absoluto a las sustancias. Para Arrhenius los compuestos o eran bases o eran ácidos pero no se podía ser una u otra cosa dependiendo de la reacción. Esta idea desaparece con Brønsted y Lowry.

Son Kovács *et al.* (2014), quienes nos muestran un ejemplo realmente singular de esta visión. Si buscamos en cualquier texto de química la constante de equilibrio del ácido sulfúrico, encontramos que posee un elevado valor del pK_a , el logaritmo cambiado de signo de su constante de equilibrio, lo que lo coloca como uno de los ácidos más fuertes si está concentrado. Tanto en la teoría de Arrhenius como en la de Brønsted-Lowry es difícil imaginarlo actuando de otra forma que no sea como ácido. Sin embargo, como nos indican Kovács *et al.* (2014), aunque pueda parecer peculiar, y a pesar de su nombre, el ácido

sulfúrico puede actuar en algunas reacciones como una base aceptando un protón, veamos:



Esto ocurre porque el HSO_3F es un ácido más débil que el sulfúrico obligando a éste a actuar como una base que extraiga un protón. Por consiguiente, la escala de valores de pK_a que se construye basándose en el agua como punto de referencia común, se utiliza de referencia para determinar cómo actuará cada compuesto según un valor calculado además de que cuando en una reacción se establece competencia entre bases o entre ácidos es posible saber quién actuará primero y quien después.

Kauffman (1988), por ejemplo, considera la tabla de valores de K_a como una analogía de aquella que se propuso para las reacciones de reducción-oxidación, en dónde se tiene en cuenta la tendencia a ceder un electrón a otro compuesto y que permite diferenciar los compuestos químicos como reductores u oxidantes. Si el valor de E^0 es la clave para entender la tendencia a perder un electrón, considera Kauffman (1988), que para nuestro caso es el valor de la K_a o del pK_a el que describe la tendencia hacia la pérdida del protón.

Coinciden, tanto Babor e Ibarz (1962:417), como Kauffman (1988), que es problemática la inclusión de la concentración del agua en la constante de equilibrio (K_a). Babor e Ibarz (1962:417-418), basándose en la ley de dilución de Ostwald, prefieren multiplicar el valor de 55,5 M del agua por el valor de K transformándolo en la K_a o constante de ionización; no obstante, Kauffman (1988), da un paso más allá comentando que si la actividad del agua fuese considerada como 55M en vez de 1M en las disoluciones acuosas diluidas, la K_a valdría aproximadamente 50 para el ión H_3O^+ , lo que le convertiría en un ácido más fuerte que el nítrico (HNO_3) y para el caso del agua la K_a vendría a valer aproximadamente 10^{-16} lo que la convierte en un ácido más débil que el HS^- .

Este análisis demuestra que ninguna teoría está exenta de problemas más aún cuando se trata de disoluciones, aunque una solución moderna a este incidente, de acuerdo con Babor e Ibarz (1962:417), es la propuesta por López (2003:194) considerar constante la concentración del agua y eliminarla de la constante de equilibrio tanto para los ácidos como para las bases. Al respecto de utilizar el agua como patrón común, nos indica también Kauffman (1988), que los términos débil o fuerte aplicados a las bases y a los ácidos es relativo, como ya hemos mencionado con anterioridad, más que absoluto ya que el agua determina esta característica y en el caso de que cambiemos de disolvente todos los valores cuantitativos de fuerza cambiarían; en este aspecto, estaríamos muy limitados por el disolvente.

Esto se relaciona además con el *efecto nivelador del disolvente* por el cual el ácido más fuerte que puede existir en agua es el ión hidronio (H_3O^+) ya que en caso de reacción de un ácido fuerte con el agua éste tenderá a donarle sus protones y a mantenerse disociado mientras que el ión hidronio se quedará como está; análogamente, la base más fuerte que puede existir en disolución acuosa es el ión hidróxido (OH^-) puesto que es el único que se mantiene pues las bases fuerte tienden a extraer un protón del agua y convertirse en ácidos.

Este efecto se deduce fácilmente de las constantes de equilibrio, si el agua es una base más fuerte que otro compuesto abstraerá el protón formándose el ión hidronio por lo que este es el ácido más fuerte posible ya que el equilibrio no tenderá hacia la formación del ácido disuelto. Para las bases ocurre que si un compuesto es una base más fuerte que el agua le abstrae el protón a ésta formándose iones hidroxilo que son la base más fuerte posible. Otra forma de comprenderlo es observando que por encima del valor de la constante de ionización del ión hidronio el resto de constantes de equilibrio no dan un valor fijo sino elevadísimo ya que están completamente disociados en agua, por ello a partir del ión hidronio se hace imposible establecer un valor de fuerza concreta ya que no pueden distinguirse; lo mismo ocurre para las bases, por debajo del valor de la constante de disociación de la molécula de agua, todas

las bases están plenamente disociadas y el valor de las constantes de equilibrio es prácticamente infinito y no puede distinguirse entre ellas.

Para determinar estos valores, no recuerda Kauffman (1988), debemos recurrir a otro disolvente que supere los límites del agua entre en el rango de fuerza de los compuestos que quieren ser medidos: como ejemplos de esos otros disolventes tenemos al amoníaco y al ácido acético. Tanto para el agua como para otros disolvente ocurre que el límite de fuerza está determinado por las dos iones que se producen a causa de la autoprotólisis de dicho disolvente.

Una última consideración interesante, Hawkes (1992), plantea que deberíamos modificar la concepción de Brønsted-Lowry y definir un ácido como toda sustancia de la cual es posible extraerle un protón y una base como toda sustancia que es capaz de extraer un protón a un ácido. Tras el tratamiento de la teoría ácido-base de Brønsted y Lowry se suele saltar directamente hacia la teoría electrónica de Lewis, quizás porque esta es más general y porque veremos que es de las tres que más aceptación ha tenido en el ámbito químico, sin embargo, cronológicamente su formulación apareció justo cuando se publicaba la de Brønsted y Lowry.

Mientras, siguiendo con la dinámica de los disolventes y la presencia o ausencia de protones en ellos, aparece en 1925 la teoría del químico Albert F. O. Germann quien investigaba sobre sales y otros disolventes que no fuesen protónicos. Esta teoría, basada en los postulados de Franklin sobre el amoníaco como disolvente, es una generalización de aquella sobre los disolventes que poseen protones pero que experimentan ionización. Se entiende que permanece una influencia importante, que continuará en las demás teorías, del aporte de Arrhenius de los procesos ácido-base relacionados con la disociación electrolítica.

En el examen realizado por este científico de las reacciones del cloruro de aluminio (AlCl_3) y el fosgeno (COCl_2), él encuentra una analogía con las reacciones ácido-base de ionización, tanto en el disolvente sólo como en su

reacción con determinados solutos, por lo que considera que el concepto de reacción ácido-base debe extenderse también a este tipo de disolventes.

La reacción de disociación del disolvente fue: $\text{COCl}_2 = \text{COCl}^+ + \text{Cl}^-$, y cuando reacciona con el cloruro de aluminio es: $\text{AlCl}_3 + \text{COCl}_2 = \text{AlCl}_4^- + \text{COCl}^+$. Para German, el efecto del cloruro de aluminio sobre el disolvente era aumentar la concentración del catión del disolvente (COCl^+). Kolb (1978), indica que para Germann el sistema ácido-base lo determina el disolvente, algo que ya sabíamos desde la teoría de Brønsted-Lowry por lo que no aporta nada nuevo.

La idea de Germann era expandir la antigua teoría de Franklin a disolventes no protónicos pero finalmente no parece que obtuviese mucho resultado. Siguiendo sus postulados, un ácido es aquel compuesto que al disolverse incrementa los cationes del disolvente como el caso anteriormente expuesto. Por el contrario, un soluto que incremente los aniones del disolvente sería considerado como una base. Los ácidos, por consiguiente, serían sustancias *cationotrópicas* y las bases serían sustancias *anionotrópicas*.

Enfatiza Kolb (1978), que a pesar de ser una teoría con pretensiones de generalidad superiores a las de Arrhenius o Brønsted-Lowry posee grandes limitaciones entre las cuales se incluye la presencia inevitable de un disolvente, que vimos era uno de los puntos débiles de Arrhenius, y que este disolvente esté poco disociado. Moeller (1994:635), establece que tanto la teoría del amoníaco de Franklin como la de German caerían dentro de un grupo denominados *sistema disolvente* por basarse en la autoionización de éstos; además de afirmar que a pesar de que estos autores son los más reconocidos es difícil adscribir su formulación a uno de ellos en concreto y que deberíamos interpretarlo como ideas fundamentales que se estaban barajando y trabajando en la época.

Dentro de esta categoría también caerían la teoría de Arrhenius y gran parte de la teoría de Brønsted-Lowry porque se basan en reacciones ácido-base en un disolvente autoionizable el cual es el agua. Se demostró por simple analogía,

explica Moeller (1994:635), que muchos disolventes protónicos anhidros (e.g.: N_2H_4 , NH_2OH , CH_3COOH , H_2SO_4 , HSO_3F) y apróticos (e.g.: SO_2 , SeOCl_2 , BrF_3 , IF_5 , AsCl_3 , POCl_3 , N_2O_4) experimentaban una autionización y por consiguiente se podían incluir dentro del comportamiento ácido-base. Lo que realmente sorprende es que, como indica Moeller (1994: 635), en ocasiones no existe la certidumbre de que estas especies ionizadas existan sino que han sido establecidas por analogías de comportamiento.

Con esto en mente y ampliando la definición de sustancias *cationotrópicas* e *anionotrópicas*, expone Moeller (1994:635), que existen varios criterios para distinguir entre los ácidos y las bases. Así, un *ácido dador* sería una sustancia capaz de liberar cationes propios del disolvente o que pueda combinarse con moléculas del disolvente para formar cationes. Un *ácido aceptor*, por el contrario, se combinaría con aniones propios del disolvente. Una *base dadora* es aquella que puede liberar aniones propios del disolvente o que podría combinarse con las moléculas del disolvente para formar aniones. A su vez, las *bases aceptoras* serían las que podrían combinarse con cationes propios del disolvente.

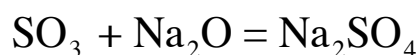
Realmente estos criterios y su aplicación son enrevesados y además complican la cuestión en su búsqueda de la generalidad, dependen mucho del disolvente y de la relación que guarde el compuesto disuelto en él. Es quizás este hecho el que haya llevado a que en la actualidad estas teorías no se utilicen con frecuencia, salvo para estudios sobre estos disolventes, y haya desaparecido de la mayoría de textos de química general e inorgánica.

2.2.7. Desde la teoría ácido-base de Lewis hasta la teoría de ABDB de Pearson.

Es la teoría de Lewis la que suele tratarse con posterioridad a la de Brønsted-Lowry aunque se publicó en 1923, a la par que ésta. Kolb (1978), explica que esta teoría era tan diferente con respecto a las que ya estaban en discusión que estuvo ignorada por quince años. Moeller (1994:639), coincide con esta

autora, mencionando que las ideas de Lewis fueron pasadas por alto hasta que él mismo las reformuló en año 1938. Aún así, sus ideas volvieron a necesitar de una revisión y posterior desarrollo. También Babor e Ibarz (1962:421), defienden esta postura, no obstante, explican ciertas reacciones químicas cuyo estudio permitió a Lewis realizar su generalización.

Es la idea de intercambio iónico la que parece reflejar mejor el concepto que se tenía de reacción ácido-base teniendo en cuenta además que se produjesen cambios muy parecidos a los que ocurren cuando se transfiere un protón, la idea modelo por así decirlo. La formación de una sal parecía ser también un criterio importante. Babor e Ibarz (1962:420), explican como la teoría de Brønsted-Lowry resulta insuficiente para describir reacciones que sin disolvente se produjese como resultado la formación de una sal. Los ejemplos planteados son la reacción del dióxido de carbono (CO_2) con el óxido de calcio (CaO) y la del trióxido de azufre (SO_3) con el óxido de sodio (Na_2O), como sigue:



Luego, Babor e Ibarz (1962:421), consideran que la reacción del cloruro de tionilo (Cl_2SO), con el sulfito potásico (K_2SO_3), disueltos en dióxido de azufre líquido (SO_2), da como resultado una sal ionizada (KCl) y dos moléculas de disolvente (SO_2), según la reacción:



Babor e Ibarz (1962:421), indican la analogía entre esta reacción y la ya conocida bajo el paradigma de Brønsted-Lowry, donde reaccionaran el ácido clorhídrico (HCl) y el hidróxido sódico (NaOH):



A primera vista parece difícil establecer este paralelismo, no obstante siguiendo a Babor e Ibarz (1962:421), estos resultados pusieron sobre la pista a Lewis para entender esas reacciones anteriores como una cesión parcial, en covalencia dativa, de un par de electrones desde el átomo de oxígeno hacia otro átomo; es decir, desde el lo que él consideró un óxido básico (SO_3^{2-} o bien el OH^-) hacia un óxido ácido (SO^{2+} o el H_3O^+). En disolución acuosa, el ión hidronio (H_3O^+) sería un óxido ácido pues posee una vacante para que se pueda enlazar con un compuesto rico en electrones, él es deficiente en electrones como lo indica su carga positiva; por otro lado, el ión hidroxilo (OH^-) es un óxido básico ya que posee electrones sobrantes que puede donar a un compuesto que no los posea.

Para Moeller (1994:639), son evidentes también estos criterios fenomenológicos, o sea empíricos, utilizados por Lewis para postular su teoría y que, por tanto, los principios de ésta son debidos más a interpretaciones de datos experimentales que a deducciones conceptuales. Dejando esto de lado, centrémonos en el criterio generalizador establecido por Lewis: la compartición de electrones entre dos compuestos para formar un enlace covalente dativo.

Este criterio entra en relación con la teoría electrónica de Lewis que formula en el año 1916 en su teoría sobre estructura de los enlaces químicos donde sugiere que la unión de dos átomos no sólo se debe a la cesión de electrones, como explicaba el químico Abegg (1904), sino también a la compartición de éstos. Al enlazarse de esta manera los átomos podían adquirir la configuración de gas noble que se entendía como la más estable.

Estas ideas sobre el enlace químico de covalencia se publicaron junto a las definiciones de ácido y base en su obra *Valencia y estructura de átomos y moléculas* en 1923. Por ello, no debemos pensar en los criterios generalizadores o la generalización teórica propuesta por Lewis (1923, 1938)

como algo que surgiera del vacío pues este autor ya estaba investigando anteriormente sobre este tema y finalmente pudo extender este criterio a las reacciones químicas de ácidos y bases.

Sigamos, después de las mejoras introducidas en la teoría, actualmente la formulación de ácido y base queda como sigue: ácido será considerado cualquier molécula, radical o ión que pueda aceptar uno o más pares de electrones, o sea, actúa como un aceptor de electrones porque tiene orbitales libres donde alojarlos y deficiencia de éstos. Por analogía con las disoluciones acuosas, un ácido se puede identificar con el protón (H^+) o el hidronio (H_3O^+) los cuales son deficientes en electrones y en una reacción ácido-base los alojarían formando un enlace; por el contrario, una base es cualquier molécula, radical o ión que puede donar uno o más pares de electrones porque los posee en demasía. También si seguimos nuestra analogía con las reacciones en disolución acuosa, el grupo hidroxilo (OH^-) es una base pues cuenta con un par de electrones libre que puede donar a otro compuesto formando, como ya se mencionó, un enlace covalente.

Prosiguiendo con este razonamiento, aparece un aspecto realmente muy interesante de la teoría de Lewis, el cual es la extensión de esta consideración a las moléculas orgánicas. Las teorías ácido-base que hemos tratado han estado, en menor o mayor medida, vinculadas a la química orgánica. No obstante, la teoría de Lewis es aplicable a toda la química del carbono y también en la química orgánica. Resulta sorprendente que siendo la más general prácticamente no se encuentre en los textos fuera de la química orgánica más que como una teoría ácido-base y más, sin que esto redunde en tratar los compuestos inorgánicos con enlaces y aplicar dicha teoría para entender las reacciones ácido-base desde esta perspectiva.

Los *ácidos* viene a ser conocidos en química orgánica como *electrófilos* puesto que ellos, por analogía con el protón, poseen cargas positivas y se combinan con aquellos compuestos que posean un exceso de electrones. Las *bases* se nombrarían como *nucleófilos* puesto que, por analogía con el grupo hidroxilo,

poseen pares de electrones libres que buscan ceder a un *ácido* o *electrófilo* para formar un enlace covalente. La afinidad de un átomo combinado por los electrones se conoce como *electrofilia* y la tendencia en cederlos se denomina *nucleofilia*, nos recuerdan Babor e Ibarz (1962:421). Esta idea da lugar a los mecanismos de sustitución nucleofílica (S_N1 y S_N2) y también, en algunos casos, de sustitución electrofílica.

Kolb (1978), resume que la teoría de Brønsted y Lowry quedaba limitada para los disolventes protónicos o bien para aquellas reacciones que involucraran la transferencia de un protón y que la teoría de Germann queda limitada para aquellos disolventes que se pueden ionizar levemente. A pesar de que ambas estaban intentando ampliar los conceptos de ácidos y bases ninguna era capaz de ser lo suficientemente general para incluir todas las reacciones de la clase. Estas limitaciones llevaron al químico soviético Mikhail Usanovich (1939), a proponer su teoría conocida como de tipo "*positivo-negativo*" como tentativa de explicar de una manera más universal las reacciones ácido-base intentando abarcar todo lo que se conocía hasta el momento. Usanovich (1939), define un ácido, de acuerdo con la exposición de Kolb (1978), como toda sustancia capaz de ceder cationes, considérense los típicos protones propuestos hasta el momento o cualquier otro, o combinarse con aniones.

Babor e Ibarz (1962:421), añaden que bajo esta teoría, los ácidos serán aquellos que formen sales con las bases y que capten electrones. Las bases son definidas como, nos muestra Kolb (1978), sustancias que cedan aniones o se combinen con cationes a lo que Babor e Ibarz (1962:421), completan que deben formar sales con los ácidos y ceder electrones. Kolb (1978), afirma que esta teoría fue rechazada por los químicos debido a que se centra en el intercambio iónico, es decir, da la impresión de que las reacciones ácido-base son reacciones de intercambio iónico y a que se incluyeron dentro de las reacciones ácido-base las de tipo reducción-oxidación; otros autores (Babor e Ibarz, 1962:421; Flood y Förlan, 1947), también la consideran excesivamente amplia al incluir prácticamente todas las clases de reacciones.

En el mismo año de la aportación de Usanovich (1939), indican Jiménez-Liso *et al.* (2002), basándose en los comentarios de Moeller (1988), que los científicos Hermann Lux y Håkon Flood proponen la teoría de cesión-captación de aniones óxido. Realmente, ocurre que fue Lux (1939), quien originalmente propuso en solitario la definición de ácido y base para el caso de las reacciones que involucraban óxidos. Así basándose en varias reacciones como los siguientes ejemplos:



arriban a la siguiente generalización:



Dicha generalización lógicamente teórica, permite inferir que una base es aquella especie química que poseyendo iones óxido en su composición esté formada por al menos uno de estos aniones y otro ión que se comporta como ácido. En resumen, una base sería una especie química que dona iones óxido y un ácido aquella que los acepta. Según estas definiciones, el comportamiento químico se produce al contrario que la propuesta de Brønsted-Lowry ya que en esta última teoría la bases siempre son captadoras (de protones en este caso) mientras que los ácidos los ceden. Posteriormente, son Flood y Förlan (1947), quienes la completan esta teoría y son los primeros en advertir la analogía con la teoría de Brønsted-Lowry, aplicando la siguiente generalización:



Flood y Förlan (1947), aportan una serie de datos sobre la descomposición de carbonatos y silicatos, equilibrios en reacciones de la metalurgia, etc., que vendrían a indicar la prevalencia de esta teoría sobre las propuestas hasta el momento para el caso del comportamiento ácido-base de los óxidos. Así,

explica sucintamente las limitaciones de otras teorías ácido-base para el caso de los óxidos.

Concuerdan con varios autores (Babor e Ibarz, 1962:421; Kolb, 1978) en que la teoría de Usanovich (1939), es demasiado amplia sin indicar porqué no puede utilizarse en este caso específico, explica que la teoría protónica no puede aplicarse por la ausencia de este ión y que la regla del octeto de Lewis-Langmuir (Langmuir, 1919; Lewis, 1916), posee limitaciones (Phillips, Hunter y Sutton, 1945), que impiden predecir el comportamiento de algunos óxidos como base (Flood y Förlan, 1947), para el caso de la teoría de Lewis (1923, 1938).

Lo que resulta sorprendente en esta teoría es la vuelta a ciertas ideas que ya habíamos visto en el devenir histórico. Se vuelve a tomar al oxígeno como un elemento central como ya lo hiciera Lavoisier, no obstante, la única referencia histórica que realizan Flood y Förlan (1947) se refiere a las generalizaciones empíricas que tenía Berzelius en cuanto a que la combinación de un ácido y una base daba lugar a una sal (definición clásica), sólo que en ese caso se clasificaban entre las bases a determinados óxidos como el CaO, MgO y el FeO mientras que se clasificaban entre los ácidos a óxidos como el SiO₂ o el CO₂.

El oxígeno vuelve a estar presente en forma de anión intercambiable entre los óxidos. Ahora no se es ácido porque se posea oxígeno sino porque se capte aniones óxido. Flood y Förlan (1947) mencionan, por ejemplo, las diferencias entre las fuerzas de varios oxoácidos respecto de la cantidad de oxígeno que poseen en su estructura dando incluso una explicación basada en los enlaces frente al átomo central.

Estos autores refieren que es preferible no incluir en las reacciones ácido-base a los sulfuros y fluoruros pero lo consideran un mal menor de la teoría de Flux (1939), respecto de lo que supondría utilizar el resto de teorías en los casos de los óxidos. Esta teoría está dentro del mismo caso general en el que se incluiría

la teoría de Brønsted-Lowry, a pesar de invertir el carácter de las definiciones, ya que es de tipo ionotrópico, o lo que es o mismo, teorías que están basada en procesos de transferencia de un determinado ión (Jiménez-Liso *et al.*, 2002; Moeller, 1988). Actualmente posee aplicaciones en el ámbito de la geoquímica, la electroquímica, disoluciones metálicas, etc.; le es imposible tener validez general.

2.2.8. Desde la teoría ABDB de Pearson hasta la actualidad.

El químico Ralph G. Pearson (1963, 1966, 1968a, 1968b) decidió concretizar la teoría propuesta por Lewis mediante la introducción de una clasificación donde se pudieran incluir la gran cantidad de especies químicas reconocidas por este nuevo paradigma. Resultando que no podían construirse solamente dos grupos como se esperaba: ácidos y bases, sino que se hace necesaria una distinción dentro de cada grupo.

Tanto ácidos como bases quedarían divididos en dos clases cada uno: duros y blandos. ¿Qué es entonces este nuevo parámetro de la dureza que genera esta distinción? Este parámetro comenzó como una aportación de carácter cualitativo más que de tipo cuantitativo al cual se llegó más adelante. Esta teoría ha dado lugar a muchas concepciones erróneas sobre la utilización del concepto de dureza química entre los científicos como ha reconocido el propio Pearson (1995) que necesitó escribir un artículo dedicado a esta cuestión revisando los principios de la teoría y sus aplicaciones.

Para Kolb (1978), esta teoría resultó en una buena acogida por parte de los químicos; no se equivocaba dado que tiene plena aceptación dentro de la oceanografía química. Esta idea se desprende del análisis de la combinación de los compuestos que han sido clasificados como ácidos o como bases siguiendo la teoría de Lewis. Es en los metales de transición donde esta teoría ha alcanzado su mayor éxito.

Dependiendo de la fuerza con la que se unan formando el complejo ácido-base fue que Pearson (1963, 1968a, 1968b) estableció su clasificación. En términos generales los complejos ácido-base que más fuertemente se enlazan están formados por la combinación de ácidos duros con bases duras aunque realmente la interacción es fuerte para ácidos y bases del mismo carácter; es más una preferencia que fuerza de interacción. Siguiendo esta idea, las bases blandas tienen una cierta preferencia por enlazarse o interactuar con ácidos blandos mientras que las bases duras la poseen respecto de los ácidos duros

¿Qué es entonces una base o un ácido duro? La dureza o blandura de estos compuestos va a estar relacionada con varios factores como pueden ser la electronegatividad, la polarizabilidad y el potencial de oxidación (Kolb, 1978). Esta clasificación es bastante informal, cualitativa como se explicó en primer término, además de que muchos ácidos y bases de Lewis se pueden considerar ambiguos ya que no todos son claramente identificables como duros o blandos. No obstante, los ácidos duros serían átomos *aceptores de electrones*, como corresponde a un ácido de Lewis, de *pequeño radio iónico o bien atómico*, según el caso, *escasamente polarizables* mientras que las bases duras serían aquellas que suelen retener fuertemente a sus electrones de valencia (IUPAC, 1999).

Si estamos hablando de moléculas, para lo cual debemos referirnos a orbitales moleculares en vez de orbitales atómicos, las bases duras serían aquellas que poseen un *orbital ocupado de más energía (HOMO* por su siglas en inglés) con baja energía y los ácidos duros los que posean un *orbital molecular desocupado de más baja energía (LUMO* por sus siglas en inglés) con elevada energía (IUPAC, 1999).

Como ejemplos de ácidos duros podemos citar a: AlCl_3 , Mg^{2+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , BF_3 y el representativo ión hidronio H_3O^+ . Respecto de las bases duras tenemos a: PO_4^{3-} , NH_3 , F^- , SO_4^{2-} y el siempre representativo OH^- , también pueden incluirse las aminas, los alcoholes y los éteres. La contrapartida a los ácidos y bases duras son los blandos que podríamos indicar como que les falta dureza. Las

bases blandas tienen preferencias por enlazarse con ácidos blandos también de manera fuerte. Los ácidos blandos son sustancias *fácilmente polarizables* y las bases blandas son aquellas que poseen un exceso de electrones que son fáciles de arrancar. Como ejemplos de ácidos blandos tenemos a: BH_3 , I_2 , Br_2 , Cd^{2+} y Hg^{2+} . Bases blandas serían: CN^- , S^{2-} , CO y otros compuestos orgánicos como el benceno.

Generalmente, si hablamos de orbitales atómicos, las bases blandas poseen electrones alojados en orbitales *d* mientras que los ácidos blandos poseen estos mismos orbitales vacíos (Kolb, 1978). Cuando se trate de moléculas debemos hacer referencia a los orbitales moleculares, como ya se ha hecho con los ácidos-bases duros, para clasificar las bases y ácidos blandos. Así, sucede al contrario que los duros, las bases blandas moleculares tendrían un *HOMO* de alta energía y los ácidos blandos, un *LUMO* con baja energía (IUPAC, 1999).

Los resultados obtenidos principalmente en fase gaseosa sobre la interacción ácido duro - base dura permiten concluir que están controladas principalmente por el factor de la *interacción electrostática*, mientras que la interacción ácido blando - base blanda parece estar más controlada por el factor de *interacción de orbitales* (Chattaraj, 2001; Chattaraj y Schleyer, 1994; Chattaraj y Sengupta, 1996; IUPAC, 1999). En disolución acuosa donde los compuestos principales serían el NH_3 , el OH^- , los halógenos ionizados y la propia agua, Stumm y Morgan (1981:345), estiman que los factores principales que dirigen estas interacciones son otros. Para estos dos autores, las reacciones que se producen entre ácidos y bases duros se caracterizan por una escasa variación de la entropía (ΔH) y un elevado valor del segundo término de la ecuación de la energía libre de Gibbs ($T\Delta S$).

Las reacciones entre ácidos blandos y bases blandas se caracterizan por un apreciable valor negativo de la variación de entalpía (ΔH) y un valor muy pequeño, bien negativo o bien positivo, del producto entre la temperatura y la entropía ($T\Delta S$). En este contexto, Stumm y Morgan (1981:345), adscriben otros

factores a las reacciones entre ácidos y bases de la teoría ABDB; así las reacciones ácido duro - base dura están dirigidas por el aumento de la entropía, a su vez, las reacciones ácido blando - base blanda estarían dirigidas por un cambio en el valor negativo de la entalpía.

Más adelante, Parr y Pearson (1983), deciden ampliar su teoría específicamente intentando pasar de ese nivel cualitativo hacia un nivel más cuantitativo del parámetro dureza. No entraremos aquí en detalles de fórmulas que exceden claramente el ámbito de esta tesis, solamente dedicaremos una líneas a explicar la idea central para seguir en nuestros argumentos sobre las generalizaciones.

Para cuantificar la dureza, Parr y Pearson (1983), propusieron una fórmula matemática que fuese directamente proporcional a la segunda derivada de la energía total de un sistema químico respecto a una variación de la cantidad de electrones en un ambiente nuclear fijo. Delchev *et al.* (2006), retoman el cálculo de este parámetro a través de la aproximación de las diferencias finitas, arribando a un expresión que conduce a la conclusión de que la dureza química es proporcional a la banda prohibida, cuando exista, de una sistema químico. Se conoce además que la dureza química así descrita posee una relación con la electronegatividad (expresada en diversas tablas) a través del potencial químico.

Para Kolb (1978), la clasificación propuesta por Pearson ayuda a comprender el por qué encontramos los elementos combinados de una determinada manera en la naturaleza. El emparejamiento producido entre ácidos-bases duras o ácidos-bases blandas nos permite entender porqué algunos en algunos casos como los metales magnesio o calcio se encuentran preferentemente bien como óxidos o bien como carbonatos, al contrario que el mercurio, el cobre y otros, que aparecen como sulfuros.

Si tenemos en cuenta esta clasificación, se puede explicar como la combinación de un ácido duro como el catión calcio o el catión magnesio con

las bases duras como el ión óxido o el ión carbonato. Por otra parte, el sulfuro es una base blanda que se empareja con el mercurio y el cobre que son ácidos blandos. Kolb (1978) afirma que la mayoría de ácidos y bases encontrados en sistemas biológicos son duros y los blandos, al contrario, resultan ser venenosos.

Esta apreciación de Kolb (1978), guarda cierto parecido con la propuesta por Goldschmidt (1958) para la geoquímica moderna que pretendía organizar los elementos de la tabla periódica según ciertas afinidades químicas suscitadas entre ellos en los compuestos naturales, principalmente los minerales. A efectos de nuestro análisis, destaca el grupo denominado de los *Calcófilos* que son elementos afines al azufre formando sulfuros y que es una interacción base blanda - ácidos blandos.

Si seguimos la exposición de Stumm y Morgan (1981:341-346), la teoría ABDB hace posible una comprensión de la preferencia de ciertos metales hacia una serie concreta de ligandos en competencia y también la interacción, según la solubilidad, en disolución acuosa para formar óxidos, hidróxidos o bien oxihidróxidos. Estos aspectos guardan una gran importancia para explicar la química y la geoquímica de cuerpos de aguas naturales (océano, ríos, lagos, etc.).

Hemos visto como durante el devenir histórico registrado de la humanidad, ya que desafortunadamente nada podemos decir de lo que se ha perdido sobre este asunto, se han ido planteando ideas, fórmulas y finalmente eso que, actualmente denominamos teorías para dar una explicación a una serie de evidencias empíricas. Esa transformación de las teorías han ido fraguando los conceptos de ácido y de base en su interior porque han sido ellas quienes han dictado su forma. No es lo mismo un ácido en tiempos de Lavoisier que un ácido en los tiempos de Lewis; lo mismo se puede decir de las bases, las sales, etc. Lo que si es realmente interesante y debemos de tener en máxima estima es como todas, con mayor o menor acierto, son producto de un *pensamiento generalizado* porque la realidad se analiza y luego se generaliza.

El propio lenguaje es en sí generalización y es el vehículo que nos permite apropiarnos de la realidad no vivida directamente gracias a su función sinsemántica (Luria, 1980: 75-79; Luria, 2000:31). De todo el conjunto de teorías propuestas, tres de ellas han permanecido como las más útiles para los estudios químicos y por consiguiente cuentan con la aceptación de la gran mayoría de los químicos como comenta Kolb (1978). Se han mantenido útiles por razones explicativas, a pesar de las excepciones que puedan contener, el núcleo de la teoría agrupa una innumerable cantidad de casos a los que da respuesta mientras que los que se encontraban estaban bien caracterizados, algunos incluso como excepciones perfectamente aceptadas.

La primera teoría que aún sigue vigente en la actualidad, hasta cierto punto, es la teoría de Arrhenius. A pesar de sus limitaciones en su momento supuso un avance enorme respecto a los empirismos o semi-empirismos precedentes y en la actualidad tiene aplicaciones si nos restringimos a sus límites. Ello no debe hacernos olvidar como esta visión ha sido excluida de la definición de ácidos y bases determinada por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés) y de la controversia que ha generado su utilización en la enseñanza (Hawkes, 1992; Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

Para aquellas situaciones en que su campo de aplicación sean estrictamente las disoluciones acuosas, dice Kolb (1978), la teoría de Arrhenius debería resultar suficiente para identificar los ácidos, las bases y establecer el proceso de neutralización si lo hubiera; siempre y cuando no escapen a los conceptos establecidos por sus postulados.

Nuestra segunda teoría más utilizada en la actualidad es la generalización propuesta por Brønsted y Lowry que posee la ventaja de poderse aplicar no sólo a disoluciones acuosas, como la de Arrhenius, sino que también a muchos otras clases de disolventes ligeramente ionizables o incluso a reacciones en fase gaseosa. Incluye además la idea general de la cesión-captación de un ión, concretamente el protón, como núcleo duro lo cual permite ampliarla hacia el caso especial de los óxidos como indicaran varios autores (Flood y Förln,

1947; Lux, 1939). La formación del par ácido-base conjugado ha sido extremadamente útil, indica Kolb (1978), ya que hace posible entender la neutralización de una manera simple.

Debido a que la mayoría de estudios químicos se producen en disolución acuosa a causa de que es el disolvente natural mayoritario por excelencia, la teoría de Brønsted y Lowry cuenta con una aceptación mayor por parte de los químicos que la proposición de Arrhenius.

Si bien, con toda la polémica generada a causa de la hidratación del protón en torno a la teoría de Brønsted-Lowry, Hawkes (2000) parece haber reducido la idea de los ácidos y bases débiles y fuertes a la disociación electrolítica de Arrhenius de la cual es imposible desprenderse. Kolb (1978), considera que Brønsted y Lowry ampliaron la definición de base propuesta por Arrhenius y no tanto la definición de ácido, así el carácter básico se extiende más allá de la idea del grupo hidroxilo mientras que la de ácido sigue centrada en la donación de un protón.

Finalmente, es la teoría de Lewis, la más generalizada, la que después de ser ignorada por muchos años, ha adquirido una gran potencia explicativa especialmente en la química orgánica donde los conceptos de nucleofilia y electrofilia han sido esenciales en la explicación de los mecanismos de reacción. La ventaja radica en que se fundamenta sobre las estructuras electrónicas de las especies químicas lo que es realmente mucho más inclusivo y mucho más abstracto que la de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry.

El ácido es ahora un aceptor de pares de electrones disponibles para compartir a la par que la base es una donadora de pares de electrones. Se puede reducir este concepto general para el caso particular de intercambio de protones visto desde el mecanismo de abstracción nucleofílica de un protón. Véase que ahora, al igual que en la teoría de Lux (1939), las bases no son captadoras sino cesoras, bien de electrones o bien de iones óxido, al contrario que las ideas postuladas por las dos teorías antecesoras.

2.2.9. Síntesis sobre las tres teorías ácido-base principales.

Como índice general de las ideas principales que definen a las tres teorías ácido-base principales, o al menos dos de ellas, que se utilizan actualmente en química podemos encontrar tablas resumen en la bibliografía (Furió-Más *et al.*, 2005; Kolb, 1978; Wade, 2004:32).

En esta tesis que se ha venido defendiendo la posición de las generalizaciones por lo que se ha preferido el análisis de la esencia a tenor de esto, vamos a realizar un ejercicio muy importante que es excelente herramienta didáctica.

Se trata de hallar el núcleo firme o duro y el cinturón protector de ideas correspondiente a cada teoría siguiendo la metodología propuesta por Lakatos (1983) y que está en consonancia con las ideas mencionada de hallar la esencia del objeto (Davydov, 1978; Rubinstein, 1963). A continuación, para cerrar el apartado, procedemos a la síntesis final de las tres teorías que en la actualidad son de mayor uso:

Arrhenius, como extensión a su teoría electrolítica, propone que aquellas sustancias que en disolución acuosa sean capaces de donar iones OH^- son bases y que aquellas sustancias en disolución acuosa que fueren capaces de donar iones H^+ eran ácidos.

Por tanto, y partiendo de la concepción iónica de ácidos y bases, es la estructura química del compuesto la que marca su comportamiento. El núcleo es la posesión de grupos iónicos/moleculares estructurales capaces de ser disociados o ionizados en disolución acuosa y como cinturón protector admite, empíricamente, que todas las sustancias con grupos OH^- se les había observado carácter básico y que las que tenían protones carácter ácido (figura 1).

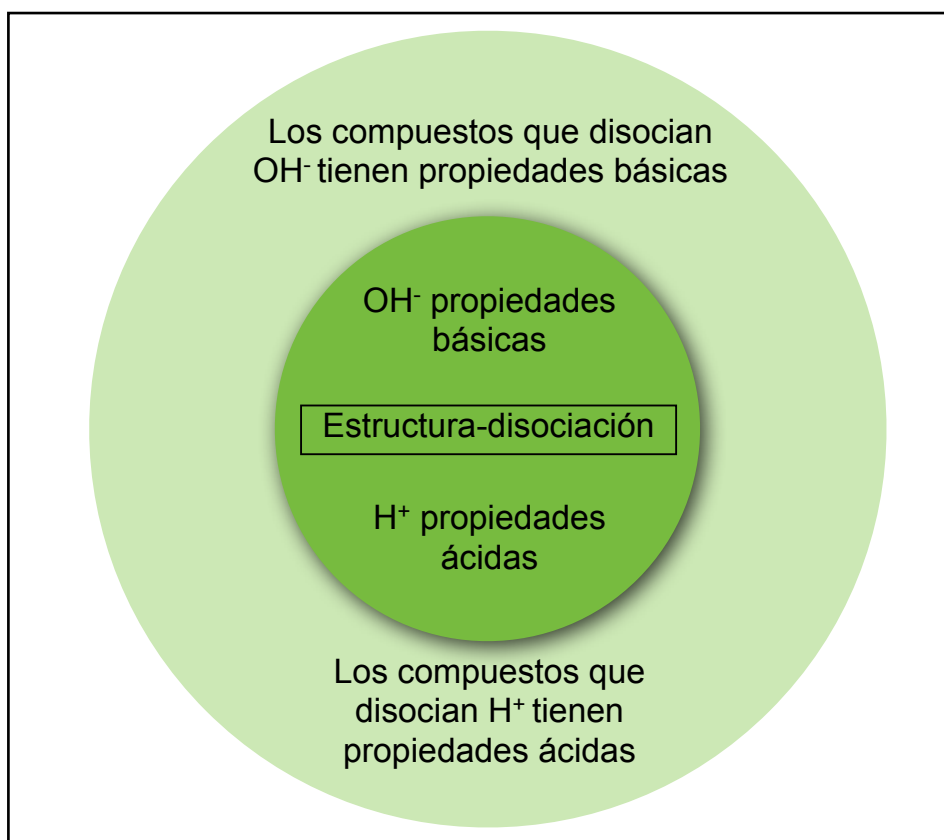


Figura 1. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Arrhenius.

Brønsted y Lowry, por otro lado, propusieron de manera independiente que los grupos H⁺ y OH⁻ que se originan en el seno de la disolución no eran debido a la disociación iónica de estos compuestos sino al proceso primario de captación y cesión del protón, por lo tanto, en el núcleo de la teoría se mantiene la idea estructural pero la teoría se vuelve mecanicista con lo que consigue explicar el caso del amoníaco de manera más satisfactoria.

El carácter ácido - base ya no es univalente sino ambivalente, apareciendo así los pares ácido - base conjugados. Si la sustancia posee protones que donar a otra será un ácido si por el contrario carece de ellas y tiende a captarlos será una base. En el cinturón se incluye todos esos comportamientos de captación - cesión de protones y por tanto la formación de pares ácido - base conjugados (figura 2).

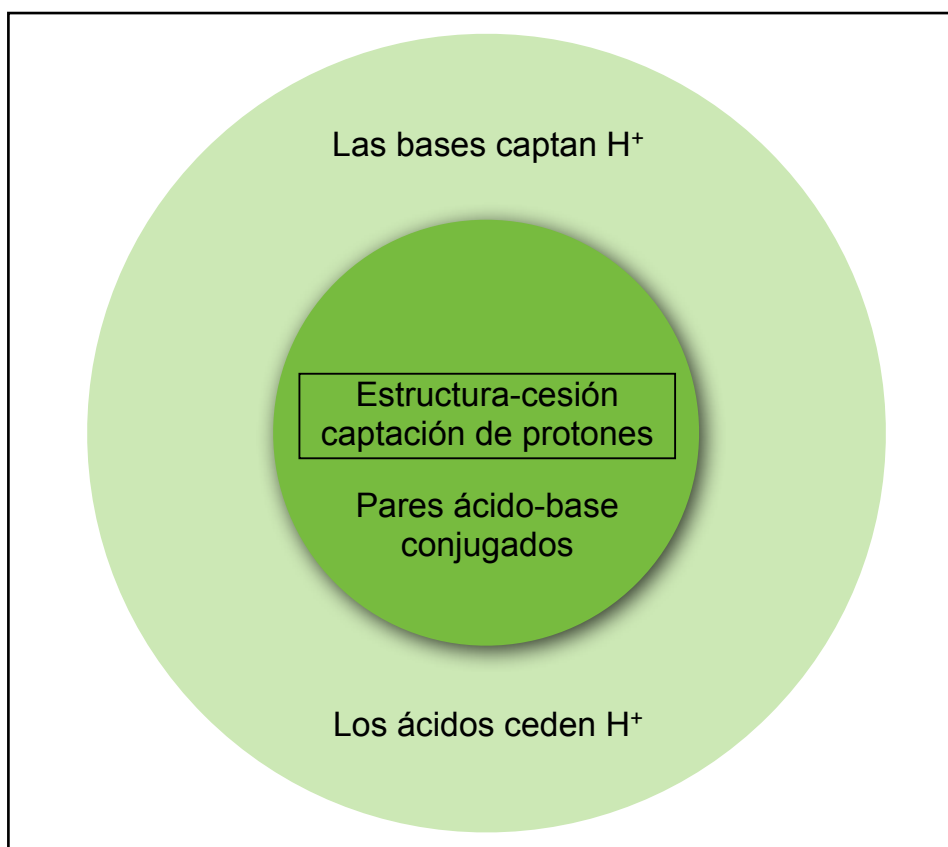


Figura 2. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Brønsted-Lowry.

Hasta ahora las dos teorías anteriores tenían en menor o mayor medida al protón como protagonista de las reacciones ácido - base mientras que Lewis estudió reacciones en las que no existían transferencia de protones pero sí la formación de una sal, además de cambios electrónicos semejantes a los que se producen en las reacciones ácido - base.

Por ello, enunció su teoría según la cual, las bases son aquellos compuestos que poseen pares de electrones solitarios y los ácidos aquellos que carecen de electrones y tienen tendencia a captarlos, todo mediante la formación de un enlace (figura 3). Es tan general que no se hace necesaria su utilización ni en disolución acuosa ni en disolventes hidrogenados aunque puede ser aplicada sin mayores problemas.

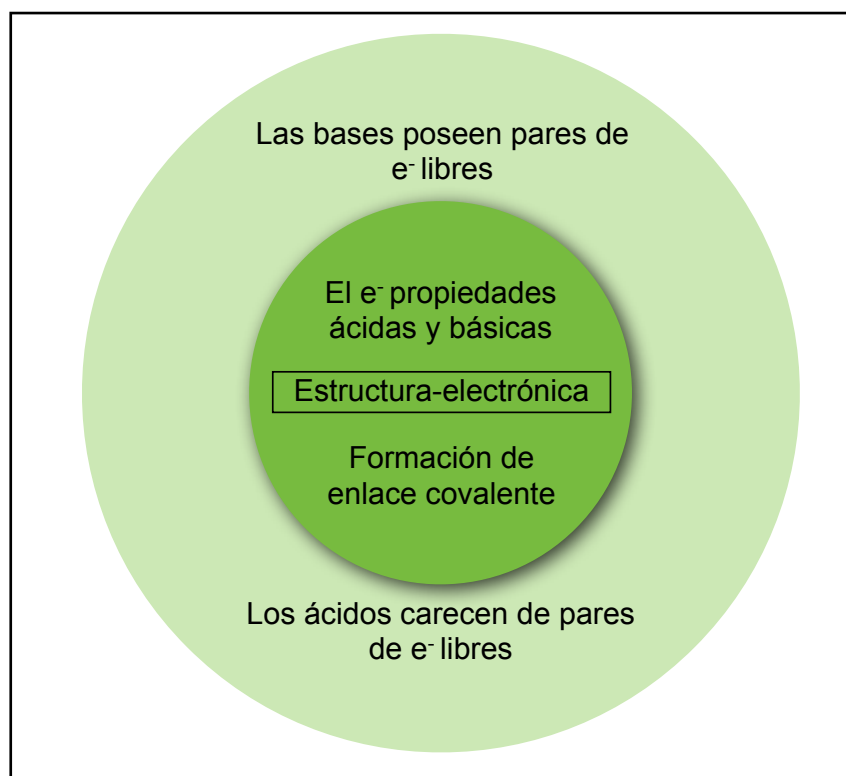


Figura 3. Síntesis de las ideas esenciales de la teoría ácido - base de Lewis.

Estas tres teorías serán evaluadas, además de otros contenidos relacionados, mediante nuestro instrumento de recogida de datos puesto que están presentes de manera directa en los currículos de los grados propuestos para examen de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria pero antes debemos examinar las propuestas teóricas generales que nos ayudarán a comprender cómo las personas, en nuestro caso estudiantes universitarios, adquieren en su mente estas teorías.

2.3. El Conocimiento Precedente en la Didáctica de las Ciencias Experimentales: propuestas teóricas generales.

Con la psicología, el caso específico para esta disertación dedicado al aprendizaje, ha ocurrido lo mismo que para la Química y otras ramas del conocimiento. Ese suceso que marca la cultura europea y de gran parte del mundo posteriormente es la entrada del pensamiento griego clásico. En el ámbito de la Química y en especial para nuestro tema central que es el conocimiento sobre la teorías ácido-base, ya existían descripciones de esta

clase de sustancias en las antiguas civilizaciones de la Grecia Clásica así como en Roma y Egipto.

Esa clasificación estuvo basada principalmente en evidencias sensoriales, en primer término y después con la recuperación por parte de los árabes de los textos griegos clásicos en descripciones empíricas, un poco más elaboradas pero aún muy ancladas a la experiencia sensorial sin duda alguna. Siguiendo esta línea, Asimov (2010:39), nos explica que la ciencia griega antigua ya estuvo a disposición de los eruditos europeos, al menos en la zona de Europa Occidental, aproximadamente desde el siglo XIII tras una gran cantidad de traducciones de tratados árabes que tuvieron contacto con lo que sobrevivió de dichas obras clásicas y que se iniciaran unos años antes.

Como se ha explicado, no fue la Química la única disciplina beneficiada del contacto con estas obras; la filosofía fue una de las que más lo fue y que vio engrosado su acervo de conocimientos. A través de la Filosofía se establecieron las bases para el pensamiento psicológico y por tanto para la separación y fundamentación de la Psicología como ciencia independiente. Así, es fácil entender desde el análisis de Wolff (1947:7-11), como la paternidad y la maternidad de la Psicología se deben buscar en la Filosofía.

Por tanto, así como la teoría atómica griega fue influenciando a los eruditos europeos, las teorías o bases del pensamiento filosófico griego ejercieron también su influencia en el pensamiento y teorías psicológicas. Sin ánimo de ser exhaustivos, vamos a intentar conectar el paso de las obras griegas dentro del pensamiento europeo hasta acercarnos a nuestro punto de partida del análisis didáctico que comenzará con la personalidades de Vigotsky y Piaget. La influencia de un contenido previo en la mente humana procede, como casi todo y a falta de mejores datos históricos, de la Grecia Clásica que ha conseguido llegar hasta nosotros.

Si profundizamos un poco más, hallamos que la Química y la Psicología han compartido principios teóricos; en los renglones que suceden hablaremos del

Vitalismo, nombre dado a una de una de las corrientes filosóficas. Hacia el Siglo XIX los químicos no creían que los organismos vivos obedecieran las leyes científicas descubiertas hasta el momento para el mundo inorgánico.

Vitalismo, como antes se expresó, es el nombre que tomó esta creencia o postura teórica que inducía a pensar que para que los elementos inorgánicos se convirtiesen en elementos orgánicos debía existir inevitablemente una fuerza (*fuerza vital*) que actuara sobre ellos. Las sustancias orgánicas, al contrario que las inorgánicas, sólo podían estar presentes en los organismos.

Fue el químico Jacobs Berzelius quién planteó la división entre sustancias orgánicas e inorgánicas. Pues bien, esta dualidad basada en dividir al mundo en *organismo* (seres vivos) y *mecanismo* (materia inanimada) también caló en la Filosofía influyendo posteriormente en la Psicología. Así, se consideraba que existía un abismo entre los fenómenos de carácter físico y aquellos de carácter orgánico (Wolff, 1947).

Esta dualidad de la filosofía ha terminado asentándose en el principio psicofísico, esa diferenciación que aún se mantiene en la psicología actual en la dualidad mente-cerebro. Este principio es denominado por Smirnov *et al.* (1960:14), como *paralelismo psicofísico*. Si nos fijamos someramente en el comportamiento actual de las ciencias dedicadas al estudio del cerebro, la *Neurología* guarda similitudes con la escuela mecanicista en acuerdo con la postura del filósofo Empédocles sobre los elementos fijos que fraguaría en la unidad mente-cerebro. Esta unidad biológico-psicológica puede encontrarse, por ejemplo, en los escritos de Damasio (1999, 2005, 2006, 2012), donde se equiparan mente y cerebro.

La Psicología, por otra parte, carga con posturas enfrentadas pero en ella se halla la ida de la separación de la mente respecto del cerebro aunque ésta, esté en él basada. El *dualismo psicofísico* nos lo legó principalmente Platón cuando realizó su división de las cosas y de las ideas y que según Wolff (1947), proviene del intento de síntesis de las posturas de la psique y la materia. En

consonancia con lo que hemos venido describiendo en todo nuestro análisis, este dualismo que recorría el interior de la química y de la psicología es herencia griega clásica nuevamente.

Estas ideas que vamos a ver ahora expresadas por múltiples autores no son más que variedades de la *anamnesis platónica* que básicamente indicaba que saber era recordar o también tomada como el diálogo del alma consigo misma. Van a partir de una síntesis del alma como el carácter de la persona y la incorporación en ella de las experiencias precedentes como una fuerza. Nohl (1965:50), nos recuerda además que, tanto Pestalozzi como Herbart, tomaron como base de sus ideas educativas las estratificaciones del alma humana propuesta por Platón en *La República*.

Así, siendo muy básicos, tendríamos una primera capa hecha de *apetitos* como la angustia, el hambre, la sed, etc., lo que se conocería como una capa de instintos innatos. La segunda capa es llamada *thymos*, nos dice Nohl (1965:40), lo que posee de animal el alma del hombre y que puede conducir hacia distintos estados como la desgana, la agresividad o la voluptuosidad.

A partir del tercer estrato comienza lo verdaderamente humano ya que se consideraba que también los animales poseían estos dos estratos anteriores y por tanto nos equiparaba con ellos. Ese tercer estrato se denomina *eros* y se corresponde con el afán de saber, con la búsqueda del conocimiento, o como ya lo conocemos mejor: *Filosofía* (el amor a Sofía, la diosa de la sabiduría). Un cuarto estrato viene a ser un asentamiento del tercero, nos explica Nohl (1965:44), éste se produce cuando ya los conceptos están afianzados y aparece una armonía carente de contradicciones.

Adviértase la relación entre esta estratificación y las posteriores deformaciones hacia el dualismo psicofísico. La omnipresencia del alma en las obras psicológicas y filosóficas de los autores europeos concuerda con la que abarca toda la obra de los filósofos clásicos de Grecia. No por gusto nos recuerdan

Smirnov *et al.* (1960:13), como la palabra psicología procede de los términos *psiqué* que se refiere al *alma* y el *logos* que indica tratado o *conocimiento*.

En la excelente reflexión que hace Nohl (1965:85-92), discípulo de Dilthey (1833-1911), ya se destacaba desde 1938 como en el pensamiento general de Pestalozzi (1746-1827), aparece algo que ya podríamos determinar como una referencia reconocible a las *ideas previas* o *conocimiento antecedente* como una entidad con carácter propio.

En oposición a la psicología de las facultades innatas, Pestalozzi creía en la influencia de las experiencias de la persona como una fuerza importante para el aprendizaje y la adquisición de habilidades por lo que entendió que aquello que el ser humano acogía en su memoria se convertiría en una fuerza para el avance de sus conocimientos. Así, las nuevas experiencias no caen en saco roto sino que serán interpretadas en el seno de lo que constituye todo el saber antecedente ya acumulado que le da sentido.

La visión de Pestalozzi siguió presente en dos autores más que continuaron su desarrollo, ellos fueron Herbart (1776-1841) y Steinthal (1823-1899). Ambos realizaron nuevas formulaciones pero el fondo de la cuestión permaneció invariante. Uno de los aspectos más importantes que debemos recalcar de todas estas visiones es que ese conocimiento antecedente complejo es sujeto y objeto del aprendizaje, es decir, es sujeto porque se pone en juego para asimilar las nuevas experiencias y es objeto porque se modifica con la interacción de las nuevas incorporaciones.

Nohl (1965:90), reconoce que según seamos personas fuertemente arraigadas a lo previo, como las costumbres, nos será más difícil o imposible cambiar nuestro conocimiento precedente; sin embargo, si nuestro carácter es más flexible y abierto permitirá una apertura de miras respecto a las nuevas vivencias y las conclusiones que puedan obtenerse de ellas a la luz de las viejas.

Véase que este principio influye en la propia ciencia, concordando con Nohl (1965:90), las interpretaciones de los hechos se hacen en base a una teoría, que surge del análisis-síntesis de los fenómenos (Rubinstein, 1963:102), o de tentativas de explicación de porqué algo existe tal y cómo es (Duschl, 1997:23). Esas tentativas o sistemas surgen de la condensación de los datos anteriores o al menos del análisis de teorías descritas por autores precedentes y pueden verse refrendadas con nuevas experiencias o bien pueden verse refutadas.

Descripciones como estas, que ya son una línea de pensamiento en la psicología europea, son muy parecidas a lo que encontramos formulada como *la pugna entre lo nuevo y lo viejo* que retomará más adelante Korman (1950) o el proceso de asimilación-equilibración de Piaget (1952a). En el ámbito de la didáctica, lo observamos como *la dificultad o la facilidad con que se asimila un conocimiento nuevo partiendo del precedente* (Shevarev, 1946; Solovev, 1953).

En España, por ejemplo, vemos como en la obra *El Constructivismo en el Aula* (Solé y Coll, 2011:16), los autores realizan una exposición muy parecida a la síntesis de Nohl (1965:90), sobre la interacción de las experiencias nuevas y nuestras experiencias precedentes. Visto desde esta nueva perspectiva, los aportes de Piaget, Wallon o Vigotsky no parecen tan originales al campo de la psicología ya que pueden rastrearse sus raíces en otros psicólogos anteriores, quizás su mayor mérito sea continuar con su estudio para la pedagogía y la didáctica.

La interrelación entre psicología y didáctica de las ciencias experimentales ha sido siempre muy compleja y se han sucedido, a lo largo de la historia, numerosos trasvases de teorías, datos, conocimientos, etc., desde la psicología hacia la pedagogía o la didáctica. Digamos que la psicología ha tenido en la pedagogía y en la didáctica un área donde llevar a cabo múltiples experimentos y comprobar o desarrollar teorías fundamentalmente en su área de psicología de la educación y el aprendizaje. El caso de la didáctica de las ciencias experimentales ha sido especialmente notorio. Así, el constructivismo no es la excepción, sino más bien la regla, ya que ha sido una de las teorías

psicológicas más prolíficas en la pedagogía y muy en concreto en la didáctica de las ciencias experimentales donde ha tenido una abundante investigación y aplicación.

De resultas, que el constructivismo también es un paradigma compartido por la ciencia y la psicología. Por tanto no es sólo el vitalismo la única postura teórica que han compartido históricamente la ciencia y la psicología o su miembro filosófico; de capital importancia es para esta tesis el constructivismo y a ella nos referimos ahora brevemente. El constructivismo no se ha aplicado específicamente en la Química como ha ocurrido con el Vitalismo, el cual es un ejemplo muy claro. El constructivismo se ha utilizado para la ciencia en general, como ya se ha definido, y al estar presente en la psicología se ha extendido también hacia la pedagogía y en concreto hacia la didáctica de las ciencias experimentales.

Dado que según la corriente constructivista de la psicología, la actividad de un científico es una construcción mental de la realidad, la didáctica de las ciencias naturales debería imitar este postulado y ayudar a que los alumnos construyan el conocimiento científico acumulado, es decir, apropiarse del conocimiento científico. Si los científicos son constructores de teorías científicas sobre la realidad, los alumnos lo son también de sus propias teorías. La cuestión radica en que esas teorías no se construyen tan fácilmente por parte de los alumnos, sino que ocurre que suelen construir *teorías cotidianas* o *teorías legas* que están alejadas del saber científico que se pretende que construyan y que no cumplen con los requisitos de la ciencia.

A modo de síntesis podríamos decir que el constructivismo, además de corriente psicológica, es corriente pedagógica y postula, por tanto, un marco teórico sobre el que se desarrollan los procesos de enseñanza - aprendizaje. Nos explica que, el conocimiento que un sujeto posee no es una copia de la realidad como se consideraba en la enseñanza tradicional por transmisión-recepción, sino una construcción del ser humano. Para el constructivismo, la mente humana no es una página en blanco a la espera de ser escrita, todo lo

contrario, ya posee ciertos conocimientos previos que ayudarán o entorpecerán la asimilación de los nuevos.

Por consiguiente, la construcción se realizará con los esquemas que la persona ya posee, es decir, los conocimientos previos; los cuales utiliza para interpretar los. Estas construcciones se realizan en todo momento y en todos los contextos, no solamente en el ámbito escolar; por ello, para el constructivismo, lo importante no es el conocimiento nuevo en sí mismo sino adquirir una nueva competencia con él lo que permitiría así generalizar, aplicando lo ya conocido a una situación nueva. Este modelo de enseñanza-aprendizaje está centrado en la persona, en sus experiencias previas de las que realiza nuevas construcciones mentales y considera que la construcción se produce cuando:

- I. El sujeto interactúa con el objeto del conocimiento siguiendo los postulados generales de las aportaciones teóricas de Jean Piaget.
- II. El sujeto realiza una construcción de la realidad en interacción con otros, siguiendo la aportación teórica de la zona de desarrollo próximo postulada por Lev Vigostky. Es el constructivismo sociocultural.
- III. El sujeto puede atribuirle un significado al material objeto de estudio continuando con la aportación de la teoría del aprendizaje verbal significativo de David Ausubel.

Una estrategia adecuada que se ha utilizado para llevar a la práctica este modelo es el método de proyectos, ya que permite interactuar en situaciones concretas y significativas; estimula el saber saber, el saber hacer y el saber ser, o sea, lo conceptual, lo procedimental y lo actitudinal. En este sentido, las representaciones mentales juegan un papel fundamental al ser las que van a dirigir la asimilación, es decir el aprendizaje, de los nuevos conocimientos.

Vemos como los conocimientos previos toman la forma de representaciones mentales en el constructivismo. En este modelo el rol del docente cambia, ya no es un orador como en las clases expositivas sino que ahora es un coordinador, facilitador o un participante más, toda vez que el alumno es un

constructor activo de su conocimiento y no busca que sea el profesor o el libro de texto la fuente principal y única de conocimientos. El constructivismo implica también un clima afectivo y armónico de mutua confianza ayudando a que los alumnos se vinculen positivamente con el proceso de adquisición de los saberes. Los principios de esta corriente pedagógica pueden ser aplicados en el uso de las nuevas herramientas tecnológicas como los blogs, wikis, podcasts, etc., adaptándose perfectamente a la enseñanza del siglo XXI.

Por otro lado, la evaluación en este paradigma es siempre formativa, pues lo que pretende es hacerse una idea de lo que alumno ha aprendido y avanzado, normalmente de índole particular, ya que cada persona tiene un ritmo de aprendizaje distinto; no pretende crear estrés ni ambientes amenazantes hacia los pupilos. Así, la enseñanza bajo este prisma es siempre formativa y nunca selectiva ya que las capacidades intelectuales son dinámicas y no estáticas, cada sujeto avanzará a su propio ritmo. Podemos comprender con King y Kitchener (1994:2), que la postura constructivista entiende el conocimiento como un diálogo entre un polo objetivo y con un polo subjetivo que se construyen el uno al otro. Debe existir un replanteamiento entre el conocimiento y la realidad partiendo de un pensamiento reflexivo.

Según Solé y Coll (2011:8), el constructivismo no es una teoría propiamente dicha, sino un marco explicativo útil para la toma de decisiones lógicas sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje en bastante acuerdo con Zilberstein, Portela y Mcpherson (1999), que también lo entienden como un paradigma ecléctico aún en formación con escasa conformación teórica.

Este paradigma no se haya exento de críticas, así Rubinstein (1963:85-87), realiza un análisis filosófico en detalle partiendo de su posición materialista dialéctica y termina por concluir que se trata de una variante kantiana o neokantiana del idealismo. Como teoría gnoseológica, nos dice Rubinstein (1963:86), que se compone de dos premisas, una primera verdadera y segunda falsa; la primera es que el acto cognitivo es una actividad del sujeto y no una recepción pasiva, la segunda que los datos sensoriales no aportan por sí

mismos el conocimiento sobre las cosas pues todo se analiza posteriormente por teorías internas. La primera es compartida por la *didáctica integradora o desarrolladora* (López-Hurtado, 1996; Silvestre y Zilberstein, 2002; Zilberstein, Portela y Mcpherson, 1999), pero la segunda no es admisible.

Bunge (2007), se muestra realmente tajante al indicar que el constructivismo pedagógico es una postura falsa que niega la verdad objetiva al incumplir la segunda premisa que indicaba Rubinstein (1963:86), y porque hace que los docentes sean prescindibles. Estaría considerado, para estos autores, como el camino hacia el agnosticismo al no haber una realidad sino tantas como personas hay en el mundo, todo vale, cualquier interpretación personal es posible y no habría lugar para debatir o criticar.

Posada (2000), plantea que el constructivismo ha trascendido o superado los dos enfoques del conocimiento precedente en la mente humana expuesto mayoritariamente por eruditos europeos. Uno de esos enfoques es el que considera la mente como una tabula rasa en la cual se imprimirían las sensaciones y el segundo, opuesto a este primero, es el que explica que la mente humana ya llega con unas ciertas ideas preconcebidas o innatas.

Veamos cómo es que describe este autor el posicionamiento del constructivismo respecto al carácter de los conocimientos y de las visiones epistemológicas anteriores. Posada (2000:371), escribe: *“Estas concepciones han sido superadas por el constructivismo que propugna que no hay nada en los objetos, situaciones, eventos, etc., de los que se pueda inducir ideas; éstas deben ser construidas por los individuos”*. Acto seguido escribe en la siguiente oración: *“Los sujetos construyen ideas, conceptos, proposiciones o esquemas a partir de los objetos, eventos y situaciones que éstos enfrentan”*. (Posada, 2000:371).

Es relativamente fácil observar que el autor ha caído en varias contradicciones no sólo entre las dos oraciones que se han citado, sino además, en lo que el propio constructivismo parece fundamentarse. Según se entiende de la

exposición de Posada (2000:371), la realidad (objetos, eventos, situaciones, etc.) no posee nada en particular por lo que un individuo pueda inducir una idea, entonces, ¿qué sentido tiene que se construyan ideas sobre algo que induce a nada? Puede comprenderse que sean los individuos los que construyan la experiencia pero dicha experiencia tendrá que ser sobre algo que produce algo sobre el individuo y por lo que éste realizará una construcción; sino lo que se está sugiriendo es que los sujetos construyen por el mero hecho de construir.

Si la realidad observada no induce a pensar sobre los colores ¿porqué existe el concepto de color? Esta afirmación lo que nos viene a decir es que la percepción quedaría eliminada, dado que el sujeto enfrentaría la realidad desde su interior, conforme van apareciendo las situaciones, construyéndola de forma personal. Esta descripción del constructivismo guarda parecido con el *idealismo subjetivo*, de acuerdo con los escritos de Rubinstein (1963:120). Esta perspectiva teórica desgaja la esencia o las estructuras de pensamiento escritas por Posada (2000:371), del fenómeno que se corresponde con la realidad (objetos, situaciones, etc.).

Al realizar esta separación viene a concluirse que sólo es real la esencia, lo que uno piensa y por ende deja de existir el fenómeno; es decir, se sustituye la realidad por las representaciones, desligadas de ésta. A esta misma conclusión arriban Zilberstein, Portela y Mcpherson (1999) que indican que en la base del pensamiento de muchos constructivistas está, justamente, el idealismo subjetivo. Esto se opone a los mismos resultados experimentales obtenidos (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Furió, 1986; Vienot, 1979) que Posada (2000) explica, donde los alumnos ya llegan a clase con determinadas ideas sobre *fenómenos de la realidad* e incluso de algunas materias escolares.

Con la segunda oración intenta corregir el rumbo diciendo que las personas crean determinados contenidos mentales gracias a la realidad a la que se enfrentan, pero, ¿no había convenido antes que la realidad no induce por sí misma ninguna clase de idea? ¿Para qué querría la persona construir una

entidad mental de un suceso que enfrenta si este por sí mismo no nos induce a pensar nada? Sin embargo, Solé y Coll (2011:16) dan una definición que difiere de la aportada por Posada (2000:371), en la que podemos ver la importancia de la realidad objetiva para su construcción por el individuo y que francamente casi parece volver hacia el materialismo dialéctico, con lo cual, ¿resulta imprescindible porque ya tenemos al materialismo dialéctico? o ¿Es un viraje del constructivismo hacia la postura materialista?

Basándonos en los datos anteriormente aportados, pueden distinguirse dos líneas evolutivas en la historia del concepto de *conocimientos precedentes*. Se expuso que nuestro análisis-síntesis, comenzara con el estudio de los planteamientos de dos grandes autores: Piaget y Vygotski. Alrededor de estos dos teóricos se han adscrito y fundado dos escuelas que han seguido en mayor o menor medida sus planteamientos. Obsérvese que nos vamos a restringir, sólo en cierta medida, a lo que sucedía en el continente europeo.

Estas dos escuelas pedagógicas o psicológicas, a pesar de adscribirse a los planteamientos de esas dos figuras, se diferenciaron históricamente así, principalmente por la influencia de las dos corrientes psicológicas dominantes en su época. Los partidarios de Vygotski fueron influenciados por lo que denominamos psicología del paradigma histórico-cultural; mientras que los partidarios de Piaget fueron influenciados posteriormente por la denominada psicología cognitiva o del procesamiento de la información y más adelante por las aportaciones de la psicología evolutiva.

Pudiéramos decir que existían “dos escuelas” de pensamiento, obviando las variantes internas, una que podríamos convenir en denominar “soviética” y otra que denominaremos “occidental”. Esta denominación propuesta nos servirá para introducir orden en el tema que estamos examinando y poder analizar de manera histórico-lógica el concepto de *conocimiento antecedente* que está íntimamente relacionado con la evolución de ambas escuelas. Las psicologías que dieron lugar a estas escuelas surgieron, entre otros motivos, por uno en

particular y común: oponerse a las teorías *conductistas* o *behavioristas* dominantes en la época.

En parte, el destino de la pedagogía y por ende de la didáctica de estas escuelas quedó sellado por los nuevos enfoques teóricos de las psicología dominantes respectivas. Resulta sorprendente que: partiendo del mismo principio, tratando de resolver problemas casi idénticos y estar influenciados en mayor o menor medida por el cognitivismo; ambas se hayan desarrollado de manera un tanto independiente.

En la escuela occidental puede observarse cierto sesgo de las proposiciones teóricas ya que nunca tiene en cuenta una de las directrices fundamentales en filosofía, el materialismo, principalmente su versión psicológica del asunto está fundada sobre la otra directriz fundamental: el idealismo: inclúyanse también aquí las variantes mixtas que pretenden mezclar materialismo e idealismo sin decantarse por ninguna de la dos. Por otra parte, la escuela soviética analizó en profundidad todas las posiciones teóricas existentes para finalmente situarse en el materialismo dialéctico, intentado superar de esta manera las perspectivas del idealismo y sus variantes.

Partiendo de todo lo anterior, podemos concluir que los alumnos llegan a clase desde el primer momento con muchos conocimientos; esto es un hecho constatable e indiscutible. Ése es el mayor aporte teórico del enfoque histórico cultural y del enfoque constructivista. Muchos teóricos del aprendizaje y de la psicología de la educación la incorporaron a sus teorías. Pronto se descubrió que estos conocimientos, que en general debemos englobarlos bajo el término “conocimientos antecedentes”, podían interferir en el nuevo aprendizaje de los alumnos.

Bajo estas observaciones, los distintos profesionales de la educación, empezaron a dedicar esfuerzos en comprender qué son esos conocimientos antecedentes. ¿De dónde provienen? ¿Son todos iguales? En el intento de comprenderlo se han generado distintas propuestas que pasan a explicarse

detenidamente y tienen por objeto describir esos conocimientos antecedentes del cual nos habla el constructivismo; teoría que se apropió del hecho constatable de que los alumnos no llegan con la mente vacía a la escuela. Este conocimiento es aquel que se observa en los alumnos cuando llegan a clase, en el caso que nos atañe, a la clase de ciencias.

El concepto que se tiene de esos conocimientos antecedentes ha ido evolucionando con el tiempo y se ha convertido cada vez en más complejo y amplio. Tanto es así que hemos tenido que elaborar teorías para hablar de dicho concepto. Algunos autores consideran que los conocimientos antecedentes, preconceptos, ideas, previas, etc.; proceden de la forma en que el cerebro almacena la información (se suelen considerar como criterios ontológicos), otros que se deben a la forma en la que la mente procesa la información (se suelen considerar como criterios epistemológicos) y así varias propuestas de distinta índole. No obstante, en las propuestas se pueden observar mezclados los criterios por los cuáles se quiere explicar la formación, funcionamiento, etc., de los conocimientos antecedentes con los que nuestros estudiantes llegan a la escuela.

Según el ámbito en que se hayan analizado los datos se generan las teorías que versan sobre lo que ocurre y describen el fundamento del conocimiento antecedente. Algunas de estas descripciones han alcanzado un *status* general mientras que otros ha quedado reducidos a explicaciones particulares. Veamos las diferentes propuestas que hasta ahora se han desarrollado.

2.3.1. Las Nociones Cotidianas.

La génesis del aparato teórico que describe el papel de los conocimientos antecedentes en la psicología científica soviética se fundamenta en las ideas propuestas por Lev Vigotsky, en un artículo publicado póstumo en 1956, pero que fue realmente escrito en 1934. Allí, Vigotsky analiza las teorías de la época que mostraban la relación entre desarrollo y aprendizaje en los niños. De esta manera, Vigotsky se propone explicar que las teorías existentes hasta esa

fecha, no describen esta relación satisfactoriamente y propone un fundamento principal sobre el que basar la nueva teoría explicativa de la dependencia entre el aprendizaje y el desarrollo.

Para nuestros propósitos, este fundamento puede resumirse como: “*el aprendizaje escolar jamás parte de cero*” (Vigotsky, 1956: 30, citado en Cecchini, 1986) y es muy anterior al que la gran mayoría de la literatura especializada en el campo toma como centro del enfoque de los conocimientos previos (*videtur*: Escoriza, 1998:93; Rodríguez-Palmero, 2008). Dicho principio es: “*Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente*” (Ausubel, 1973:6); que fue escrito en inglés en la obra original de en 1968.

El propio Ausubel (1968), conocía ya estas ideas, pues en su obra *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*, refleja la postura de Vigotsky en cuanto a la asimilación de conceptos descrito en *Pensamiento y Lenguaje* donde se establece la diferencia entre conceptos espontáneos y adquiridos en la escuela, es decir, lo que más tarde entenderemos como *nociones vulgares* y *nociones científicas*.

Vigotsky plantea que el niño posee una prehistoria del conocimiento antes de llegar a la escuela donde comenzará el verdadero registro de lo que ocurre con nuestro conocimiento por ser una etapa dirigida y con un contenido preciso objeto de enseñanza. La escuela debe estar al tanto de dicha prehistoria en la cual existen no solo conocimientos sino también capacidades que nos llegan preestablecidas. En algunas ocasiones los contenidos establecidos en los currículos pueden hacer que la escuela tome un camino contrario a las nociones con las que el alumno ha llegado, ignorándolas; o por el contrario, puede intentar seguir el curso de dichas nociones, basándose en ellas. Para Vigotsky, quién no fuese capaz de observar esa realidad sería como un ciego.

Este fundamento instruccional ofrecido por Vigotsky, se convirtió rápidamente en objeto de estudio para la didáctica y la psicología del aprendizaje. Aparecen así los estudios de Shevarev (1946), y Solovev (1953), en los cuales se demostró que los conocimientos precedentes pueden facilitar la asimilación de nuevos conocimientos o por el contrario, podrían dificultarlo; en el ámbito de los errores algebraicos y en el olvido en alumnos mentalmente retrasados, respectivamente. También en la resolución de problemas pueden aparecer los influjos de experiencias cotidianas del pasado que pueden producir dificultades, como en la física (Fleshner, 1958) o las matemáticas (Zankov *et al.*, 1975). Además, lo enseñado en la escuela también puede interferir en las asimilaciones posteriores de conceptos científicos (Natadze, 1957).

Resulta interesante observar que anteriormente, en la metodología de aprendizaje de la Física, se consideraba que era necesario tener en cuenta las ideas previas de los alumnos pero no trascenderlas, como ocurría con el concepto de *peso* según Goriachkin (1948). Esto conllevaba que los alumnos mantenían una noción de *peso* equivocada que no se diferenciaba de la definición científica, es más, provocaba problemas en su asimilación (Fleshner, 1958).

Smirnov *et al.* (1960), también observaron que los conceptos científicos pueden ser antagonistas de los conceptos vulgares y por consiguiente pueden crear dificultades en la asimilación lo cual es más claro cuando en la vida cotidiana el significado difiere del que recibe científicamente. Natadze (1957), encontró que si los alumnos se fijaban en aspectos externos propios del conocimiento cotidiano clasificaban los animales en categorías erróneas respecto de si lo hiciesen fijándose en las características esenciales (*la esencia del objeto*) que son más propias del conocimiento científico. Esta formulación de la esencia como carácter definitorio de clasificación y de comprensión de la realidad nació con Vigotsky (1934). No obstante, dentro de esta línea de pensamiento, fue Fleshner (1958), quien en el ámbito de la didáctica de las ciencias experimentales nos ofreció una de las visiones panorámicas más interesantes; veámosla seguidamente.

Fleshner (1958), realizó un estudio sobre la didáctica de la física en estudiantes de doce a trece años, especialmente centrado en la interacción entre los conocimientos precedentes y los nuevos, impartidos por la escuela. Se basó en las ideas expresadas por Vigotsky (1956), y otros teóricos de la educación en virtud de las cuales existe una relación diversa entre los conocimientos antecedentes y el nuevo material.

Durante este estudio se pretendía evaluar la aplicación de las nociones aprendidas (nuevas nociones) por estos alumnos donde se observaría lo que ocurriese con las *nociones* o *conceptos* de peso, densidad y volumen. A los alumnos se les examinaría antes y después sobre los conceptos físicos en cuestión a fin de comparar los resultados. De estos tres conceptos que iban a estudiarse, dos ya eran conocidos por los alumnos y por tanto fueron considerados *nociones adquiridas* o *conocimiento antecedente*. Así, la noción adquirida de peso con la que los alumnos llegaron a clase resultó que no coincidía con la que debería corresponderse con la científicamente aceptada.

En la fase diagnóstica, el autor encontró que las experiencias cotidianas influían en el desarrollo de los conceptos, especialmente los de carácter físico. Se observó además que en las clases de física el concepto de volumen se veía enriquecido y profundizado, por el contrario el aprendizaje del concepto *peso* se veía obstaculizado por la noción precedente corroborando así lo ya publicado (Shevarev, 1946; Solovev, 1953). Ahora nos centraremos en el análisis de los resultados obtenidos en los coloquios previos y finales de la definición del concepto *peso* que es ilustrativo de la metodología soviética y que puede tomar una cariz general.

Inicialmente los sujetos poseían un concepto de peso fuertemente arraigado a la experiencia, donde se confunde el concepto de peso con el de gravedad y también con la acción de pesar. Tras la instrucción, se pudo clasificar a los alumnos en cuatro grupos atendiendo a cómo interaccionaron los conocimientos antecedentes frente a los impartidos. Se van a clasificar los grupos cambiando su numeración respecto del estudio original con fines

ilustrativos. El primer grupo incluye a los alumnos cuyo concepto de peso se mantuvo invariante tras la instrucción, es decir, se mantuvo la visión alternativa a la científica. Fleshner (1958) nos indica que en estos alumnos el contenido alternativo del concepto científico o noción vulgar está estabilizado, esto es algo en lo que Fleshner (1958), se adelantó a otros autores, mencionando la resistencia al cambio o la asimilación de las ideas previas.

El segundo grupo estaría compuesto por los alumnos que mezclaban elementos del concepto científico con el precientífico, sin distinguir qué pertenecía a cada uno, o sea, el nuevo concepto fue redefinido por los sujetos como una mezcla homogénea de elementos procedentes de la instrucción y otros de la noción vulgar; donde pueden albergar proposiciones contradictorias entre sí; algo en lo que nuevamente adelanta, con mucho, a las proposiciones actuales.

El tercer grupo muestra también una mezcla de las antiguas nociones y las nuevas, pero en este caso, los sujetos parecen haber inhibido la antigua noción que se manifiesta muy limitadamente porque consideran que es incorrecta. Los alumnos son mucho más conscientes de lo que ocurre en ellos que en el segundo grupo. Por tanto, nos enfrentamos a una mezcla heterogénea de los nuevos y viejos conocimientos que se aplican según el contexto. Para contextos teóricos en la escuela, como los ejercicios del libro de texto, los alumnos desplegaban los conocimientos enseñados en la escuela; sin embargo, para contextos prácticos en la escuela, como era el acudir a pesar en una balanza, se observaba la aplicación de las nociones vulgares por su parecido a la prueba realizar.

Tanto en el grupo dos como en el tres las viejas nociones se encuentran en pugna con las nuevas nociones además de estar en una constante evolución. En el cuarto grupo se manifestó una conducta sorprendente y fue la reorganización completa del concepto *peso*. Las alusiones a las antiguas nociones habían desaparecido y el término estaba ligado al nuevo significado aprendido durante la instrucción por lo que se había comprendido los

fenómenos expuestos y su relación con el concepto enseñado. Todos estos resultados han sido igualmente descritos con anterioridad por Natadze (1957), en la formación de categorías de animales.

Fleshner (1958), indica además que estos resultados en los que coexisten nociones en pugna, que van sustituyéndose poco a poco, especialmente las nuevas a las viejas, viene a confirmar lo formulado por Korman (1950), que trataba sobre la reorganización del conocimiento durante el aprendizaje especialmente durante *el desarrollo de la imaginación del sujeto con la edad*; un posterior estudio parece también avalar esta idea (Zankov, 1959).

Anteriormente se comentó que la organización mostrada de los grupos se debía a motivos ilustrativos ya que lo que se propone es la observación de una gradación de lo que puede suceder entre el conocimiento antecedente y el nuevo conocimiento adquirido en la escuela. Tenemos alumnos a los cuales la instrucción parece no haberles afectado y se mantienen en sus nociones precientíficas, en medio tenemos unos grupos de transición que o bien mezclan ambas nociones o inhiben una de ellas y finalmente, otros que reorganizan su conocimientos aprehendiendo correctamente las nuevas nociones sin dejar *rastros aparentes* de las viejas.

Aquí, Fleshner (1958), se plantea si podría tratarse del estereotipo dinámico (Pavlov, 1949), basándose en la afirmación de este autor, de que lo viejo no se desvanece sino que lo nuevo se limita a superponerse. El estereotipo dinámico se resume como la condensación de experiencias repetitivas en un modelo dinámico de relaciones constantes entre estímulos que permiten la rápida adaptación del animal al entorno.

Teniendo en cuenta esto, sumado a las evidencias de las investigaciones del propio Fleshner (1958), y las explicaciones dadas al respecto de Smirnov *et al.* (1960), no parece que exista relación entre ambos fenómenos; es más parece que el acento debe colocarse sobre el tipo de interacción inicial que se produce entre el conocimiento antecedente y el nuevo. La superposición de nociones

podría también, en todo caso, ser una parte especial reservada para los grupos de transición que, a modo de conjetura, podríamos vincular al reflejo condicional de segundo orden, en el cual se necesita un reflejo adquirido previamente en la experiencia personal peculiar de cada individuo que actuaría como base para establecer uno nuevo.

Por consiguiente, ambas proposiciones son posibles, el estereotipo dinámico y el reflejo de segundo orden, sin embargo, al no haber sido investigadas, sino solamente propuestas como posible solución al problema, no podemos conocer si realmente existe un vínculo entre ellas y los resultados observados en los sujetos experimentales. Este intento de explicar muchos de los fenómenos psicológicos superiores basándose en la doctrina pavloviana, indica Rubinstein (1963:49), tomó carta de naturaleza en la psicología a partir de la especial contribución de A. G. Ivanov-Smolenski (1950).

El problema no estriba en que exista una interacción entre el primer y segundo sistema de señales, es decir entre lo fisiológico y lo psicológico, sino en que este autor difundió incorrectamente que lo fisiológico se corresponde con lo objetivo y lo psicológico con lo subjetivo. Rubinstein (1963:49-53), expone con claridad que es un error fusionar lo psicológico y lo fisiológico como la unidad de contrarios, como la unidad de lo subjetivo con lo objetivo. No debemos confundir por tanto, psicológico con subjetivo y fisiológico con objetivo al igual que no debemos confundir la *teoría fisiológica del reflejo* con la *teoría gnoseológica del reflejo*. Esta idea se tomó de una interpretación desacertada del principio de la unidad de contrarios de la filosofía materialista dialéctica y su aceptación supondría excluir la posibilidad de que el conocimiento pueda ser objetivo y por ello, científico.

Toda esta evidencia científica, promovió la sistematización que encontramos en la psicología soviética respecto a las nociones o conceptos y que cristalizan en obras como *La psicología del aprendizaje de 1900 a 1960* de Bogoyavlensky y Memchinskaya (1960) o *Psicología* de Smirnov *et al.* (1960). Partiendo de aquí, para la psicología soviética existían dentro del pensamiento, una serie de

operaciones intelectuales. Entre ellas, la más destacada era la generalización porque ésta es la que permite la formación de los conceptos en nuestra mente.

Como ya se ha advertido, el concepto o noción, será el término básico que va a regir nuestra discusión y sobre él se había comentado antes que su estudio se convirtió en un tema importante durante la década de los cincuenta para la psicología del aprendizaje y la didáctica puesto que son el punto de partida desde el cual aprende el alumno cuando llega a la escuela.

La psicología del aprendizaje y dentro de ésta la didáctica de las ciencias experimentales comenzaron a sintetizar qué se entendía por noción y sus características. La noción o concepto es el producto de la generalización, hasta el concepto más sencillo o concreto requiere ya de una cierto análisis (abstracción) y por tanto de una cierta generalización. El significado de los conceptos evolucionaría de dos maneras. Primero, a nivel sociohistórico conforme avanza la historia de la humanidad, se van fijando los nuevos avances en el concepto; estaríamos hablando de la *filogenésis* del concepto.

Segundo, el concepto, cuando es asimilado por el individuo, jamás su significado se asimila inmediatamente sino que va cambiando paulatinamente conforme el individuo progresa en su desarrollo, de niño a adulto o dentro de las propias etapas de la madurez; estaríamos hablando de la *ontogénesis* del concepto. De esta manera, todo significado lleva asociado una *filogénesis* y una *ontogénesis*. A este respecto nos dice Vigotsky (1934), que el niño no asimila el concepto tal y como se lo expone el adulto sino que le imprime las características propias de su forma de pensar. Los alumnos reciben los conceptos elaborados por la experiencia acumulada de otras personas, en el caso que nos ocupa, de los científicos que van añadiendo al concepto los nuevos descubrimientos o reformulaciones.

Finalmente, los conceptos serán asimilados por los estudiantes según el conocimiento antecedente que ya posean, las experiencias personales previas que hayan vivido, la actividad asimiladora y el sistema de operaciones

mentales que pongan en juego (Smirnov *et al.*, 1960). De las nociones, fueron estudiados dos aspectos, la asimilación activa de éstos por los estudiantes de varios niveles académicos y los sistemas de conceptos o sea, las conexiones entre ellos.

Siguiendo a varios autores (Fleshner, 1958; Smirnov *et al.*, 1960), las nociones con las que los alumnos llegan a la escuela se denominan vulgares o comunes ya que se forman en ambientes de carácter cotidiano y no están sujetas a una enseñanza planificada sino que son adquiridas en la interacción con otros, en contextos informales, en la experiencia personal, etc. Estas nociones poseen varias denominaciones según los autores, pero parecen referirse al mismo problema, así podemos ver que se les ha llamado: *generalizaciones prácticas* (Bogoyavlensky y Memchinskaya, 1960), *generalizaciones en concreto* (Bogoyavlensky, 1957; Troshin, 1915; Zhuikov, 1959) o *generalizaciones empíricas* (Davydov, 1978; Rubinstein, 1963, 1967; Silvestre y Zilberstein, 2002).

¿Qué características básicas poseerían estas generalizaciones? Como síntesis de lo aportado por esta variedad propuesta tenemos que: no incluyen las características esenciales de los objetos, por el contrario, se basan en caracteres secundarios que no permiten una actividad intelectual correcta de *abstracción-generalización* por fundamentarse en conexiones causales elementales (Bogoyavlensky y Memchinskaya, 1960).

Como adición a lo anterior tenemos que Smirnov *et al.* (1960), observaron que estas generalizaciones podían ser estrechas, es decir, excluyen objetos que deberían necesariamente estar incluidos en la categoría; por otro lado advierten también la amplificación, o sea, al no incluir los caracteres esenciales que determinan la categoría se incluyen objetos que no se corresponden con ésta. Estas dos clases de generalizaciones debemos entenderlas como *subgeneralizaciones* y *sobregeneralizaciones* respectivamente. En base a esto, ocurre además que las relaciones que se establecen entre esas nociones provoca un sistema de conceptos alterado porque se basa en caracteres

incorrectos y las designaciones verbales que se les asignan no son siempre exactas. Normalmente lo que se suele encontrar es que el significado asignado a la palabra es inexacto desde el punto de vista científico o carece de una definición basándose en ideas vagas.

A colación de la relación entre generalizaciones y concepto, podemos concordar con Shif (1933) y Vigotsky (1934), que en el camino hacia su producción, los conceptos espontáneos o nociones vulgares van en el sentido inverso a las nociones científicas tal y como se examinó en el caso de niños de segundo a cuarto grado de primaria pues son muy concretas y es complicado que puedan extraerse abstracciones a partir de ellas.

Vigotsky (1962), ejemplifica muy bien estas ideas cuando nos explica que se le pidió a un alumno de primaria definir el concepto *hermano* y el concepto o *Principio de Arquímedes* observándose que le fue confuso definir *hermano* pero mucho más sencillo el *Principio de Arquímedes*. Esto es así, según Vigotsky (1934), porque el significado y comprensión del concepto *hermano* está profundamente arraigado a la experiencia y debe pasar por varias fases para alcanzar el estadio conceptual o de carácter científico mientras que el *Principio de Arquímedes* no tiene una base de experiencia en el niño sino que se fundamenta sobre una *definición verbal inicial* de carácter abstracto. Vigotsky (1934), considera que el desarrollo de los conceptos espontáneos en los niños sigue un camino distinto a los científicos verificándose que los espontáneos evolucionan de manera ascendente y los científicos de manera descendente en la pirámide conceptual.

Pozo (1989:203) postula, basándose en Vigotsky (1934), que los conceptos espontáneos se adquieren a partir de su *referencia* mientras que los científicos lo hacen a partir de su *sentido*. Si bien me muestro de acuerdo con la esencia de la afirmación, estipulo que es mucho más fácil explicarla utilizando el camino de la generalizaciones ya expuesto. Los conceptos espontáneos se obtienen, como bien reflexiona Pozo (1989:203), por el contacto en diversos contextos con los objetos o referentes lo que deriva en una generalización posterior, es

decir, el camino ascendente propuesto por Vigotsky (1934); por otra parte los conceptos científicos se transmiten de manera elaborada por lo que se trata de una especie de *generalización inducida* a la que el sujeto no se apropia personalmente sino que le son dados y es a partir de ese momento cuando el propio sujeto debe descender hacia los casos concretos que debe incluir en esa nueva categoría supraordinada lo cual suele redundar en una reorganización.

Hasta aquí hemos visto como los niños y adolescentes poseen nociones o conceptos comunes. Dado que nuestro análisis se centra en estudiantes universitarios es inminente preguntarse: ¿qué ocurre en los adultos? ¿Poseen nociones vulgares? La respuesta es un rotundo sí. El propio Vigotsky (1934), lo indica cuando analizó la formación de conceptos postulando que la manera de formarlos va cambiando con la edad pero una va recubriendo a la otra como las capas de una cebolla. Por ello muchos conceptos no llegarán formarse como tal en la edad adulta porque las formas anteriores no se abandonan del todo lo que puede dar lugar a *pseudoconceptos*.

En este mismo eje vertebral Smirnov *et al.* (1960), lo plasman claramente al indicar que los adultos poseen conceptos comunes al igual que los niños y adolescentes. Recogen los experimentos de uno de los autores de la obra, donde al preguntar a sujetos adultos sobre la definición de *parque* dan una serie de respuestas equívocas basadas en caracteres no fundamentales sobre lo examinado lo que produce muchas confusiones al ir indagando sobre la definición aportada por el sujeto.

De aquí se desprende que la adquisición de los conceptos científicos conlleva reflexión y un gran esfuerzo cognitivo y social por la dificultad que supone la búsqueda de características esenciales que conformen el significado sin generar ambigüedades, límites poco definidos, etc. Estos y muchos otros datos no llevan a concluir que no podemos restringir este problema a ciertas edades pues queda patente que siguen apareciendo cualquiera la edad.

Ahora bien, la otra vertiente serían los *conceptos científicos*. Se producen normalmente en entornos académicos y son objeto de una enseñanza dirigida y planificada. Shif (1933), demostró que los conceptos comunes van a la zaga de los científicos en alumnos de segundo a cuarto grado. Para explicar esto, Vigotsky (1934), nos sugiere que los conceptos científicos evolucionan de manera distinta pues su origen es distinto y se dirigen en la misma dirección pero en sentido opuesto de desarrollo respecto a los comunes. Los conceptos científicos están sujetos a una *definición verbal inicial* y a un trabajo sistemático desarrollado por el enseñante.

Evolucionan siempre de lo abstracto hacia casos particulares, justamente el camino inverso al que realiza el concepto común; es decir, parten desde y evolucionan hacia puntos diferentes. Para Smirnov *et al.* (1960), los conceptos científicos se formarían cuando el individuo conoce las relaciones que la ciencia ha establecido sobre dichos conceptos, es decir, asume una serie de criterios predefinidos. Estos autores concuerdan con Vigotsky (1934), en que la programación y el procedimiento sistemático seguido en la escuela es primordial para la formación de éstos.

Aquí la relación entre conceptos no está deformada sino correctamente establecida y por consiguiente da lugar a sistema de conceptos diferentes de los que se observan en los comunes. Estas relaciones correctas estarían basadas en los caracteres esenciales de los conceptos y permitirían alcanzar *generalizaciones teóricas* en contraposición a las *empíricas* antes descritas, por lo que Silvestre y Zilberstein (2002), nos proponen que para alcanzar este objetivo debemos hacer uso del carácter científico del proceso de enseñanza-aprendizaje que nos permite conducir a los discentes a asimilar el pensamiento teórico.

Se ha estado discutiendo básicamente sobre las nociones, sus características y asimilación mientras que de manera muy sucinta hemos comentado las relaciones que se establecen entre ellos dando lugar a *sistemas de nociones*, algo parecido a lo que actualmente se ha venido denominando como *teorías*

marco o teorías implícitas. Por esta razón, Bogoyavlensky y Memchinskaya (1960), van un paso más allá y nos hablan sobre la sistematización de nociones, es decir, los sistemas formados por las relaciones que se establecen entre varias nociones o conceptos.

Estos autores parten de la limitación que supondría estudiar solamente la asimilación de conceptos y su diferenciación que fueron las bases establecidas por Vigotsky (1956), y posteriores estudios (*videtur supra*). Los autores, en su análisis sobre la psicología del aprendizaje desde 1900 a 1960 reconocen que el propio Vigotsky (1956), advirtió que para que los conceptos puedan llegar a conocerse, o sea a adquirir un significado, deben ser puestos en relación a otros. Por ende, toma gran importancia, como era de esperar, la formación de jerarquías entre conceptos basada en las operaciones intelectuales de generalización lo cual consideran que es base universal para el desarrollo del pensamiento.

Esto contradice a Pozo (1989:192), quien considera que estos dos autores no tomaron como correcta la postura de Vigotsky (1934), y por tanto no la desarrollaron; lo que ocurrió es que tal y como el mismo Pozo (1989:205) reconoce, dicha teoría está inacabada e imprecisa y requirió de un desarrollo ulterior. Pozo (1989:192), menciona que es gracias a varios artículos posteriores (Driver, 1986; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Rosch, 1977, 1978) que los postulados de Vigotsky se ven refrendados, sin embargo, se equivoca nuevamente dado que muchos artículos de la literatura psicológica, didáctica y pedagógica soviética (*videtur supra*) se fundamentan y refrendan todos los postulados de Vigotsky (1934), además con mucha anterioridad a los mencionados.

Incluso, resulta sorprendente que Pozo (1989:192-209), habiendo mencionado en su bibliografía el texto recopilatorio de Cecchini (1986), simplemente mencione una extraña discrepancia hacia las ideas de Vigotsky y se haya olvidado por completo de las aportaciones de Fleshner (1958), Natadze (1957) entre otros, que describen enfoques idénticos al de las *concepciones*

alternativas relacionado con su discurso teórico con casi tres décadas de adelanto. La sorpresa es mayúscula si nos damos cuenta de que existe una edición inglesa del recopilatorio de Cecchini (1986), muy anterior en el tiempo a cargo de Simon y Simon (1963), de la que, evidentemente, no se realiza el estudio adecuado y científico en obras importantes dedicadas a las ideas previas en psicología de la educación y a la didáctica de las ciencias experimentales (*videtur*: Benlloch, 1997; Carretero, 1996; Caamaño, 2011; Ceacero y González, 2011; Coll *et al.*, 2011; Driver, 1983; Driver, *et al.*, 1994; Driver *et al.*, 1996; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Fernández, 1979; Furió-Más *et al.*, 2000; Jiménez-Aleixandre, 2003; Liguori y Noste, 2007; Limón, 2005; McDuell *et al.*, 2000; Posada, 2000; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Sang, *et al.*, 2000; Taber, 2002a, 2002b)

Continuando con esta línea teórica, un descubrimiento realmente interesante de este avance cualitativo es que la creación de un sistema de nociones que posea un categoría supraordinada favorece la asimilación de nociones o conceptos (Redko, 1950; Zykova, 1950), lo que concuerda con las ideas psicológicas expuestas que se fundamentan en la reorganización del conocimiento.

Sin embargo, para estos autores, el sistema de nociones no puede basarse solamente en una estructura organizativa lógica de los conceptos también deben basarse en otros tipos de conexiones complejas que reflejen el carácter multidimensional de la realidad. Estas relaciones podrían ser de tipo causal, temporal, espacial, entre otras. Las investigaciones hasta esa fecha parecen haber cubierto solamente el estudio de la conexiones causales entre conceptos en sujetos de diez a catorce años.

En estas investigaciones se encontró que la comprensión de dichas conexiones se podía dividir en dos clases: elemental y lógica (Bogoslovsky, 1954; Shardakov, 1955). Según los autores, las conexiones causales que se producen dentro del nivel elemental sobre un fenómeno están guiadas por una sola causa y una sola consecuencia derivada de ésta. Tanto la causa como la

consecuencia que los alumnos describen suelen ser extrínsecas y secundarias. En un estado intermedio entre estos dos niveles, los alumnos comienzan a plantear diversas causas y consecuencias para los fenómenos, no obstante, las causas aparecen en un mismo plano en el que no se distinguen causas generales de parciales y por ende la inclusión de unas en otras. Esto, les permite explicar ciertos aspectos parciales pero no llegan a una correcta generalización. Estaríamos en presencia de una inducción incompleta. En el último estado, el lógico, ya el alumno comienza a diferenciar las causas y consecuencias parciales de las generales lo que le conduce, por medio de la inducción y de manera reduccionista, a la obtención de categorías generales.

Más adelante, Kudriavtseva (1958), encontró otro factor que influye sobre estas clases de conexiones causales es el grado escolar en el que alumno se encuentra y específicamente el nivel de concreción curricular; concretamente en el estudio de la botánica. No es lo mismo, desde el punto de vista curricular, cómo y cuánto se trata la información sobre ese tema específico en cuarto de primaria que en segundo de secundaria obligatoria.

La autora observó que en edades inferiores a los nueve años y según el planteamiento del currículo los alumnos recurrían a observaciones particulares para explicar la relación causal entre ambiente y planta. Entre los nueve y los once años los alumnos comienzan a realizar generalizaciones incompletas donde de manera indiferenciada intentan encontrar una explicación causal entre las plantas y el ambiente (Kudriavtseva, 1958), sin conseguirlo al carecer de una relación particular entre ambos (Shardakov, 1955).

Ya entre los once y los trece años, con un estudio sistemático de la botánica en el currículo, los alumnos comienzan a dar explicaciones causales específicas y generalizadas. Puede observarse, en síntesis, que se sigue un patrón muy parecido al comentado por Bogoslovsky (1954) y Shardakov (1955). Primero un nivel muy concreto y experiencial, un intermedio de generalizaciones incompletas y un tercero y último de generalizaciones lógico-causales. A pesar de los avances que supone entender la sistematización de nociones, era

necesario llegar a un nivel más avanzado. Este nuevo nivel supone evaluar qué ocurre con los sistemas de nociones en las diferentes asignaturas.

En este aspecto se centró Samarín (1954), quien determinó que los sistemas de asociaciones pueden clasificarse según el grado de dificultad que supone para los alumnos la adquisición de las nociones. Primero se comenzaría con las conexiones locales en las cuales se establecen asociaciones entre fenómenos de un tema en concreto para luego evolucionar hacia las asociaciones entre fenómenos distintos de un mismo ámbito (*id est*: dentro una misma asignatura).

Posteriormente los alumnos establecerían conexiones entre las nociones dentro de un mismo ámbito, esta vez reorganizándolo basándose en un principio (e.g. el tiempo) para finalmente mediante analogías establecer conexiones entre diferentes ámbitos de conocimiento (*id est*: entre diferentes asignaturas). Esta visión que contempla la unión de varias asignaturas en un mismo marco fue denominada por Samarín (1954), *cuadro general*.

Se ha ofrecido aquí una panorámica de la visión sobre la influencia del conocimiento antecedente en la didáctica, especialmente de las ciencias. Esta propuesta indica que la principal causa podría estar localizada en una incorrecta abstracción y generalización (Natadze, 1957), provenientes de la actividad analítico-sintética del cerebro.

En resumen tenemos que las características definitorias de las nociones vulgares son que: los conocimientos antecedentes proceden de la experiencia vital del alumno principalmente de la cotidianidad, han de tenerse en cuenta en la instrucción ya que son de especial importancia a la hora de formar conceptos científicos, los alumnos pueden albergar visiones contradictorias entre sí sin ser conscientes de ello, algunos conocimientos previos son resistentes al cambio estando cognitivamente estabilizados, se produce un choque entre las viejas y las nuevas nociones a causa de la instrucción, se aplican unas u otras

según el contexto de la tarea y se correlacionan con el nivel académico del alumno.

2.3.2. Las Concepciones Alternativas.

Hemos examinado la anterior propuesta que abarca cronológicamente hasta la década de los sesenta, aunque continuase posteriormente. Hemos visto que uno de los fundadores de aquella corriente didáctica que tenía en cuenta el *conocimiento antecedente* de los alumnos para la instrucción fue Vigotsky en 1934, publicado póstumo en 1956 (Cecchini, 1986).

No se va a realizar una cronología exhaustiva de la propuesta de las Concepciones Alternativas sino ir situándonos, en la medida de lo posible, en la evolución histórica de los antecedentes que fundamentan a su predecesor: el *conocimiento previo*. Comenzaremos, para este fin, destacando en la pedagogía europea las ideas del pedagogo suizo Pestalozzi (1746-1827), observando cómo en su pensamiento instruccional aparece algo que ya podríamos determinar como una referencia reconocible al *conocimiento precedente* y el descripción de la idea de una experiencia personal anterior influyendo sobre las posteriores.

Recuérdese siempre que estamos haciendo una análisis retroactivo lo que debemos siempre tomar con cautela las interpretaciones, lógicamente las ideas previas aún no estaban definidas como las conocemos en la actualidad. Continuamos con la *psicología herbartiana* dónde se hace especial hincapié sobre la influencia del acervo de vivencias del sujeto sobre la asimilación de nuevas experiencias y que tuvo una fuerte influencia en la didáctica europea.

Esta psicología es denominada a veces como *psicología de las facultades* (Beard, 1974:79-110; Fernández, 1979:136), algo en lo que Nohl (1965:85), se muestra en completo desacuerdo ya que considera que ésta se opone al postulado de unas facultades rígidas y prefijadas postulando que existiría una fuerza vital cambiante en nosotros precisamente en virtud de la asimilación de

nuevas experiencias que creará una interacción con las nuevas. La importancia de las experiencias anteriores codificadas en una fuerza del alma que reinterpretar y elabora los conocimientos futuros se convirtió en toda una corriente psicológica en Europa. Esta concepción se mantuvo después en la obra general de Dilthey. Se generó también, en torno a este tema, el debate sobre si las experiencias son impresas por los sentidos en una mente en blanco (tábula rasa) o si por el contrario ya existe un acervo innato que las asimila, partiendo de las doctrinas establecidas por Platón y Aristóteles respectivamente.

Conviene ahora que realicemos un salto, no muy lejano, sobre la figura del psicólogo infantil suizo Jean Piaget. Este autor se ocupó también sobre problema de la asimilación de las experiencias nuevas o la asimilación del entorno por el individuo lo cual se reflejó en gran cantidad de obras tanto personales, en colaboración o posteriormente sus propios discípulos (e.g. Carey, 1988; Karmiloff-Smith, 1988; Karmiloff-Smith e Inhelder, 1974; Marín y Benarroch, 1994; Piaget, 1946, 1973; Piaget y García, 1982; Piaget e Inhelder, 1948, 1971; Piaget y Szeminska, 1952; Stavy, 1990).

Este salto nos debe llevar, no muy lejos de Dilthey, que falleció en 1911, hasta 1926, cuando Piaget publica la obra *La représentation du monde chez l'enfant* (*La representación del mundo en el niño*), que podemos considerar como uno de los antecedentes más directos y de mayor influencia en el enfoque actual de las *Concepciones Alternativas*. Piaget, ejerció gran influencia sobre la pedagogía, la educación, la psicología infantil y la didáctica, incluso un poco antes que el propio Vigotsky (1934), es decir, se convirtió en uno de los grandes referentes y obtuvo gran repercusión en toda Europa y fuera de ella; también fue estudiado por el propio Vigotsky.

Esta obra literaria puede ser considerada como un compendio clasificatorio de lo que pensaban los niños sobre una variada cantidad de fenómenos de su entorno y el tipo de razonamiento que ponían en juego para poder llegar a poseer semejantes *concepciones de la realidad*. Piaget (1926), advierte que a

pesar de las influencias de los estudios antropológicos de Lèvy-Bruhl (1910, 1922), sobre la mentalidad de los pueblos primitivos, no debe establecerse una analogía directa entre dicha mentalidad y el comportamiento de los niños ya que esto implicaría llegar con prejuicios al análisis de los datos experimentales obtenidos. Sin embargo, era posible que más adelante pudiesen aparecer algunas semejanzas.

También Piaget (1974), nos indica que los seres humanos aprehendemos el mundo utilizando una serie de *esquemas*, entiéndase en el sentido de operaciones o acciones y no como la definición actual provista por la psicología cognitiva, que se utilizan para actuar sobre los objetos. Estos esquemas son distintos según la edad de la persona y se plantea una evolución de éstos. De manera muy resumida podríamos decir que desde el nacimiento hasta los dos años de edad los esquemas que se utilizan se clasificarían en la categoría de *sensoriomotores* o *sensoriomotrices*, desde los dos hasta los siete años de edad el niño utilizaría esquemas *preoperacionales*, desde los siete hasta los once los esquemas de las *operaciones concretas* y finalmente desde la entrada en la adolescencia en adelante esquemas de *operaciones formales* donde Piaget equipara el pensamiento de las personas con el de un científico (Piaget y García, 1982; Rodrigo *et al.*, 1993).

Con todo este aparato teórico, Piaget continuó estudiando las ideas de los niños, pero no fue el único, así vemos que un poco después, Bachelard (1935), también se refirió al tema, un año tras Vigotsky (1934), de las *preconcepciones* cuando escribió que existía un conocimiento empírico ya establecido con el que los niños llegaban al aula, al que denominó *conocimiento empírico constituido*. Seguidamente, Cunningham y Karplus (1962), investigaron sobre las concepciones y el razonamiento llevado a cabo por niños en el estudio de la caída libre de objetos de distinto peso, describiendo toda una serie de ideas propias de dichos niños.

Luego Bruner, Goodnow y Austin (1966), analizaron también cómo los infantes resolvían problemas de índole físico muy parecidos a los que investigó Piaget.

Posteriormente, fundamentado en los postulados de Piaget y Vigotsky, tenemos que Ausubel (1968), presenta en su *teoría del aprendizaje verbal significativo*. De esta teoría proviene la idea de los *preconceptos*, es decir, ya no se trataría solamente de unas ideas que se producen en los alumnos a causa del razonamiento sino de su fijación en los conceptos, aprendidos de manera informal y que son previos al aprendizaje, en gran consonancia con lo defendido por el enfoque de las *nociones cotidianas* anteriormente descrito. Esta teoría tiene en la actualidad, a pesar de las críticas, posee mucha aceptación en la didáctica de las ciencias experimentales especialmente en la organización del contenido y de su transmisión significativa para asegurar una eficaz asimilación.

Como puede observarse se estaba generando ya una fuerte tendencia en la didáctica de las ciencias experimentales para investigar en profundidad qué eran esos *conocimientos antecedentes*, tanto más en el ámbito en la didáctica de las ciencias experimentales, creándose así las condiciones propicias para lo que Posada (2000:372), denomina como *Movimiento de las Concepciones Alternativas* (M.C.A.) o teoría sobre las *ideas previas* que las utiliza como punto de partida de cualquier aprendizaje para fundamentar la práctica de la enseñanza a todos los niveles como el curricular, de aula, diseño de secuencias de enseñanza y aprendizaje, etc.

Es Rosalind Driver, sin duda, una de las autoras más destacadas en la formación y divulgación de este posicionamiento teórico y suele ser considerada como una de sus fundadoras, especialmente en la escuela secundaria. Las concepciones alternativas no son más que el conocimiento previo, sólo que en este caso concreto aquel relacionado con el aprendizaje de las ciencias experimentales. A este respecto, indica Jiménez-Aleixandre (1998), que Driver visitó España en diversas ocasiones donde participó en conferencias y estuvo dispuesta a fundar grupos de trabajo centrados en la vertiente didáctica que tuviese en cuenta sus aportaciones teóricas. También infundió la idea de una marco colaborativo europeo en este aspecto como es el proyecto ESERA.

En vinculación a esta tesis, podemos mencionar que en la Facultad de Ciencias de la Educación de La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, el enfoque de las concepciones alternativas está presente en la didáctica, dentro de la corriente constructivista. Siendo esto así, vamos a estudiar a continuación con un poco más de detalle su propuesta teórica sin descuidar a otros autores relacionados con nuestra línea histórica.

Driver fundamentó su teoría en los planteamientos de las “*concepciones*”, tomado de las ideas de Ausubel (1968). El más importante que ella menciona es el significado del término *concepciones previas de los alumnos*.

También nos recuerda esta autora como esta idea está inmersa en las doctrinas de muchos pedagogos como Piaget, Wallon, etc., y que ya hemos descrito aquí con anterioridad. Su andadura comienza con la presentación de su tesis doctoral en 1973, dónde investigaba sobre el comportamiento cognitivo de los niños y cómo éste afectaba su manera de aprender las ciencias experimentales.

Basándose a lo que allí analizó, determinó que el *conocimiento cotidiano* que poseen los estudiantes sobre los fenómenos naturales debían ser entendidos como un *entramado coherente de la interpretación que realizaban de sus experiencias vitales utilizando el sentido común*. Este conocimiento no debía ser considerado como errores o interpretaciones erróneas de la realidad, como se les había tratado en multitud de ocasiones, sino como interpretaciones alternativas a las aportadas por la ciencia sobre dicha realidad.

A su vez, rechazó la idea de Piaget de que el conocimiento nuevo se obtiene única y exclusivamente a través de esquemas presentes en el niño según su estadio biológico sino que éste de obtendría basándose en esas *interpretaciones alternativas* que realizan los pupilos sobre el entorno y que se encuentran presentes en el momento de comenzar la enseñanza reglada.

Sobre este mismo tema, un año más tarde, Knoll (1974), prácticamente imitando a Vigotsky (1956), expresa que la enseñanza que se imparte en la escuela debe tomar como punto de partida el conocimiento que el alumno trae consigo. Los trabajos de este autor guardan semejanzas con los realizados por toda la línea de conocimientos antecedente, principalmente desde la perspectiva de Piaget, pero aplicado en Alemania.

Knoll (1974), nombró ese conocimiento como *nociones infantiles* y explica que el profesor que ignore dicho saber, que se ha formado a lo largo de mucho tiempo, tendrá problemas para conseguir el éxito en su proceder didáctico. Del mismo modo, podemos acordar con Barnes (1976:22), que si el aprendizaje consigue traspasar lo memorístico entonces observaremos como el pupilo conectará lo viejo con lo nuevo. Un poco más tarde, en el ámbito de la psicología educativa, vemos que de forma paralela Novack (1977), acuña el término *preconcepciones* y nuevamente Ausubel (1977), el de *conocimiento previo*; el primer autor lo hizo dentro de su teoría general de la educación y el segundo en el ámbito de su teoría del aprendizaje verbal significativo.

Tras su tesis doctoral, avanzamos hacia el artículo que Driver escribió en colaboración con Easley y en el que aparece nuevamente el planteamiento sobre un conocimiento precedente basado en *interpretaciones alternativas* en los sujetos. La idea ha venido a cristalizar en los términos ingleses *alternative frameworks* o *alternative conceptions* (Driver y Easley, 1978), que en español ha pasado a denominarse denominarse como: *ideas previas*, *concepciones alternativas* o *marcos explicativos alternativos*.

En ese mismo año, encontramos que dichos términos han tomado otros nombres como *misconceptions* (Linke y Venz, 1978), cuya traducción al español puede tomarse como *concepciones erróneas* o *ideas erróneas* y sirve para referirse a que esas *ideas alternativas* son incorrectas, es decir, desviaciones respecto del conocimiento científicamente aceptado y por tanto deben sufrir una corrección. Esta nueva formulación siempre ha estado

cargada de connotaciones negativas algo que no está presente en la formulación de las ideas alternativas (Driver y Easley, 1978).

Hacia la década de los ochenta, se da un gran paso que enriquece al movimiento de las concepciones alternativas cuando se realizaron grandes proyectos de investigación en didáctica de las ciencias experimentales, que en la actualidad podríamos tomar casi como proyectos de especie *big data*, sobre las *concepciones alternativas* en varias partes del mundo, principalmente en estudiantes de primaria y primer ciclo de secundaria.

Nos centraremos ahora en el proyecto neozelandés *Learning in Science Project* o Proyecto sobre el Aprendizaje de las Ciencias (Osborne *et al.*, 1982; Osborne y Freyberg, 1982). De estos proyectos, nace un nuevo término, el cual es *ciencia de los niños* (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982; Osborne y Freyberg, 1985), derivado del término inglés *Children' Science*. Este nuevo vocablo vendría a indicar que el conocimiento precedente de los alumnos se comporta como teorías, al igual que si fuesen las científicas, pero realizadas bajo el razonamiento propio de los niños.

La pluralidad de términos no termina en estos que se han mencionado en líneas superiores, Posada (2000:369), realiza una excelente recopilación de los diez términos más comunes encontrados en la literatura científica al respecto y se hace eco de los casi treinta términos descritos por otros autores (Abimbola, 1988; Giordan y De Vechhi, 1988). Con estos proyectos, se descubrió principalmente que los niños utilizan esos conocimientos previos con los que llegan a clase para adquirir el contenido escolar; estos son firmes, resistentes al cambio, son diferentes a los de la ciencia e incluso a veces contrarios a ellas y no cambian con la simple instrucción (Freyberg y Osborne, 1982).

Partiendo de esta enorme cantidad de datos y de la controversia con las ideas de Piaget, deriva el título del libro de Rosalind Driver, *¿Son los estudiantes como los científicos? (The pupil as scientist?)* publicado en 1983, que ocurre tras realizar varios estudios en el aprendizaje de fenómenos físicos en niños y

adolescentes donde se reafirma en la primera definición que dio sobre las *concepciones alternativas*.

Aquí la autora explica nuevamente como los alumnos llegaban a clase con ciertas ideas de como funcionan los fenómenos del mundo y concuerda con Ausubel (1968, 1977), en que estas ideas deben ser el punto de partida de cualquier enseñanza. Aparecen también las características que se han observado como ser tenaces, resistentes a ser cambiadas o desaparecer (Ausubel, 1968; Driver, 1983), suelen ser estables porque funcionan bien en muchos casos para el alumno, pueden ser comunes (*id est*: aprendidas en un contexto no escolar o cotidiano) o aprendidas en la escuela y son el marco teórico que se utilizará para interpretar el nuevo aprendizaje. Todo en concordancia con lo expuesto en renglones superiores.

Además, estudiando conceptos como fuerza, electricidad, calor, luz o partícula, incide también en el aspecto conceptual, según el cual los alumnos sufrirán obstáculos en su aprendizaje de conceptos científicos si para comprenderlos utilizan los *significados vulgares* (cotidianos) o se adscriben a una *idea previa* explicativa del fenómeno que se relacione con dichos términos (Driver y Erickson, 1983). Esta idea es muy parecida a la propuesta de las nociones cotidianas donde se hablaba de conceptos vulgares, cotidianos o ideas con las que el alumno llega que no se corresponden con el contenido científico a enseñar en la escuela (Fleshner, 1958; Smirnov *et al.*, 1960) y también con la conformación de un sistema o red de conceptos con relaciones inadecuadas o deformadas (Bogoyavlensky y Memchinskaya, 1960; Smirnov *et al.*, 1960).

Desde su planteamiento original en su tesis de 1973 hasta 1983 el significado del término no había evolucionado apenas, sin embargo, se observa que en la siguiente obra importante, Driver junto a otros autores (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985), comienzan a modificar la definición de las *concepciones alternativas*, siendo ésta ligeramente distinta de aquella que formuló en primeras ocasiones.

Ahora, admite la pluralidad de términos que pueden existir en torno a estas *ideas previas* con la que los alumnos llegan a clase. Además empieza una mayor conexión con la psicología cognitiva, concretamente hacia los *esquemas* (Rumelhart y Ortony, 1977; Rumelhart, 1980), propuestos por la psicología computacional de la memoria o del procesamiento de la información y les acuña un nombre distinto, ahora son "*entidades mentales*" (*mental entities*) muy complejas que poseen diferentes connotaciones (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985:4).

Cuando sean denominadas "*nociones intuitivas*" será porque hacen referencia a una especie de entidades mentales cuyo origen podría ser la *intuición* o el *sentido común*, aquellas que sean "*concepciones*", "*reglas*" o "*prototipos*" se referirán a que poseen cierta validez general en los estudiantes y finalmente se considerarán "*estructuras cognitivas*", "*marcos conceptuales*" o "*modelos de los estudiantes*" a aquellas que guardan ciertas relaciones entre sus elementos y una cierta *organización* o *coherencia interna*.

Finalmente indica que se les añade el calificativo de "*alternativas*" para diferenciar su carácter respecto de las teorías científicas aceptadas. Esta nueva pluralidad de términos enmarcados en la categoría supraordinada de *entidades mentales* refleja, según Driver, Guesne y Tiberghien (1985:9) la naturaleza multifacética y la variabilidad que caracteriza a las *ideas previas* de los alumnos.

A las nuevas características correspondientes a cada término según una connotación se añaden las que ya teníamos pero más perfiladas: son personales lo cual no implica que no puedan ser compartidas por varias personas, grupos, sociedades, etc., para el profesor pueden parecer incoherentes mientras que para el alumno guardan cierta coherencia interna, el alumno pueden dar varias versiones contrapuestas de un fenómeno sin observar incoherencias, a pesar de enseñarles contraejemplos o evidencias y éstas no se abandonan fácilmente siendo muy estables a pesar de la instrucción.

Como se puede observar, el término ha evolucionado en su significado por la interacción con otros investigadores que aportan su visión al tema de investigación y la influencia de la psicología con su modelo de procesamiento de la información. El término se ha diversificado en tres conceptos englobados en una categoría supraordinada denominada “*entidades mentales*”. Es notable el nuevo viraje de aquello que antes eran simples concepciones alternativas hacia algo más complejo y variado, ahora se admite que puedan ser entes aislados o entre ellos guardar relaciones internas a modo de teorías.

Recordemos que ya habían estudios que ponían en duda el grado de coherencia de las ideas previas indicando que estarían fragmentadas (Solomon, 1983a), y que lo único que debía hacerse era que el alumno discriminara en qué contexto utilizar cada una (Solomon 1983b), lo cual no resta que estos fragmentos pudieran unirse de manera coherente. Por otro lado, Ausubel, Novak y Hanesian (1983), en conjunto vuelven a reafirmarse en la necesidad de tener en cuenta los conocimientos previos como factor clave para el inicio del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otro salto enorme se da con la vinculación de las concepciones alternativas al *constructivismo* (Driver, 1986; Driver y Bell, 1986; Driver y Oldham, 1986), lo que termina por fundamentar psicológicamente la cuestión; y también con el desarrollo del proyecto CLIS (1987), o Proyecto sobre el aprendizaje de la ciencia por los niños, por sus siglas en inglés. Este proyecto fue dirigido por Rosalind Driver en la Universidad de Leeds (Jiménez-Aleixandre, 1995, 1998), con un enfoque casi idéntico al propuesto por el LSP en Nueva Zelanda y que prácticamente vino a reforzar lo que ya se conocía sobre el tema.

Con las aportaciones de Pozo (1986) y Solomon (1988), comienza a centrarse la atención sobre los mecanismos de razonamiento que dan lugar a estas ideas alternativas. Pozo (1986), describió cinco reglas que formarían parte de un razonamiento cotidiano y son: la semejanza entre causa y efecto, contigüidad espacio-temporal y covariación cuantitativa-cualitativa. Solomon (1988), por su parte, resumió que los alumnos construyen sus ideas tratando de explicar los

fenómenos de la naturaleza haciendo uso de sus propios marcos conceptuales y malinterpretan los conceptos que se imparten en clase por la interacción con el lenguaje cotidiano que es poco riguroso.

Por tanto, la progresión de las investigaciones sobre las concepciones alternativas sufre otro viraje al comienzo de la década de los años noventa cuando empieza a tomar fuerza el aprendizaje y el razonamiento intuitivo, también el aprendizaje y razonamiento implícito debido a la fuerte conexión que estaban exhibiendo las ideas alternativas con la psicología. Así el centro de los estudios empieza a centrarse más en el razonamiento humano que da lugar a esas ideas alternativas. Algunos autores (Vosniadou y Brewer, 1992, Vosniadou, 1994a, 1994b; Pozo *et al.*, 1992), analizan las ideas previas en su conjunto y llegan a la conclusión de que éstas son derivadas de unos principios que se organizan en teorías marco o implícitas. Estas posiciones teóricas que evolucionaron desde las concepciones alternativas las trataremos más adelante.

De esta progresión teórica como intento de explicar las ideas alternativas llevan a varios autores a sintetizar, en una nueva obra científica, la evolución observada (Driver *et al.*, 1994). Esta obra es *Making sense of secondary science: research into children's ideas (Dando sentido a la ciencia en secundaria: investigaciones sobre las ideas de los niños)* y supone, más que un cambio, una transformación de las ideas previas en una teoría más compleja.

A partir de aquí, se comienzan a tratar las *ideas previas* como algo mucho más elaborado y vuelve a cambiar la designación verbal del término que pasan ahora a llamarse "*construcciones personales*", nombre idéntico al dado por Kelly (1955), las cuales son ideas que tratan sobre el funcionamiento de las cosas o fenómenos procedentes de experiencias sensoriales de los alumnos que difieren de las versiones científicas aceptadas.

Se las vuelve a clasificar como alternativas a la ciencia y admiten nuevamente su persistencia tras la instrucción escolar (Driver *et al.*, 1994). Hasta este punto

se mantienen los anteriores componentes del significado; sin embargo añade, que no requieren una representación explícita en el lenguaje por lo que empieza a verse la influencia del supuesto procesamiento implícito de la información en la mente. Se producen en *dominios de experiencia* y evolucionan para acomodar una mayor cantidad de vivencias tras abandonar la enseñanza reglada (Driver *et al.*, 1994).

Esto nos lleva a concluir que aparece por primera vez el *carácter implícito* de las *ideas previas*, algo con lo que antes no se contaba y que este *conocimiento precedente* se genera en ámbitos concretos de la experiencia que pueden identificarse posteriormente con asignaturas o ámbitos de conocimientos científico impartidos en la escuela. El cambio anterior en el significado del término se produce, además, porque en dicha época comenzaban a asentarse las ideas sobre el concepto de *dominio* (Karmiloff-Smith, 1992; Hirshfeld y Gelman, 1994; Pozo, 1994) y de *microdominios* vinculados a asignaturas o temas concretos escolares (Karmiloff-Smith, 1992), en nuestro caso, en el aprendizaje de las ciencias; o sea, empezó a considerarse la química, la física etc., como dominios y la gravedad, los compuestos químicos, etc., como microdominios, que sospechosamente pueden casi coincidir con conceptos.

El *carácter implícito* de la *ideas previas* sobre el que Driver *et al.* (1994), comentan tiene también su justificación en lo que empezó a considerarse información *implícita* o no verbalizable (Spelke y Kestenbaum, 1986; Karmiloff-Smith, 1992), y en el surgimiento de las *teorías implícitas* (Pozo *et al.*, 1992) o *teorías marco* (Vosniadou, 1994a, 1994b). Por último, aparece el significado de evolución y transformación de estas construcciones según se asimilan nuevas experiencias sensoriales en la vida.

Continuando con las posteriores investigaciones de Driver *et al.* (1996), se destaca la influencia que tienen las representaciones epistemológicas que posee el alumno sobre las teorías científicas en la interpretación que se hace de casos de estudio y de la información científica aprendidos en clase. Las consideraciones de los alumnos sobre el trabajo científico están limitando las

respuestas que dan a las observaciones e ideas mostradas en la clase (Driver *et al.*, 1996). La interpretación que hacen los alumnos del carácter de las teorías científicas y de sus propias construcciones personales están relacionadas con estos modos de razonamiento y con la edad (Driver *et al.*, 1996), aspecto que da la impresión de una vuelta a los postulados de Piaget. En el estudio del razonamiento sobre experiencias científicas de alumnos de 9 a 16 años se encontraron tres modos de razonamiento los cuales son: fenomenológico, correlativo y modelador.

En el razonamiento fenomenológico, que se encuentra en alumnos de 9 a 12 años, los alumnos consideran que sólo debemos observar el fenómeno y la explicación de lo que ocurre se manifiesta por sí sola, no existe diferencia entre evidencia y explicación. Entre los 12 y los 16, aparece el razonamiento correlativo, en el cual los alumnos buscan variables que influyen en el fenómeno y a partir de su relación buscan la explicación pertinente dando lugar a *generalidades obtenidas de la experiencia* (Driver *et al.*, 1996); éstas que aquí se mencionan son explicaciones de los fenómenos físicos basadas en la relación de variables medibles y que pueden tomar forma de correlación o de secuencia causal-lineal (Driver *et al.*, 1996). Además se toman en cuenta otras variables, aunque no todas las posibles, pero sólo una relación es la verdadera causa (Driver *et al.*, 1996).

Finalmente, a partir de los 16 años predomina el razonamiento modelador, el cual antes de interpretar un fenómeno, llega con una teoría explicativa que debe ser evaluada en función de las evidencias empíricas. Se admite la pluralidad de modelos para explicar un mismo fenómeno y la problemática de hacer encajar las teorías en la praxis; las teorías son conjeturas temporales sobre lo que ocurre y pueden ser sustituidas por otras si las nuevas interpretaciones así lo exigen (Driver *et al.*, 1996).

En resumen, hemos visto que la evolución de lo que comenzó simplemente como un conocimiento antecedente fue tomando importancia como nociones cotidianas o concepciones alternativas. La transformación del término que se

propuso (Driver y Easley, 1978), parece desarrollarse casi en paralelo con el desarrollo de la psicología cognitiva, especialmente el modelo de procesamiento de la información. Concretamente, las *ideas previas* se transformaron posteriormente en una *entidad mental* o *esquema* para más tarde tomar la forma de *teoría implícita* o *teoría marco*. Las *clases de razonamientos* (Driver *et al.*, 1996), que anteriormente se comentaron parecen más aquello que daría forma al aprendizaje que una evolución del término que estamos examinando. Veremos como más adelante se observan las influencias de esta autora y sus colaboradores en los estudios generales de *didáctica de la química* (Taber, 2001b, 2002a, 2002b) y específicamente en el *tópico ácido - base* que nos ocupa.

Así, el significado de *concepción alternativa* ha ido variando con el tiempo como puede observarse en el análisis superior de varios autores (Driver y Easley, 1978; Driver, 1983; Driver *et al.*, 1985; Driver *et al.*, 1994), dichos cambios parecen estar a la zaga de los dictados de la psicología. Algunos investigadores en este campo, especialmente los psicólogos evolutivos, dieron un paso más allá al intentar encontrar una explicación plausible a dichas concepciones en el funcionamiento de nuestra mente.

Surgen, de esta manera, varios enfoques que se pueden agrupar dentro de las *Teorías Intuitivas* porque poseen en común el colocar la causa generadora de las *concepciones alternativas* en unos *supuestos implícitos* que subyacen en nuestra mente y que podrían tener su origen en el funcionamiento filogenéticamente antiguo de nuestro cerebro, concretamente en un *sistema primario de aprendizaje implícito* (Pozo y Carretero, 1987; Reber, 1993; Froufe, 1996; O'Brien-Malone y Maybery, 1998; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Stadler y Frensch, 1999; French y Cleeremans, 2002; Pozo, 2003c), o *saber ingenuo* o *intuitivo* que se mezclará con posterioridad con los saberes culturalmente transmitidos (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Vosniadou y Brewer, 1992, Vosniadou, 1994a, 1994b, Schnotz, Vosniadou y Carretero, 2006), que interactuará con los aprendizajes científicos posteriores.

Este aprendizaje se ha estudiado en situaciones propias de *aprendizaje implícito y memoria implícita* (Jacoby y Witherspoon, 1982; Jacoby, 1983; Graf y Schacter, 1985; Berry, 1997; Stadler y Frensch, 1998; French y Cleeremans, 2002) y en contextos cotidianos (Pozo *et al.*, 1992; Keil y Silberstein, 1996; Pozo, 1996a). Es a partir de éstos supuestos implícitos como se evolucionaría hacia el aprendizaje explícito o hacia esas *concepciones alternativas* que expresan los alumnos. Al igual que posteriormente Taber (2001b), distingue entre impedimentos *ontológicos* y *pedagógicos* fundándose en la diferencia de origen de las *concepciones alternativas* (sensorial-cotidiano o escolar), así estos enfoques distinguen entre dos orígenes de los supuestos que gobiernan nuestro procesamiento de la información (y por consiguiente de la generación de *concepciones alternativas*): los adquiridos por los alumnos de manera *explícita* que son transmitidos culturalmente y los que provienen de nuestra antigua filogenia de carácter *implícito*.

Estos enfoques hacen uso de una gran distinción entre *conocimiento cotidiano* y *conocimiento científico*, tal y como lo hiciera ya la psicología soviética (Bogoyavlensky y Memchinskaya, 1960; Smirnov *et al.*, 1960), aunque las diferencias entre ambos depende de los autores consultados (Claxton, 1984; Chi, 1992; Pozo y Carretero, 1987; Pozo *et al.*, 1991; Pozo *et al.*, 1992; Rodrigo, 1997; Rodrigo y Correa, 1999; Vosniadou, 1994a).

Estas teorías implícitas se generan dentro de *dominios de conocimiento* que son difíciles de delimitar y depende de si se siguen criterios educativos, epistemológicos o psicológicos, no obstante, aquí seguiremos las recomendaciones de Karmiloff-Smith (1992) y de Pozo y Gómez-Crespo (1998) de asociar dominio con ámbito de conocimiento como lo son la Física, la Química, la Biología, etc. Esta parcelación del conocimiento humano viene a romper con las anteriores tradiciones que consideraban el desarrollo cognitivo como reglas generales que permitían el procesamiento de información en todos los ámbitos (Piaget, 1952b; Bruner, 1974) y tratan de brindar una alternativa basándose en las ideas de posteriores autores sobre la modularización de la

mente (Fodor, 1976, 1983; Carey, 1985; Gelman, 1990; Karmiloff-Smith, 1992; Wellman y Gelman, 1992; Carey y Spelke, 1994).

Llegados a este punto, conviene, como nos indica Karmiloff-Smith (1992) no confundir módulo con dominio. Para la comprensión de las teorías implícitas cobra especial importancia además de la psicología evolutiva y los modelos mentales el paradigma del procesamiento de la información en el caso de determinados autores (Pozo y Carretero, 1987; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Pozo y Scheuer, 1999). A continuación se exponen las dos principales corrientes dentro de este enfoque: las *Teorías Marco* y las *Teorías Implícitas*.

2.3.3. Las Teorías Marco.

Todas las propuestas revisadas por el momento han intentado encontrar diversas explicaciones al *conocimiento precedente* que observamos en los alumnos cuando ingresan en la enseñanza reglada. Básicamente, se han conformado con explicar que su generación se debe a la interpretación de experiencias sensoriales, asimilación de explicaciones cultural o sociales, etc. Incluso, se ha podido observar cómo el significado del propio término ha ido evolucionando con el tiempo.

En este sentido, Vosniadou y Brewer (1992, 1994) y Vosniadou (1994a, 1994b), proponen, siguiendo la tendencia general de este grupo de enfoques, que en nuestra mente existe un *conocimiento intuitivo* (la intuición) que asume de forma *implícita* una serie de determinados *principios* sobre la realidad y los utiliza para crear representaciones de la realidad circundante. Estas representaciones mentales no son más una forma de catalogar a los modelos mentales o a las construcciones personales que posteriormente veremos y su carácter implícito indica que no sabemos cómo sucede. De esta manera, en el momento que un sujeto activa sus *representaciones* sobre un determinado fenómeno, en nuestro caso los de carácter cotidiano, las construye y reconstruye basándose en ellos.

Estos *principios intuitivos*, según las descripciones de la autora, parecen estar fundamentados en una mezcla de *empirismo* y *realismo ingenuo* ya que los principios comunes que fundamentalmente identifica son de esta clase, por ejemplo: la realidad existe ahí fuera independientemente del observador, existen objetos reales con propiedades absolutas independientes del observador, etc. Se parece al empirismo porque muchos de los principios se han obtenido como datos de las experiencias de los sujetos con fenómenos de la realidad en contextos culturales y al realismo ingenuo porque en dichas experiencias los sujetos consideran que éstas son tal como los vemos, no admiten interpretación. No obstante, se adscribe al constructivismo, por lo tanto, ¿la realidad no deberían ser tal y como la construimos? ¿No debería ser principios constructivos en vez de intuitivos?

Las representaciones mentales que se han propuesto se basarían en principios implícitos, formarían parte de un sistema de tres niveles jerárquicos de nuestro pensamiento en cada dominio de conocimiento (figura 4).

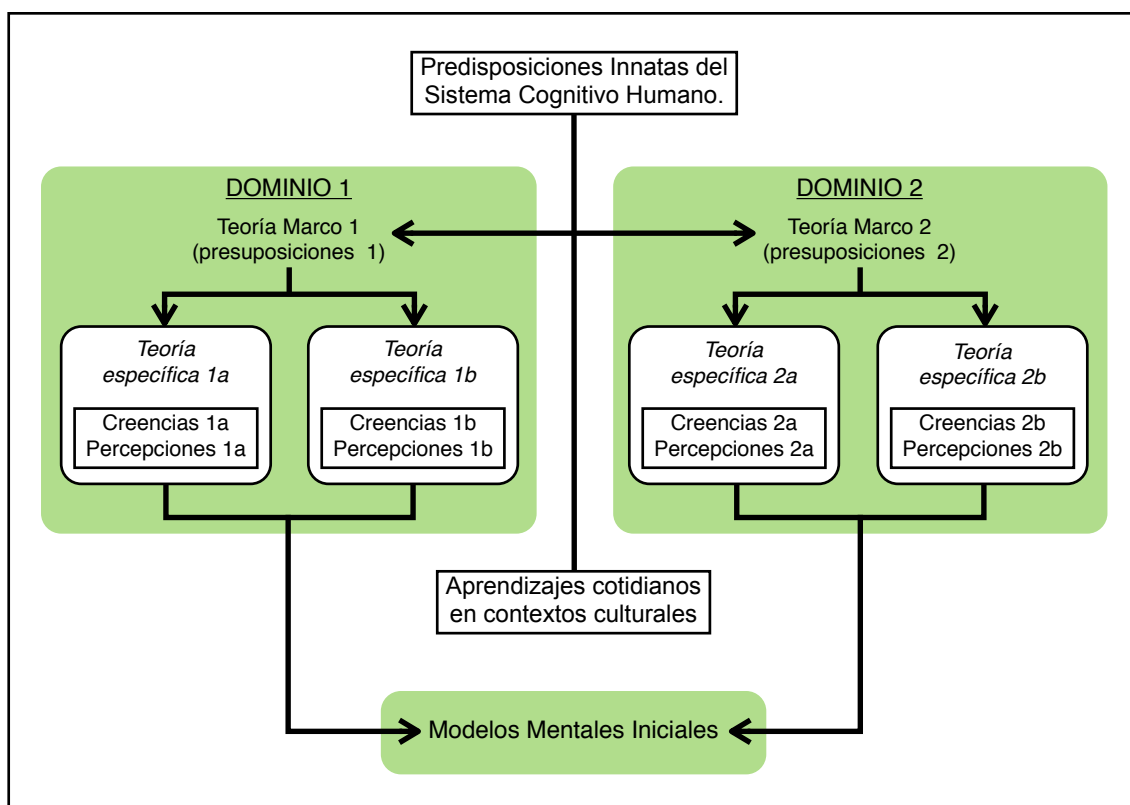


Figura 4. Descripción gráfica de la propuesta de las Teorías Marco.

El *primer nivel* y más sencillo de acceder a él mediante pruebas diagnósticas serían, según la autora, los *modelos mentales iniciales*, que son representaciones mentales de fenómenos u objetos físicos de la realidad que son expresados por los examinandos. Estos modelos mentales son considerados iniciales debido a que son el conocimiento precedente con el que el alumno arriba a la enseñanza reglada y de los cuáles se han encontrado innumerables ejemplos según los campos de conocimiento.

Un análisis pormenorizado de dichos modelos mentales iniciales que eran considerados concepciones alternativas simplemente muestra, según Vosniadou y Brewer (1992, 1994), que lo hasta el momento observado por los investigadores no es tan sencillo como parece. La investigación transcultural sobre conceptos relacionados con la astronomía (especialmente de La Tierra, La Luna y el Sol), entre otros ejemplos de conceptos físicos, en estudiantes de nueve a dieciséis años realizadas por los autores (Vosniadou y Brewer, 1990; Vosniadou y Brewer, 1992), y por otros investigadores (Mali y Howe, 1979; Klein, 1982; Sneider y Pulos, 1983; Nussbaum y Sharoni-Dagan, 1983; Nussbaum, 1985; Jones *et al.*, 1987; Baxter, 1989), les conduce a concluir que existen una serie de patrones comunes a dichos modelos mentales iniciales que subyacerían a éstos, es decir, existiría una estructura profunda común que los genera.

Dichos patrones comunes estarían integrados coherentemente en un *segundo nivel* de representación mental denominado *Teoría Específica* que suele estar relacionada con un fenómeno en concreto o con un subdominio específico dentro de un dominio de conocimiento (Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Vosniadou, 1994a, 1994b). Estas teorías específicas pueden tener una mayor o menor generalidad pero suelen estar circunscritas a un determinado subdominio y se componen de proposiciones divididas en dos partes: las *creencias* y las *observaciones en el contexto cultural* o percepciones (Pozo y Gómez-Crespo, 1998:111). Vosniadou y Brewer (1992, 1994), y Vosniadou (1994a, 1994b, 2006), consideran que las *creencias* son fáciles de cambiar por

lo que un sujeto puede generar cambios en sus teorías específicas con escasa dificultad (Vosniadou, 2006:44).

No obstante, el análisis de patrones comunes no se detiene aquí, Vosniadou y Brewer (1992, 1994) y Vosniadou (1994a, 1994b), proponen llegar a un *tercer nivel* más profundo del cual partirían esas *creencias* que observamos en las teorías específicas. Ese tercer nivel estaría formado por las *Teorías Marco* que estarían fundamentadas en *suposiciones* que poseen los sujetos sobre el mundo que les rodea y se encargarían de alimentar las diferentes *creencias* que tenemos en cada subdominio.

Las teorías marco son *ingenuas y propias de cada dominio* contando con una mayor generalidad que las *teorías específicas*, puesto que de sus *suposiciones* se pueden derivar múltiples *creencias* que fundamentarían posibles múltiples teorías específicas que derivarían, a su vez, en varios modelos mentales iniciales.

Puede observarse como la autora realiza una especie de camino inverso desde los modelos mentales hacia las teorías marco basándose en rasgos comunes que van siendo identificados en cada nivel, sin embargo, ¿de dónde proceden los fundamentos de las *suposiciones* que sostienen a las teorías marco?

Se había mencionado la influencia de la psicología evolutiva en este grupo teórico, haciendo uso de ésta, Vosniadou (1994b), vincula los supuestos o suposiciones que conforman una teoría marco a dos factores: las predisposiciones innatas del sistema cognitivo humano y al aprendizaje en contextos culturales de la vida cotidiana que de manera general condicionan los presupuestos que definen a las teorías marco.

Esta propuesta teórica incluye además del cómo son las cosas determinadas características que les son asignadas, siendo una mezcla de epistemología y ontología.

2.3.4. Las Teorías Implícitas.

En el análisis que realizan Pozo y Gómez-Crespo (1998), sobre las *concepciones alternativas* o *ideas previas*, se nos invita a vincularlas al funcionamiento cognitivo derivado de la psicología cognitiva y de la *corriente representacionista* dominante en la década de los años noventa en la propia psicología y especialmente en la enseñanza de las ciencias; además de una fuerte adhesión al *paradigma del procesamiento de la información*.

Este enfoque es muy parecido al de Vosniadou y Brewer (1992, 1994), de hecho, Pozo y Gómez-Crespo (1998), suelen tener en cuenta dicha teoría en sus planteamientos; no obstante, posee algunas características singulares que la hacen merecedora de un tratamiento aparte. Dicho análisis parte de la premisa por la cual todos los datos obtenidos en las investigaciones sobre *conocimientos precedentes* no deberían ser tratados de la misma manera, es decir, no deberían tener el mismo valor ni las mismas características, por consiguiente, no todos deben poseer el mismo *status quo*.

Considera que todos los *conocimientos precedentes* sobre ciencias (que los autores denominan *ciencia intuitiva*) de los alumnos no están formados por los mismos componentes sino que pueden existir hechos aislados o también verdaderos *entramados conceptuales* que podrían tomar la forma de *teorías*. Para sistematizar esta problemática, se propone una división de los conocimientos explicitados por los sujetos en tres niveles diferentes según su representación mental (figura 5), de manera muy parecida a los tres niveles jerárquicos que plantearan Vosniadou y Brewer (1992, 1994).

Dicha división se fundamenta en varios estudios donde al analizar las relaciones entre el conocimiento científico y el cotidiano dentro de un *dominio* específico aparece la necesidad de diferenciar entre los diversos niveles de *análisis representacionales* (Pozo, 1994; Rodrigo, 1997; Rodrigo y Correa, 1999). De esta manera, el *primer nivel* se correspondería con las respuestas dadas por los sujetos a las pruebas que son sometidos, entre ellas podríamos

distinguir predicciones, verbalizaciones, acciones, etc. Es la forma en la que nos son dados o hemos obtenido los datos por parte de los sujetos experimentales que posteriormente son utilizados para los estudios o análisis de las investigaciones psicológicas, educativas, etc.

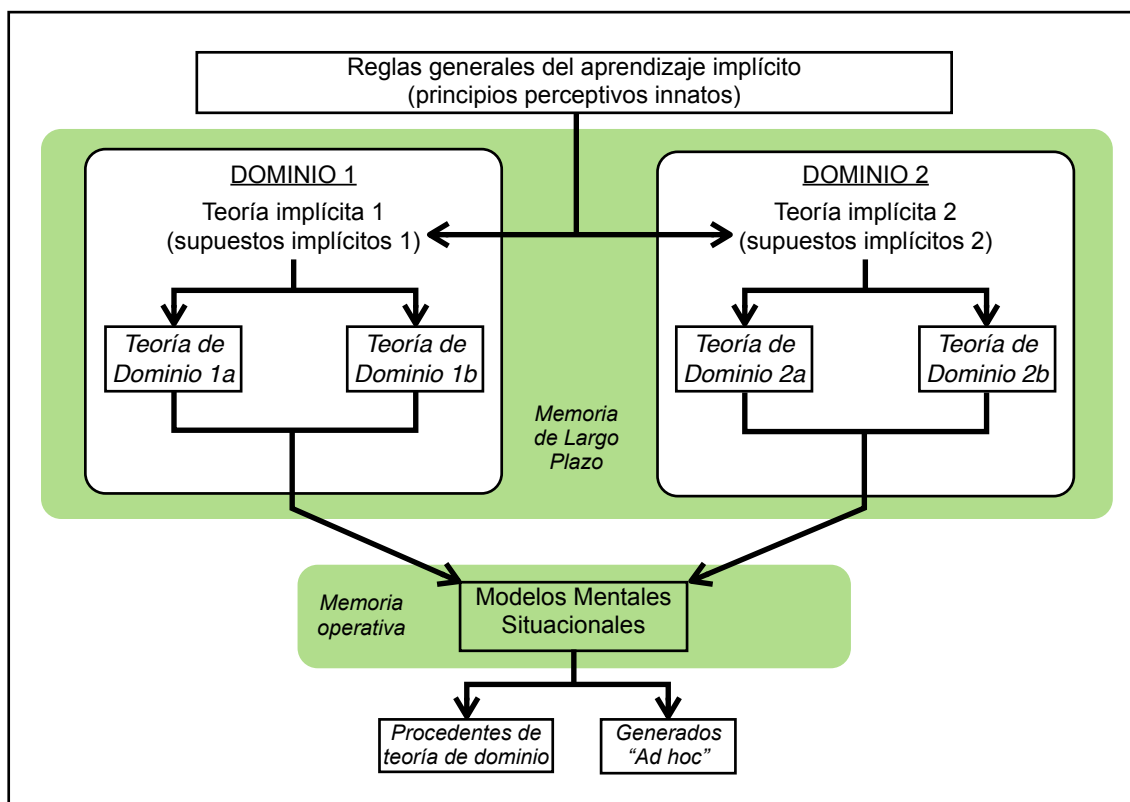


Figura 5. Descripción gráfica de la propuesta de las Teorías Implícitas.

Siguiendo a Pozo y Gómez-Crespo (1998), el formato representacional asignado a este primer nivel son los *modelos mentales* propuestos por Rodrigo (1997) y el *locus* donde se producirían es la conocida como *memoria operativa* que fue propuesta por Baddeley y Hitch (1974), posteriormente revisada por Baddeley (1986, 2001, 2007). El rasgo más importante para estos *modelos mentales* señalado por Rodrigo (1997) y Rodrigo y Correa (1999), es que son situacionales, lo cual significa que estas representaciones se activan o generan para una situación específica (o tarea específica) y son muy inestables. En muchos casos, estas representaciones las construyen los alumnos *ex-profeso* para la situación dada debido a las demandas del contexto y no están almacenadas de manera permanente o explícita en la memoria de largo plazo o

sistema cognitivo de dichos alumnos y de acuerdo con Pozo y Gómez-Crespo (1998), ello les confiere cierto carácter implícito debido a su escasa reproducibilidad.

En un *segundo nivel* se correspondería con unas estructuras denominadas *Teorías de Dominio o Subdominio* y se referirían a un conjunto de reglas o regularidades estables que están presentes en los *dominios* de conocimiento de los sujetos y son las que dan lugar a una serie de modelos mentales situacionales como los descritos en el primer nivel. Así los modelos mentales situacionales que observamos en los examinandos son de dos clases: “generados *ad hoc*” y “procedentes de una teoría de dominio”. Los que realmente merece la pena estudiar no serían los modelos generados sólo por las condiciones del contexto sino aquellos que revelan una estructura profunda subyacente ya que comparten unos rasgos comunes.

De acuerdo con Rodrigo (1997), las teorías de dominio son representaciones mentales mucho más estables que los modelos del primer nivel que se generan *ex profeso* y se encuentran de manera explícita en la *memoria de largo plazo* propuesta por varios autores dentro de los *modelos del procesamiento de la información* (Atkinson y Shiffrin, 1968; Waugh y Norman, 1965). Al contrario que los modelos mentales situacionales, las teorías de dominio son entramados conceptuales, o sea, no hablamos ya de ideas aisladas como en el primer nivel sino de verdaderas teorías debido a la relación entre las ideas que la conforman que en este caso se pueden identificar con una cierta regularidad; sin embargo, poseen diferentes grados de coherencia interna, son menos accesibles al investigador y al propio sujeto, requieren de mucha práctica y mayor esfuerzo cognitivo para su explicitación (Pozo, 1998), es decir, poseen ya un carácter *implícito*.

Finalmente llegamos a un *tercer nivel* de representación mental que se correspondería con unas estructuras denominadas *Teorías Implícitas* ya que Pozo y Gómez-Crespo (1998), se plantean de dónde podrían surgir ciertas rasgos comunes observados en las *teorías de dominio*. Para dar respuesta a

esa pregunta proponen la existencia de unos supuestos implícitos que se organizarían en forma de *teoría Implícita* (Pozo y Scheuer, 1999), al igual que lo harían las regularidades de las *modelos mentales procedentes de teorías de dominio* para conformar una *teoría de dominio*. Se trataría, por tanto, de un marco teórico más general del que derivarían los supuestos que conforman las teorías de dominio pero manteniéndose dentro de un dominio de conocimiento.

Para Pozo y Gómez-Crespo (1998), las teorías implícitas tiene una fuerte vinculación con el procesamiento de la información a nivel implícito en la mente humana. Así, los elementos de información seleccionados que deben procesarse y también la relación que se establezca entre esos elementos de información vendrán determinados en palabras de Pozo y Gómez-Crespo (1998) por el *sistema operativo* del funcionamiento cognitivo.

Continuando con este razonamiento, Pozo y Gómez-Crespo (1998), concuerdan con Rivière (1997), en que este *sistema operativo del funcionamiento cognitivo* toma la forma de teorías implícitas por lo que sigue una vinculación muy fuerte con la psicología cognitiva pero también de la evolutiva al situar su origen en la filogenia. No deteniéndose en esto, Pozo y Gómez-Crespo (1998), ahondan más en la procedencia de las teorías implícitas al comentar que su origen se produce en la temprana infancia, es decir, también tendrían un carácter ontológico.

Para ello los autores, al igual que lo hiciesen Vosniadou y Brewer (1992, 1994), se basan en los estudios de Spelke (1991) y de Carey y Spelke (1994), en el dominio físico donde se advertirían tres *principios perceptivos innatos* en bebés los cuales serían los de *cohesión*, *contacto* y *contigüidad* que vendrían “*incorporados*” en la mente del bebé de manera innata puesto que a esa temprana edad no es posible que hayan aprendido nada de su cultura. Así la interpretación que Pozo y Gómez-Crespo (1998), hacen de este hecho es que dichos principios guiarían las teorías que observamos en edades superiores, o sea, las teorías implícitas hunden sus raíces en ellos; se fundamentan en ellos.

Por otro lado, estos principios perceptivos son considerados las restricciones que impone la mente al procesamiento de la información a un *nivel implícito* y por tanto Pozo y Gómez-Crespo (1998), lo consideran un *aprendizaje implícito* por oposición al *explícito*. Dichos autores opinan que este sistema operativo tendrían una procedencia antigua en la filogenia y en la ontogenia de nuestra especie, es poco flexible y el control cognitivo ejercido es escaso, sin embargo, es robusto y ahorra muchos recursos (Reber, 1993; Pozo, 1996a; O'Brien-malone y Maybery, 1998). Yendo aún más lejos, Pozo y Gómez-crespo (1998) determinan que estos principios perceptivos innatos se compartirían entre los diferentes dominios basándose en un estudio que relaciona pensamiento causal y que se observa su aplicación en varios de estos dominios (Pozo y Carretero, 1987).

2.3.5. Los Primitivos Fenomenológicos.

El enfoque de las concepciones alternativas y posteriormente su consolidación como teorías marco o teorías implícitas suponen, casi siempre, tener en cuenta que las concepciones de los alumnos sobre los fenómenos naturales no son aisladas sino que forman parte de un entramado que relaciona en un todo coherente varios principios más pequeños.

En contraposición a esta afirmación, surge la explicación formulada por diSessa (1983, 1988, 1993) y también por Solomon (1983), en la cual las ideas que los adolescentes guardan sobre el mundo y sus fenómenos no toma forma de teoría sino que se encuentran en forma de *elementos aislados*.

Estos elementos aislados han sido denominados *primitivos fenomenológicos* (diSessa, 1988, 1993; diSessa y Sherin, 1998), que se pueden definir brevemente como *abstracciones de fenómenos físicos autoexplicativas*. Un análisis más actual y completo ha sido presentado por diSessa, Levin y Brown (2016), que a pesar de su supuesta actualidad sigue el mismo camino que el que aquí se presenta.

Lo que está en juego con esta posición teórica es, en cierto sentido, lo contrario al viraje de las concepciones alternativas hacia su consolidación como teorías específicas de dominio y finalmente como teorías implícitas (Pozo *et al.*, 1992; Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Pozo y Scheuer, 1999), teorías marco (Vosniadou, 1994a, 1994b; Vosniadou y Brewer, 1992), o teorías ingenuas (McCloskey, 1983).

No se niegan las *ideas alternativas* desde los primitivos fenomenológicos, sino que se niega el que constituyan necesariamente un todo tan coherente. Así, varios autores (García-Franco y Taber, 2010; Smith, diSessa y Roschelle, 1993), sacan a relucir las explicaciones de Claxton (1993), sobre la dependencia contextual de las concepciones alternativas por lo que esta variación vendría a negar un todo coherente que se explicita siempre de la misma manera y se basan en diversos estudios sobre este aspecto en donde aparecen distintas versiones para un mismo fenómeno (Caravita y Halldén, 1994; Gallegos y Garritz, 2007; Petri y Niedderer, 1998; Pozo y Gómez-Crespo, 2005; Solomon, 1993; Spada, 1994; Taber, 2001c; Tytler, 1998).

Esta multiplicidad de representaciones que varían con el contexto también podrían entenderse, en mi opinión, a partir de los perfiles conceptuales (Mortimer, 1998, 2000; Coutinho, El-Hani y Mortimer, 2007) y podrían englobarse dentro de un concepto discriminando cada representación según el contexto. La *red de ideas* propuesta por Harlen (1989:103-106) para alumnos de primaria y que permite incluir también alumnos del primer ciclo de la E.S.O., es otra forma de poder entender la multiplicidad de representaciones entorno a un mismo concepto y cómo estas se combinan para evolucionar o por el contrario, mantenerse. La red de ideas estaría constituida por una serie de ideas preexistentes que se conectarían con las nuevas experiencias, ideas emergentes para intentar explicarlas y finalmente, las ideas inducidas o *free floating ideas* (Harlen, 1989:109). Finalmente, Harlen *et al.* (2012) sintetizan esta propuesta de red de ideas en una serie de grandes principios que deben tenerse en cuenta en la enseñanza de las ciencias.

Además, Smith, diSessa y Roschelle (1993), consideran que las ideas alternativas no dan cuenta de cómo se pasa de unas ideas diferentes de las aceptadas por la ciencia hacia los modelos científicos correctos. Estas críticas concuerdan con la postura mantenida por otros autores (Collis *et al.*, 1998; Lawson, 1989; Niaz, 1993; Posada, 2000:372), respecto a las limitaciones del movimiento de las concepciones alternativas, mientras que otros autores (Limón y Carretero, 1996:26), consideran que son perfectamente compatibles. Adey (1987), es uno de los más críticos al comentar que la descripción teórica de las concepciones alternativas necesita de una formulación que pueda ser refutada o corroborada. Pozo y Gómez-Crespo (1998:96-97), dan por buena la idea de Adey (1987), sólo que ellos consideran que las concepciones alternativas son manifestaciones de las teorías implícitas que proponen, es decir, terminan por explicar de esa forma las diferentes versiones sobre un mismo fenómeno que destacan Smith, diSessa y Roschelle (1993).

Tenemos que diSessa (1988, 1993), expone que producto de la interacción de los sujetos con los fenómenos de la realidad se abstraen una serie de principios que conformarían la *intuición física*, concretamente los primitivos fenomenológicos antes mencionados. La intuición física está formada por conocimiento que no es ni *normativo*, ni *explicativo* sino una mezcla de ambos; no desaparece, ni siquiera en los expertos, sino que éstos lo abandonan progresivamente en búsqueda de una *intuición física refinada*, es decir más cercana al razonamiento científico, y es conocimiento indispensable para los nuevos aprendizajes. ¿No se advierte justo aquí la semejanza del abandono progresivo del pensar del niño por el del adulto propuesto por varios psicólogos europeos, entre ellos Piaget?

Ocurre, entonces, que cuando un sujeto es sometido a la interpretación de un fenómeno o a la resolución de un problema de índole física, éste utiliza la prioridad de la pista (*cuing priority*) y la prioridad de la confiabilidad (*reliability priority*) para reconocer determinados primitivos fenomenológicos que debe poner en juego. De este reconocimiento surge una reorganización que permite la interpretación o resolución de la tarea asignada. Esas interpretaciones son

las que posteriormente nosotros entendemos como concepciones alternativas o como modelos mentales iniciales o situacionales según el caso.

Es fácil darse cuenta que esta propuesta guarda relación, aunque en la bibliografía se describa como opuesta (Flores, 2003), con las teorías implícitas puesto que se vuelve a destacar el papel de una especie de aprendizaje implícito o de *pensamiento intuitivo* no controlado y que no requiere explicación. Este pensamiento intuitivo está formado por unidades de conocimiento no organizado que se ponen en juego para interpretar fenómenos o problemas generando representaciones. Muchos de los supuestos implícitos de la teoría marco o bien las creencias de las teorías específicas se ven reflejadas en los primitivos fenomenológicos como podrían ser: el movimiento como causa de una fuerza, la competencia entre dos fuerzas como un *balance dinámico* o una *superación*, los objetos sin un *sopORTE* caen o la existencia de una *resistencia espontánea* al movimiento en el caso del dominio físico.

En trabajos más recientes sobre esta perspectiva teórica (Sherin, 2001, 2006), se propone que debe existir en la mente de los alumnos un nuevo tipo de conocimiento denominado *formas simbólicas* y cuya función es mediar entre los primitivos fenomenológicos y las ecuaciones matemáticas. Lo más interesante es que Sherin (2006), nos indica que las formas simbólicas son *esquematisaciones intuitivas* de fenómenos físicos que toman la forma de ecuaciones y que los estudiantes generan para intentar comprender las ideas matemáticas que se presentan durante la resolución de problemas. Estas formas simbólicas propuestas tendrían por función dar cuerpo matemático a los primitivos fenomenológicos o, en su conjunto, a la intuición física ya que son cambios cruciales que sufre dicha intuición a la hora de evolucionar hacia una intuición física más refinada.

2.3.6. Las Categorías Ontológicas.

Las propuestas sobre el origen, forma, causas, etc., de las *concepciones alternativas* no se detuvo en la explicaciones antes comentadas ya que

paralelamente a las opciones de las teorías implícitas se fueron generando otras propuestas cuya influencia puede observarse en las teorías marco.

Originalmente Chi (1992), y posteriormente Chi, Slotta y De Leeuw (1994), nos proponen otra manera de comprender qué son esas explicaciones que dan los alumnos sobre los objetos y fenómenos que observamos en la investigación, especialmente las conceptuales. Según estos autores, los seres humanos organizan sus observaciones (fenómenos, objetos, etc.) en categorías supraordinadas que además llevan adscritas una serie de características propias, a esas categorías fueron denominadas *categorías ontológicas* (figura 6). Esta forma de categorizar las descripciones del mundo y dar explicaciones causales es compartida por otros autores (Atran, 1989; Carey, 1991; Keil, 1992, 1994; Carey y Spelke, 1994) y que según Peraita (2011:222) también pueden incluirse entre las posiciones teóricas que toman como centro el sentido común o pensamiento intuitivo; punto de vista principalmente compartido con las teorías implícitas, las teorías marco y los primitivos fenomenológicos.

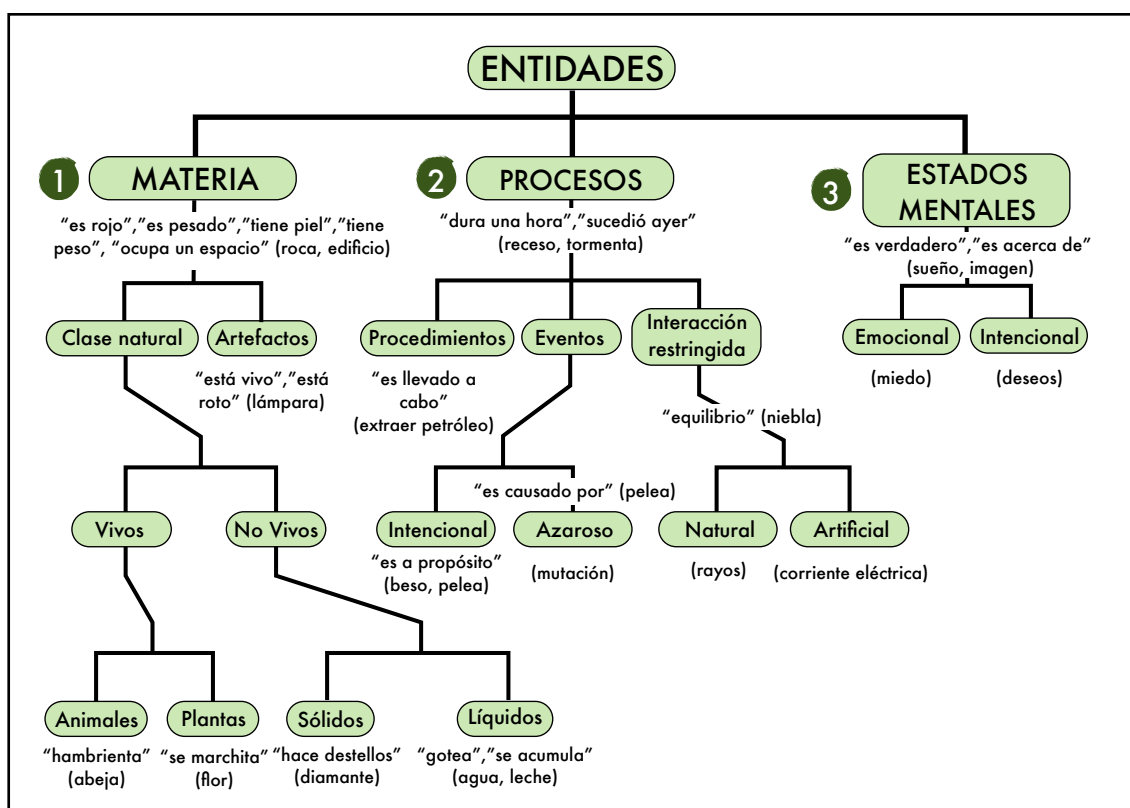


Figura 6. Descripción gráfica de las categorías ontológicas (modificado de Chi, 1992).

De esta manera, dichas categorías ontológicas poseen una serie de propiedades, estas últimas quedarán asignadas a cualquier observación que quede incluida en una categoría concreta. ¿Cuáles serían esas categorías? Para Chi (1992) existen tres categorías ontológicas principales donde se incluirían todas las observaciones que realicemos del mundo. La *primera* categoría es *Materia*, la cual lleva adscritas las propiedades de peso, volumen, densidad, etc.

La *segunda* es *Procesos* y se refiere a sucesos o fenómenos que observamos; sus características adscritas pueden ser: “tiene una duración”, “sucede en un instante concreto”, “tiene una causa”, etc. Finalmente, la *tercera*, es la categoría de *Estados Mentales* y posee características como: “hay una intencionalidad”, “hay algo que le hace actuar de ese modo”, etc. A su vez, esas tres categorías principales se van diferenciando en subcategorías y estas a su vez en otras subcategorías.

Por ejemplo, la categoría *materia* se divide, según Chi (1992), en la *clase natural* y en la *artefactos* donde agruparíamos los objetos naturales y los artificiales respectivamente. Luego, la subcategoría *clase natural* se divide en dos: *vivos* y *no vivos* que permite diferenciar los objetos que consideramos que poseen vida de los que no. De esta manera el esquema puede seguir subdividiéndose mientras todas estas categorías supraordinadas, subordinadas, etc., estén incluidas en alguna de las tres principales.

Categorizar nuestras observaciones, según Chi (1992), es lo que nos ayuda a comprender el mundo, a interpretarlo; estas categorías y su procesamiento se realizaría sin duda de las edades tempranas y de forma *implícita*. Esas observaciones que realizamos cuando evaluamos a los alumnos y que hemos denominado *conocimiento precedente* se deberían a la incorrecta adjudicación que hacen los sujetos de los fenómenos, objetos, etc., a las categorías ontológicas propuestas; como por ejemplo clasificar el peso como una propiedad de la materia y no como un proceso en el cual interactúan dos masas (Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

La autora y sus colaboradores han encontrado evidencias de su postura teórica en el caso de conceptos físicos (Slotta, Chi y Joram, 1995). También Keil (1992), encontró resultados favorables a la propuesta teórica quien estudiando a niños de tres a cuatro años de edad observó cómo utilizaban categorías ontológicas para interpretar observaciones que realizaban sobre el mundo.

Siguiendo a Keil (1992), esta categorización les permitía clasificar nuevos objetos partiendo de las propiedades asignadas a cada categoría y que ahora debía pertenecer a ese nuevo objeto como propias. No obstante, Keil (1992) descubrió que en esas categorías ontológicas existían propiedades incorrectamente asignadas lo cual duplica el problema ya que no sólo el poseer objetos o fenómenos incorrectamente categorizados daría lugar a concepciones alternativas sino la adjudicación de características equivocadas dentro de una categoría correcta.

2.3.7. Los modelos mentales.

En el análisis de las *teorías implícitas* que vimos en anteriores párrafos se basaban en la idea de una mente humana representacionista que crea representaciones a partir de la realidad circundante. Esta idea de una mente que representa el entorno puede encontrarse también en los fundamentos de la teoría de las *nociones cotidianas* que examinamos además como una de nuestras primeras opciones de tentativas que explican el aprendizaje humano, concretamente en el ámbito de las ciencias experimentales.

A este respecto Smirnov *et al.* (1960:74), indican que un hito importante en el proceso de evolución del cerebro es la aparición del *reflejo* o de la capacidad de reflejar la realidad en formas intelectuales como el pensamiento, las percepciones, etc. Estos autores explican además que utilizan claramente la palabra *reflejo* en la acepción de imagen o representación de la realidad.

Continuando con las teorías implícitas, observamos especialmente que en su primer nivel de representación o de mayor accesibilidad se encontraban unos

constructos teóricos que se denominaron *modelos mentales situacionales* que bien se generaban *ad hoc* por las condiciones de la tarea impuesta o bien reclutaban ciertas reglas que forman parte de una teoría de dominio. Los anteriormente mencionados modelos mentales no provienen del constructo teórico de las teorías implícitas sino de que se eligieron como formato de representación del primer nivel por su supuesta variabilidad en la ejecución de las tareas lo que proviene de otros estudios (Johnson-Laird, 1983; Johnson-Laird y Byrne, 1991; Johnson-Laird y Steedman, 1978).

Así, la *teoría de los modelos mentales* (Johnson-Laird, 1983; Johnson-Laird y Byrne, 1991) es muy anterior a la de las teorías implícitas y surge de la oposición al enfoque de otros autores (Braine, 1978; Braine, 1990; Braine y O'Brian, 1991; Braine y O'Brian, 1998), que aplicaban una supuesta *lógica natural* en el razonamiento deductivo humano.

La idea de modelo mental proviene, del *modelo interno del mundo* que propuso Craik (1943), para quien los individuos contarían con especies de modelos a escala reducida del entorno y su funcionamiento dentro de su mente lo que les permite predecirlo, probar diferentes alternativas, evaluar conocimientos pasados y futuros para así reaccionar frente a él. Así, los modelos mentales renunciarían al núcleo de la lógica clásica o natural permitiendo el razonamiento en base a la construcción de modelos mentales sobre determinadas partes del mundo que nos permitirá razonar sobre ella.

Son variados, pues se van modificando con el tiempo y nuevos datos, pueden ser contruidos desde el lenguaje o bien desde la percepción. En este sentido, parte de esta teoría coincide con los problemas sobre el razonamiento silogístico inductivo aristotélico que describen algunos autores (Fedoseev *et al.*, 1978:42; Meyerson, 1931), o la idea errónea de que las personas cuentan con un razonamiento lógico clásico cognitivo que viene de serie (Luria, 2003).

Los modelos mentales también aparecen en la psicología soviética, así ocurre en el interior de las nociones cotidianas o teoría de la generalización, sin

embargo, aparecen muy restringidos al pensamiento científico y nada se ha podido encontrar respecto al pensamiento cotidiano. Principalmente, una parte de las ideas de Shtoff (1966), son documentadas por Davydov (1972:311-316), sobre los *modelos mentales* mucho antes que la proposición de Johnson-Laird (1983), pero posterior a la formulación de Craik (1943).

Para Davydov (1972:311), el modelado es uno de los medios del conocimiento científico, por lo que los modelos mentales parecen quedar restringidos a las generalizaciones teóricas o al pensamiento teórico. De esta forma, el pensamiento científico-teórico, posee determinados medios como los sistemas simbólicos y de señales mediante los cuales se crean los objetos de la realidad idealizados reproducciones de determinados aspectos de la realidad que son abstractos y esenciales para la actividad práctica.

Shtoff (1966), hará una clasificación de los modelos que posteriormente también parece indicar Giere (1979:78), al hablar sobre las diversas acepciones que tiene el término *modelo* en las ciencias. Giere (1988), también interviene en el proceso del modelado, en el sentido en que su filosofía cognitiva de la ciencia debida al intento de unificación de las representaciones de la ciencia erudita y las representaciones que posee el alumno.

Para Shtoff (1966), los modelos deben clasificarse en *materiales* (*exempli gratia*: maquetas) y *mentales* (ideales); división que es inexacta en opinión de Davydov (1972:313). El concepto que nos ocupa es el de modelo mental y en ese nos centraremos, por lo que siguiendo a Shtoff (1966:19), se trataría de un sustituto creado en la mente que refleja el objeto al que se desea conocer y que permite trabajar con él mentalmente aportando nueva información sobre dicho objeto.

Lo más importante es que, según este autor, los modelos mentales no tendrían como objetivo describir toda la diversidad empírica del objeto que se desea modelar sino que intenta abordar desde una perspectiva de materialidad idealizada (mental).

Para cerrar esta parte debemos indicar que, bajo el paradigma de las generalizaciones, un modelo mental siempre supone una transformación de la realidad y no una copia simple, ya que éste es un suplente que reproduce el objeto o fenómeno, mediante símbolos, signos o su mezcla, pero que va más allá de la mera representación sensorial de éste, pues lo que realmente revela es su estructura profunda, en términos de esencia o relaciones esenciales. Esta obtención de la estructura profunda de los fenómenos u objetos se realiza mediante el proceso de análisis-síntesis de la generalización científica (Rubinstein, 1963:130).

En consonancia con el materialismo dialéctico, se debe indicar que estos modelos mentales serían, en palabras de Rubinstein (1963), un reflejo del ser, donde la consciencia refleja la realidad de manera más o menos perfecta; idea que coincide en parte con la construcción de la realidad propuesta por la doctrina constructivista. La principal diferencia con respecto a la propuesta de Jonhson-Laird (1983), se debe a la aceptación dentro del modelo mental de aquellos basados en signos como una fórmula química o algebraica mientras que en el otro caso parece estar más centrado en modelos como si fuesen *películas* y sus posibles descripciones proposicionales o perspectivas momentáneas en formato de imagen.

Esta idea cobraría mucho más sentido en la actual sociedad del conocimiento que utiliza las TICs, ya que fundamentalmente transmitimos mucha de la información mediante imágenes, filmografías, infografías, etc. Justi (2011,87) es de la opinión más cercana a Davydov admitiendo que existen múltiples formas de representación y que pueden combinarse para formar un modelo mental o bien mantenerse de forma independiente.

La aplicación de la teoría de los modelos mentales a la investigación y enseñanza de las ciencias experimentales parece haber tomado un camino más icónico o visual a tenor algunas recientes investigaciones. La vertiente que mejor describe al actual enfoque de los modelos mentales en la didáctica de las ciencias es el de *prototipo*, por ejemplo, tenemos los prototipos observados en

estudiantes sobre la célula (Camacho *et al.*, 2012; Rodríguez-Palmero, 2000; Rodríguez-Palmero, Marrero y Moreira, 2001), que son básicamente dibujos donde se describen las partes de la célula y su funcionamiento. Sin embargo, el modelo mental como prototipo sería muy limitado, por ello realmente también se acepta que pueden representar procesos e ideas abstractas (Justi, 2011), esto no resta el fuerte componente icónico que rodea al enfoque de los modelos mentales actualmente incluso para ideas y procesos de carácter abstracto.

Por tanto, para Justi (2011:86-87), un modelo mental no sería una copia de la realidad ya que posee limitaciones, pueden ser concretos o abstractos según lo que representen, es una construcción de la mente humana en consonancia con la doctrina constructivista y permiten prever el funcionamiento de la realidad en diferentes contextos (Francouer, 1997; Vosniadou, 2002). Todas estas ideas coinciden con las características que deben poseer las representaciones mentales en general por lo que se hace, a veces, difícil distinguir la representación del modelo; un modelo es una representación.

¿Qué relación pueden guardar los modelos mentales y las concepciones alternativas? Siguiendo a este enfoque teórico, una *concepción alternativa* vendría a ser un *modelo mental* que el sujeto ha construido de la realidad y que ha adquirido lo que se puede denominar como estabilidad cognitiva. Esta estabilidad cognitiva proviene de un funcionamiento exitoso en numerosos casos, lo que ha conllevado a que haya sido almacenado en la memoria de largo plazo en forma de esquemas y que son traídos a la memoria de trabajo y reconstruidos para generar una previsión con respecto al comportamiento del sistema al que representan (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002).

Esta idea es la que han tomado Pozo y Gómez-Crespo (1998), para definir los modelos mentales situaciones que provienen de sus teorías implícitas, la diferencia estaría en aquellos generados simplemente por el contexto; los esquemas de la memoria de largo plazo guardan relación con esos invariantes que se describen como partes de las teorías de dominio e implícitas. Para

terminar con las semejanzas entre las concepciones alternativas, teorías marco, teorías implícitas y modelos mentales debemos mencionar la perspectiva innatista que une a estas tres últimas. Los *primitivos conceptuales* y los *primitivos procedimentales* serían elementos mentales básicos que posee el ser humano en su cognición innata para poder fabricar modelos mentales a partir de la percepción y que recuerdan mucho a los principios perceptivos innatos de las teorías implícitas y teorías marco.

Llegado este punto, Moreira, Greca y Rodríguez (2002), comentan que la teoría de Johnson-Laird (1983), no es innatista sino que guarda partes innatistas como otras teorías constructivistas y es aquí donde debemos percatarnos de la estrecha similitud que existe entre este enfoque teórico y las teorías implícitas (Pozo y Gómez-Crespo, 1998; Pozo y Scheuer, 1999) y también las teorías marco (Vosniadou, 1994a, 1994b; Vosniadou y Brewer, 1992, 1994) siendo la de Johnson-Laird (1983), muy anterior.

No obstante, nos indican Greca y Moreira (2002), que la relación entre concepciones alternativas y modelos mentales es un tema que debe ser profundizado teórica y empíricamente todavía.

Así, este modelo admite también el cambio conceptual y el aprendizaje significativo pero visto desde un *cambio de modelo mental*, desde el que trae el alumno a clase por los modelos conceptuales propuestos por la ciencias; muchos de estos modelos conceptuales científicos (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002), o modelos científicos (Justi, 2011:88), que sirven de referencia para el aprendizaje son prototipos, como los de célula vegetal, átomo, etc.

A pesar de lo escrito anteriormente, si bien es cierto que la distinción entre modelos conceptuales y modelos mentales parece bastante clara, la relación que guardan entre sí es bastante compleja por lo que no es clara la idea de construir modelos mentales consistentes con los modelos conceptuales (Greca y Moreira, 1997).

2.3.8. Aplicación general al ámbito de la química.

Hasta el momento hemos podido estudiar marcos teóricos generales aplicables a varios dominios de conocimiento tratando de explicar esa observación recurrente sobre el *conocimiento precedente*, sin embargo, ¿qué ha ocurrido con ellas en nuestro ámbito de estudio? El enfoque de las concepciones alternativas ha sido sin duda uno de los más fructíferos y además ha servido como modelo para otras visiones. En el ámbito químico es de especial relevancia la propuesta teórica de Taber (2001b) sobre los impedimentos para el aprendizaje (Figura 7).

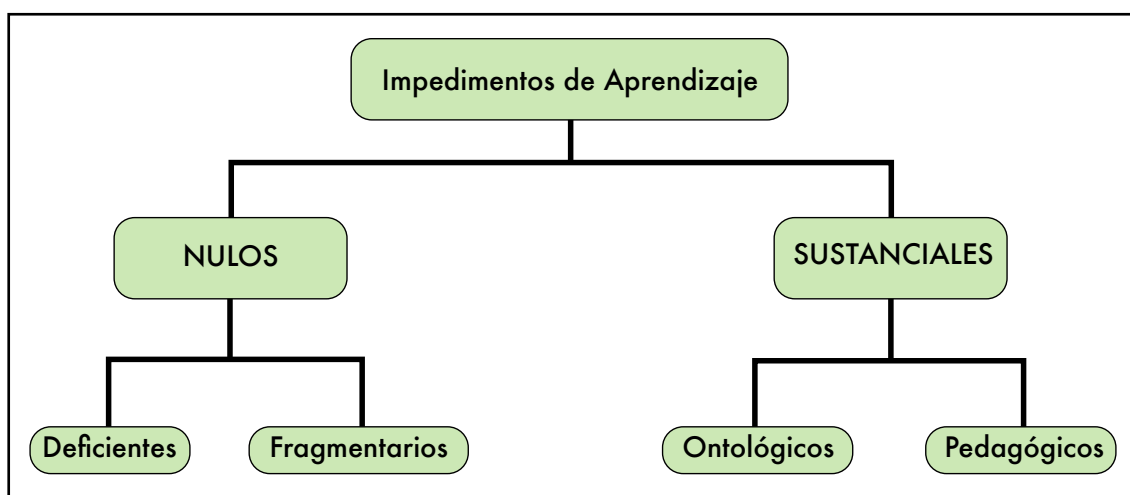


Figura 7. Propuesta de los Impedimentos de Aprendizaje (modificado de Taber, 2002a).

Taber (2002a, 2002b) fundamenta su propuesta principalmente a partir de la teoría de las *concepciones alternativas* (Driver y Easley, 1978; Driver, 1983; Driver *et al.*, 1985; Driver *et al.*, 1994) aunque teniendo en cuenta además otras perspectivas teóricas como las de Claxton (1993) o Kuiper (1994). No obstante, muchos estudios propios del autor en el campo han contribuido también a su diseño (Taber, 1998a, 1998b, 1999a, 1999b; Taber, 2000; Taber y Watts, 2000; Taber, 2001a; 2001b).

Totalmente centrada sobre el proceso didáctico en química, esta propuesta sintetiza los posibles impedimentos al aprendizaje que pueden estar

relacionados con el *conocimiento precedente* en general y con las *concepciones alternativas* en particular. Taber (2002a), tras la observación de muchas *desviaciones* respecto de las ideas científicas en alumnos de educación secundaria en química (Schmidt, 1992; Taber, 1998a, 1998b, 1999a, 1999b; Barker, 2000; Taber y Watts, 2000; Taber, 2001a; 2001b), y habiendo sido examinados antes, durante y después del aprendizaje descarta las causas más comunes de los errores observados, las cuales son: no prestar atención, no comprender lo enseñado o el olvido.

Dejando a estas de lado, el autor se centra en el *status quo* del conocimiento precedente y su interacción con lo nuevo. De esta manera, expone que tras veinte años de investigación didáctica los alumnos guardan ciertas ideas sobre los distintos temas de la ciencia que no encajan con los descritos por la enseñanza formal denominadas *ideas preconcebidas* (Ausubel, 1968; Novack, 1977). Taber (2002a), concuerda con Driver (1983), en que estas *ideas preconcebidas* surgen, entre otras fuentes, de que los alumnos se comportan como *científicos amateurs* identificando patrones en los fenómenos del mundo y a su vez creando conjeturas que expliquen dichos patrones; sin embargo, esas formas de razonamiento para extraer patrones no coinciden con las de los estándares científicos (Driver *et al.*, 1996).

Por tanto, al llegar a clase los alumnos cuentan ya con un repertorio de explicaciones que pueden subsumir los contenidos que se transmiten en la escuela y pueden deformarlos para hacerlos encajar en ellos (Taber, 2002a). Incluso, muchos de los experimentos que se presentan a los alumnos terminan siendo deformados porque realmente no “ven” lo que se les presenta sino lo que “interpretan” (Driver, 1983; Taber, 2002a), lo cual se debe según Taber (2002a), a la fisiología de nuestro cerebro que realiza dicha interpretación de lo que ve utilizando ciertos patrones que dan sentido al mundo que nos rodea. Esta sería una diferencia significativa respecto a un científico quien recibe un entrenamiento específico para intentar desviar la atención de sus interpretaciones personales e intentar ganar en objetividad.

Taber (2002a,) nos presenta un análisis muy parecido al que ya hiciesen antes otros autores sobre la interacción entre *conocimiento precedente* y nuevos contenidos así como su reorganización y aplicación (Fleshner, 1958; Korman, 1950; Natadze, 1957; Zankov, 1959). En algunos alumnos las *concepciones alternativas* parecen evaporarse justo cuando se presenta la nueva información científica (Taber, 2002a) por lo que no se observa un rastro aparente de la vieja información. En otros, sucede que debido a las contradicciones entre lo nuevo y lo viejo (Gilbert *et al.*, 1982), se deriva en que el alumno no las relacione y por tanto esta información se memoriza de manera separada y tiende a expresarse sólo según el contexto (Viennot, 1979; Driver, 1983; Viennot, 1985; Dumbrill y Birley, 1987; Bliss *et al.*, 1988), algunos de estos alumnos poseen dos versiones estables de contenido enseñado según dichos contextos: cotidiano y escolar (Solomon, 1992; Aikenhead, 2000).

Por otro lado, determinados sujetos tienden a hacer encajar la información que les es enseñada según las características propias de esas ideas alternativas deformando su sentido e incurriendo en una incorrecta comprensión (Taber, 2002a). Finalmente, en un último grupo de alumnos parece suceder que el *conocimiento precedente* no ha cambiado (Taber, 2002a). En este último grupo se considera que no existe un conocimiento relevante que permita asimilar los nuevos contenidos por ello el sujeto no entiende lo que se le está explicando y una vez se les examina tras la instrucción las *concepciones alternativas* con las que se llegaron a clase siguen estando presentes o no hay cambios aparentes.

Esta tipología de posibles impedimentos en el aprendizaje sustentado en el *conocimiento precedente* es casi idéntica a la que formuló Fleshner (1958), aunque existen ligeras diferencias. Los sujetos que según Fleshner (1958), mantenían su concepción precientífica estable son muy parecidos a los que se mantienen igual tras la instrucción aquí; no obstante, lo que para Fleshner (1958), se debe a una estabilidad de las ideas precientíficas para Taber (2002a), podría deberse a la ausencia de un conocimiento vinculante que permita asimilar lo nuevo.

Los sujetos que mantienen versiones separadas o bien deformadas pertenecen a los que anteriormente habíamos denominado *grupos de transición* (*videtur supra*) que lo que parecen estar, tanto Fleshner (1958), como Taber (2002a), bastante de acuerdo en las características observadas. Por último, también habría acuerdo en que aquellos sujetos que superaron con escasa dificultad sus *concepciones alternativas* reorganizando sus conocimientos, estarían dentro del cuarto grupo dentro de la propuesta de Fleshner (1958). ¿Cómo con un grado de similitud tan elevado no hace mención Taber (2002a), de los estudios de Fleshner (1958), ni de sus investigaciones coetáneas?

Siguiendo lo antes expuesto y a modo de resumen Taber (2002a), define lo que va a considerar en su propuesta sobre el *conocimiento antecedente*. Dada la enorme diversidad de términos propuesta (Abimbola,1988), solamente se tendrán en cuenta dos: *concepción alternativa* (“*alternative conception*”) para cuando nos estemos refiriendo a una idea simple (*exempli gratia*: el compuesto resultado de una reacción de neutralización es siempre neutro) y *entramados conceptuales alternativos* (“*alternative conceptual frameworks*”) para hacer referencia a agrupaciones más o menos coherentes de varias ideas (*exempli gratia*: un mapa conceptual sobre reacciones ácido - base). No se tendrá en cuenta el origen múltiple de dichas concepciones alternativas así como sus variadas clasificaciones que quedarían reducidas a las dos anteriormente expuestas.

Para el autor, esa multiplicidad encontrada se debe a la complejidad del aparato cognitivo humano lo que ha conllevado que los distintos investigadores hasta la fecha no se hayan puesto de acuerdo en la terminología (*videtur*: Abimbola, 1988; Pozo y Gómez-Crespo, 1998:96; Taber, 2002a:4). Estas concepciones alternativas en sus dos facetas, bien *proposicional* o bien como *entramado teórico*, van a poseer una serie de características que parecen moverse dentro de un continuo.

Así, algunas pueden ser muy específicas o bien de carácter más general y aplicable a varios temas. Algunas son muy volátiles siendo sustituidas

fácilmente por el nuevo conocimiento o ser realmente resistentes al cambio; o bien, pueden estar aisladas o formando parte de un entramado de ideas con mayor o menor coherencia interna. Se admite la posibilidad de que algunas de estas ideas sencillas se puedan generar *ad hoc* en respuesta a la demanda. Partiendo de todo el análisis antecedente, Taber (2001b), crea su teoría de los impedimentos de aprendizaje en el cual las posibilidades que se deducen de las interacciones entre el *conocimiento precedente* y el nuevo se transforman en una tipología, excluyendo lógicamente los casos de reorganización completa.

Los impedimentos de aprendizaje propuestos se dividen en dos clases: *nulos* y *sustanciales*. Los *nulos*, a su vez, se dividen en otros dos: *deficientes* y *fragmentarios*. En la categoría “deficientes” incluiríamos a los estudiantes cuyo *conocimiento precedente* no consigue conectar con lo nuevo a enseñar debido a que no posee relevancia o relación con éste, también porque pudiese existir una ausencia de dicho conocimiento por varias causas. “Fragmentarios” es la siguiente categoría de la tipología que incluiría a los estudiantes que tienden a no relacionar el contenido nuevo con el previo dando lugar a una fragmentación de su memoria, o sea, a un almacenamiento de la información separada. La característica común que engloba a los impedimentos *nulos* se basa en la escasa nula influencia o interacción entre el conocimiento precedente sobre lo nuevo a aprender.

Es momento de fijar nuestra atención en los impedimentos sustanciales. Las *concepciones alternativas* de los alumnos proceden de muchas fuentes y poseen variadas formas pero todas caen dentro de la categoría de los sustanciales en la tipología de Taber (2001b), puesto que algún conocimiento precedente relevante para el tema de estudio está presente y además éste ejercerá una cierta influencia sobre lo nuevo a aprender por contraposición a los de carácter nulo que no cuentan con conocimiento previo relevante. Así, los impedimentos sustanciales se dividen también en dos categorías: *ontológicos* y *pedagógicos*.

Los impedimentos *ontológicos* formarían la categoría donde incluir a los estudiantes cuyas *concepciones alternativas* provienen de las experiencias cotidianas y sensoriales como por ejemplo muchas de las encontradas por Driver (1983). Estas *concepciones alternativas* pueden sufrir luego varios destinos: subsumir contenido incorrectamente, desaparecer, etc. En la categoría de impedimentos *pedagógicos* tendríamos a los sujetos que incluir aquellas *concepciones alternativas* que claramente poseen un origen escolar ya que difícilmente pueden proceder de la abstracción de patrones del mundo natural mediante la experiencia sensorial en los sujetos (Taber, 2002a). Muchos se producen a causa de una enseñanza incorrecta de los contenidos o de una incorrecta asimilación de los alumnos por múltiples causas. Esta metodología de trabajo sobre los impedimentos de aprendizaje ha tenido especial importancia en la didáctica del tópico ácido-base (Lin y Chiu, 2007a, 2007b, 2010).

Como hemos visto, la síntesis teórica de Taber (2002a), está basada fundamentalmente en la *modalidad de las ideas alternativas*. García-Franco y Taber (2010,) reconocen junto a Flores (2004), y al propio Taber (2006), que el enfoque predominante en la investigación didáctico-psicológica en el ámbito de la Química es éste. No obstante, en aras de ampliar un poco más su propuesta teórica, Taber con la colaboración especial de García-Franco emprendieron una investigación dónde intentaban explorar *primitivos fenomenológicos* en estudiantes de doce a dieciocho años en Cambridge, Reino Unido.

Además según Taber y Tan (2007), esta perspectiva está apareciendo como útil para estudiar ciertas concepciones que los alumnos albergan en la Química. Ya vimos que los primitivos fenomenológicos fueron propuestos por diSessa (1988, 1993), y que también son conocidos como *Recursos Conceptuales* en la ulterior propuesta de Hammer (2004). Para Taber (2002a) y García-Franco y Taber (2010), el mencionado *sistema cognitivo de serie* (Pozo, 2001:130; Pozo y Gómez-Crespo, 1998), no puede explicar cómo los alumnos llegan a clase con ciertas ideas a clase sobre la química lo cual limitaría en gran parte la

aplicación de las *teorías implícitas* o *teorías marco* en el aprendizaje de esta asignatura.

En los resultados publicados de esta investigación, García-Franco y Taber (2010), identifican cuatro primitivos fenomenológicos derivados de una serie de entrevistas, es decir, son principios sintéticos; se derivan especialmente de un estudio mucho más amplio que realizó García-Franco (2007):

- I. El componente determina las propiedades.
- II. Un cambio requiere un agente activo.
- III. Existe un agente activo.
- IV. Lo que ocurre de forma natural.

Como estos principios se derivan del análisis de muchas explicaciones que dan los examinandos sobre un mismo fenómeno da la fuerte impresión de que se encuentra uno frente a *generalizaciones* (*videtur*: Davydov, 1978:47), o como quieren nombrarlos García-Franco y Taber (2010), *patrones*. Incluso, si vamos un poco más allá, estos patrones modulan las respuestas específicas que van a dar los estudiantes y que sabemos que cambian con el contexto (Claxton, 1993).

Dichos principios parecen guardar cierta semejanza con los supuestos implícitos que regulan y modifican a las teorías específicas de dominio que plantean Pozo y Gómez-Crespo (1998). Limón y Carretero (1996:26), son de la opinión de que tanto los primitivos fenomenológicos como las teorías marco o implícitas son compatibles si tuviésemos en cuenta dos niveles de representación: uno difuso cuando es algo de lo que no sabemos mucho y otro más coherente cuando ya hemos acumulado cierto contenido sobre algo y somos capaces de conectarlo.

En parte, esta idea es también sostenida por el propio Taber (2002a), cuando expresa que se pueden tener ideas vagas sobre un tópico o tener un conocimiento más relacionado. El acento está, siguiendo a varios autores

(Liguori y Noste, 2007:88; Limón y Sanz, 1996:25-26), no en si se conoce mucho o poco sobre algo, sino si eso que se conoce está fragmentado o cohesionado. Para el caso de los modelos mentales, se ha investigado en educación secundaria varios conceptos, así tenemos que se ha examinado la comprensión cuando se introducen modelos científicos en el aula. Estos conceptos son, por ejemplo, el de equilibrio químico (Mendoza, Justi y Ferreira, 2005; Milagres y Justi, 2001), el de átomo (Justi y Gilbert, 2000; Souza, Justi y Ferreira, 2006) o el de enlace químico (Batista y Justi, 2000; Carvalho y Justi, 2005). En nuestro tópico ácido-base, han sido Lin y Chiu (2010) quienes han fusionado el enfoque de los modelos mentales con el de los impedimentos ontológicos (figura 8).

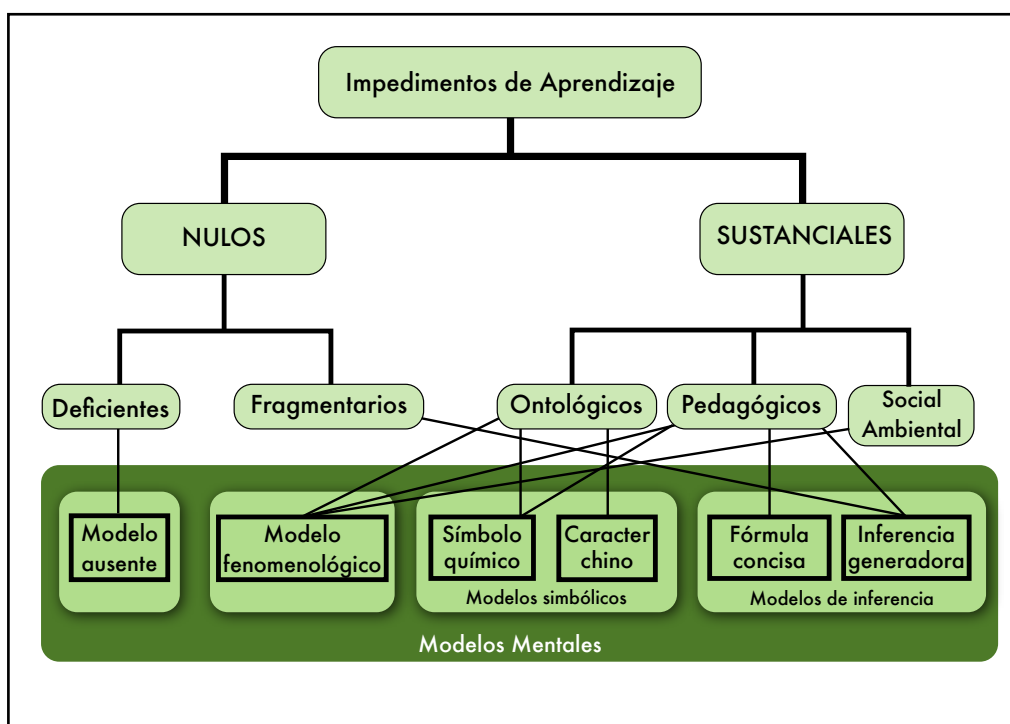


Figura 8. Los impedimentos de aprendizaje y los modelos mentales en el tópico ácido-base (modificado de Lin y Chiu, 2010).

2.4. El Conocimiento Precedente en la Didáctica de las Ciencias Experimentales: investigaciones didácticas sobre el tópico ácido-base.

Tras una breve etapa de investigaciones didácticas sobre ideas previas de carácter general comienzan a aparecer en la literatura científica estudios concretos en el tópico ácido - base en el proceso de enseñanza - aprendizaje

de las ciencias experimentales. Estas publicaciones se pueden englobar en dos grandes líneas, que no deberían confundirse con las dualidades cuantitativo-cualitativo o positivista-humanista, la primera de ellas es la que he denominado *científico-técnica* porque a pesar de estar orientada al aprendizaje y enseñanza de la química sólo trata aspectos de los contenidos, ora proponiendo prácticas de laboratorio, ora realizando correcciones sobre equivocaciones usuales (errores comunes *misconceptions*). Su único objetivo es que se impartan correctamente los currículos y no se cometan los consabidos errores conceptuales, o sea, tienen un carácter fuertemente prescriptivo y normativo; en algunos casos, están también muy dirigidas a profesores noveles.

Poseen escaso fundamento didáctico y psicológico, a pesar de encontrarse en revistas de la especialidad, por lo que nuestro análisis será muy superficial; no obstante, tiene su importancia que no debemos despreciar. A este respecto, puede verse como en la exposición de los distintos modelos didácticos en la impartición de clases realizado por Jiménez-Aleixandre (2000), el modelo de transmisión-recepción guarda algunas semejanzas con las características propias de la anterior vertiente didáctica, especialmente en algunos de sus fundamentos epistemológicos.

La segunda vertiente puede denotarse como *científico-social* está formada por artículos con alto contenido en didáctica de las ciencias, obteniéndose referencias importantes a ámbitos de conocimiento que influyen en la educación, como son: la psicología del aprendizaje, la sociología de la educación, la filosofía de la ciencia, entre muchas otras. Además no suelen ser de carácter fuertemente prescriptivo de los contenidos sino que poseen un fundamento de investigación sobre éstos en los sujetos y las formas de asimilación y razonamiento halladas. En ambas pueden encontrarse artículos que hacen referencia al ámbito universitario.

En la vertiente *científico-técnica*, los autores advierten desde bien temprano problemas en el aprendizaje y asimilación de las teorías ácido - base y sus conceptos relacionados. Briscoe (1940) deja patente los posibles problemas

que ocasiona el no hacer entender a los alumnos qué es una teoría y la coexistencia de varias de ellas para explicar un mismo fenómeno, encumbrando algunas como mejores que otras; o lo que es peor, tratando de explicar los fenómenos haciendo uso sólo de una de ellas (Briscoe, 1940). Así, se resalta la necesidad de desarrollar en los alumnos una actitud crítica hacia las teorías a pesar de que ellos tengan experiencias y conocimientos más limitados que sus profesores o los científicos que las construyeron. Según el autor, la solución estriba en conseguir que las teorías se estudien como *tentativas de explicación de los hechos* y no como si fuesen los hechos en sí mismas, además de comprender sus lógicas limitaciones; afirmación que sostiene también Duschl (1994:23), quien afirma que es error común entre los legos confundir teoría científica con los hechos en sí mismos, llegando a sostener incluso que éstos son mucho más importantes que las teorías.

La contribución de Briscoe (1940), que no deja de ser importante, adolece del principal defecto de esta línea de artículos didácticos y es fundamentarse única y exclusivamente en el carácter de la ciencia, básicamente los contenidos, y desentenderse de lo que ocurre en el alumno. ¿En qué se basa para proponer que este enfoque en la enseñanza de las teorías ácido - base es el adecuado? No menciona ninguno, máxime cuando su exposición iba dirigida hacia cómo debían enseñar los profesores, explicando una tercera vía no muy utilizada en esa época para enseñar la química general. Igualmente Crane (1961) considera, sin utilizar ningún método de registro, que para los alumnos es difícil comprender la relación inversa que se establece entre el aumento de la acidez de una disolución y los valores negativos de pH.

Del mismo modo actúa Kolb (1978, 1979), en dos artículos sobre química general que se imparte a los alumnos de primer año universitario. Al comienzo de estos, plasma *ideas previas* que ellos poseen pero los considera meras anécdotas de clase que solo podrían motivar una mejor exposición por parte del profesor a fin de que sean mejor asimilados los contenidos. Las sentencias registradas fueron: el cloruro de aluminio no puede ser un ácido sólo una sal (Kolb, 1978), en una reacción ácido-base, el ácido siempre cede iones hidronio

y una base cede siempre iones hidroxilo dando lugar a sal y agua (Kolb, 1978), si el pH es una media de la acidez, ¿cómo es posible que los valores de pH descieran cuando los valores de acidez se elevan? (Kolb, 1979).

En el primer caso nos enfrentamos con un problema de doble inclusión de un concepto en categorías supraordinadas distintas, en el segundo con una relación inversa de dos variables y en el tercero con una *subgeneralización*. Nada de esto fue observado y, en ningún momento, la autora identifica estos datos como *preconcepciones*, ni siquiera los ha registrado mediante algún instrumento; proceden sólo de su experiencia personal por lo que no podemos saber en qué grado son manifestados. Sin embargo, es conocido que para esta fecha ya estaban publicados varios trabajos sobre las *preconcepciones* o *ideas previas* del alumnado, al menos en enseñanza secundaria (*videtur*: Ausubel, 1968; Novack, 1977; Driver y Easley, 1978), por lo que se desconoce la razón por la cual no existe influjo de esta bibliografía.

El resto de artículos de esta vertiente no se apartan de la línea descrita, así sobre nuestro tema de estudio tenemos ejemplos sobre: los indicadores ácido-base (Gorin, 1956; Fortman y Stubbs, 1992), las propiedades ácido base de las sales (Shakhashiri, 1989), las disoluciones tamponantes (Carmody, 1961), el desarrollo histórico del concepto de pH (Szabadváry, 1964), las demostraciones de laboratorio para alumnos de secundaria (Castka, 1975), la naturaleza de los ácidos y bases (Kolb, 1978; Koubek, 1998; De Vos y Pilot, 2001), las recomendaciones prácticas en clase (Phillips, 1958; Gaddis, 1959; Breedlove, 1973; Corcoran y Akona, 1977), el concepto y fórmula matemática de pH (Young y Malik, 1969; Kolb, 1979), las diversas teorías ácido-base (Kolb, 1978; Seaborg, 1984; Kauffman, 1988; Hawkes, 1992; Adcock, 2001), los errores que perpetuamos en libros de texto (Hawkes, 1994), las analogías pictóricas utilizadas como recurso de enseñanza para alumnos de secundaria (Fortman, 1994; Silverstein, 2000), la fuerza de ácidos y bases (Monroe y Adams, 1985; Shakhashiri, 1989; Silverstein, 2000), los cálculos de pH (Borsese, 1992; Kolb, 1979; Malinowsky, 1990; Cardellini, 1996a; Ault, 1999; Cardellini, 2000), el uso del captación automática de datos o sistema MBL (Microcomputer Based

Laboratory) para estudiar las curvas de pH (Aksela, 2011), la utilidad del concepto del ión hidronio (Silverstein, 2014), entre muchos otros.

Para culminar este punto de la exposición, aparece Hawkes (1992), exponiendo las supuestas dificultades que provoca la teoría de Arrhenius en los estudiantes. Basándose nuevamente en anécdotas, los alumnos no comprenden la variación del pH con la temperatura debido a confusiones con las medidas de $[\text{OH}^-]$ y con el carácter ácido-base de compuestos no bien explicados como el amonio y el acetato. Sólo puede fundamentar que en Tuttle (1991) aún se encuentren errores como la fórmula del NH_4OH ; error que pretende extender a algunos libros de texto de los cuales se olvida de informar.

Debemos esperar hasta aproximadamente 1994 y años posteriores, para que esta línea de investigación se vea permeada por estudios realmente didácticos realizados con muestras de alumnos en el tópico ácido-base, en el caso de la educación secundaria (Nakhleh, 1994) o en estudiantes universitarios (Smith y Metz, 1996). Ambos se encargan de verificar la comprensión que poseen los estudiantes a escala microscópica sobre las disoluciones de ácidos y bases.

Con este fin, Nakhleh (1994), examinó a estudiantes de secundaria antes y después de realizar titulaciones ácido-base mediante entrevista semiestructuradas. Los sujetos se dividieron en tres grupos donde cada uno realizaría las titulaciones siguiendo una metodología distinta: mediante buretas, pHmetro o MBL. Según la técnica utilizada, las representaciones finales deberían diferir de las iniciales, así su objetivo consistía en observar qué cambios se producían en sus representaciones.

Aquí, a diferencia de Kolb (1978, 1979), se reconoce que los estudiantes autoconstruyen su conocimiento (Osborne y Wittrock, 1983; Wittrock, 1974, 1978, 1986), especialmente el químico, a partir de multitud de fuentes (West, Fensham y Garrard, 1985). Esas construcciones se manifiestan en tres representaciones sobre la estructura microscópica de la materia antes de someterse a los ejercicios de laboratorio. La primera representación se

denominó *modelo continuo* y consiste en no considerar moléculas, ni iones, etc., sino que solo se observa el líquido de la disolución tal como es. En el *modelo particulado*, los sujetos conciben que la disolución está formada por ciertas partículas pero no definen su naturaleza, son algo abstracto. Los alumnos que conciben un *modelo molecular* finalmente admiten la presencia de moléculas en la disolución, incluso las poliatómicas.

En ninguna de ellas se observan ideas referidas a iones o partículas con carga salvo tras la instrucción en que aparece una nueva representación denominada *modelo parcialmente iónico*, formando ya un total de cuatro. A pesar de que se hicieron esfuerzos por garantizar la homogeneidad de la muestra se observa que predominan más, de inicio, algunas concepciones en un grupo más que en otras; sin embargo, los grupos dos y tres son más homogéneos. Tras la instrucción, en el primer grupo, se observa que las concepciones expuestas se mantienen salvo un sujeto que pasa a tener un modelo parcialmente iónico. El grupo dos se mantiene exactamente igual y el tres sufre un desplazamiento acusado hacia el modelo parcialmente iónico.

La autora concluye que a pesar de esto, la comprensión de los estudiantes del comportamiento iónico de ácidos y bases en disolución no es satisfactoria y que por tanto se necesita una mayor integración de los esfuerzos de los profesores en la enseñanza de este tema que asegure unos fundamentos científicos aceptables. A la vista de los datos puede concluirse también que el método que menos cambio en las representaciones creó fue el de pHmetro mientras que los mejores resultados se obtuvieron en aquellos que utilizaron el MBL. El gran problema que enfrenta este estudio radica en su escasa muestra, sólo 14 estudiantes repartidos en 3 grupos de los cuales se quiere examinar la evolución desde el principio hasta el final, observando el efecto de cada técnica de laboratorio en el aprendizaje. Por tanto, sus resultados deben ser tomados con mucha cautela.

También bajo el prisma de las representaciones microscópicas de ácidos y bases, Smith y Metz (1996), mediante entrevistas, examinaron a estudiantes

universitarios de los dos primeros cursos, graduados y miembros del profesorado; a fin de observar la comprensión de cinco cuestiones básicas de química: representaciones microscópicas, estado de la materia, estequiometría, fuerza de un ácido y disoluciones. Se les preguntó, de una serie de cuatro figuras, cuál era la que mejor representaría una disolución de un ácido fuerte en el primer caso y un ácido débil en el segundo.

Aproximadamente un 47% de los estudiantes universitarios considera que un ácido fuerte lo es porque posee un enlace muy fuerte entre sus iones debido a la atracción que se produce entre éstos. El mismo porcentaje dio la respuesta correcta considerando el ácido fuerte como aquel que está totalmente disociado en disolución acuosa. En cuanto a los graduados y profesores, más del 90% dio con la representación correcta. Las respuestas para el caso del ácido débil sufrieron una mayor dispersión, así un 26% de los estudiantes universitarios consideraron que el ácido débil se comporta al contrario que el fuerte y por ello debería estar muy disociado (a causa de que posee enlaces muy débiles) mientras que un 40% dio con la representación adecuada. El porcentaje de respuestas correctas, tanto en graduados como en profesores, decae tomando un valor de un 60% y un 82% respectivamente. Esto se debió, según los autores, a que les costó asimilar al ácido fluorhídrico como débil y a una utilización incorrecta del K_a .

Posteriormente se les entregó un dibujo de tres vasos de precipitado en blanco donde debían dibujar a escala microscópica dos compuestos químicos y en el último las moléculas propias de la reacción entre ellos. Para responder correctamente a esta pregunta era necesario tener en cuenta los cinco criterios básicos antes mencionados. Sólo un 7% de los estudiantes universitarios fue capaz de conseguirlo, mientras que un 36% de los graduados y un 45% de los profesores sí pudieron. Un porcentaje elevado de graduados y de profesores (45%) cometió el error de no disociar las especies iónicas.

Existen además, especialmente entre los estudiantes universitarios, errores crasos, como el de violar el principio de conservación de la masa, no tener en

cuenta los enlaces propios de iones poliatómicos o desentenderse de los coeficientes estequiométricos. Uno de los objetivos del artículo era observar si los problemas conceptuales en las representaciones microscópicas persistían tras el paso por la educación universitaria. Tal y como se ha diseñado este estudio, no es posible realizar esa determinación, puesto que para ello se debieron haber analizado las representaciones de los alumnos antes y después de cursar la enseñanza universitaria, requisito que no se cumple ya que se examina de manera aislada a cada grupo y una sola vez.

El resto de conclusiones tampoco se corresponden con lo hallado, dado que se afirma que los alumnos poseen un desempeño matemático superior al conceptual debido a la memorización de algoritmos. En ningún caso, en este estudio, se ha medido el desempeño en problemas matemáticos de contenido químico en la muestra y como éste se relaciona con los errores representacionales encontrados. Como solución propone utilizar recursos visuales desde los que partir antes de exponer la formulación matemática correspondiente. Con los resultados expuestos, solamente podemos concluir algo, que tanto en estudiantes universitarios así como en graduados y profesores existen errores conceptuales, es decir, el examen es de *presencia* y no de *persistencia* como quieren hacer entender los autores.

En la actualidad estas dos vertientes continúan en funcionamiento, por un lado se consideran los errores observados como problemas de comprensión o de contenido y cuya solución debe ser mejorar las prácticas o las maneras de exponer ese contenido; mientras que el otro, más psicológico, se propone caracterizar el aprendizaje de los alumnos generando teorías que lo expliquen de modo que se puedan mejorar los procesos de enseñanza - aprendizaje. A esa línea de investigación vamos a dedicar el resto del análisis.

Primero trataremos cronológicamente los estudios realizados en educación secundaria para posteriormente centrarnos en lo que ha sucedido en estudiantes universitarios. En un primer estrato, propio de la vertiente *científico-técnica*, de la didáctica lo que en la actualidad denominamos *concepciones*

alternativas no eran consideradas como tales sino simplemente que los alumnos cometían errores, les faltaba información, tenían lagunas de comprensión, etc.; no había aparecido en la literatura especializada ni siquiera el término *misconceptions* sino que todo era reducido a errores comunes de contenido.

En un segundo estrato, ocurre que aproximadamente en el período de 1977 a 1979, comienza a aparecer el término *concepciones erróneas* o *misconceptions* (Linke y Venz, 1978, 1979; Linke, Venz y Deed, 1977), simultáneamente con el término *concepciones alternativas* o *alternative conceptions* (Driver y Easley, 1978), volviéndose central su investigación en la enseñanza de las ciencias.

Respecto de las *concepciones erróneas* podemos rastrear el origen del término en una serie de entrevistas que realizaron Linke, Venz y Deed en el año 1977 a estudiantes universitarios en la Universidad de Flinders, enfocadas a la evaluación de áreas de conocimiento científico como objeto potencial donde podían surgir aquellas, a diferencia de otros autores (Gilbert y Watts, 1983; Carr, 1984), que incorrectamente sitúan este origen en el artículo de Helm (1980). No obstante, el origen del término de *concepciones alternativas* que es contemporáneo, parece originarse del término *preconceptos* (Ausubel, 1968; Novack, 1977).

Este nuevo estrato es un período de transición hacia la investigación del razonamiento de los estudiantes en distintas áreas de conocimiento científico. Tras un período de coexistencia de ambos términos las *concepciones alternativas* ganan la partida y sus posteriores diversificaciones se hacen primordiales en las investigaciones de didáctica de las ciencias entrando en una nueva etapa.

Pozo y Gómez-Crespo (1998) creen que lo anterior sucedió a causa de que el modelo que sustentaba las *concepciones erróneas*, el cual es el *conflicto cognitivo*, entró en crisis.

2.4.1. Resultados en estudiantes de secundaria y preuniversitario.

2.4.1.1. Resultados en investigaciones desde 1979 hasta 1989.

Son los propios Linke y Venz (1979) quienes inician la investigación de *concepciones erróneas* en la educación secundaria superior, es decir, en el bachillerato, sobre las reacciones ácido-base aportándonos los primeros datos. Pretendían evaluar el nivel de comprensión de conceptos físico-químicos en alumnos de 16 a 18 que no estudiaran física o química en gran medida denominándoles estudiantes con escasos conocimientos científicos (*non-science background students*). Una muestra de quinientos alumnos de la edad indicada se sometieron a una encuesta de preguntas cerradas y abiertas.

Cuando se les inquirió sobre la definición de ácidos y bases, sólo un 10% de los estudiantes indicó la correcta. Además, un 7% intercambió las definiciones y un 4% dio la misma definición para ambos términos. Se encontró que un 33% definía como ácido a aquel compuesto que reacciona con el agua para formar una base y un 36% a una base como aquella sustancia que reacciona con el agua para formar un ácido. Sólo un 37% asoció correctamente valores de pH con el tipo de disolución (ácida o básica), un 28% intercambió la asociación y un 19% marcó una misma definición para ambos valores de pH.

En general se observó que existe ninguna o poca relación entre el conocimiento de las definiciones de ácidos y bases y la habilidad para interpretar su relación con la escala de pH. Los alumnos que cursaron física o química en curso equivalente a primero de Bachillerato poseen un vocabulario más extenso que los que dejaron de estudiar estas materias en el curso equivalente a cuarto de E.S.O. no obstante, esto es superficial y no da lugar a una mayor comprensión.

Algunas de las conclusiones no están sustentadas por datos, sino que se recurre otra vez a simples observaciones como que: los alumnos conocen los términos pero son incapaces de aplicarlos o son capaces de aplicar principios

sin saber definirlos; o subrayando la posible influencia de factores externos a la escuela como la experiencia cotidiana, la radio, la publicidad, etc., en la formación de los conceptos examinados y que más adelante vendría a ser confirmado por otros autores (Driver *et al.*, 1994; Toplis, 1998).

Lo llamativo de este artículo no son los resultados obtenidos sino su redacción que nos manifiesta esa etapa de transición en la que no se tienen muy en cuenta los errores de los alumnos hacia una actitud de búsqueda y caracterización específica. Sin embargo, carece de referencias a estudios didácticos o psicológicos por lo que se registra la presencia de ese estrato viejo que es la didáctica centrada excesivamente en los contenidos.

De esta misma forma, Schofield *et al.* (1982), dentro de un programa de investigación detectaron como error principal en alumnos de trece años que un 60% no supo relacionar correctamente el color del indicador universal con el tipo de disolución (ácida o básica) y por consiguiente de la sustancia disuelta. De resultados, Carr (1984) continua con un enfoque similar rechazando, para el caso de las teorías ácido-base, la línea de las *concepciones alternativas* y el *conflicto cognitivo* como explicación de las dificultades encontradas en estudiantes. Su estudio es doble porque incluye ideas de otros autores sobre alumnos de Bachillerato y Universidad sumado a su análisis de libros, sin embargo, es muy escueto y básicamente fundado en la didáctica de los contenidos, guardando un gran parecido con los estudios de Kolb (1978, 1979) y los de esa vertiente.

Asimismo, sus conclusiones aportan poco, se hace eco de los resultados de Burns (1982), donde se recoge que los alumnos de secundaria les parece difícil el tópico ácido-base y que su comprensión sobre las ecuaciones iónicas es pobre y de los registros *inéditos* de Russell (1983), donde los estudiantes de bachillerato no consideran las disoluciones de HCl como iónicas o que este ácido esté disociado en iones, resultado muy parecido al que encontró posteriormente Nahkleh (1994). Como la mayor parte de su análisis de textos, escasos por otra parte, se refieren a libros universitarios se desarrolla algo más

este análisis en páginas posteriores (*videtur infra*), no obstante, su principal idea era demostrar que existe una relación entre las *concepciones erróneas* de los alumnos y los errores en los libros de texto, algo que no llegó a conseguir.

Al igual que lo hiciese Carr (1984), De la Guardia *et al.* (1985), investiga *errores comunes* en alumnos de B.U.P. y universidad mediante cuestionarios de preguntas abiertas y de respuesta múltiple. En el caso de los estudiantes preuniversitarios, su único resultado reseñable es que los alumnos consideran que para cualquier valoración ácido - base el punto de equivalencia se alcanzaba a un valor de pH igual a 7.

Igualmente analizan los libros de texto de bachillerato y descubrieron que la mayoría de ejemplos eran sobre reacciones de ácidos fuertes con bases fuertes y que podrían motivar esa respuesta. Como no pueden establecer una conexión entre los contenidos y los *errores comunes* de los estudiantes, su correlación queda como una conjetura de igual manera que le ocurre a Carr (1984). Hand y Treagust (1989), consideran como Carr (1984), que en estudios anteriores se demuestra que los estudiantes llegan a la escuela con preconcepciones relacionadas con los contenidos científicos que están por aprender (Gilbert y Watts, 1983; Mitchell y Gunstone, 1984).

Aparentemente no aparece el término *misconception*, sin embargo, como los autores intentarán provocar un conflicto cognitivo entre las *preconcepciones* y el saber científicamente aceptado, los *errores conceptuales (misconceptions)* quedarán englobados y sustituyen al anterior término. Esto nos demuestra que aún no se han abandonado las ideas sobre los *errores conceptuales* y las *preconcepciones* siguen sin aparecer, en nuestro tema, como punto de partida de aprendizajes posteriores.

Dichos autores se ocupan por primera vez del cambio conceptual mediante conflicto cognitivo en el área ácido-base sobre estudiantes de secundaria, por ello no nos detendremos a analizarlo, por otro lado, dado el carácter exploratorio de esta tesis doctoral lo que nos ocupa son los exámenes

prospectivos de las ideas previas y que en los artículos que tratan el cambio conceptual están muy bien caracterizados, por ello y partir de éste no nos detendremos en esta estrategia didáctica, sino en describir las preconcepciones que obtienen previamente.

Para Hand y Treagust (1988), las fuentes para la adquisición de dichas preconcepciones son variadas: la instrucción previa (Bodner, 1986), experiencias de la vida cotidiana (Head, 1982), entre otras; incluso Pines y West (1986), apuntan que los estudiantes podrían albergar visiones conflictivas de un mismo fenómeno simultáneamente, una se utilizaría en la vida diaria y otra en el contexto escolar. Esta afirmación, nos recuerda mucho a los resultados de Fleshner (1958), que observó lo mismo para el caso de conceptos físicos; también coincide con la hipótesis de la independencia o el uso del conocimiento según el contexto (Pozo, 1997; Pozo, Gómez-Crespo y Sanz, 1999; Rodrigo, 1997). Se espera que para las ideas previas sobre ácidos y bases el comportamiento y las fuentes sean muy similares.

Teniendo en cuenta que el cambio conceptual es posible gracias a la experiencia, se han sugerido estrategias didácticas para favorecer el cambio conceptual (Karplus, 1977; Driver, 1981, 1986; Posner *et al.*, 1982; Nussbaum y Novick, 1982; Hewson y Hewson, 1984; Driver y Oldham, 1985; Cosgrove y Osborne, 1985; Pines y West, 1986; Minstrell, 1984; Pozo, 1987a). En términos generales, estas estrategias se pueden sintetizar en cinco pasos: elicitar las ideas, realizar experiencias adecuadas con ellas, conceptualizarlas, utilizar los conceptos y promover un ambiente de aprendizaje reflexivo. Siguiendo a los autores Hewson y Hewson (1984), el énfasis se pone en la interacción entre las *ideas previas* y los *fenómenos*, que sólo pueden ser explicados por los conceptos científicamente aceptados.

Los estudios anteriores evidencian que estudiantes de Bachillerato y primeros años de universidad fallan al definir correctamente ácidos y bases y al relacionar estos términos con el pH y su escala (Linke y Venz, 1979; Carr, 1984; Cros *et al.*, 1986; Cros, Chastrette y Fayol, 1988), no obstante, ninguno

de estos se había acercado a estudiantes de niveles inferiores al preuniversitario.

A la vista de estos resultados, cabe la posibilidad de que los alumnos de educación secundaria también posean errores conceptuales similares sobre ácidos y bases, por ello se buscaba aplicar una metodología basada en el cambio conceptual para eliminar los errores conceptuales que estuviesen presentes. La muestra estudiada por Hand y Treagust (1988), constó de 78 alumnos que cursaba aproximadamente cuarto año de educación secundaria. Mediante entrevista previa se identificaron las *preconcepciones* presentes, las cuales fueron: un ácido es algo que carcome a un material o te quema, la prueba para determinar si algo es un ácido es aplicarlo a un material y ver si lo carcome, la neutralización significa la ruptura de un ácido o que cambie alguna propiedad del ácido, la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil es que el fuerte carcome más rápidamente un material que el débil y una base es algo que compensa al ácido.

A partir de estos resultados se diseñaron siete fichas de trabajo que promoviesen el *conflicto cognitivo* mediante experimentos de laboratorio o actividades y preguntas relacionadas. El temario a trabajar se dividió en dos categorías: conceptos y procesos. Se sometió a los estudiantes a la presentación del temario por parte del profesor, realización de las fichas diseñadas y luego discusión en pequeños grupos. Tras la instrucción se aplicó un examen y dos entrevistas, una tras el término de la unidad didáctica y la segunda diez semanas más tarde, con el objetivo de determinar el cambio conceptual y la duración de éste.

De las cinco *preconcepciones* que se trataron de cambiar acercándolas a las científicamente aceptadas, dos fueron resistentes al cambio: la neutralización y la distinción entre ácido fuerte y débil. Ocurrió alguna asimilación parcial de la versión científica pero no lo suficiente como para cambiar las creencias de los alumnos. Por el contrario, las otras tres *preconcepciones* pudieron ser sustituidas por los conceptos científicos. En cuanto a las asimilaciones

parciales, los autores coinciden con Posner *et al.* (1982) y Pines y West (1986) en que podría ser que los alumnos presenten simultáneamente conceptos en conflicto y esta situación se extienda durante un período indeterminado de tiempo.

En términos generales un tercio de los sujetos no cambió sus ideas sobre ácidos y bases. Los autores consideran que entre otras causas se puede deber a la expuesta por Pines y West (1986) por la que dos conceptos muy similares no provocarían un conflicto cognitivo suficientemente fuerte como para producir un cambio conceptual. Los autores también concluyen que hubieron cambios significativos en las actitudes de los alumnos hacia la ciencia, pero no lo midieron de ninguna forma, simplemente explican que participan más, se volvieron más disciplinados y ganaron en autoestima.

Un año más tarde, Hand (1989), publica una investigación donde intenta observar qué se ha producido en las mentes de esos mismos alumnos examinados transcurridos dos años. Pretende determinar de alguna forma cómo interactúa el conocimiento previo con los nuevos conocimientos a lo largo del tiempo. ¿Se han mantenido los cambios enseñados o ha cambiado? Para ello se logró reexaminar a 24 alumnos en cuatro ítems clave de los cinco que originalmente se se habían estudiado y son: definición de ácido, identificación de un ácido, diferencia entre concentración y fuerza de un ácido y proceso de neutralización.

Los estudiantes que fueron examinados la vez anterior, tras finalizar dicho curso, se repartieron en tres orientaciones curriculares que incluían al menos una asignatura que albergaba contenidos relacionados con los temas a examen: Biología, Química y Ciencias Generales. Veinticuatro alumnos de los originalmente estudiados aún permanecían en la escuela cursando segundo de bachillerato, de dicha cantidad se tomó una muestra de catorce alumnos y se les realizó una entrevista semiestructurada.

Se observó que para los ítems evaluados, excepto el primero de ellos, los alumnos de la orientación de biología obtuvieron los mejores resultados inclusive superior a los que estudiaban química.

Este resultado fue totalmente inesperado dado que el autor esperaban encontrar el mejor desempeño en los estudiantes que cursaban la asignatura de química.

Así, Hand (1989), achaca este resultado a la distinta metodología que siguieron las dos asignaturas, los de química recibieron clases basadas en la metodología tradicional centrada en el profesor mientras que los de biología las recibieron mediante una metodología de investigación centrada en el alumno buscando un aprendizaje significativo.

Otra opción sería que los alumnos de biología hubiesen estado más expuestos a los conceptos estudiados de manera que se produce un reforzamiento del concepto científico correcto en comparación con los estudiantes de química o ciencias generales. El resultado más interesante fue el descubrimiento de un aumento del número de estudiantes que entendía mejor la diferencia entre fuerza y concentración de un ácido respecto a hace dos años.

Las explicaciones que dan los autores para este incremento no son nada satisfactorias pues sugieren que es debido a que los alumnos tienen piscinas en sus casas y que deben controlar concentraciones de determinados compuestos además o que durante estos dos años han asistido al laboratorio y han preparado disoluciones.

Ellos mismos recalcan que este estudio no es un experimento rígido y controlado lo que evidentemente conlleva la influencia de factores externos, no obstante, las últimas explicaciones son poco verosímiles, más si cabe cuando no existe manera alguna de vincular los resultados con ellas. De los resultados obtenidos para este período, sigue una síntesis de los datos hallados (tabla 8).

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Lenke y Venz (1979)	- Errores en la definición de ácidos y bases. - Error al asignar valores de pH con disolución ácida o básica.	Ideas erróneas	Bachillerato
Schofield (1982)	- Un 60% no sabe relacionar correctamente el color del indicador universal con el tipo de disolución (ácida o básica).	Ideas erróneas	2º E.S.O.
Carr (1984)	- Los alumnos tienen problemas para identificar como iónicas las disoluciones de ácidos y bases.	Ideas erróneas	Bachillerato
De la Guardia <i>et al.</i> (1985)	- Para cualquier valoración ácido - base el punto de equivalencia se alcanzaba a pH = 7 - Abundancia de ejemplos de reacción ácido fuerte - base fuerte.	Ideas erróneas	Bachillerato
Hand y Treagust (1988)	- Un ácido es algo que carcome o quema. - La neutralización significa la ruptura de un ácido. - La diferencia ente un ácido fuerte y uno débil es que el fuerte carcome más rápidamente un material que el débil.	Ideas erróneas	4º E.S.O.

Tabla 8. Síntesis cronológica del conocimiento antecedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1979 a 1989.

2.4.1.2. Resultados en investigaciones desde 1990 hasta 1999.

Retomamos nuestra exposición con Banerjee (1991), quien no se aleja de la percepción anterior del conocimiento precedente desarrollando un test para determinar, nuevamente, las *ideas erróneas* o *concepciones erróneas* (*misconceptions*) sobre equilibrios químicos incluidos los de tipo ácido-base en educación secundaria no preuniversitaria. Los resultados principales obtenidos fueron: el agua de lluvia es neutra, no existen iones H^+ en disoluciones acuosas de NaOH y para dos disoluciones de igual concentración de ácido acético y de

ácido clorhídrico, el pH de la disolución de ácido acético será menor o igual que el pH de la disolución de ácido clorhídrico (Banerjee, 1991).

En ese mismo año, Schmidt (1991), también en estudiantes de educación secundaria, no se aparta de la misma idea del concepto, tratándolas como concepciones erróneas (*misconceptions*). En este estudio se buscaba identificar y describir los problemas que pudieran tener los estudiantes con el concepto de neutralización. Cuando las respuestas fueron analizadas, pudo observarse que una gran mayoría de los discentes entendía la neutralización en su forma antigua. Por ende, asumían que cualquier reacción de neutralización debía dar lugar a una disolución neutra, sin importar que en ella participaran ácidos o bases débiles (Schmidt, 1991). Otros alcanzaron la conclusión de que las reacciones de neutralización eran irreversibles (Schmidt, 1991), obviando el equilibrio químico y no es hasta que esas dos reacciones se tengan en cuenta que podrán comprender lo que sucede cuando, por ejemplo, un ácido débil reacciona con una base fuerte.

Sin abandonar las *concepciones erróneas*, Ross y Munby (1991), investigaron la comprensión sobre conceptos ácido - base en estudiantes de secundaria mediante mapas conceptuales que utilizaron para el diseño de un cuestionario de opción múltiple y entrevistas. Los autores informaron de lo siguiente: todos los ácidos son fuertes y poderosos, las sustancias “*que queman*” son ácidas, todas las sustancias de olor fuerte o penetrante son ácidos, los ácidos fuertes poseen más enlaces de hidrógeno que los ácidos débiles, todos los ácidos son venenosos, el sabor de los ácidos se corresponde con picante y amargo, un suelo no puede ser ácido porque nada puede crecer en un medio ácido.

Algunos alumnos consideraron que las frutas son *básicas* porque afirman que todos los alimentos son “*básicos*” (haciendo referencia dietética a “*fundamental*”) y que nunca debemos ingerir ácidos. Identifican el término antiácido con sustancias que no reaccionan con los ácidos. Otras de las conclusiones tan interesantes a las que llegaron estos investigadores es que los alumnos poseen dificultades con los iones y ecuaciones iónicas lo que les

impide relacionar correctamente estos conceptos con el pH, también cuando interpretan el papel del color en reacciones ácido-base, manifiestan que los ácidos son rosados o bien que disoluciones a distinto pH tendrán distinto color; los ácidos destruyen a las bases a causa del cambio de color de la fenolftaleína. Los conceptos que albergan son idiosincrásicos, es decir, propios de cada persona que no son consistentes con el currículo que les corresponden y que las ideas cotidianas se retienen mejor que las científicas.

Dos años más tarde, Bardanca, Nieto y Rodríguez (1993), pretenden evaluar la evolución de los conceptos en la enseñanza media. Para este propósito se sirven de cuestionarios que cumplimentan alumnos desde primero de E.S.O. hasta el Bachillerato en Uruguay. Además realizan una pequeña evaluación sobre estudiantes universitarios que veremos en el siguiente apartado. Las definiciones experimentales o fenomenológicas de ácidos y bases son dominantes en los primeros años. Entre ellas podemos encontrar que reaccionan con los metales y pueden ser identificados con colores que toman los indicadores en disolución. Según avanzamos hacia el último curso de secundaria predominan las definiciones teóricas como la visión de Davy, Lavoisier o Arrhenius, siendo ésta última la dominante (Bardanca *et al.*, 1993).

En los primeros cursos se consideran peligrosos los ácidos pero no las bases, tendencia que disminuye hacia los cursos superiores de la secundaria. Respecto del bachillerato, los discentes tienen claro que es básico o alcalino pero citan como único ejemplo el NaOH. Por el contrario en segundo de bachillerato una mayoría (77,8%) da ejemplos correctos de bases pero no comprenden bien el concepto. Aparece la consideración de la importancia biológica, farmacéutica e industrial de los compuestos ácido-base. La definición de ácido más destacada en todos los cursos fue: recuerda al pomelo, ataca al mármol, conserva alimentos, corroe metales, es orgánica e inorgánica y actúa como disolvente.

En cuanto a las bases, la definición más destacada en todos los cursos fue: sustancia que es neutralizada por los ácidos, es algo básico (en el sentido que

indicaran Ross y Munby en 1991, estudio que los autores no revisaron), concentran energía, todo lo contrario a ácido, algo que no es ácido y que se encuentra en las pilas. Finalmente, los autores concluyen que de manera general para los alumnos de secundaria y bachillerato: un importante porcentaje no ha asimilado los conceptos de ácidos y bases.

Prácticamente ninguno menciona la importancia de las bases y se observa una notoria influencia de la publicidad para definirlos. Los alumnos recuerdan mayormente la primera teoría enseñada cronológicamente (usualmente Arrhenius). Cabe recalcar que este estudio es de carácter sincrónico por lo que puede evidenciar qué sucede en cada curso con pero no una evolución como quieren plantear los autores ya que no existe un estudio diacrónico de los conceptos en dónde puedan evaluarse el camino seguido en el tránsito por dichos cursos, por tanto se trata de una evolución aparente.

Igualmente, en los estudios de Nakhleh y Krajcik (1993, 1994) se continua el enfoque sobre las *concepciones erróneas* observando los modos de razonamientos según la tecnología utilizada y los mapas conceptuales. A este respecto, Zoller (1990), que investigó sobre las concepciones erróneas en estudiantes universitarios (*videtur infra*), considera que los mapas conceptuales son herramientas muy útiles en la detección de errores conceptuales ya que los estudios en cognición e instrucción demuestran que dichos mapas son herramientas potentes en la construcción de un aprendizaje significativo (Novack y Gowin, 1984; Wandersee, Mintzes y Arnaudin, 1987), veremos como de ahora en adelante se vuelve una estrategia principal de detección de errores conceptuales.

En primera instancia, se investigaron la comprensión inicial y final de los conceptos, los procesos mentales y acciones que se produjeron durante la realización de una serie de valoraciones ácido-base en estudiantes de secundaria. Se utilizaron tres tecnologías diferentes: indicadores, pHmetro y laboratorio basado en microcomputadora (MBL por sus siglas en inglés).

Catorce sujetos titularon: un ácido fuerte, un ácido débil, y un ácido poliprótico con una base fuerte mientras verbalizaban sus pensamientos.

Posteriormente, dibujaron una gráfica de pH frente al volumen de base añadido y discutieron el resultado con los investigadores. El nivel de información dado por la tecnología utilizada afecta al foco de atención durante el proceso seguido, así el grupo que utilizó el MBL se centró principalmente en la gráfica mientras que los otros dos grupos repartían su atención en los varios aspectos del proceso de valoración; por lo que los se cree que la información presentada en la pantalla actúa como una memoria auxiliar de corto plazo (Nakhleh y Krajcik, 1993).

Prosiguiendo con estos análisis, en 1994 los autores decidieron observar cómo los diferentes niveles de información ofrecidos por las tres tecnologías anteriores afectan la comprensión de los conceptos de ácido, base y pH. Se analizaron los cambios en la comprensión individual mediante mapas conceptuales que provenían de las proposiciones que mostraron los estudiantes durante las entrevistas realizadas antes y después de las titulaciones ácido-base.

Tras las entrevistas finales se encontró que los estudiantes que hicieron uso del MBL exhibieron un cambio positivo y profundo en los registros de los mapas conceptuales respecto de la evaluación inicial, lo cual indica una gran diferenciación e integración en su conocimiento sobre los ácidos y las bases (Nakhleh y Krajcik, 1994). Por el contrario, al utilizar los indicadores el cambio registrado en sus mapas conceptuales fue moderado y al utilizar el pH-metro el cambio fue muy pequeño (Nakhleh y Krajcik, 1994).

A pesar de estos resultados, los estudiantes que utilizaron el MBL construyeron más conexiones inapropiadas en sus mapas conceptuales que aquellos que utilizaron los indicadores o el pH-metro. Los autores especulan que estas conexiones erróneas se deben a la necesidad de entender la tecnología utilizada, por lo que concluyen que el nivel de información ofrecido por la

tecnología utilizada afecta la comprensión de los conceptos químicos (Nakhleh y Krajcik, 1994).

Otros resultados encontrados, más ligados a los *errores conceptuales*, fueron: se confunde la fuerza de los ácidos con daño, dolor y con reactividad, las burbujas de gas desprendidas durante las reacciones entre ácidos y metales son signo de la fuerza de dichas reacciones o de la fuerza del ácido. Los ácidos son fuertes y las bases no, además los primeros funden a los metales. El pH es inversamente proporcional al daño, las bases no hacen daño, los ácidos y las bases tienen su propio color e intensidad, las moléculas “*pelean para combinarse*”, la fenolftaleína interviene en la neutralización. El pH es considerado como: el compuesto llamado fenolftaléina (*phenolphthalein* en inglés quizás por eso confunden con las iniciales), una reacción química o un número que indica la intensidad de la reacción.

Vidyapati y Seetharamappa (1995), encuentran ideas muy parecidas a lo descrito con anterioridad, ya que cuando se les pidió a los alumnos de secundaria que identificaran sustancias ácidas presentes en su vida cotidiana, las respuestas más frecuentes fueron: refrescos (69,3%), frutas (64%) y vinagre (26,6%). Incluso comentaron que los antiácidos eran sustancias ácidas llamadas así porque no reaccionaban con los ácidos.

En Schmidt (1995), podemos ver un estudio descriptivo cuyo objetivo fue tratar de identificar los *errores conceptuales* albergados por estudiantes alemanes de 4º de E.S.O. hasta 1º de bachillerato sobre la teoría de Brønsted-Lowry. Los resultados obtenidos indican que los estudiantes germanos de secundaria poseen dos errores conceptuales relacionadas con los pares conjugados. En primer lugar, confunden los pares ácido - base conjugados con los no conjugados, es decir, asociaban incorrectamente tras la reacción el ácido que se corresponde con su base y viceversa. Una posible explicación que aduce el autor es que la distinción entre las dos asociaciones se menciona en raras ocasiones en libros de texto, no obstante no posee datos de correlación que lo corroboren.

En segundo lugar, los estudiantes tienden a emparejar los iones positivos y negativos como pares ácido - base conjugados ya que de alguna forma consideran que se neutralizan el uno al otro, o lo que es lo mismo, utilizan criterios de carga para solucionar el problema. A pesar de que los estudiantes manejan la terminología química, no lo hacen de manera apropiada lo que provoca confusión, probablemente como causa de los libros de texto como ya apuntara Carr (1984), y que Schmidt (1995), quiere hacer destacar; ello conduce a la aparición de errores conceptuales como en el caso especial de la neutralización. También Schmidt (1997), encontró que toda reacción ácido-base da como resultado una disolución neutra.

De igual manera, Bárcenas *et al.* (1997), encuentran en alumnos de secundaria que todas las reacciones ácido-base son de neutralización, en concordancia con lo ya expuesto. Más adelante, Salcedo y García (1997) investigaron sobre la teoría de Lewis en estudiantes de primero de Bachillerato en Colombia.

Estos autores, durante la proposición de una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación, recogieron algunas ideas previas sobre este tema. Con este fin hicieron realizar mapas conceptuales con una serie de términos propuestos, en especial referidos a la teoría ácido-base de Lewis antes y después de la aplicación de la estrategia didáctica. Estos mapas conceptuales personales se transformaron posteriormente en Redes de Galois para evaluar la estructura y relación de los conceptos en general.

Este análisis anterior a la estrategia didáctica permitió conocer las ideas previas con las que llegaban los alumnos antes de impartir el tópico. Se observó que un 81% utiliza la teoría de Brønsted-Lowry para dar explicación a fenómenos ácido-base, un 19% utiliza la teoría de Arrhenius mientras que ninguno utilizó la Teoría de Lewis. Además, la aparición de dos grupos cerrados de conceptos en la red de Galois permite inferir que el manejo conceptual de los estudiantes acerca de la teoría de Lewis se reduce al empleo de los términos neutralización, atracción electrostática, hidrólisis ácida y número de

oxidación, es decir, los alumnos construyen dicha teoría a partir de esos conceptos.

Un 92% de los estudiantes tenía un nivel medio de discriminación de los conceptos pertenecientes a la teoría de Lewis y el 8% restante fue de carácter bajo. Los resultados obtenidos nos llevan a la conclusión de que la teoría de Lewis es inexistente en los alumnos de Secundaria y Bachillerato pero se introducen otros conceptos relacionados con el científico Gilbert Lewis como la estructura electrónica. Así, los alumnos no suelen construir la teoría basándose en los postulados y conceptos correctos y por ello no pueden utilizarla para interpretar fenómenos ácido-base.

De forma similar, Wilson (1998), realizó unas redes conceptuales medias (*PFNets*) que eran la suma de todos los mapas conceptuales de los estudiantes de segundo de Bachillerato, sin embargo, su finalidad fue ligeramente distinta pues no quería descubrir qué errores conceptuales se escondían en el tema ácido-base sino determinar si tal y como afirman Chi, Slotta y de Leeuw (1994), los conceptos se organizan en categorías ontológicas, que este caso, vendrían a ser los nodos de una red. Efectivamente, los datos obtenidos de las *PFNets* confirman que los términos manejados por los sujetos giran en torno a la palabra ácido o base entendiendo la autora que esta categoría se corresponde con la de *materia* (Wilson, 1998). Además las *PFNets* de los estudiantes de menor desempeño están menos circularizadas y se organizan a partir de conceptos menos abstractos que los de mayor desempeño por lo que la categoría ontológica podría evolucionar con el nivel académico (Wilson, 1998).

Pasado este brevísimo paréntesis, en el que se investigó la teoría de categorías ontológicas, Toplis (1998), retorna a la obtención de errores conceptuales sobre alumnos de edades comprendidas entre los trece y los catorce años. Se realizaron entrevistas iniciales y finales toda vez impartido el temario ácido-base. Sobre el concepto de ácido, los efectos visibles de éstos

(quemaduras, peligrosidad, corrosión, etc.) como rasgos de valor informativo se redujo muy poco, así como los ejemplos dados sobre alimentos.

Sin embargo, los ejemplos referidos a ácidos no relacionados con alimentos se incrementó, siendo los nuevos conocidos los típicos utilizados en el laboratorio (el autor no mencionó cuáles). En cuanto a las bases, existe escasa evidencia de que su significado haya cambiado tras las lecciones, a pesar de haber nombrado compuestos como el jabón y las tabletas para la acidez como ejemplos típico siguen persistiendo errores conceptuales.

De este modo, los sujetos dieron como ejemplos de ácido tres bases conocidas como son el hidróxido, el bicarbonato y el agua de cal; además de reflejar que son más débiles que los ácidos y que tienen un sabor agrio. Respecto a los indicadores, al principio estaban familiarizados con ellos y mencionaron que los ácidos producen un color rojo en disolución.

Tras la instrucción se observó un incremento de las respuestas correctas sobre los colores que toman los indicadores cuando se añaden a disoluciones ácidas o básicas. Analizando la procedencia de estos errores explicadas por los alumnos que podían dar más de una respuesta se obtuvo: de los medios de comunicación (4,8%), familia y/o amigos (19%), en años escolares anteriores (52,4%), etiquetas de productos caseros (9,5%) y otras fuentes (14,3%).

En este retorno a las ideas erróneas, De Manuel *et al.* (1999a, 1999b), realizan dos revisiones de lo encontrado hasta el momento intentando relacionarlo con las ideas propuestas históricamente por los científicos. A pesar de la existencia de analogías, De Manuel *et al.* (1999a), reconocen que no se puede establecer un paralelismo exacto entre los científicos, los alumnos y la evolución de sus ideas a los largo del tiempo en coincidencia con otros autores (*videtur*: Saltiel y Viennot, 1985; Wandersee, 1985).

Por consiguiente, debemos tomar los dos artículos inmediatamente superiores como un simple compendio comparativo y no como una demostración de los paralelismos entre conceptos científicos y conceptos adquiridos por los sujetos. Tras la exposición de los artículos científicos consultados, se realiza una síntesis para el período de 1990 hasta el año 1999 (tabla 9).

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Banerjee (1991)	<ul style="list-style-type: none"> - El agua de lluvia es neutra - No existen iones H^+ en disoluciones de bases. - El pH de la disolución de ácido acético será menor o igual que el de la disolución de ácido clorhídrico 	Ideas erróneas	E.S.O.
Schmidt (1991)	<ul style="list-style-type: none"> - No hay equilibrio químico en reacciones ácido-base. 	Ideas erróneas	E.S.O.
Ross y Munby (1991)	<ul style="list-style-type: none"> -Todos los ácidos son fuertes, queman y destruyen a las bases. -Un suelo no puede ser ácido. - Nunca debemos ingerir ácidos. -Dificultades con los iones y ecuaciones iónicas, se impide relación con el pH. 	Ideas erróneas	E.S.O.
Bardanca <i>et al.</i> (1993)	<ul style="list-style-type: none"> -La definición de ácido más destacada: productos corrosivos. Teóricamente: Davy, Lavoisier o Arrhenius. -La definición de base más destacada: sustancia que es neutralizada por los ácidos. - Los ácidos son peligrosos pero las bases no. 	Ideas erróneas	E.S.O. Bachillerato

Tabla 9. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1990 a 1999.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Nahkleh y Krajcik (1993, 1994)	<ul style="list-style-type: none"> - Se confunde la fuerza de los ácidos con daño y dolor. - Reactividad son las burbujas de gas desprendidas durante las reacciones con metales - Los ácidos son fuertes y las bases no. - El pH es inversamente proporcional al daño, las bases no hacen daño. - En reacciones ácido-base las moléculas “pelean para combinarse”. - La fenolftaleína interviene en la neutralización. 	Ideas erróneas	E.S.O.
Schmidt (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Emparejar los iones positivos y negativos como pares ácido - base conjugados utilizando criterios de carga. 	Ideas erróneas	E.S.O. Bachillerato
Vidyapati y Seetharamappa (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Ejemplos empíricos de sustancias ácidas. - Los antiácidos no reaccionaban con los ácidos 	Ideas erróneas	E.S.O.
Bárceñas <i>et al.</i> (1997)	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las reacciones ácido - base son de neutralización. 	Ideas erróneas	E.S.O.
Salcedo y García (1997)	<ul style="list-style-type: none"> - Un 81% utiliza la teoría de Brønsted-Lowry para dar explicación a fenómenos ácido-base, un 19% utiliza la teoría de Arrhenius mientras que ninguno utilizó la Teoría de Lewis. 	Ideas erróneas	Bachillerato
Wilson (1998)	<ul style="list-style-type: none"> - Las redes conceptuales de alumnos de bachillerato se crean en torno a la categoría materia. 	Categorías Ontológicas	Bachillerato

Tabla 9 (continuación). Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1990 a 1999.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Toplis (1998)	<ul style="list-style-type: none"> - Los efectos visibles de los ácidos (quemaduras, peligrosidad, corrosión, etc.) como rasgos de valor informativo se redujeron muy poco, así como los ejemplos dados sobre alimentos. - Aparecen nuevos ejemplos sobre ácidos siendo los típicos utilizados en el laboratorio. - Escaso cambio en el concepto de base. 	Ideas erróneas	E.S.O.
De Manuel <i>et al.</i> (1999a, 1999b)	- Compendio de anteriores	Ideas erróneas y alternativas	E.S.O

Tabla 9 (continuación). Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 1990 a 1999.

2.4.1.3. Resultados en investigaciones desde 2000 hasta 2009.

Ya en la siguiente década, tampoco se apartan del enfoque de las ideas erróneas Furió-Más *et al.* (2000), quienes revisan mediante un protocolo una muestra de cuarenta libros de Química General y Libros de Química de Bachillerato, entrevistan a veinte profesores con más de diez años de experiencia en el nivel de educación secundaria y examinan a estudiantes de C.O.U. Los autores observaron que un 75% de los libros de texto no presentan la hidrólisis de las sales neutras (sin grupos H u OH dissociables) como proceso en el que la disolución obtenida tiene reacción ácida o básica.

Además, un 70% de los profesores no presenta inicialmente la fenomenología de la hidrólisis antes de intentar explicarla sino que la introducen directamente desde la teoría de Brønsted-Lowry (Furió-Más *et al.*, 2000). Por otro lado, el 60% de los textos no comenta el marco teórico bajo el cual se está introduciendo la neutralización. Así, un 55 % de profesores enmarcan la

neutralización en la teoría de Brønsted-Lowry y el 45% restante en la de Arrhenius. Un 37% de los libros no introduce la teoría de Arrhenius y los que la mencionan no presenta sus limitaciones ni problemas (como determinadas hidrólisis). Sólo un 50% de los profesores indica razones que justificaron el paso de la Teoría de Arrhenius a la de Brønsted-Lowry.

Tras los test de respuesta abierta, Furió-Más *et al.* (2000), concluyen que las justificaciones dadas por los estudiantes permite ver que utilizan básicamente la visión de Arrhenius a la hora de clasificar una sustancia como ácido o como base generalizando que la fórmula química que posea H es ácido y la que posea OH es base. Un 70% reconocen las reacciones de neutralización. De este porcentaje un 44% la interpreta a través de la reacción macroscópica, un 11% a través de la teoría de Arrhenius y un 15% no indica marco teórico. En el aspecto procedimental sólo un 32% señaló el cambio de color de los indicadores. Cuando se les pide que clasifiquen determinadas reacciones en neutralización, disociación o hidrólisis, aparecen muchas respuestas incorrectas y confusiones a la hora de utilizar un marco teórico u otro para explicarlas.

De las entrevistas se deduce que se emplea fundamentalmente el perfil macroscópico para describir lo que es una neutralización, reconociendo que la neutralización y reacciones ácido-base son lo mismo. Al evaluar la confusión entre hidrólisis, neutralización y disociación iónica un 74% responde incorrectamente, la mitad indica que la hidrólisis es la ruptura de sustancias con el agua pero no especifican que sea una sal. Un 38% tampoco sabe disociar el ion amonio (en blanco un 39%) lo que según los autores implica que el estudiante no relaciona hidrólisis con la reacción del compuesto con el agua. En la hidrólisis del carbonato, la mitad de las respuestas incorrectas (37%) justifican que se trata de una neutralización porque existe un símbolo de reversibilidad. En la disociación del HCl, consideran los que respondieron incorrectamente (35%), que se trata de un hidrólisis ya que reacciona con el agua y el producto es ácido.

Como estudio exploratorio se pueden obtener escasas conclusiones ya que muchos de los resultados observados han sido explicados ya por artículos precedentes (*videtur supra*). Este estudio aporta mayor evidencia sobre lo que ya apuntaba Carr (1984) respecto a los errores encontrados en libros de texto que podrían observarse o propagarse en los alumnos y en el caso de los profesores recuerda significativamente a lo aportado por otros autores (*videtur*: Bradley y Mosimege, 1998; Lederman y Zeidler, 1987).

Se trata prácticamente de una réplica ampliada del estudio llevado a cabo por De la Guardia *et al.* (1985), donde cae en el mismo error de no correlacionar lo que ocurre en los libros de texto con los alumnos o con los profesores, o demostrar que la muestra de textos escogidos es representativa y utilizada por los examinandos. Aporta evidencia de que existen analogías entre ciertos errores de los profesores, alumnos y libros pero no puede demostrarlo lo que le limita a no avanzar respecto a sus predecesores.

Otra réplica de este estudio, la realizan dos años más tarde Jiménez-liso *et al.* (2002), en el cual se analizan textos de varios niveles sobre conceptos ácido-base basado mediante valoración dicotómica. Se halló, que todos los libros de secundaria antiguos a la E.S.O., describen los ácidos y las bases en términos macroscópicos o fenomenológicos. En los actuales, las primeras interpretaciones teórico-moleculares no se mencionan sino que comienzan por la teoría de Arrhenius. Los libros actuales de secundaria sólo describen las limitaciones teóricas para Arrhenius y escasamente para la teoría de Brønsted-Lowry (Jiménez-liso *et al.*, 2002).

Según estos autores, todos los libros de educación secundaria refuerzan la idea de que la neutralización es cualquier proceso ácido-base y consideran al pH como un número relacionado con la concentración de iones H_3O^+ en la disolución. Un 40% de los libros actuales expone las propiedades ácido-base de las sustancias como absolutas mientras que un 50% explica que son propiedades relativas (Jiménez-Liso *et al.*, 2002). Respecto a los equilibrios ácido-base se explica que durante una valoración primero se forma la sal y

posteriormente ésta sufre hidrólisis; los autores han querido ver en esta afirmación una muestra de razonamiento causal-secuencial. Cualquier reacción de una especie con el agua está incluida en la definición de hidrólisis. Asimismo, en el 20% de los libros de bachillerato faltaría explicar la mezcla de ambos colores que se dan en el equilibrio entre las dos formas del indicador ácido-base (Jiménez-Liso *et al.*, 2002).

Ese mismo año y permaneciendo bajo el manto de las concepciones erróneas, Peña y Caamaño (2002), encontraron que los estudiantes mexicanos de bachillerato consideraban neutra a toda disolución producto de la reacción de cualquier ácido con una base; dato ya confirmado para otros estudiantes de bachillerato y universidad (*videtur*: De la Guardia *et al.* 1985; Zoller, 1990). En estos mismos examinandos, Peña y Caamaño (2002), llegaron a observar también que poseían ideas sobre los ácidos y las bases de carácter híbrido, como también demostraran Bardanca *et al.* (1993).

En esas ideas se amalgamaban términos, conceptos y postulados de las tres teorías ácido-base principales, sin que se pudieran discriminar las unas de las otras; estas teorías híbridas se podían encontrar además en los libros de texto (Peña y Caamaño, 2002). Esta hibridación teórica, a modo de síntesis actual, puede encontrarse también en textos para universitarios que a lo largo de esta tesis ya hemos analizado (*videtur*: Rubinson y Rubinson, 2000; Nelson y Cox, 2006; Spiro y Stigliani, 2004).

Un año más tarde, Schmidt y Volke (2003), hallaron como conclusión principal de su estudio que a los estudiantes se les hacía difícil aceptar que el agua era una base de Brønsted-Lowry, mientras que al año siguiente, Demerouti *et al.* (2004a, 2004b), continuaron también con la estela de concepciones erróneas en estudiantes de Bachillerato en Grecia pero realizan una incursión en los procesos de razonamiento involucrados obteniendo nuevamente los datos que ya hallaran anteriores investigadores investigadores (*videtur supra*) a los que podemos añadir que para que una base fuerte pueda ser neutralizada por un ácido débil se requerirán más moles que si se utilizara un ácido fuerte y que el

ácido fuerte aporta todos los protones determinando el pH, no considerando los protones que son aportados por el agua en el caso de concentraciones muy bajas (Demerouti *et al.*, 2004a).

Más adelante, investigaron el efecto de dos variables psicométricas, el *nivel de desarrollo* y el *estilo cognitivo* en dichos estudiantes mientras trabajaban la comprensión conceptual y cálculos químicos en estos errores conceptuales. Se pudo demostrar que ambas variables juegan un papel importante en el desempeño de los estudiantes aunque, según los autores, el *estilo cognitivo* tenía un efecto más duradero. El *nivel de desarrollo* estaba conectado, en la mayoría de los casos, con la comprensión de conceptos y su aplicación pero en menor medida con situaciones que implicaran ejercicios de elevada complejidad conceptual y/o cálculos químicos. Por otra parte, el *estilo cognitivo* estaba relacionado con las situaciones que requerían sólo la comprensión de conceptos especialmente en casos exigentes y en combinación con cálculos químicos (Demerouti *et al.*, 2004b).

Furió-Más *et al.* (2005) publican un estudio de los errores conceptuales en entrevistas a profesores y en la presentación de las teorías ácido-base en libros de B.U.P. (**B**achillerato **U**nificado **P**olivalente) y C.O.U. (**C**urso de **O**rientación **U**niversitaria). Los resultados obtenidos son poco reseñables, pues ya fueron obtenidos con anterioridad. Así, los profesores indican erróneamente que la reacción de neutralización se produce cuando el pH final alcanzado es de siete y muestran síntomas de poseer una concepción lineal y acumulativa de la evolución de las teorías ácido-base.

Posteriormente, Drechsler y Schmidt (2005), confirman la confusión entre teorías fundamentada por Carr (1984), en bachilleres suecos. Al identificar bases y ácidos con criterios macroscópicos o fenomenológicos, les cuesta clasificar mediante este método el carácter ácido-base al agua y su anfoterismo. Se mezclan la teoría de Brønsted-Lowry con Arrhenius ya que cuando se les pide interpretar una reacción escriben compuestos imposibles que captan protones olvidando el contexto acuoso, tampoco aciertan en la

identificación (reconocimiento) de las reacciones ácido-base. El aprendizaje de las teorías mencionadas no es óbice para que se inclinen por características empíricas.

Bajo esta visión, dos estudios turcos (Çetingül y Geban, 2005; Demircioğlu *et al.*, 2005), se inclinan por producir el cambio conceptual mediante nuevas lecciones o nuevos materiales corregidos que eviten dichos errores a pesar de lo que expresaban Pozo y Gómez-Crespo (1998), sobre la supuesta crisis del modelo de conflicto cognitivo. Así Çetingül y Geban (2005) y Demircioğlu *et al.* (2005), encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los resultados del grupo control y el experimental. Resulta sorprendente que no haya mención en ambos al artículo de Hand y Treagust (1988), que se ocuparon primero de este asunto.

Sheppard (2006), manifiesta que los artículos antecedentes (*videtur supra*) se han ocupado escasamente de la comprensión del pH por los estudiantes de secundaria. Por esto decide examinar qué ocurre con este concepto cuando dicho sujetos realizan titulaciones ácido-base. Una gran mayoría de estudiantes considera el pH como función lineal y aplican esta lógica al resolver problemas de cálculo y de neutralización. Se observan también diferencias entre las ideas cualitativas y cuantitativas sobre éste.

Para muchos de los sujetos examinados, en una titulación ácido-base, el indicador cambia de color sólo a un pH definido cuyo valor es siempre siete. Confunden esta medida de la concentración con la fuerza de un ácido. Por otro lado, clasifican la neutralización como una simple mezcla del ácido con la base donde no se produce interacción entre ellos, otros lo describen como un proceso de dominación de los ácidos sobre las bases considerando que los ácidos son más fuertes, muy pocos consideran que la neutralización es un reacción química.

Finalmente se les pide predecir la curva de neutralización, donde la mayoría dibuja una línea y en menor medida una curva cóncava, convexa o tipo S

torcida. Ningún sujeto explicó satisfactoriamente el comportamiento de la gráfica tipo S que se les mostró después de realizar el experimento. Aunque Sheppard (2006) ha intentado enfocarse en el pH, solamente el análisis gráfico consigue añadir algo nuevo a lo ya descrito por el resto de investigadores.

Habíamos visto que Furió-Más *et al.* (2000) y Furió-Más *et al.* (2005), habían estudiado varios aspectos sobre los ácidos y las bases en alumnos de B.U.P. y C.O.U.; finalmente, en 2007 publican un estudio por duplicado donde se pretendía evaluar las competencias de estudiantes de segundo de bachillerato sobre la conceptualización macroscópica y microscópica de las reacciones ácido-base. Los sujetos tienen cierta dificultad para aplicar el conocimiento teórico sobre la disociación iónica en casos concretos y no diferencian sustancias iónicas de moleculares por lo que no distinguen ionización de disociación. No asignan correctamente la carga a los iones poliatómicos. Un tercio de los sujetos no es capaz de distinguir las propiedades del átomo elemental frente a las de un ión para un mismo elemento químico. No pueden explicar la conducción eléctrica de las disoluciones iónicas y algunos consideran que los electrones libres son los responsables de ésta. Confunden moderadamente las propiedades macroscópicas con microscópicas ya que asignan propiedades muchas de las primeras a átomos e iones. El resto de conclusiones son ya harto conocidas.

Hasta ahora, los errores conceptuales, se habían tomado como referencia a la hora de instruir o de diseñar materiales escolares, no obstante, Ouertatani *et al.* (2007) describen que en Túnez los procesos de enseñanza-aprendizaje no tienen en cuenta las ideas iniciales de los alumnos por lo que la enseñanza solo tiene un efecto transitorio sobre sus conocimientos. Estos investigadores se proponen, dentro de una perspectiva constructivista, estudiar a 115 alumnos de entre 14 y 17 años.

Tras la enseñanza de la Teoría de Arrhenius, se encontró que sólo el 50% de los estudiantes sostiene que los ácidos son compuestos que ceden protones en disolución acuosa, sin embargo para las bases, el porcentaje de retención de la

definición fue menor. Cuando se les piden ejemplos de ácidos y de bases, dan muchos más de ácidos que de bases y en el último caso las únicas citadas son NaOH y KOH, resultado ya descubierto por Cros *et al.* (1986) y Toplis (1998). Cuando se les presenta el etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), un tercio de los estudiantes lo clasifica como base lo que conduce a los autores a conjeturar que esto podría ser porque posee un grupo OH en su fórmula química, así se clasificaron también como ácidos al NH_3 , el NH_4^+ , el HS^- y el CH_3COO^- ; los autores no pueden conjeturar sobre el problema descrito pues ya ha sido demostrado por varios investigadores precedentes en alumnos de secundaria y bachillerato (*videtur*: Demircioğlu *et al.*, 2005; Furió-Más *et al.*, 2000) y en libros (*videtur*: Jiménez y De Manuel, 2002).

No quedó claro que los alumnos relacionaran la fuerza de un ácido o una base con la disociación pero sí que la mayoría consideraba que cuánto más concentrado está un ácido mayor es su fuerza. Un 41% de los estudiantes no ha adquirido correctamente la noción de acidez o basicidad y suelen establecer una relación entre la cantidad de protones o hidronios (y no de las concentraciones) y estos dos últimos términos. Por otro lado, los alumnos de 14 años tienen una visión mucho más empírica que los de 17 años que poseen una más teórica. El sabor es un rasgo de valor informativo para interpretar los ácidos y las bases al igual que ya encontrase Toplis (1998).

Respecto a la relación entre pH y concentración de protones, se consideró como directa y no inversa como era de esperar pero aún fue pero cuando intentaron conectarlo con la basicidad. Un gran número de estudiantes simplemente considera la reacción de ácidos y bases fuertes en proporciones equimolares y sólo un número muy limitado utiliza la reacción iónica de Arrhenius. Para terminar, en un principio se recurren a los aspectos perceptivos y cotidianos para explicar el carácter ácido de una disolución pero tras la instrucción, el modelo de Arrhenius suplanta esos esquemas en menor o mayor grado. Aunque tienen menos experiencias cotidianas con bases, el concepto está menos desarrollado que el de ácido y lo que memorizan es fácilmente

olvidado y es muy interesante observar que casi un 79% consideró que el agua es neutra.

Desde el estudio de Wilson (1998) en estudiantes de Bachillerato no se había vuelto a tratar otra perspectiva que no fuesen las concepciones erróneas, Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010), rompen ligeramente con esta tendencia en tres investigaciones donde mezclan la tipología de impedimentos de aprendizaje (Taber, 2001a, 2001b, 2002) con las de otros autores (Oversby, 2000; Vosniadou, 1994a, 1994b; Vosniadou e Ioannides, 1998), generando una unificación con el enfoque de los modelos mentales.

No abandonan el enfoque de concepciones erróneas, pero al menos van un paso más allá incorporando los modelos mentales; sin embargo, no perdamos de vista que su enfoque nace de Taber (2001a, 2001b, 2002a), que claramente está adscrito a las concepciones erróneas (*misconceptions*). Este antiguo estrato no parece abandonar nunca las investigaciones sobre ácidos y bases ya que Lin y Chiu (2010), declaran que por razones de consistencia, las preconcepciones serán tratadas como aquellas desviaciones de las teorías científicas.

Estos artículos, son parte del Estudio Nacional del Aprendizaje de Conceptos Científicos (NSCLS, por sus siglas en inglés) ocurrido en Taiwan donde se investigó la comprensión que poseían estudiantes de ese país sobre las ciencias y las posibles fuentes que podían influenciar en su aprendizaje. Concretamente los tópicos estudiados fueron: acidez-basicidad de una disolución, neutralización, disoluciones diluidas de ácidos y bases débiles, acidez-basicidad en disoluciones acuosas de gases, ionización de electrolito y fuerza de ácidos y bases.

Los resultados obtenidos sobre preconcepciones no difieren mucho de lo ya expuesto por todos los anteriores autores (*videtur supra*) pero veremos más adelante que siguiendo una serie de criterios, estas preconcepciones se van a acomodar en una serie de modelos mentales iniciales. Dentro de la tipología

de impedimentos de aprendizaje, habíamos visto que la categoría superior denominada *Sustanciales* se componía de dos subcategorías; pues bien, Lin y Chiu (2007a) conciben la inclusión de una nueva subcategoría nombrada Medio Social o Social-Ambiental en aras de la contribución de Vosniadou y Ioannides (1998) que proponen tener en cuenta el desarrollo cognitivo y el ambiente sociocultural además de las aportaciones de Warren *et al.* (2001) que indican que deberíamos tener en cuenta la interrelaciones entre la vida cotidiana y los conceptos científicos.

Las influencias de los modelos mentales iniciales de Vosniadou y Brewer (1992, 1994) y de Vosniadou (1994a, 1994b), son muy claras y vienen motivadas en parte por el análisis general propio de Driver *et al.* (1994), que conducen a Lin y Chiu (2007a), a proponer cuatro modelos mentales iniciales en la mente de los examinandos sobre ácidos, bases y relacionados. No solo los modelos mentales hacen acto de presencia, también la tipología de impedimentos de aprendizaje es tomada como principio organizador. Tal y como Taber (2002a) describiera, algunos alumnos carecen de conocimientos previos relevantes para conectar con lo nuevo; por ende Lin y Chiu (2007a, 2010) al estilo Vosniadou (1994a, 1994b, 2002), convierten esa ausencia de conocimientos previos en una ausencia de modelo mental que estaría incluido en el esquema dentro de la subcategoría *Deficientes*.

Lin y Chiu (2007a, 2010) proponen tres modelos mentales más: el *Fenomenológico (Phenomenon Model)*, el de *Carácter-Símbolo (Character-Symbol Model)* y el de *Inferencia (Inference Model)*. El modelo *Carácter-Símbolo* se descompone a su vez en dos submodelos que son el de *Caracteres Chinos (Chinese Character Model)* y el de *Símbolo Químico (Chemical Symbol Model)*; por otro lado, el Modelo de Inferencia se subdivide también en dos: el submodelo *Inferente-Generativo (Generating-Inference Model)* y el de *Fórmula Concisa (Pithy Formula Model)* (Lin y Chiu, 2007a, 2010).

Ya se ha descrito qué significa la ausencia de modelos, por otra parte el Modelo Fenomenológico se fundamenta en el uso de características

macroscópicas como rasgos de valor informativo como podrían ser la corrosión, el sabor, el aspecto, la toxicidad, etc. El modelo de Carácter-Símbolo se basa en la utilización de la presencia de determinados caracteres o símbolos como criterios de determinación de ácido, base, neutralización (equilibrio), etc.

Para el caso del submodelo de caracteres chinos vemos que el acento lo ponen los estudiantes en la escritura china, por lo que la influencia cultural es primordial, utilizando determinados caracteres como indicio; proviene principalmente de un impedimento ontológico lo que conlleva una comprensión restringida de los conceptos. Los caracteres chinos, por tanto, determinan la basicidad o la acidez de una disolución y además hace considerar como neutralización una mezcla de cualquier cantidad y tipo de ácido o base da lugar a una disolución neutra (Lin y Chiu, 2010), como postularan ya Bárcenas *et al.* (1997). Para el submodelo de símbolo químico el indicio es, como ya mostraran otros autores (Cros, Chastrette y Fayol, 1988; Furió-Más *et al.*, 2000; Demircioğlu, 2005; Jiménez y De Manuel, 2002; Zoller, 1990), la presencia-ausencia de los grupos OH y H (sin carga) en las fórmulas químicas. Este submodelo procede principalmente de la intuición y de la instrucción por lo que tiene su raíz en problemas ontológicos y pedagógicos.

Aparece aquí por primera vez la intuición en tanto en cuanto es un carácter definitorio de las teorías marco, implícitas y primitivos fenomenológicos especialmente, pero no se aclara la procedencia ni qué papel juega dentro de lo propuesto en los modelos mentales. Siguiendo con esta descripción, el Modelo de Inferencia se debe a relaciones incorrectas o a una visión fragmentaria de algunos conceptos científicos.

En el caso de ácidos y bases, por ejemplo, los estudiantes albergan conceptos científicos pero no han incorporado cierta información crucial o mecanismos importantes de las teorías científicas lo que les obliga a utilizar sus capacidades de inferencia para completar los vacíos existentes (Lin y Chiu, 2007a). Los que dominan el modelo de fórmula concisa, utilizan pequeñas

proposiciones memorizadas (Lin y Chiu, 2007a) como patrones que posteriormente darán lugar a las inferencias sobre la pregunta que se les esté indicando.

Algunas de esas proposiciones pueden ser *“añadir un ácido fuerte a una base débil producirá disoluciones ácidas”* o *“añadir un ácido débil a una base fuerte producirá disoluciones básicas”* que provocan que no se comprendan los mecanismos reales por los que se produce la neutralización u otros contenidos (Lin y Chiu, 2007a, 2010). Lo determinante para el caso de la neutralización es la fuerza de los ácidos y las bases sin reparar en las concentraciones, afirmación ya descrita por varios autores (Bradley y Mosimege, 1998; Jiménez-Liso *et al.*, 2002; Pinarbasi, 2007).

Otra evaluación que realizaron Lin y Chiu (2007b, 2010), fue observar que interacción se producía entre las expectativas de una profesora examinada y estos modelos mentales iniciales. La profesora entendía muy poco el conocimiento antecedente de sus alumnos por lo tanto sus expectativas solo podían ser buenas en el caso de los alumnos de alto rendimiento. Debido a dicha incapacidad, para los alumnos de bajo rendimiento, su enseñanza provocaba que reforzaran su modelo de carácter-símbolo empeorando su comprensión.

Los impedimentos pedagógicos no proceden principalmente de la transmisión de información incorrecta dada por el profesor sino por la disparidad entre las estructuras cognitivas de los alumnos (modelos mentales) y las expectativas del profesor lo que confirma que la fuente más influyente para los modelos de los alumnos es la instrucción formal (Lin y Chiu, 2007b, 2010). En la tabla 10 se recogen los hallazgos relativos a este período, que comprende desde 2000 a 2009.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Furió-Más <i>et al.</i> (2000)	<ul style="list-style-type: none"> -Un 75% de los libros no presentaba hidrólisis de sales que no contuviesen grupos H y OH disociables. -La teoría principal es la de Arrhenius. -Si hay un H en la fórmula es un ácido y un OH es una base. -Problemas en la disociación iónica de compuestos ácido-base. 	Ideas erróneas	Bachillerato
Peña y Caamaño (2002),	<ul style="list-style-type: none"> -Todo producto de las reacciones ácido-base es neutro. -Teorías híbridas sobre ácidos y bases. 	Ideas erróneas	Bachillerato
Demerouti <i>et al.</i> (2004a, 2004b)	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas al considerar las reacciones de ácidos y bases según su carácter fuerte o débil. 	Ideas erróneas	Bachillerato
Drechsler y Schmidt (2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Visión macroscópica de ácidos y bases. -Olvidan el contexto acuoso de las reacciones, problemas para entender el agua como anfótero. -Híbridos de teoría de Brønsted-Lowry y Arrhenius para explicar las reacciones. 	Ideas erróneas	Bachillerato
Çetingül y Geban (2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Compendio de anteriores 	Ideas erróneas	E.S.O.
Demircioğlu <i>et al.</i> (2005)	<ul style="list-style-type: none"> -Las sales son siempre neutras. -Los indicadores ayudan a que se produzca la neutralización. -El número de protones indica la fuerza del ácido. -La presencia de H en la fórmula indica ácido y la de OH una base. 	Ideas erróneas	E.S.O.

Tabla 10. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 2000 a 2009.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Sheppard (2006)	-El pH final de las reacciones ácido-base es siempre 7. -Cambio de color del indicador a valor estricto. -Las sales no participan en reacciones ácido-base.	Ideas erróneas	E.S.O.
Furió-Más <i>et al.</i> (2005)	- Compendio de anteriores.	Ideas erróneas	E.S.O. Bachillerato
Furió-Más <i>et al.</i> (2007)	- Problemas de disociación iónica de ácidos y bases y con las propiedades macro-micro.	Ideas erróneas	E.S.O. Bachillerato
Ouertatani <i>et al.</i> (2007)	-La presencia de H en la fórmula indica ácido y la de OH una base. -El número de protones indica la fuerza del ácido. -Un 79% indica que el agua es neutra, es decir no participa en las reacciones ácido-base.	Ideas erróneas	E.S.O. Bachillerato
Lin y Chiu (2007a, 2007b)	-Modelos fenomenológicos (visión macroscópica) sobre ácidos y bases. -La presencia de H en la fórmula indica ácido y la de OH una base.	Modelos mentales	E.S.O.

Tabla 10 (continuación). Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 2000 a 2009.

2.4.1.4. Resultados en investigaciones desde 2010 hasta 2013.

El paréntesis propuesto por Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010), logra extenderse a otros autores como Cokelez (2010), en educación secundaria, o a Talanquer y McClary (2011), en universitarios. Continuamos con los sujetos de educación secundaria y preuniversitario, por ello, en el caso de Cokelez (2010), se realiza un estudio comparativo entre estudiantes de bachillerato de Francia y Turquía.

Se propone describir qué modelos mentales se utilizan para interpretar las reacciones ácido-base y entender cómo evoluciona la comprensión de dichas

reacciones. Los resultados son bastante concordantes con los encontrados por Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010) y el resto de autores precedentes. Este estudio cuenta con un severo problema, no se examinan a los mismos estudiantes desde el primer al segundo curso sino que es un estudio sincrónico, por lo que repite el error de anteriores autores (Bardanca *et al.*, 1993; Wilson, 1998), además de que los alumnos de segundo de bachillerato no estudiaron el mismo contenido en primero que los que ahora lo cursan (Cokelez, 2010).

El autor presenta una evolución en cada concepto estudiado pero no podemos aceptar esta conclusión, solamente podemos admitir la presencia de distintos modelos según el curso; bajo esta premisa se analizarán los resultados. Los alumnos turcos consideran como neutralización la reacción entre cualquier clase de ácido y cualquier clase de base que produce como resultado sal y agua, por lo que se clasifica esta *idea alternativa* dentro del modelo más simple que es el carácter-símbolo, sin embargo, los estudiantes franceses creen la neutralización ocurriría cuando la disolución se vuelve neutra o cuando su pH vale siete.

En segundo de bachillerato, los discentes franceses, consideran que el protón liberado por el ácido es captado por la base durante este tipo de reacción. Además, los estudiantes franceses consideraban que no existían ni iones hidronio ni hidroxilo en una disolución neutra despreciando la auto-ionización del agua (Cokelez, 2010); sin embargo, los estudiantes de ambos países consideraban que en presencia de ácidos o bases fuertes las concentraciones de hidroxilos e hidronio deberían ser iguales para que exista la neutralidad independientemente de la cantidad de ácido o base que hubiese (Cokelez, 2010).

En todo esto, el autor pretende observar una evolución desde el modelo de *caracter-símbolo* hacia el modelo de *Inferencia-generativa* mientras que en alumnos turcos no habría evolución del modelo. Esto no puede entenderse así puesto que no se ha evaluado a los mismos alumnos en primero y en segundo,

por consiguiente, solamente se puede concluir que los modelos en ambos cursos difieren.

Es más, hasta ahora no se había planteado que un modelo fuese superior a otro, Lin y Chiu (2007a), solo comentaron la posible correspondencia entre la evolución histórica de modelos científicos en comparación con las características de los modelos propuestos. Pues bien, en cuanto al carácter de una disolución tras producirse una valoración ácido-base llegados al punto de equivalencia tanto alumnos turcos como franceses responden que siempre el resultado es neutro y que el pH debe ser igual a siete, quedando clasificados dentro del modelo *caracter-símbolo* (Cokelez, 2010). Por otra parte, los franceses no consideran los pares ácido-base conjugados de las especies presentes en la valoración mientras que los turcos no consideran la hidrólisis de la sal. En el caso de los estudiantes turcos, se balanceaban los modelos de *fórmula-concisa* y el de *caracter-símbolo*, mientras que en los franceses existía un modelo de *fórmula-concisa* en su mayoría (Cokelez, 2010).

Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010) y Cokelez (2010), sin abandonar completamente las concepciones erróneas, habían abierto un segundo paréntesis en su estudio equiparándolas a modelos mentales. Con Artdej *et al.* (2010), éste queda cerrado retomándose bajo la denominación de concepciones alternativas de Hewson y Hewson (1984) y su papel de obstáculo para la adquisición de conceptos científicos (Özmen, 2008). Se vuelven a estudiar bachilleres como lo hiciese Cokelez (2010), en una escuela pública de Bangkok (Tailandia) donde la mayoría de resultados ya han sido descritos (*videtur supra*); se citarán brevemente algunos resultados complementarios.

No se comprende la disociación de los ácidos y bases fuertes, no saben identificar ejemplos de bases y ácidos según la fuerza y confunden las disoluciones de electrolitos con las de no electrolitos. Se confunden la teoría de Brønsted-Lowry con la de Lewis. La concentración y la fuerza de atracción de los protones del H_3O^+ influye en la fuerza de los ácidos, ya que si la atracción de protones es elevada, el ácido es fuerte y si es baja, el ácido es débil. No

entienden la constante de disociación de los ácidos y bases débiles y por ello fallan en los cálculos matemáticos. Es relevante que los estudiantes piensen en las bases como dañinas, tóxicas y corrosivas y que el agua pura es un electrolito fuerte.

Esta vuelta al enfoque de supuestas concepciones alternativas, en el fondo tomadas como concepciones erróneas, se mantiene con Kala *et al.* (2013), donde la mayoría de los estudiantes concluyen que el pH es una variable relacionada con los ácidos mientras que el pOH es una variable ligada a las bases. Una sustancia que da lugar a un pH elevado tiene propiedades básicas y una sustancia que da lugar a un pOH elevado posee propiedades ácidas. Se cometían más errores al trabajar con el pOH que con el pH. Para explicar las propiedades básicas o ácidas de las sustancias en disolución preferían pasar los valores de pOH a pH, sin embargo, carecían de explicaciones conceptuales para ambas funciones ya que las suelen expresar matemáticamente y no conceptualmente.

Así, los ácidos fuertes siempre tienen un valor bajo de pH y dicha variable indica la fuerza del ácido mientras que el pOH indicaría la fuerza de la base lo cual se origina de la comprensión que tiene los estudiantes del pH y el pOH. Confunden fuerza con concentración por lo que las concentraciones de protones y de hidroxilos se convierten en factores que deciden la fuerza o debilidad de una base o un ácido.

Por el mismo sendero continua Karadeniz (2013), en este caso en estudiantes de primer ciclo de secundaria, que tras estudiar su comprensión conceptual se observó que existen la creencia de que los compuestos que contengan protones en su estructura son ácidos, que el zumo de manzana es básico y se volverá azul al añadir un indicador, que cuánto mayor sea el valor de pH de una disolución entonces la sustancia disuelta es un ácido o que las sustancias o compuestos cuyo pH sea inferior a 7 son básicos. Los alumnos vuelven a interpretar la escala de pH de manera directa y no inversa como era de esperar.

Park y Choi (2013), encuentran en bachilleres cinco maneras de comprender la variable pH. Estas formas son agrupadas en modelos de estudiantes según el razonamiento que poseen. El modelo de estudiante tipo 1 encierra al pH en una categoría llamada "objeto" porque sus explicaciones sobre esta variable se encuentran en un nivel descriptivo. El pH no se toma como una variable sino como una característica invariable de la sustancia que puede ser medida objetivamente. No entienden que se salga del rango cero a catorce.

Los estudiantes modelo tipo dos y tres clasifican la variable en la categoría "operación" porque son capaces de emplear habilidades matemáticas. En este caso para deducir las diferencias entre concentraciones de protones entre dos valores distintos de pH utilizan reglas proporcionales, algunos tipo fracción y otros tipo potencia, sin embargo mantienen la idea del pH como una medida de la acidez. No conectan el pH con la concentración salvo por cálculos matemáticos sin comprensión. No comprenden que se pueda abandonar del rango cero a catorce.

Finalmente, los estudiantes modelo tipo cuatro y cinco son capaces de conectar la concentración de iones con el valor de pH a nivel matemático y conceptual. La entienden como una función y su covariación la escala, también como un continuo y comprenden que los límites de catorce y cero pueden ser rebasados además de dar una explicación científica satisfactoria para ello. Estos supuestos estudiantes modelos con lo que nos podríamos encontrar guardan especial parecido con los modelos mentales propuestos por Lin y Chiu (2007a, 2010), no obstante en este artículo no solo no se hace referencia alguna a estos autores sino que se elude completamente la cuestión de los modelos mentales, concepciones alternativas, más bien parece adscribirse al enfoque de dificultades de comprensión muy en consonancia con las concepciones erróneas.

En línea paralela a los nuevos estudios sobre concepciones erróneas emergen Liu *et al.* (2013), proponiendo un avance sobre los estudios de Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010) y Cokelez (2010). Previamente, Lin y Chiu (2007a,

2007b, 2010), propiciaron un cambio en el enfoque de las concepciones alternativas en ácidos y bases, ahora sugieren completarlo centrándonos en los estados mentales que poseen los alumnos cuando aprenden este tema.

En este caso, el acento estará puesto sobre las emociones que acompañan los procesos de aprendizaje, en concreto los del cambio conceptual. Según Vosniadou (2007), no deberíamos ignorar la circunstancia por la que muchos alumnos no les resulta fácil transformar el conocimiento antecedente en versiones científicamente aceptables.

Principalmente, esas circunstancias o dificultades se han investigado desde la perspectiva del cambio conceptual frío (Rodríguez-Moneo, 1999), no obstante, se ha mencionado que las intenciones y las emociones juegan un papel preponderante en el aprendizaje de las ciencias y que puede dificultar o favorecer el cambio conceptual (Alsop, 2005; Alsop y Watts, 2003; Pintrich, 2000; Pintrich, 2006; Pintrich *et al.*, 1993; Liu y Hou, 2004; Sinatra y Pintrich, 2003; Treagust y Duit, 2008; Zembylas, 2005) y que se encuadrarían en el cambio conceptual caliente (Rodríguez-Moneo, 1999).

Para Liu *et al.* (2013), se ha investigado muy poco este aspecto teniendo en cuenta que inclusive una de las categorías ontológicas propuestas por Chi (1992), se denomina estados mentales. Llegado este punto y revisando las explicaciones de los autores parece existir una confusión entre la categoría ontológica y los estados mentales de los alumnos cuando se está produciendo el cambio conceptual; debe quedar claro que son cosas distintas, lo cual parece mezclarse en el texto original.

Sea como fuere, Liu *et al.* (2013), coinciden con Chi (1997), en dividir los estados mentales en intenciones y emociones y concuerdan con Osborne *et al.* (2003) y Linnenbrink y Pintrich (2002), en que determinadas emociones pueden afectar el alcance de metas o el aprendizaje en ciencias. También las intenciones ejercen su influencia sobre el estado psicológico del alumno

afectando el cómo los sujetos transforman la información que reciben (McKendree *et al.*, 2002).

Los autores, mediante un nuevo instrumento de medición llamado Cuestionario sobre Estados Mentales durante el Aprendizaje Conceptual (MSCLI por sus siglas en inglés), pretenden identificar los estados mentales de los alumnos antes y después del aprendizaje, sin embargo, y habiendo coincidido con la clasificación de Chi (1997), prefieren basar el instrumento de medición en el nuevo modelo de categorías propuesto por Liu (2003), donde los estados mentales estarían compuestos por cuatro subcategorías: Emociones, Intenciones, Representaciones Mentales Internas y Representaciones Mentales Externas. Además se compararon estos resultados con el rendimiento académico. Las conclusiones son bastante sencillas: los estudiantes de bajo rendimiento poseen tendencia hacia emociones negativas e intenciones poco proclives al aprendizaje, no poseían buena capacidad visual interna y eran incapaces de interpretar gráficas o realizar diagramas y dibujos sobre los contenidos.

Por el contrario, los alumnos de alto rendimiento iban más allá de lo enseñado en la clase, incluso del ámbito de la química. Su aprendizaje era visto como una manera de comprender mejor la vida y de un futuro más prometedor. Por tanto, eran capaces de desarrollar emociones e intenciones positivas especialmente cuando el temario estaba ligado a aspectos cotidianos. Poseen una capacidad visual interna muy buena y podían interpretar gráficos y realizar diagramas. Por último, los autores creen que sus resultados están apoyados en lo descrito por Sheppard (2006) y Artdej *et al.* (2010), lo cual es un error, puesto que en ningún caso dichos autores analizaron los resultados en función del rendimiento de los estudiantes; no se puede aceptar esa conclusión.

Por otra parte, resulta interesante vincular estos resultados con los obtenidos por Krutetsky (1961), quien al analizar las habilidades en alumnos de similar edad encontró que para un mismo rendimiento podían existir diferencias en la utilización de la capacidad visual-imaginativa además del plano lógico-verbal y

esta situación coincidía con la escasa inclinación que profesaban hacia las matemáticas; igualmente Zankov *et al.* (1975:128), durante la investigación del proceso de desarrollo de alumnos aventajados y rezagados encontró que dicho rezagamiento se debía a particularidades emotivo-volitivas presentes en ellos.

Como todo estudio novedoso existen aspectos que pulir pero observando los antecedentes existen muchas perspectivas de futuro para este enfoque. Como hemos venido haciendo, se resumen en la tabla 11 lo hallado en los artículos científicos anteriores.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo	Nivel
Cokelez (2010)	-El pH final de cualquier reacción ácido-base es siempre 7. -No comprenden la autoionización del agua.	Ideas erróneas	Bachillerato
Artdej <i>et al.</i> (2010)	-Mezcla de teorías ácido-base. -Problemas con la disociación iónica de ácidos y bases.	Concepciones Alternativas	Bachillerato
Kala <i>et al.</i> (2013)	- Problemas con las variables pH y pOH.	Ideas erróneas	Bachillerato
Karadeniz (2013)	- Interpretación directa de la variable pH. - Los compuestos con protones son ácidos.	Modelos Mentales	Bachillerato
Park y Choi (2013)	- Interpretaciones incorrectas de la variable pH.	Modelos Mentales	Bachillerato
Liu <i>et al.</i> (2013)	- Los errores observados en el tema se deben a emociones negativas y baja capacidad de representación mental.	Modelos Mentales	Bachillerato

Tabla 11. Síntesis cronológica del conocimiento antecedente ácido-base en estudiantes de educación secundaria y preuniversitaria en el período de 2010 a 2013.

2.4.2. Resultados en estudiantes universitarios.

2.4.2.1. Resultados en investigaciones desde 1978 hasta 1989.

En lo que respecta a los estudiantes universitarios, existen datos como los obtenidos por Kolb (1978, 1979), que aún no eran considerados ni siquiera como *concepciones erróneas*. Ya vemos que desde aquella época los alumnos de primero de carrera de química consideraban que: el cloruro de aluminio no podía ser un ácido sólo una sal (Kolb, 1978), en una reacción ácido-base, el ácido siempre cedía iones hidronio y una base cedía siempre iones hidroxilo dando lugar a sal y agua (Kolb, 1978) o si el pH era una media de la acidez, ¿cómo es posible que los valores de pH descendieran cuando los valores de acidez se elevaban? (Crane, 1961; Kolb, 1979), al llegar a la asignatura de química general de primer año.

Más tarde, hacen acto de presencia los datos obtenidos bajo la óptica de las *concepciones erróneas* o de las *concepciones alternativas*. Es con el enfoque de la falta de comprensión (o *confusión* según el autor) con el que aparece el estudio de Carr (1984), quien investiga las posibles *concepciones erróneas* que aparecen en libros de química para estudiantes universitarios. Para el autor, desde que se investiga sobre *preconcepciones*, todo está básicamente centradas en conceptos científicos que claramente pueden provenir de términos cotidianos o explicaciones alternativas relacionadas con éstos (Driver y Ericksen, 1983).

Siguiendo a Champagne, Klopfer y Gunstone (1981), quienes consideran que la interacción entre el conocimiento precedente y la instrucción científica es más acusada en el ámbito de la mecánica que en otras áreas científicas, Carr (1984), decide examinar la cuestión no desde el incipiente enfoque de las *ideas alternativas* sino volviendo al estrato antiguo de los *errores comunes* o *ideas erróneas*, ya que entiende que conceptos químicos tan abstractos y a un nivel universitario no parecen provenir lógicamente de la cotidianidad; sin embargo, algunos autores han criticado esta postura (Gilbert y Watts, 1983).

De este modo, se vuelve a poner el acento en los contenidos porque las dificultades no surgen de la pugna entre lo nuevo y lo viejo sino de las dificultades de aprendizaje. Carr (1984), explica como se produce la introducción del contenido sobre las teorías ácido-base desde un principio fijándose en las propiedades macroscópicas para pasar posteriormente a la teoría de Arrhenius y finalmente a la de Brønsted - Lowry, en algunos casos se presenta la teoría de Lewis. Para Carr (1984) resulta fundamental que en el proceso de enseñanza se explique cuando se está introduciendo un nuevo modelo, en qué manera difiere del anterior y por qué funciona mejor. El autor indica que la confusión que se registra en los alumnos proviene de los libros de texto examinados, que no separan claramente un modelo de otro si no que además no explican el cuándo, el cómo ni el porqué.

El primer texto analizado es *General Chemistry, Principles and Structures* de Brady y Humsiton (1982), y se trataría de un ejemplo claro del contenido tratado a nivel universitario. Así, el modelo de Lewis debería introducirse sólo después de que se haya entendido correctamente la teoría de Brønsted-Lowry pero ocurre que dentro de esta última se introduce al NaOH como base incorrectamente desde la perspectiva de Arrhenius. Posteriormente, incluye de manera incorrecta los ácidos y bases débiles dentro de la categoría de electrolitos débiles cuando no es necesariamente así.

Más tarde, cuando trata el tema de la hidrólisis, se tratan las sales desde un punto de vista de Arrhenius en las cuales no se hace distinción entre la constante de hidrólisis y la constante de ionización para una base. Respecto de las titulaciones ácido-base se sigue planteando una visión de Arrhenius para la hidrólisis de las sales en el punto de equivalencia.

Por otra parte, en el libro *Chemistry* de Chang (1984), la confusión entre los modelos de Arrhenius y Brønsted-Lowry ocurre nuevamente, volviendo a considerar la hidrólisis de la sal desde un punto de vista de la primera teoría y al tratar la clasificación de sustancias ácido-base como el NaOH utiliza ambas para explicar su reacción de disolución. Una excepción a estos textos, comenta

Carr (1984), es el libro *Chemistry, a estructural view* de Stranks *et al.* (1970), donde se plantea una visión clara y coherente de la teoría de Brønsted-Lowry. Haciéndose eco del trabajo inédito de Russell (1983), y de su propia experiencia en exámenes de acceso a la universidad identifica en los alumnos universitarios deficiencias para reconocer que las disoluciones ácidas son iónicas o la posible disociación del HCl. La escasez de datos y la fundación en meras opiniones es una constante en este artículo.

En resumen, Carr (1984), pretendía demostrar que las *concepciones erróneas* observadas se deben a las deficiencias presentes en los textos científicos que se se utilizan para enseñar, sin embargo, las pruebas que aporta son meras especulaciones que no pueden demostrar que exista tal correlación. Por tanto, las conclusiones son sencillas, existen errores en los libros de texto y además errores conceptuales en algunos alumnos, nada más puede decirse en vista de los datos presentados.

En esta misma línea continúan De la Guardia *et al.* (1985), que buscaban encontrar *errores comunes* cuando los alumnos explicaban las propiedades ácido - base de determinadas sustancias y las aplicaciones volumétricas de éstas. La metodología es muy parecida a la de Carr (1984), pero con una mayor fundamentación en datos sobre estudiantes a los que se le aplicó un cuestionario además de una revisión de libros de texto de las antiguas B.U.P. y C.O.U. Estos cuestionarios se componían de preguntas abiertas y de respuesta múltiple y fue aplicado sobre alumnos de la Diplomatura de Magisterio y varios cursos de la Licenciatura en Química.

El resultado más destacado fue que obtuvieron que los estudiantes consideraron que para cualquier valoración ácido - base el punto de equivalencia se alcanzaba exactamente a pH igual a 7. Dada esta conclusión, el examen de los libros se centró sobre las posibles contenidos que pudiesen dar lugar al comentado error, así los autores encontraron que los ejemplos de neutralización que destacaban en los libros se referían a la clase de base fuerte

- ácido fuerte, probablemente los que se producen en cantidades equimolares, cuyo pH final es 7 para el caso de la neutralización.

No obstante, esta investigación vuelve a adolecer del mismo síntoma que su predecesor Carr (1984), dado que De la Guardia *et al.* (1985), no se planteaban encontrar un paralelismo entre los textos y los errores de los alumnos lo que deriva en que no puede correlacionarlos, son meras conjeturas el que los ejemplos sesgados que hallamos en la literatura científica escolar coincidan en parte con los supuestos *errores comunes* de los alumnos. Puede entenderse también que simplemente la visión de los alumnos es incompleta dado que, bajo este prisma, puede considerarse esta afirmación como una *generalización incompleta o precipitada* por falta de información. Es más, habiendo realizado cuestionarios sobre alumnos de nivel universitario, erróneamente no analizaron ningún texto universitario, sino sólo texto de nivel secundario.

Cros *et al.* (1984, 1986) y Cros, Chastrette y Fayol (1988), permanecen en la visión de los *errores comunes o conceptuales* como los anteriores autores. Realizaron un estudio durante dos años en cuatrocientos estudiantes de primer de año de licenciatura en química de dos universidades distintas. Se tomaron datos utilizando cuestionarios y entrevistas libres o semiestructuradas.

Los autores encontraron que la constitución de la materia era bien conocida, sin embargo, la interacción entre ella eran objeto de desconocimiento o fuente de graves *errores conceptuales*. Por ello, tuvieron problemas con preguntas como: ¿Qué ocurre si se añade un ácido a una base? ¿Qué pH es el adecuado para una bebida sea potable? Además, en términos generales, estos estudiantes consideraban que los ácidos son mucho más peligrosos que las bases (Cros *et al.*, 1986).

Sus conocimientos eran meramente descriptivos y formales con una preocupante falta de conexión entre lo aprendido en las clases y la vida cotidiana y conocían mucho más sobre los ácidos que sobre las bases (Cros *et al.*, 1986). Cuando se les pidió mencionar ejemplos de ácidos y bases, se

demostró que les era más fácil nombrar los primeros ya que un 93% nombró al ácido clorhídrico (HCl), un 61% al sulfúrico (H₂SO₄) y un 56% el etanoico (CH₃COOH); sin embargo, al ser interrogados por las bases, un 43% no pudo mencionar más que dos (Cros *et al.*, 1986). Asimismo, poseen dificultades para explicar el calor que se desprende en una reacción ácido-base. Para la definición de ácidos, un 47% de los estudiantes utilizó la teoría de Brønsted-Lowry y un 14% la de Arrhenius, la teoría de Lewis estuvo ausente (Cros *et al.*, 1986).

En 1988, Cros junto a otros autores retoman el estudio anterior donde pretenden examinar cómo y en qué extensión, después de un año de estudio en la universidad, han evolucionado los conceptos y conocimientos de los examinandos. Algunas concepciones de los estudiantes se modifican de manera correcta en algunos casos, por ejemplo, considerar en primera instancia que *“los ácidos son sustancias que poseen un pH menor que siete”* (Cros *et al.*, 1986) sustituyéndola por *“un ácido libera o puede liberar protones”* (Cros, Chastrette y Fayol, 1988), la cual es la concepción de Arrhenius.

Otros conceptos no cambiaron nada, por ejemplo, señalan que existe una persistencia del uso de la Teoría de Arrhenius frente a la de Brønsted-Lowry para describir las bases (Cros, Chastrette y Fayol, 1988). El estudio demostró que para algunos temas la química tiene un carácter demasiado formal por lo que para corregir esta situación los autores proponen que el trabajo práctico desarrollado en la universidad debe incluir problemas que no sean sólo de esa naturaleza sino con contenido de fenómenos cotidianos.

Cabe destacar aquí cómo se mezclan diversos problemas en el *conocimiento antecedente* de los alumnos, como por ejemplo: la evolución desde una *generalización empírica* hacia una *generalización teórica* en el caso de las teorías ácido-base puesto que su primera definición parece estar vinculada a abstracciones obtenidas desde fenómenos empíricos mientras que la segunda

parece producirse del contacto con la materia formal (química general) durante el primer año de lecciones en la universidad.

La expresión de simples afirmaciones o ideas expresadas que dan la impresión de ser consecuencia de la aplicación de estas generalizaciones, el conocimiento de casos concretos de ácidos y bases que no es más que un problema de memoria o la dificultad para explicar reacciones ácido-base que puede deberse a falta de entrenamiento en la resolución de problemas. A continuación se muestra la tabla 12 que sintetiza los conocimientos precedentes recogidos durante este primer período.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
Kolb (1978, 1979)	<ul style="list-style-type: none"> - Algunos compuestos sólo pueden ser sales. - Visión macroscópica de la neutralización. - Relación directa prima sobre la indirecta entre pH y acidez. 	Ideas erróneas
De la Guardia <i>et al.</i> (1985)	<ul style="list-style-type: none"> - Para cualquier valoración ácido - base el punto de equivalencia se alcanzaba a pH = 7 	Ideas erróneas
Cros <i>et al.</i> (1984, 1986)	<ul style="list-style-type: none"> - Los ácidos son mucho más peligrosos que las bases. - Desconexión química formal-vida cotidiana. - Saben más sobre ácidos que sobre bases. - Dificultades para explicar el calor desprendido por una reacción ácido - base. - Los ácidos con compuestos con pH menor que siete. 	Ideas erróneas
Cros, Chastrette y Fayol (1988)	<ul style="list-style-type: none"> - Un ácido libera o puede liberar protones. 	Ideas erróneas

Tabla 12. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 1978 a 1989.

2.4.2.2. Resultados en investigaciones desde 1990 hasta 1999.

Avanzando en la cronología, Zoller (1990), repite en parte el patrón seguido por su predecesora Kolb (1978, 1979), lo que nos permite entender que los *conocimientos precedentes* en los estudios universitarios siguen siendo tratados como meros *errores conceptuales (misconceptions)* o *errores de comprensión de los alumnos (students' misunderstandings)*; sin embargo, se da cuenta de que para combatir los errores conceptuales no es suficiente con enseñar los contenidos científicos correctos, sino que se requiere además formas de razonamiento que permitan relacionarlos correctamente, aunque no da señales del cambio conceptual, sino de los modelos de *diagnóstico-prescripción-remedio* (DPR por sus siglas en inglés).

El autor no ha revisado la anterior bibliografía aquí comentada sobre la temática ácido-base, basándose en otros artículos sobre entramados conceptuales, razonamiento conceptual en estudiantes y errores conceptuales (Gallagher, 1987; Lawson, Costenson y Cisneros, 1985; Novack, 1987; Shymansky y Kyle, 1988; Staver et al., 1989). Zoller (1990), cae en el mismo error que Kolb (1978, 1979), al no utilizar instrumento de registro alguno sino que resume quince años de experiencia docente sobre preguntas que realizan comúnmente los estudiantes de primer año universitario. Por lo tanto, expone una revisión general sobre errores conceptuales y dificultades de razonamiento correspondientes a temas de química general y orgánica sin hablar de porcentajes, etc.

En lo que nos atañe, el autor encontró que la idea que poseen los estudiantes sobre ácidos y bases es que éstos son del tipo AH, donde A se correspondería con aniones como el Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , etc., mientras que las bases son de la clase MOH, donde M se correspondería con los cationes Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , etc. La extensión de los conceptos ácido y base cuando se aprende la teoría de Brønsted - Lowry no causa problemas. Las dificultades comienzan cuando se estudia la generalización propuesta por Lewis ya que se debe integrar en un

mismo marco teórico los conceptos abstractos de nucleofilia y electrofilia, con los ya conocidos de acidez y basicidad.

Al intentar entender porqué los alumnos no comprenden que el $\text{O}=\text{P}(\text{OH})_3$ es un ácido mientras que el PH_3 es una base parece ocurrir que el error reside en la conversión de la notación química hacia la estructura química desarrollada de los compuestos lo que no permite la interpretación correcta del ejercicio. El autor pone el anterior ejemplo donde los alumnos deben convertir la notación hacia las estructuras de Lewis del compuesto lo cual les ayuda a entender porque una sustancia que parece ser base basándonos en su notación química resulta ser un ácido de Lewis mientras que una sustancia que parece ser un ácido desde el punto de vista de la notación química es en realidad una base de Lewis.

Respecto al pH, Zoller (1990), comenta que los estudiantes no poseen una verdadera comprensión del concepto y lo manejan de manera mecánica lo que puede observarse en sus preguntas sobre si es posible que una disolución acuosa tenga un pH superior a 14 o inferior a 1. Se observó también que los alumnos tienen problemas al considerar la acidez o basicidad de disoluciones de sales puesto que no entendían porque una disolución de Na_2CO_3 pudiera ser básica. La idea que expresan los estudiantes es que las sales se forman como resultado de una reacción de neutralización de un ácido con una base y por tanto deben ser neutras no poseyendo carácter ácido - base y que además el pH de dicha disolución debe valer siete. Estos resultados están en concordancia y son muy parecidos a los descritos por autores precedentes (Cros *et al.*, 1984, 1986; Cros, Chastrette y Fayol, 1988; De la Guardia *et al.*, 1985; Lenke y Venz, 1979) sin haber sido consultados.

Pasamos ahora a un sencillo estudio sobre el conocimiento de las teorías ácido-base que realizaron Bardanca *et al.* (1993), donde aplicaron un mismo cuestionario a dos grupos de estudiantes universitarios de quinto año de licenciatura en Química Farmacéutica y primero de Licenciatura en Educación Primaria. Así, se descubrió que los alumnos de magisterio poseían escasos

conocimientos de las bases, que no eran consideradas peligrosas, no obstante, saben más sobre los ácidos que vienen descritos por características fenomenológicas o sensoriales y su peligrosidad.

Los alumnos de quinto de Licenciatura en Química, por el contrario, utilizan las teorías conocidas para definir los ácidos y las bases, sucediendo que un 7% utilizó la teoría de Arrhenius, otro 7% la de Lewis, un 33% la de Brønsted-Lowry y el 53% restante hibridaba la teoría de Lewis con la de Brønsted-Lowry. Además los estudiantes manifestaron conocer varias teorías para describir los ácidos y las bases pero que se decantan por una o dos de ellas.

Continuando con los errores conceptuales en profesores de ciencia en formación, Bradley y Mosimege (1998), presentaron a esos estudiantes de tres cursos académicos, una encuesta que constaba de dos secciones.

Sobre las teorías de ácidos y bases, un 42% considera equivocadamente que todas las disoluciones acuosas de sales son neutras, en acuerdo con Zoller (1990), estudio que los autores olvidaron revisar. Los autores plantean que esto podría deberse a que consideran la sales como producto exclusivo de la reacción de un ácido fuerte con una base fuerte, expresado ya por De la Guardia *et al.* (1985), y que tampoco fue revisado.

La teoría de Arrhenius es la más problemática de todas en esta área pues es la que aplican para resolver las reacciones de neutralización, donde sólo un 38% fue capaz de marcar sus limitaciones. Algunas respuestas, utilizando la teoría de Arrhenius, son correctas pero sus justificaciones posteriores no son admisibles por lo que se evidencian problemas con su manejo.

En el caso de las propiedades de ácidos y bases sorprendentemente un 51% seleccionó una propiedad básica para una disolución ácida. Se descubrió que entienden bastante bien el anfoterismo ácido-base pero, por otro lado, un 59% no fue capaz de ordenar correctamente una lista de compuestos conocidos en orden de fuerza creciente.

Posteriormente al tener que definir la fuerza como base conjugada del Cl^- un 32% falla en éste propósito considerándola fuerte o muy fuerte cuando es realmente débil. En las ecuaciones de reacciones ácido-base los alumnos se desempeñan muy bien comprendiendo de manera aceptable la teoría de Brønsted-Lowry. El desempeño en el funcionamiento de los indicadores es bueno (68% de los sujetos) pero aparecen algunos errores minoritarios como que los indicadores se utilizan para conocer la fuerza de los ácidos o que neutraliza el carácter ácido de una disolución y la basifica. Finalmente, los sujetos debían dibujar una disolución de ácido clorhídrico a nivel molecular incurriendo en errores de comprensión como olvidar los dibujos de las moléculas de agua e iones hidronio, carácter desproporcionado de la cantidad de iones o reflejar aspectos inadecuados en la representación microscópica.

Al igual que hicieron autores anteriores, Wilson (1998), realizó un estudio comparativo entre estudiantes de bachillerato y universitarios. La autora realiza, con un enfoque parecido al realizado un año antes por Salcedo y García (1997), la integración en una red de conceptos la suma de todos los mapas conceptuales. Si hasta ahora la obtención de *ideas erróneas* sobre los ácidos y las bases era primordial, ya podemos ver un enfoque centrado en la organización que tienen éstos conceptos en la mente. Para ello se basa en la teoría de Chi, Slotta y de Leeuw (1994).

Wilson (1998), se proyecta un poco más allá y se pregunta cómo es la evolución de la organización de estos conceptos en los sujetos ya que existen estudios que evidencian que los expertos, en varios dominios, tienen conocimientos más amplios y mejor estructurados respecto de los novatos (Chi, Glaser y Farr, 1988; Ericsson y Smith, 1991) y se hallan organizados en torno a propiedades abstractas (Cañas *et al.*, 1994; Gonzalvo *et al.*, 1994; Naveh-Benjamin *et al.*, 1986; Saitta *et al.*, 1995; Shavelson, 1972). Lo que se trata de determinar aquí es si las estructuras de conocimientos de los sujetos en diferentes niveles académicos se organizan en torno a nodos que representen diferentes categorías ontológicas, ya que, como le ocurriese a Bardanca *et al.* (1993), siendo un estudio sincrónico no puede demostrar evolución alguna

como se propuso. Para ello examina las representaciones externas del conocimiento de tres grupos con diferente nivel de estudio en química, los cuales son: estudiantes de 2º de Bachillerato, de 2º de Licenciatura en Química y Licenciados en Química.

La evidencia empírica obtenida apoya parcialmente esta teoría ya que los licenciados (considerados aquí los más avanzados) organizan sus conocimientos en torno a conceptos abstractos relacionados con procesos químicos (*id est*: categoría ontológica *procesos*) en el tópico equilibrio ácido - base en contraste con los alumnos menos avanzados los cuales organizan sus conocimientos en torno a conceptos materiales (*id est*: categoría ontológica *materia*).

Asimismo, los alumnos avanzados poseen mayor conectividad entre los conceptos que los alumnos menos avanzados donde se puede observar que estructuran el resto de conceptos en torno al término equilibrio mientras que los alumnos menos avanzados lo estructuran en torno a conceptos más sencillos como el de ácido. Por ello, la autora ve aquí una organización en distintas categorías ontológicas según el nivel de química, los alumnos avanzados en torno a conceptos abstractos y los novatos en torno a conceptos más tangibles.

Wilson (1998), realiza algunas autocríticas de su estudio indicando que resultó evidente una mayor motivación por parte de los alumnos de alto éxito académico de 2º de Bachillerato y los licenciados al realizar el mapa conceptual frente a los de bajo éxito. La selección de los conceptos para la realización del mapa conceptual fue problemático ya que estuvo condicionado a la comprensión de los estudiantes de segundo de bachillerato lo que podría ocasionar problemas a los alumnos universitarios y los licenciados pues excluye términos que no forman parte del currículo de Bachillerato.

Finalmente concluyen que quizás estos términos solo reflejan una noción del tema ácido - base más de tipo Arrhenius que de tipo Brønsted-Lowry. A estas críticas debemos añadir que existe una clara diferencia entre la *PFNet* (redes)

media de todos los estudiantes de segundo de bachillerato y la *PFNet* media de los alumnos de alto éxito académico y los de bajo éxito académico. Esto podría deberse a la desigual contribución de cada muestra ($n = 50$ para los de bajo éxito y $n = 39$ para los de alto éxito) a la *red media*.

No se realizó un test estadístico que evalúe si existen diferencias significativas ya que las diferencias observadas se basan en la frecuencia de conexión, conceptos supraordenados y existencia de nodos aunque es cierto que si observamos las *PFNets* de los alumnos de 2º de bachillerato, los conceptos supraordenados se mantienen más o menos iguales independientemente del éxito académico que suelen ser los términos ácido y base.

Esta diferente contribución de muestras también ocurre en las *PFNets* medias de los tres niveles académicos examinados puesto que son 89 estudiantes de segundo de bachillerato, 40 alumnos de 2º de carrera y sólo 15 licenciados. ¿Cómo se evalúa esa desigual contribución a las *PFNets* medias que posteriormente se comparan? De ninguna manera se hace por lo que se esperan sesgos de medida. Tampoco se comenta alguna manera de medir si existe alguna diferencia significativa entre las tres *PFNets* medias de cada nivel académico ya que la única observación es visual: aumento de la circularidad, aumento de las conexiones, cambio en los conceptos supraordenados, etc.

A continuación, la tabla 13 resume los conocimientos estudiados para este segundo período.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
Zoller (1990)	<ul style="list-style-type: none"> - Las bases son siempre de tipo MOH y los ácidos de tipo AH. - Errores de interpretación ácido-base de Lewis al no realizar la conversión notación química - estructura química. - No saben si la escala de pH puede bajar de 1 o subir de 14. - Las reacciones de neutralización dan lugar a sales neutras y un pH final de 7. 	Ideas erróneas

Tabla 13. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 1990 a 1999.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
Bardanca <i>et al.</i> (1993)	<ul style="list-style-type: none"> - Los ácidos son peligrosos pero las bases no. - Visiones empíricas de ácidos y bases. - Hibridación de las teorías de Brønsted-Lowry y Lewis. 	Ideas erróneas
Bradley y Mosimege (1998)	<ul style="list-style-type: none"> - Las sales siempre son neutras. - Las neutralizaciones son de tipo ácido fuerte - base fuerte. - Errores al interpretar reacciones ácido-base a nivel microscópico. - Se comprende bien la teoría de Brønsted-Lowry pero no así la de Arrhenius. - Se comprende el anfoterismo del agua. 	Ideas erróneas
Wilson (1998)	<ul style="list-style-type: none"> - Las redes conceptuales de universitarios y expertos se crean en torno a conceptos abstractos como el equilibrio químico por lo que encajarían en la categoría procesos. 	Categorías Ontológicas
De Manuel <i>et al.</i> (1999a, 1999b)	<ul style="list-style-type: none"> - Compendio de anteriores. 	Ideas erróneas

Tabla 13 (continuación). Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 1990 a 1999.

2.4.2.3. Resultados en investigaciones desde 2000 hasta 2009.

El estudio de Wilson (1998), marcó un brevísimo paréntesis en el tema donde se abandonan los errores conceptuales, al igual que lo hiciese en la línea de los estudios sobre discentes de educación secundaria y preuniversitaria. Las anteriores ideas sobre errores conceptuales, se retoman en el estudio de Furió *et al.* (2000), esta vez en libros de ámbito universitario.

De este análisis, que aporta mayor evidencia que el realizado por Carr (1984), se encontró que un 75% no presentan la hidrólisis de las sales neutras, es decir aquellas que no poseen grupos OH o H dissociables, como proceso en el que la disolución obtenida tiene reacción ácida o básica, un 60% no comenta el marco teórico bajo el cual se está introduciendo la neutralización y finalmente un 37% de los libros no introduce la teoría de Arrhenius y los que la mencionan no presenta sus limitaciones ni problemas; sin embargo, recae en los mismos errores que su predecesor al no poder correlacionar estos datos con lo

encontrado en estudiantes y en no poder justificar que la muestra de libros sea representativa.

Ese mismo año, derivado de la tesis doctoral de Jiménez-Liso (2000), encontramos en Jiménez-Liso *et al.* (2000) datos sobre errores conceptuales respecto del pH y su relación con el consumo de alimentos. Se realizó una encuesta de opción múltiple con justificación en 450 estudiantes de primero a quinto de Licenciatura en Química en diversas universidades españolas. Un 44% no bebería refrescos, zumos, etc., con valores de pH que no estuviesen incluidos en el intervalo de seis a ocho.

Del análisis de las justificaciones se deduce que aquellos que marcaron esta respuesta relacionan el concepto *neutro* con el significado de *no posee carácter ácido-base o poco reactivo desde ese punto de vista*. Un 24% sólo consumiría bebidas con un valor de pH de siete o variaciones muy pequeñas en torno a este valor lo que permite concluir a los autores que estos sujetos relacionan los conceptos *neutro* e *inocuo*, reforzando lo obtenido por uno de ellos (Jiménez-Liso, 2000), sobre el daño que podrían causar los cambios bruscos de pH sobre los tejidos y la importancia del pH neutro que equivocadamente marcaban como 5,5. Los porcentajes restantes admitieron la posibilidad de ingerir alimentos ácidos o básicos muy alejados de un pH con valor siete.

También sobre la comprensión del pH en alumnos de tercer y cuarto año de Química, Dhindsa (2002), destaca que existen tres niveles: aceptable, poco aceptable e inaceptable. Antes de diagnosticar a los examinandos, Dhindsa (2002), propone examinar los libros de primero de carrera y extraer de ellos “conocimientos supuestos” para luego observar su presencia o ausencia.

No demuestra, al igual que sus predecesores, que estos libros sean una muestra representativa, máxime cuando son de primer año y la muestra de alumnos es de cursos superiores. Se espera que sean capaces de: (1) definir el pH en términos de la concentración de protones, (2) saber que un ácido da lugar a disoluciones con pH inferior a siete y una base lo contrario en

condiciones estándar de presión y temperatura, (3) entender que para disoluciones diluidas los límites de la escala de pH puede situarse en cero y catorce pero para disoluciones concentradas pueden superarse, (4) conocer que el pH se ve afectado por la temperatura pero no por la presión y (5) comprender que las concentraciones de protones e hidronio deben ser iguales en disoluciones neutras. Tras someter a un test de sí o no a 48 de estos estudiantes se descubrió que la respuesta correcta (es una función de la concentración de protones) sólo es marcada por un 16,7% mientras que un 59% indica que se trata de una medida de la acidez. Por tanto, no se corresponde este resultado con el esperado desde el análisis de los textos.

Respecto de los valores de pH para las disoluciones de ácidos, un 37,5% indicó que ácido es aquel que en disolución acuosa da un pH inferior a siete y un 45,8% que una base aquella que da un pH superior a siete; en concordancia aceptable con lo observado en los libros. Un 91,6% indica que el límite para una disolución básica es catorce y un 18,8% que para las ácidas es cero, nadie optó por la posibilidad de salir de esos límites en contraste de lo que se esperaba. Sólo un 8,3% se inclinó por la definición correcta de disolución neutral al contrario que un 75% que define incorrectamente la neutralidad basada en el pH igual a siete. Por último, como básicamente consideran que por debajo de un pH igual a 7 se es ácido y por encima base, un 35,4% admite que no se puede ser neutral si no es a pH siete. Otras justificaciones del test parecen avalar esta idea.

En añadidura, Jiménez-Liso *et al.* (2002), realizan un análisis sobre posibles errores conceptuales en una muestra de libros de ámbito universitario. Así, la fenomenología es el recurso más utilizado para definir los ácidos y las bases en el 33% de los libros universitarios antiguos mientras que en los actuales recae sobre las tres teorías ácido-base más difundidas (Jiménez-Liso *et al.*, 2002).

A pesar de que se presenta la evolución histórica de las teorías ácido-base no se explican en muchos de los textos universitarios las limitaciones correspondientes por lo que los autores consideran que esto puede inducir en

los alumnos a errores sobre la aplicación de las teorías desfavoreciendo la idea de la ciencia como producto en construcción; esta afirmación no es nada novedosa pues es consecuente con lo comunicado por otros investigadores (Briscoe, 1940; Carr, 1984; Furió-Más *et al.* 2000).

El 67% de los libros universitarios actuales refuerza la idea de que la neutralización es cualquier proceso ácido-base y sólo un 13% de estos utiliza el concepto en su sentido etimológico. En todos se considera al pH como un número relacionado con la concentración de iones hidronio en disolución y un 40% expone las propiedades ácido-base de las sustancias como absolutas frente a un 50% que lo hace como propiedades relativas. Un 60% expone que durante una valoración primero se forma la sal y posteriormente ésta sufre hidrólisis lo que lleva a los autores a considerar esto como una muestra de razonamiento causal-secuencial. En cuatro libros actuales y todos los antiguos aparece la definición etimológica de hidrólisis, los libros restantes incluyen dentro de esta definición a cualquier reacción de una especie con el agua. Dos tercios no comenta la coexistencia de las dos formas del indicador en equilibrio además de no explicar que existe un intervalo de viraje en el cual el color que se aprecia es mezcla de ambos.

En dos artículos posteriores, Jiménez y De Manuel (2002) y Jiménez-Liso *et al.* (2003), amplían ligeramente el registro sobre concepciones erróneas que se tienen sobre el concepto de neutralización, sobre un posible razonamiento causal-secuencial en titulaciones ácido-base y los indicadores respectivamente en la misma muestra.

En el primer artículo mencionado, Jiménez-Liso y De Manuel (2002), realizan una pregunta poco acertada que intenta evaluar si se consideran los compuestos con grupos OH en su estructura como bases. Para ello proponen respuestas múltiples a la afirmación de si la sacarosa neutraliza el sabor ácido en la salsa de tomate. ¿Porqué no se preguntó esta cuestión directamente en vez de proceder con una pregunta tan compleja?

Así hicieron anteriormente otros investigadores en educación secundaria (Bardanca *et al.*, 1993; Toplis, 1998) y universitaria (Cros, Chastrette y Fayol, 1988), obteniendo resultados positivos. En relación a este problema, Zoller (1990), describió que los estudiantes universitarios de primer curso poseían *generalizaciones* de tipo MOH para las bases siendo M sustituido por varios tipos de cationes, su gran problema es que no indica su método de registro (instrumento de recogida de datos), se infiere que fueron notas de clase; además nunca trató esta idea como *generalizaciones* cuando realmente lo son.

Según estos autores, el 23% de los examinandos considera que los grupos alcohol orgánicos propios de la sacarosa convierten a este compuesto en base y por tanto debe reaccionar con el ácido de la salsa de tomate, neutralizándolo; lo que pondría de relieve que el concepto neutralización es relacionado incorrectamente con cualquier reacción ácido-base. No obstante, un 25% responde correctamente cuando mencionan que la sacarosa no es una base pero ello no les lleva a una correcta justificación del ítem lo que deriva en que Jiménez-Liso y De Manuel (2002), concluyan que existe confusión entre la percepción macroscópica del sabor y los elementos teóricos que se necesitan para explicarlo.

En el segundo artículo, relacionado con el concepto incorrecto de neutralización aparecería, según Jiménez-Liso *et al.* (2003), una interpretación causal-secuencial de la titulaciones ácido-base. Así, en dos preguntas, un 44% y un 20% de estudiantes se decantaría por la respuesta causal-secuencial respectivamente. Respecto de los indicadores, un 39% de los universitarios no tienen en cuenta que existe un intervalo de viraje y una coexistencia de formas del indicador. Un 28% admite el intervalo de viraje pero no equilibrio de formas mientras que un 14% cree que existe equilibrio y no intervalo.

Finalmente un 8% da la opción correcta. Posteriormente se analizaron exámenes de opositores a profesores de química y física, a título comparativo, encontrándose que un 64% sólo considera que una valoración ácido-base se produce cuando ambas sustancias son fuertes y el pH en el punto de

equivalencia debe valer siete. Los que indicaron que se puede producir hidrólisis (16% en total) afirman que primero se forma la sal en el punto de equivalencia y luego su hidrólisis es la que provoca que el pH sea distinto de 7. Los autores vuelven a entender aquí indicios de razonamiento causal secuencial similar a los universitarios.

Si los estudios de investigadores previos, tras el paréntesis de Wilson (1998), supuso retornar a los errores conceptuales, Watters y Watters (2006), prácticamente descienden al escalón de los errores de contenido. La fundamentación teórica es nula sobre artículos didácticos precedentes, remitiéndose exclusivamente al análisis de Norby (2000) o los problemas sobre cálculos matemáticos que poseen los alumnos a este respecto (Berger, Pintrich y Stemmer, 1987; Phoenix, 1999; Tariq, 2002; Weber, 2002), por lo que queda clara su adhesión a la línea científico-técnica ya descrita. Los examinandos fueron universitarios de primer y tercer año de Licenciatura en Bioquímica lo que supone una ampliación de la muestra respecto a estudios antecedentes, centrados en la Licenciatura en Química casi exclusivamente.

A diez alumnos de primer año se les sometió a entrevistas mientras resolvían el ejercicio en voz alta. Debían calcular que pH tendría una disolución de 10^{-10} M de HCl y luego los efectos del pH sobre dos grupos carboxilos residuales de una enzima conocidos los pK_a . A 96 alumnos de tercero se les entregó una encuesta de tres niveles (*Three Tier Test*) sobre las preguntas que se les había realizado previamente a los alumnos de primero.

Los alumnos de primer año toman al pH como un concepto fuertemente asociado a la concentración de protones y lo relacionan con la idea de que los ácidos son aquellas sustancias que liberan protones en disolución (visión de Arrhenius), así, en el momento del cálculo de su cálculo, simplemente aplican la fórmula sin comprender que es lo que están llevando a cabo; además, nueve de cada diez fueron incapaces de resolver el logaritmo sin la ayuda de la calculadora. No fueron capaces de resolver el segundo ejercicio por lo que existe escaso conocimiento de los conceptos de pH, pK_a e ionización y su

relación. Otro dato interesante extraído de las entrevistas es la posibilidad de clasificar a los estudiantes en varios grupos según la comprensión que tienen del concepto de pH.

De esta manera, los autores los dividen en tres categorías. En la A, se observa una escasa comprensión del concepto y baja motivación respecto a la resolución del problema. En la B, comprensión baja de la relación entre pH y la concentración de protones en disolución junto con una comprensión cualitativa del comportamiento de ácidos y bases. Se trata de un aprendizaje memorístico por lo que no suponía gran esfuerzo poner en práctica sus conocimientos. Finalmente la C, estudiantes que comprendían el concepto y sabían calcularlo, sin embargo seguían sin comprender el significado real de lo que estaban haciendo ya que con la ayuda del profesor incluían los protones aportados por el agua pero lo hacían de manera completamente incorrecta.

El ejercicio sobre el pK_a permitió realizar una clasificación semejante. Así, en la categoría A, se encontraban los estudiantes preconceptuales pues no eran capaces de entender que se pedía en el problema no llegando a su resolución. En la B, contaban con una comprensión intuitiva del pK_a y la ionización por lo que para resolver el ejercicio necesitaban la ayuda del profesor además de no poder avanzar hasta el final. Dentro de la C, comprensión básica de la ionización de los grupos amino pero se produce una equivocación al querer explicar el perfil de actividad de la enzima mediante el punto medio de los dos pK_a . En la D, se conocían los principios necesarios para resolver el problema pero no se sabía como relacionar el pH, el pK_a y la ionización con el perfil de actividad respecto del pH de la enzima.

Por último en E, se produce la resolución casi completa del ejercicio salvo la segunda parte del final que ocurre a nivel básico. Estos sujetos fueron los únicos que comprendieron la ecuación de Henderson-Hasselbach que reúne los términos de ionización, pH y pK_a . Estas clasificaciones se realizaron sólo para la muestra de alumnos de primero lo que redundaba en una muestra demasiado pequeña para realizar estas clasificaciones ya que la mayoría de

grupos está formado por un individuo lo que no nos permite tomar esto como una clasificación general sino casi idiosincrásica de la evolución de la resolución de un ejercicio.

Si bien se encontraron errores similares en los alumnos de tercer año de carrera, no se les clasificó dado que no se pudieron realizar entrevistas sino sólo el test. Los autores concluyen con Pintrich, Marx y Boyle (1993), que las ideas previas sobre el pH son tenaces a cambiar, sin embargo, ninguno de sus datos puede demostrarlo, ni siquiera el que se repitan dichos errores desde primero a tercero. Realmente, su metodología sólo les permite concluir que esas equivocaciones existen en ambos cursos por lo que estos resultados deben ser tomados con cautela.

Bhattacharyya (2006), escapa de la línea de las ideas erróneas internándose en otro paréntesis como el de Wilson (1998), e incursiona por primera vez desde la perspectiva de los modelos mentales en alumnos de doctorado en Química Orgánica. La pregunta que el autor trata de responder es cómo crean el concepto de ácidos orgánicos y para ello toma el enfoque de modelos individuales siguiendo a Gilbert (1997), y alejándose ligeramente de lo propuesto por Greca y Moreira (2000). Anteriormente, el autor describe que los estudiantes de química orgánica tienden a utilizar una sola teoría o un solo principio para explicar fenómenos químicos (Coll y Treagust, 2002) y además los universitarios de primer año se fijan exclusivamente en los efectos estéricos cuando quieren explicar la estereoquímica de reacciones orgánicas (Bhattacharyya y Bodner, 2005).

Teniendo esto en mente, mediante entrevistas, el autor pretende encontrar una serie de reglas que se deriven de los modelos mentales de diez alumnos. A la hora de caracterizar un ácido orgánico los sujetos utilizan tres reglas principales: a) Cuanto mayor sea la diferencia de electronegatividades entre el protón y el átomo de la molécula al que se encuentra unido, más fuerte es el ácido; b) cuanto mayor sea la deslocalización por resonancia en la base

conjugada, más fuerte es el ácido; y c) según los efectos inductivos, a mayor número y proximidad de átomos electronegativos, más fuerte es el ácido.

Se observó además que los alumnos no suelen tener los conceptos bien formados sino que explican que entenderán el problema si ven la molécula de la reacción. La generalización deviene como factor clave en los modelos mentales que se utilizan para crear nueva ciencia y estas reglas se suelen aplicar de manera lineal despreciando cualquier interacción entre ellas (Bhattacharyya, 2006).

El autor describe, en consonancia con Knorr-Cetina (1999), que los sujetos cuando se encuentran con datos anómalos en el laboratorio no se preocupan de recurrir a una interpretación teórica del problema para solucionarlo sino que reducen todo a un problema técnico lo cual redundará en una pérdida del avance en la madurez de la comprensión de la teoría.

A pesar de la escasez de la muestra, los resultados son bastante interesantes por el hecho de poner al descubierto la utilización de las generalizaciones como estrategias de pensamiento y resolución de problemas.

Tras la incursión de Bhattacharyya (2006), Pinarbasi (2007), revisa nuevamente los estudios principales que ya se han descrito sobre ácidos y bases volviendo a la línea de las concepciones erróneas. Se aplicó una encuesta con argumentación a 91 estudiantes del segundo curso de magisterio para profesores de ciencias, según la normativa turca, de primer ciclo de secundaria, es decir, alumnos que van a enseñarán a chicos de doce a catorce años.

Posteriormente, en las preguntas que no fueron satisfactorias, se sometió a los estudiantes a una entrevista a fin de tener una visión más clara de lo investigado. Estos estudiantes cursaron dos asignaturas de Química General de primer año y luego Química Analítica en segundo antes de que fuesen examinados. Se obtuvieron seis errores conceptuales principales.

El pH del agua pura (destilada o desionizada) es siempre igual a siete y el pH de una disolución neutra vale siempre siete, ambas independientemente de la temperatura; resultado ya descubierto en estudiantes de magisterio con formación en ciencias por Dhindsa (2002), y que el autor no revisó. Una disolución de 10^{-8} M de HCl tendrá un pH de 8 sin tener en cuenta los protones que provienen del agua, como dieran cuentan ya Watters y Watters (2006).

Respecto de las neutralización tenemos que, la reacción entre una base y un ácido siempre da lugar a una disolución neutra sin importar fuerza ni concentración de los compuestos involucrados (Bradley y Mosimege, 1998; Jiménez-Liso *et al.*, 2002; Pinarbasi, 2007) y que hidrólisis significa que un compuesto se divide en iones por la acción del agua.

En última instancia, solo cabría destacar que si en una reacción de neutralización, uno de los componentes (ácido o base) es débil, la reacción no se completará.

Para culminar esta revisión, se ofrece en la tabla 14 el resumen de los principales hallazgos.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
Jiménez-Liso <i>et al.</i> (2000)	<ul style="list-style-type: none"> - Peligrosidad de los ácidos y su ingestión. - Neutro es no tener carácter ácido-base y ser inocuo. 	Ideas erróneas
Dhindsa (2002)	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas de comprensión entre pH y acidez. - Un ácido es cuando la disolución tiene un pH menor que 7 y base si su pH es mayor que 7. - La neutralidad siempre se alcanza a valor 7. - Problemas con los valores 0 y 14 en la escala de pH. 	Ideas erróneas

Tabla 14. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 2000 a 2009.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
Jiménez-Liso y De Manuel (2002)	<ul style="list-style-type: none"> - Neutralización es relacionado incorrectamente con cualquier reacción ácido-base. - Los grupos OH en estructura química indican que es una base. 	Ideas erróneas
Jiménez <i>et al.</i> (2003)	<ul style="list-style-type: none"> - Razonamiento causal secuencial en valoraciones ácido-base. - Problemas al admitir el intervalo de viraje de un indicador y la coexistencia de especies. 	Ideas erróneas
Watters y Watters (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Predomina la teoría de Arrhenius. - Problemas para comprender pK_a, pH e ionización de ácidos y bases. 	Ideas erróneas
Bhattacharayya (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza de los ácidos orgánicos unido a: diferencia de electronegatividades de la molécula, deslocalización por resonancia y proximidad de átomos electronegativos. 	Modelos Mentales
Pinarbasi (2007)	<ul style="list-style-type: none"> - El pH del agua pura es siempre 7 sin importar los valores de temperatura. - En reacciones ácido-base se alcanza siempre el pH neutro de valor 7. - Resolución mecánica de ejercicios. - No se completan las reacciones que incluyan ácidos o bases débiles. 	Ideas erróneas

Tabla 14 (continuación). Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 2000 a 2009.

2.4.2.4. Resultados en investigaciones desde 2010 hasta 2012.

El paréntesis abierto por el estudio de Bhattacharyya (2006), se retoma con McClary y Talanquer (2011a), en la siguiente década, en cierta consonancia con la tendencia en estudios de educación secundaria propuesta por Lin y Chiu (2007a, 2007b, 2010), y continuada por Cokelez (2010). McClary y Talanquer (2011a) investigaron sobre los modelos mentales que surgen en alumnos de universidad tras cursar por primera vez la asignatura de química orgánica. A diferencia de Lin y Chiu (2007a, 2010), que se basan en la contribución de ciertos autores (Bhattacharayya, 2006; Gilbert, 1997; Oversby, 2000, Vosniadou, 1994a, 1994b), McClary y Talanquer (2011a), se inclinan por las

ideas de representaciones mentales de Markman (1999), y de modelos mentales de Nersessian (2008), aunque no excluyen los aportes de estos.

La muestra es baja, constando de siete alumnos clasificados como avanzados, seis estudiantes de rendimiento normal y otros seis que pertenecían a otras carreras de ciencias e ingenierías sin especificar. A los alumnos se les sometió a la metodología de tareas de Predicción, Explicación y Justificación (PEJt, por sus siglas en inglés) al resolver problemas sobre ácidos y bases en química orgánica.

Los resultados indican que se pueden dividir a los alumnos en cuatro grupos según las ideas asociadas a sus modelos mentales expresados. En el Modelo A, la acidez es una propiedad intrínseca de las sustancias, la fuerza del ácido viene determinada por la presencia de determinados grupos funcionales o átomos en la molécula, existe un escaso conocimiento de la comprensión del mecanismo del comportamiento de un ácido que son percibidos como sustancias inestables (McClary y Talanquer, 2011a). Para los que albergan el Modelo B, los ácidos se consideran moléculas que liberan o protones cuya fuerza viene determinada por propiedades intrínsecas del propio ácido de cuatro formas distintas: número de protones, polaridad, polaridad de la molécula y polaridad del enlace.

Dentro del Modelo C, los ácidos son sustancias que donan protones, como en el B, pero su fuerza viene determinada por propiedades implícitas de la molécula. Estas propiedades son electrónicas y la polaridad de los enlaces que ayudan a estabilizar la base conjugada. Por último en el Modelo D, los ácidos se consideran como sustancias que aceptan electrones y dicha fuerza es determinada por el número de pares de electrones sin compartir o de orbitales vacíos.

Se encontró que no fue posible clasificar a algunos de los participantes por lo que se reunieron en un cuarto grupo llamado Multimodelos. Estos integrantes utilizaban características de un modelo u otro según la demanda de la tarea y

se dividían en aquellos los que activaban los modelos a causa de las características de las moléculas en cuestión (*Feature-triggered*) o los que los activaban a causa de la naturaleza de la tarea (*Task-triggered*). Los primeros dependían de las diversas características de las moléculas que se trataban, lo que les inducía al cambio entre modelos o la adición de alguna característica de otro al que ya se estaba utilizando; para los segundos, la naturaleza de la tarea es la que induce ese cambio.

A pesar de la escasez de la muestra, al igual que el estudio de Bhattacharyya (2006), es interesante el cambio de perspectiva y como los autores mencionan que los modelos pueden hibridarse (como en los casos de transición propuestos por Fleshner, 1958), combinando *preconcepciones* con las nuevas ideas científicas impartidas. Los propios autores reconocen que el Modelo mental A guarda cierto parecido al de carácter-símbolo identificado por Lin y Chiu (2007b, 2010) en estudiantes de secundaria. El razonamiento utilizado por los estudiantes en el modelo B y C coincide con los que comenta en su estudio Bhattacharyya (2006). A pesar de aceptar que el modelo B posee características comunes a la teoría de Arrhenius, el C a la de Brønsted-Lowry y el D a la teoría de Lewis, ellos prefieren verlos como modelos mentales sintéticos más en consonancia con la propuesta de Vosniadou (1994a, 1994b).

Posteriormente Los mismos autores, basándose en estos resultados y con la misma muestra deciden observar qué heurísticos utilizan estos estudiantes para la resolución de problemas similares. Para este caso, el basamento se dirige más hacia las estrategias de razonamiento humano principalmente el heurístico. Independientemente de los problemas de las distintas perspectivas (McClary y Talanquer, 2011b), sabemos que existen estrategias heurísticas para el procesamiento de información en distintos ámbitos y con distintos propósitos (Kahneman y Frederick, 2002; Marewski *et al.*, 2010; Todd y Gigerenzer, 2000), y que se han venido a agrupar en uno de las dos tipos de la *Teoría de Procesamiento Dual* (Evans, 2006, 2008; Sloman, 1996), que esencialmente no se aparta de lo propuesto por Karmiloff-Smith (1992). En el aprendizaje de las ciencias, especialmente de la química, se ha propuesto ese

procesamiento heurístico como elemento central dentro de las teorías que incluyen el razonamiento implícito, preconsciente o intuitivo (Cheng y Brown, 2010; diSessa, 1983a, 1993; diSessa y Sherin, 1998; Reber, 1993; Redish, 2004; Stavy y Tirosh, 2000; Taber, 2008; Talanquer, 2006; Vosniadou, 1994a, 1994b).

La idea central de McClary y Talanquer (2011b), no es otra que el procesamiento heurístico sería el encargado de generar abstracciones e inferencias sin que el sujeto sea consciente tal y como entienden los anteriores autores. Aplicando esta idea a la resolución de problemas sobre qué ácido orgánico es más fuerte en una serie, se obtienen tres tipos de heurísticos: el de **reducción**, el de **representatividad** y el de **lexicografía**.

El heurístico de reducción es utilizado por un 14,3% de los sujetos y se produce cuando se desea minimizar el número de pistas o características que se necesitan para evaluar las distintas posibilidades, es decir, se tenderá a descartar datos, como la presencia de grupos OH, para resolver la tarea. El 25,7% que utiliza el heurístico de representatividad juzga el grado por el que la molécula refleja un prototipo de la clase asumiendo rasgos comunes entre objetos y aplicando las características del modelo a la molécula en cuestión.

Por ejemplo, la presencia de determinados grupos químicos como el carboxilo (COOH) o el alcohol (OH) se utiliza para adscribir la molécula a una categoría y diferenciarlas entre ellas para así determinar su acidez. El 77,1% utilizó el heurístico lexicográfico que consiste en buscar pistas, una por una, para diferenciar entre las opciones (moléculas). Se analiza el valor de la correspondiente pista para cada alternativa (molécula), se comparan los valores de cada opción en el ámbito de cada pista y se detiene la búsqueda cuando uno de los valores por pista permite elegir una de las opciones; normalmente el de mayor valor.

Finalmente los autores correlacionan cada uno de estos heurísticos con reglas ya investigadas, así el heurístico de reducción está ligado al descarte de

características durante un proceso de selección (Talanquer, 2006; Todd y Gigerenzer, 2000); la identificación de un ejemplo con un prototipo, como en el de representatividad, se relaciona a las situaciones cuando se asumen rasgos comunes de propiedades y comportamientos entre objetos de apariencia similar que se utilizarán como representación de una categoría (Estes, 1994:52; Gilovich, Griffin, y Kahneman, 2002; Hampton, 1995; Kahneman y Frederick, 2002; Posner y Keele, 1968; Rosch, 1978; Shah y Oppenheimer, 2008); el lexicográfico se identifica con la idea de “*una razón-una decisión*” (Todd y Gigerenzer, 2000) y que principalmente se expresa en química de la forma “*a mayor A, mayor B*” (Stavy y Tirosh, 2000). Todo esto refuerza la tendencia de evolucionar, si bien con ese eco del estrato de concepciones erróneas, hacia los modelos mentales como las nuevas concepciones alternativas en el tema ácido-base.

No fue larga la duración de este paréntesis ya que paralelamente Kariper (2011) y Cartrette y Mayo (2011), retoman las concepciones erróneas. Kariper (2011), investiga una muestra de alumnos de universidad que se preparan para ser profesores. Pretende evaluar algunas concepciones erróneas sobre pH: su cálculo, comprensión de su escala, su efecto en la acidez y por último el pOH en la basicidad.

El planteamiento de Kariper es interesante puesto que no plantea una visión tan limitada como hemos visto hasta el momento de las concepciones erróneas. Kariper (2011), cree que no debemos confundir determinados términos como: simples *errores* que pueden ser reconocidos por los propios estudiantes cuando se les enfrenta con el contenido aceptado (Abimbola, 1988), *ideas erróneas* que son producto de equivocaciones que suceden durante el proceso de aprendizaje (Zoller, 1990) o *concepciones limitadas* que surgen de términos y teorías no bien comprendidas (Toplis, 1998). Existen varias razones por las que no podemos aceptar las afirmaciones de Kariper (2011), puesto que como se ha venido explicando a lo largo de esta tesis, la evolución típica de estratos de las *ideas alternativas* demuestra que mucho de su arraigo está en los errores, por otro lado, con la adherencia de Zoller (1990)

a la línea científico-técnica y su nula fundamentación teórica no se puede cimentar esta afirmación.

Por último, no podemos considerar que Toplis (1998), se haya enmarcado exclusivamente en unas supuestas concepciones limitadas sino más bien en una mezcla de errores conceptuales y visiones cotidianas. En lo que sí se puede acordar con Kariper (2011) es en ese amplísimo espectro del que se compone el conocimiento precedente.

Dejando esto de lado, su investigación se centró en el análisis de exámenes y entrevistas a dos grupos de estudiantes. Un 83% de estos tiene una visión limitada del uso del pH y de su significado. En comparación con Cros *et al.* (1986), quienes descubrieron que el pH es una medida de acidez para un 17% de los universitarios, Kariper (2011) encuentra que lo es para un 20%. Un 5% tuvo problemas para calcular pH, por lo que no es significativo. Un 44% guarda concepciones erróneas o falsas ideas sobre el efecto del pH en la acidez y un 33% sobre el efecto del pOH sobre la basicidad, sin decir cuáles.

Por otra parte, un 74% considera que el pOH nunca puede superar el valor de 14, un 66% que nunca puede valer cero y un 70% comenta que el pH nunca puede ser negativo; el rango solamente se movería entre 0 y 14 debido a la ecuación $\text{pH} + \text{pOH} = 14$. Un 83% no sabe el significado de la función logarítmica o consideran que se debe a las bajas concentraciones de protones.

Un 33% tuvo problemas para entender la escala de pH y pOH en el caso de ácidos y bases débiles. Tienen problemas para comprender las ecuaciones matemáticas de problemas complejos, sin embargo, obtienen un buen desempeño en problemas matemáticos sencillos relacionados con todos los conceptos anteriores lo que aporta datos para las afirmaciones de Watters y Watters (2006).

Paralelamente Cartrette y Mayo (2011), se centraron en una muestra baja de trece estudiantes de segundo año. Ya anteriores estudios estaban desplazando

su centro de interés sobre los conceptos ácido-base hacia la química orgánica. Se les sometió a la resolución de problemas mediante entrevista donde se les pedía que razonaran en voz alta dividiéndolos en dos niveles de dificultad: honorarios (avanzados) y pre-profesionales lo que finalmente no produjo diferencias significativas aunque debemos recordar la escasez de la muestra.

Todos los participantes definieron y dieron ejemplos de ácidos y bases de Brønsted-Lowry mientras que menos de la mitad fueron capaces de definir un ácido o una base de Lewis. En su mayoría, se definieron correctamente los términos de nucleófilo y electrófilo pero muy pocos pudieron relacionar estos términos con los de ácido y base. Las explicaciones sobre los dos anteriores términos se basaron en análisis físicos, estructurales o en combinaciones de ambos y fueron todas correctas. Prácticamente todos utilizaron la teoría de Brønsted-Lowry para resolver los ejercicios propuestos lo que no siempre era aplicable, esto les llevaba a forzar la respuesta para que se adaptase a dicha teoría.

McClary y Lowery (2012), retoman la visión de concepciones alternativas sobre la fuerza de los ácidos orgánicos creando un test de dos niveles (*two tier test*) para medir en qué grado se puede confiar en las razones que aducen los sujetos sobre las preguntas planteadas. Las razones según el nuevo instrumento de medida se clasifican en espurias o genuinas; posteriormente, esas justificaciones se agrupan y transforman en pequeñas proposiciones generales que serían las verdaderas concepciones alternativas subyacentes.

Si prestamos un poco de atención, esta idea ya ha sido descrita con anterioridad, así pues las ideas espurias no son más que los modelos mentales generados *ad hoc*, situacionales, para la resolución de una tarea mientras que las genuinas serían las procedentes de teorías de dominio o esquemas estables que poseen ya una cierta estabilidad cognitiva (Moreira, 2008:211-212; Pozo y Gómez-Crespo, 1998:105-109).

De esta forma, múltiples respuestas convergerían hacia una misma concepción alternativa, obteniéndose dos proposiciones generales en consonancia con lo ya expuesto y con lo anteriormente formulado por otros autores (McClary y Talanquer, 2011a, 2011b): “*el grupo funcional determina la fuerza del ácido*” y “*la estabilidad de la molécula determina la fuerza del ácido*”. En los siguientes renglones aparece el resumen (tabla 15) de las ideas principales halladas para este período.

Autores	Conocimiento precedente	Tipo
McClary y Talanquer (2011a, 2011b)	<ul style="list-style-type: none"> - La acidez es una propiedad intrínseca de las sustancias. - Ácido es toda sustancia liberadora de protones. - Ácidos es toda sustancia que acepta electrones. 	Modelos Mentales
Kariper (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas de comprensión del pH y el pOH. - El pH entendido sólo como medida de acidez. - Problemas con los límites 0 y 14 de la escala de pH. - Resolución mecánica de ejercicios. 	Ideas erróneas
Cartrette y Mayo (2011)	<ul style="list-style-type: none"> - No describen la relación entre ácidos, bases y electrófilos y nucleófilos. - La teoría de Bronsted-Lowry es la predominante. 	Ideas erróneas
McClary y Lowery (2012)	<ul style="list-style-type: none"> - La fuerza de un ácido radica en la presencia de grupos funcionales. - La fuerza de un ácido radica en la estabilidad de la molécula. 	Modelos Mentales

Tabla 15. Síntesis cronológica del conocimiento precedente ácido-base en estudiantes universitarios en el período de 2010 a 2012.

Tras el análisis de todas las investigaciones más relevantes, se muestra la figura 9, donde se ha sintetizado la evolución histórica del tratamiento dado al conocimiento precedente en las investigaciones sobre ácido y bases en los dos niveles académicos que hemos venido tratando hasta el momento.

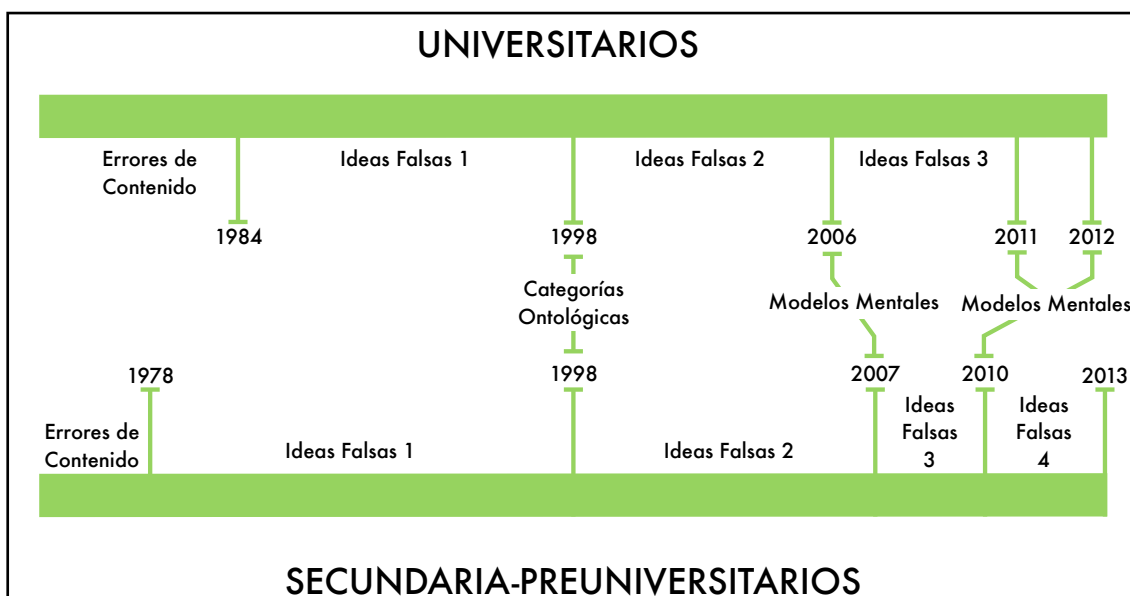


Figura 9. Síntesis evolutiva del tratamiento del conocimiento precedente dado al contenido ácido-base en secundaria-preuniversitario y universitario.

2.5. La Teoría de las Entidades Mentales Fundamentales como soporte de las teoría de las generalizaciones.

Resulta imprescindible, antes de continuar, realizar la síntesis de todo el análisis de la bibliografía superior. Bien, en este punto debe quedarnos claro que todas las posturas teóricas examinadas son clases de generalizaciones.

¿Cómo es eso posible? Un atento examen, como el que hemos hecho en renglones superiores nos indica que los modelos mentales, especialmente los prototípicos, son generalizaciones de la realidad.

Asimismo lo son las imágenes mentales, también los enunciados discutidos como primitivos fenomenológicos, los resultados de las reglas heurísticas, las ideas previas, las preconcepciones, las categorías ontológicas, etc.

A colación de esta síntesis, obsérvense los estudios recopilados por Nussbaum (1985:170-192), donde los alumnos explicitan sus modelos sobre La Tierra y donde debemos destacar, no sólo la simplificación y abstracción, sino como éstos se construyen en base a dos características principales: la realidad y la

imaginación. Esto indica una dirección clara en esta tesis, la cual es que bajo el manto de la teoría de las generalizaciones quedan englobadas casi todas las expuestas, incluso, determinados aspectos de algunas no tratadas aquí como los constructos personales de Kelly (1955) o la teoría de campos conceptuales de Vergnaud (1990). Esta conclusión es lógica si aceptamos que todas suponen un ángulo de visión del mismo asunto: son los productos de la actividad analítico-sintética del cerebro humano, que es su actividad natural. Un intento de integrar varias teorías bajo una misma visión, ha sido realizado por Moreira (2008:198-218), pero es excesivamente parcial y esta unión se da en exclusiva basándose en el aprendizaje significativo de Ausubel y ciertos aportes de la psicología cognitiva, excluyendo muchos enfoques como las teorías implícitas, los primitivos fenomenológicos, etc.

Una mención aparte merecen los segundos postulados de las teorías implícitas y teorías marco que hacen descansar las ideas previas observadas sobre el supuesto de unos principios innatos que restringen la información que procesan. Esta premisa nos hace caer en una doble circularidad o bien crean un problema recursivo. La primera de ellas es interna (circularidad interna), que no permite trascender estos principios, salvo con ayuda. La segunda (circularidad externa), trata de corregir a la primera, indicando que la forma de trascender a la primera circularidad es a través de la cultura; sin embargo, esto no es posible, porque la cultura vendría creada por sujetos con la primera circularidad y llevaría implícitos sus defectos.

Posteriormente, se han hecho intentos por corregir esta doble circularidad añadiendo la realidad, ocurriendo que sus propios datos les contradicen ya que si las teorías implícitas subsumen la información transformándolas para hacerlas encajar en estos supuestos implícitos, no hay forma de modificarlas. Es más, al introducir la práctica escolar como un sistema cultural de modificación de productos mentales, aparece que también sus propios resultados se les contraponen, donde se observa que son resistentes a desaparecer incluso aplicando técnicas de cambio conceptual o de resdescripción representacional.

Por ende, el problema de la teorías implícitas es recursivo, ya que al colocar a la cultura como aquello que permite superar las restricciones de nuestros programas innatos obliga a que sea otro sujeto, puede ser un profesor en este caso, el que debe ayudar a otro, a un alumno por ejemplo, a superar estos límites naturalmente impuestos. Esto conlleva que a su vez, alguien debió hacerle superar las restricciones a ese primer sujeto, así *ad infinitum*. Además, si son restricciones naturales, ¿cómo superó el sujeto primigenio que enseñó a toda la cadena?

Por último, su análisis se basa, en algunos casos, en los sujetos que no encajan en la interpretación correcta de las teorías científicas, lo que introduce un sesgo al indicar que luego todos poseen teorías implícitas: ¿qué hay de los casos correctos? ¿Nadie entiende la ciencia correctamente según el nivel académico y su nivel de desarrollo? La conclusión es que, siguiendo esta perspectiva teórica, el problema se declara irresoluble desde un principio y esto ocurre porque están parcialmente basados en el *innatismo puro*, que no es más que una variante del *idealismo*, que no permite hallar una solución satisfactoria. Las teorías implícitas son especialmente proclives a este problema mientras que las teorías marco, podríamos mencionar que son algo más flexibles.

No obstante, es importante reconocer que han sabido dar con la raíz del problema, el cual indica que en vez de cambiar los pequeños errores o teorías metales debemos dirigirlo hacia el aparato cognitivo del sujeto, que las crea, esto supone un grandísimo avance respecto a otras perspectivas teóricas.

Cerrada la síntesis de la bibliografía precedente, sigamos ahora con la posición teórica de esta tesis, la cual es un esbozo, porque no está, ni mucho menos, finalizada. Es además una teoría emergente porque fue surgiendo (emergió) del análisis del contenido teórico-empírico revisado. Se propone así, que nuestra particular génesis, parta de la investigación realizada por Luria (2003) y sus colaboradores, llevadas a cabo entre los años 1931 y 1932, que van a indicar de forma casi directa el camino a seguir.

En este estudio a las poblaciones de Uzbekistán en Asia Central, se podían observar ciertos comportamientos que llaman la atención sobre el pensamiento de personas que se encontraban en régimen de analfabetismo o semianalfabetismo; lo cual no quiere decir que no poseyeran el lenguaje para comprender los experimentos ofrecidos. Entre las conductas más interesantes para nuestros propósitos aparecen el que los sujetos les fue muy difícil trascender sus experiencias propias a la hora de trabajar con silogismos y resolver problemas, entre otras cuestiones investigadas.

Realmente importante vino a ser la idea de la dualidad del pensamiento *visual-concreto* y *lógico-abstracto* propuesto por Vigotsky (1934) y utilizado por Luria (2003:67-68) en la investigación ya mencionada. He estimado oportuno utilizar los términos expuestos para denominar los dos tipos de pensamiento ya que los que utilizó Luria (2003) podrían hacernos confundirlos con el dualismo psicofísico o con los dos sistemas señalizadores; por ello hay que tomar con mucha cautela los estudios de varios autores sobre la interrelación de los sistemas señalizadores y los tipos de pensamiento (Borisova, 1956; Ivanov-Smolensky, 1949; Kossov, 1956; Krutetsky, 1959, 1960a, 1960b, 1961). Ambos pensamientos se dan basados en el lenguaje sólo que, en uno, la base está asociada principalmente a la experiencia práctica por sí misma con sus procesos correspondientes, mientras que el otro se halla vinculado al sistema de relaciones lingüísticas formado históricamente.

Aunque uno de ellos se haya señalado como lógico, ambos tienen su propia lógica y en ellos están presentes tanto el lenguaje como la imagen, lo que cambia es la relación que se establece entre ellos y como les afecta la experiencia social. En estos tipos de pensamientos y en la formación de los conceptos intervienen los *procesos* de análisis, síntesis, abstracción y generalización. Para los cotidianos los procesos se basarían en premisas diferentes respecto de los científicos, es decir, el sistema de referencia del que derivan es distinto. De estos dos tipos de pensamiento nos ocuparemos más adelante al definir una de las entidades mentales fundamentales.

Por otro lado, las revisiones de investigaciones realizadas por Leontiev (1983:153-159) y Smirnov *et al.* (1983:21-29) son la otra parte que viene a completar los planteamientos teóricos y hallazgos experimentales de Vigotsky (1934) y Luria (2003) pero en este caso no estaban aún vinculados a la *teoría de zonas de desarrollo* sino que estaban relacionados principalmente con la percepción y la fisiología. Además, se ha concedido actualmente una interpretación simplista a los postulados de Vigotsky (1979), en cuanto a la adaptación didáctica de su teoría de las zonas de desarrollo, concretamente por parte de Berger (2006), modelo que ha tenido amplia difusión en Woolfolk (2010).

La descripción facilitada por Leontiev (1983:153-159), es la más clara respecto a lo que se está intentando plantear aquí al hablar específicamente de una nueva proposición teórica sobre *órganos funcionales móviles*. Aquí se va a optar por una descripción sucinta orientada al objeto de esta tesis, un tratamiento en detalle lo realizan Smirnov *et al.* (1983:21-29) o en Leontiev (1983). Bien, esta idea sobre *estructuras de conjunto modificables* (órganos funcionales móviles) que dominarían los procesos psíquicos inferiores y por supuesto, también la actividad psíquica superior del hombre, se iniciaría con los estudios de Sechenov (1965), que se publicó originalmente en 1866.

A partir de este primer germen, continuaron otros autores contra el reduccionismo fisiológico como Ujtomsky (1950), que ya hablaba de una especie de órganos fisiológicos del sistema nervioso donde da a entender que la actividad nerviosa se organizaría en torno a unas *estructuras de conjunto* y criticando la noción estática que poseía la ciencia sobre los órganos (en este caso, el cerebro).

Continuando con esta línea y basándose también en estudios sobre el reflejo, se propusieron: *la teoría sobre la fisiología de la actividad* por Bernshtein (1963, 1968), y *la teoría de los sistemas funcionales* propuesta por Anojin (1968, 1975).

Bernshtein (1967), basa la eficaz capacidad del sistema locomotor humano, como conducta, en el resultado de la comparación de un *modelo mental del futuro preciso* y un *modelo mental de la situación real*, ambos integrados como un todo. Para Anojin (1975), los actos de una conducta no se producen de manera simple mediante la respuesta únicamente a un estímulo sino de forma integral, con visión de conjunto, mediante la integración de grupos neuronales a formaciones específicas que se denominarían *sistemas funcionales íntegros*.

Con este enfoque se viene a describir que el funcionamiento aislado de los aparatos nerviosos cobra sentido si es en el interior de conjuntos, es decir, de una fisiología sintética y no de partes desintegradas que actúan por simple suma. Leontiev (1983:262), da el paso decisivo al vincular de forma más próxima estos sistemas de conjunto y los procesos psíquicos superiores como los descritos por Vigotsky (1979).

Para este autor, durante la ontogénesis humana se van formando los *órganos funcionales del cerebro* (estructuras de conjunto fisiológicas que antes se explicaron) que permitirían la aparición de procesos psicológicos superiores mediante la introducción del lenguaje. Apoyándose en el trabajo de Luria (1960) y en otro propio (Leontiev, 1959), Leontiev (1983:265), considera que estos órganos no sólo se restringirían a lo sensoriomotriz como indicaban las investigaciones anteriores, sino también a todo lo relacionado con el lenguaje. De lo expuesto por este último autor podemos sintetizar las características de estos sistemas funcionales:

- I. No son innatos, sino que se van formando a lo largo de la vida mediante la adquisición de los saberes culturalmente transmitidos.
- II. No se forman siempre de igual manera pues depende de las condiciones sociales, pueden no formarse o hacerlo incorrectamente.
- III. Son dinámicos y maleables, es decir, es posible modificarlos.

Hasta donde se ha podido rastrear, ya en los últimos albores y mediante una visión de conjunto (Lomov, 1989), no parece que la psicología soviética haya

terminado por arribar a la conclusión de considerar a la zona de desarrollo próximo como un sistema funcional; por lo que ésta es la continuación del problema planteado que aún estaba por solucionar.

Mencionan además, Smirnov *et al.* (1983:25), que con las teorías propuestas sobre el funcionamiento de conjunto, no se ha respondido a la tarea fundamental de explicar los fenómenos psíquicos superiores de la consciencia. No obstante, De Bustamante (1978), nos hace recordar que Luria (1973, 1977:124-130), consideró como *sistemas funcionales cerebrales* al lenguaje, la memoria, la percepción y la atención y que es el propio lenguaje quien reorienta las funciones psíquicas primarias convirtiendo la memoria *lógica*, la percepción *categorial*, la atención *voluntaria* y el pensamiento *conceptual*.

Estos *órganos funcionales móviles* han estado centrados en el aspecto perceptivo y fisiológico básicamente, excluyendo claro está las aportaciones del pensamiento, sin embargo, en mi opinión aún no habían dado el salto hacia un nuevo nivel cualitativo. Por esta razón y utilizando lo descubierto propongo escalar hacia un nivel superior, dirigimos hacia instancias superiores, sin desligarnos de los niveles fisiológicos y perceptivos.

La propuesta teórica se fundamentaría en lo siguiente, el reconocimiento de que en nuestra mente existen *Entidades Mentales Fundamentales* en las cuales se producen *procesos mentales* y donde radican *sistemas funcionales*. ¿Qué son esas entidades mentales fundamentales (realmente entidades neomorfológicas)? Pueden definirse como *estructuras abstractas cualitativas que proceden del funcionamiento coordinado de grandes conjuntos cerebrales*.

Estos *conjuntos cerebrales* encuentran pleno fundamento neuropsicológico en los *tres bloques básicos del cerebro* propuesto por Luria (1977:132-158, 1983:123-142). Estos tres bloques básicos son: el *energético*, el *memorizador* y el de *control*. No debe entenderse a las entidades mentales fundamentales como sistemas cerrados de los cuales sólo puedan participar las regiones cerebrales que actúan como el grupo descrito por Luria (1977:132-158,

1983:123-142), sino que son más dinámicos y pueden utilizar partes de otro bloque o sustituir la función de alguna zona dañada por otra. ¿Dónde quedarían los sistemas funcionales? Estos permearían a las entidades mentales y se soportarían sobre ellas, ya que, siguiendo a Luria (1983:141), los procesos mentales necesarios que deben actuar en conjunto para un proceso psicológico se producen en el seno de varios de los bloques básicos y, a nuestros efectos en las entidades mentales.

Los anteriores sistemas funcionales serían de tipo *vertical* pero también podrían existir sistemas funcionales *horizontales* que radiquen básicamente en una sola entidad mental, sin que por ello esté encerrado en sí mismo. Las entidades mentales fundamentales son, además, sistemas *gestores* y *formadores*; gestores porque se encargan de reclutar, activar, desactivar, etc., los procesos necesarios para uno o varios sistemas funcionales, y formadores porque según las necesidades pueden deshacer un sistema funcional, cambiarlo, adaptarlo o crearlo.

Estas entidades guardarían cierta semejanza con la idea de los sistemas funcionales cerebrales pero estarían un nivel cualitativo por encima, serían los verdaderos *órganos funcionales móviles de la actividad psíquica superior* (entidades neomorfológicas). Son auténticas cooperativas del pensamiento, auténticas *unidades productivas* que además poseen la característica de ser oscilantes, aún es difícil saber si bi-oscilantes o multi-oscilantes. Indicaremos algunas de esas oscilaciones en las explicaciones posteriores.

Ya por último debo indicar que ninguna de las teorías actuales propuesta sobre la mente humana me parece satisfactoria (*videtur*: Pozo, 2001), es por ello que, partiendo de la explicación teórica anterior considero que la suma (interacción) de las entidades mentales fundamentales dan lugar a la *mente humana*, es decir, ésta (mente) procede de un barrido del estado en que se encuentran dichas entidades. ¿Cómo se explica esto desde el punto de vista científico y desde el punto de vista dialéctico materialista?

A ningún científico le parece extraño que la materia haya ido alcanzando nuevos estados de organización con la evolución (*videtur*: Oparin, 2015) y que ello conlleve la aparición de nuevas propiedades cualitativas en esa materia, no obstante, esta idea no se ha aplicado del todo consecuentemente con el cerebro como órgano diferenciado internamente.

Podemos convenir en que la materia inorgánica pasó a ser primero de índole orgánico, después constituyó células, tejidos, órganos, sistemas de órganos, etc., y que aunque un tejido está formado por un conjunto de células no se reduce al comportamiento puramente individual de éstas y que sus características no proceden sólo de las propias de las células que lo conforman.

A cada paso que da la materia hacia una nueva organización aparecen nuevas propiedades cualitativas. Este es el fundamento de este esbozo teórico, que existen varios niveles de actividad cerebral que no se explican única y exclusivamente por la acción conjunta de las neuronas aunque dependa de éstas.

Estos niveles todavía no están claros, sólo podemos proponer tres: el de *sistemas funcionales cerebrales*, el de *entidades mentales fundamentales* y el de la *mente humana*. El primero ya ha sido brevemente descrito al principio, el segundo y el tercero serán los que se examinen aquí. Ahora procede que a estos órganos funcionales móviles de orden superior los vinculemos a la *teoría de las zonas de desarrollo y el lenguaje* de Vigotsky (1934, 1979). Así, obtenemos las tres entidades fundamentales (figura 10):

- I. Matriz de tarea. (*Task Matrix*).
- II. Núcleo de conocimientos (*Knowledge Core*).
- III. Cinturón emocional. (*Emotional Belt*).



Figura 10. Las tres entidades mentales fundamentales.

La **matriz de tarea** procede de la síntesis de dos estudios principalmente. El primero es sobre el desarrollo de los procesos psicológicos superiores del ser humano (Vigotsky, 1979), donde se expone la existencia de tres zonas de desarrollo: la actual, la potencial y la próxima. En este caso nos vamos a centrar en una sola que es la *zona de desarrollo próximo* que ahora alcanzaría la categoría de *entidad mental fundamental*. El segundo se refiere al realizado por Luria (2003), sobre las poblaciones del Asia Central donde podían distinguirse dos tipos de pensamientos principales y que no deben considerarse categóricos sino como una gama que oscila del uno al otro: el *visual-concreto* y el *lógico-abstracto*.

Estos datos observados me inducen a concluir que la matriz de tarea posee una función de sistema oscilatorio dual entre estos dos pensamientos, el primero de ellos está vinculado más hacia la experiencia directa y el otro más hacia la imaginación; manifestándose en una totalidad a modo de frecuencia modulada. Esta frecuencia modulada podría explicar los resultados obtenidos

por los diversos enfoques teóricos sobre el conocimiento antecedente ya que al realizar una prospección obtiene combinaciones que proceden en parte de realidad y otra de imaginación. Ya Vigotsky (2014:45), hacía mucho tiempo que había señalado la importancia de la imaginación para el pensamiento y la ciencia.

Por otro lado hemos visto que existen conflictos y combinaciones de todo tipo entre el conocimiento previo y el nuevo. También estos estudios me han inducido a pensar que las generalizaciones observadas no pueden estar en el vacío o simplemente decir que “*están en la mente*”, eso es una solución muy vaga puesto que el propio concepto de *mente* o *consciencia* no está del todo claro debido a la multiplicidad de posturas (*videtur*: García y Moreno, 2011: 86-88; Pozo, 2001).

Las generalizaciones se producen en contextos concretos de actividad que Davydov (1978), denomina acción de operar y que también está fundamentado en las *acciones* y *operaciones* descritas por Leontiev (1983). Al poder definir a la mente como *el mayor órgano funcional móvil al que se puede crear desde la organización física actual del cerebro humano* y las entidades mentales fundamentales que la sostienen podemos conocer porqué esas generalizaciones son así al estar soportadas.

Una conclusión a la que podría llegarse es que la matriz de tarea es el *sistema de control ejecutivo* propuesto por la psicología cognitiva y del procesamiento de la información (Andrade, 2001; Ashcraft, 2006; Baddeley, 1998; Bruning, Schraw y Norby, 2012: 17-40; Woolfolk, 2010: 236-243) pero nada más lejos de la realidad; eso nos haría caer en un plagio simplista. La matriz de tarea es la que permite resolver los problemas y no es absoluta e igual para cada caso, dependiendo de los conocimientos y habilidades de las que dispongamos en un área concreta, ésta cambia; no es exactamente igual para todas los sujetos y se basa en condicionantes sociales en acuerdo con las ideas postuladas por varios autores (Predvechni *et al.*, 1983: 86-89; Vigotsky, 1979). Para las sociedades basadas en la información y las redes sociales, el modelo suele ser

representacionista pero no así para otras sociedades que intenten construir su modelo de consciencia desde su propia cultura.

Nuestra segunda entidad mental: el **núcleo de conocimientos**, es la *zona de desarrollo actual* y procede de lo propuesto por Vigotsky (1979). No debemos confundirlo con el almacén de largo plazo (ALP) propuesto por la psicología cognitiva y del procesamiento de la información (Baddeley, 1998; Bruning, Schraw y Norby, 2012: 41-68; Woolfolk, 2010: 243-253) pues es algo más que una entidad de memoria, realmente se trataría de un *gestor de memorias* o *entidad reclutadora* que se encarga de manipular la totalidad del conocimiento y capacidades que se poseen: datos, hechos, capacidades, habilidades, etc.

Uno de sus *procesos* es el de *memoria*, es decir, las *memorias como entidad* están en un nivel por debajo justamente en el de los sistemas funcionales cerebrales, pero el proceso por el cual se hace funcional a esas memorias depende de la entidad superior, es un proceso soportado (el soporte es la entidad).

Habíamos visto la oscilación de la matriz de tarea, asimismo, el núcleo de conocimientos debe oscilar entre dos puntos que son la memoria voluntaria y la involuntaria (Smirnov, 1973:25-26), mientras que nosotros observamos siempre el resultado global. Esta idea debería explicar, los datos correspondientes a la disociación de memorias implícita y explícita (Jacoby y Witherspoon, 1982; Weldon y Roediger, 1987). Sólo una investigación más profunda puede dilucidar si están relacionadas.

Finalmente, nos queda una última entidad mental fundamental que tratar, la cual es el **cinturón emocional**. Se deriva de los planteamientos de Vigotsky (1934) sobre el *background emocional*. Existe una enorme evidencia sobre la afectación de los sentimientos, emociones, etc., en el rendimiento escolar y en nuestra vida diaria, para no hacer mención excesiva de estudios por el momento, sólo nos fijaremos en los resultados de Zankov *et al.* (1975:128) durante la investigación del proceso de desarrollo de alumnos aventajados y

rezagados en educación primaria y donde el retraso de muchos de ellos se debe a particularidades emotivo-volitivas.

Esta entidad se encargaría de gestionar los estados emocionales y de ánimo. La afectación en el rendimiento de las otras entidades se debe a su carácter de cinturón que se abre en situaciones favorables y permite a la matriz de tarea encontrar soluciones mientras que en situaciones desfavorables se cierra sobre la matriz de tarea, estrangulándola, lo que impide encontrar soluciones a las tareas, lo que acaba por bloquear el aprendizaje. Se especula que que pueda estar relacionada con lo que Damasio (2012) llamó *proto sí mismo* y también lo que se desprende de lo descrito por Luria (2000), considerando los estados de ánimo.

Estaban ya descritas las oscilaciones de la matriz de tarea y del núcleo de conocimientos sólo nos queda la perteneciente a esta entidad, la cual oscilará entre un nivel energético y uno escasamente energético; el energético podríamos compararlo con sensaciones de hiperactividad (como la euforia), mientras que el no energético podría corresponderse con emociones como el tedio. Evidentemente, existen muchas formas de sentirse, ahora bien, debemos estudiar si son puntos intermedios de estas dos oscilaciones y que nosotros vamos denotando por la extracción, en un momento particular, de la frecuencia modulada (valor total) o bien se trata de un sistema multi-oscilante complejo.

Todas las entidades descritas interactúan entre ellas. Existen procesos internos de cada entidad que vendrán definidos por el tipo de oscilación del soporte, nuestra meta debe ser controlar la entidad para redefinir sus procesos debido a su formación ontogenética y cultural; este control debería permitir manejar las generalizaciones/nociones que anteriormente se han descrito en la fundamentación teórica.

Se propone, además, que existe un procesamiento en paralelo entre la matriz de tarea y el núcleo de conocimientos en concordancia con la idea de Kolmogorov (1973:68), rodeados por la función del cinturón emocional; lo que

puede complicar mucho más los resultados obtenidos mediante la investigación y camuflar la esencia de las propias entidades mentales fundamentales.

Todo esto se uniría a la idea de la posible modelización cibernética del cerebro como propone el propio Kolmogorov (1973), que está en el punto de mira actual en los proyectos *big data* como el BRAIN (Investigación sobre el cerebro basado en neurotecnologías innovadoras avanzadas por sus siglas en inglés) norteamericano, el HBP (Proyecto del Cerebro Humano por sus siglas en inglés) europeo y el proyecto MCHN (Mapeo Cerebral Humano y Neuroinformática), para comprender el cerebro humano.

Capítulo III:
DISEÑO Y DESARROLLO DE LA
FUNDAMENTACIÓN EMPÍRICA

CAPÍTULO III. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA FUNDAMENTACIÓN EMPÍRICA.

3.1. Introducción al ámbito del estudio.

El ámbito de estudio para esta investigación se sitúa en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (U.L.P.G.C.), dentro de la Comunidad Autónoma de Canarias, cuya capitalidad es compartida por las dos provincias de las que consta: Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife.

La U.L.P.G.C. se encuentra ubicada al Norte de la Isla de Gran Canaria, en la Provincia de Las Palmas. Cuenta también con presencia institucional en el resto de islas del archipiélago que forman parte de la provincia. Estas otras islas son Fuerteventura y Lanzarote. Su formación como universidad es reciente en comparación con otras instituciones universitarias españolas ya que se conformó como tal en el año 1989, a pesar de que su antecedente directo fue la Universidad Politécnica de Canarias creada en 1979.

La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria se encuentra subdividida en seis Campus universitarios que agrupan diferentes grados universitarios, másteres y doctorados. En la isla de Gran Canaria tenemos el Campus de Tafira, ubicado en las afueras de la ciudad de Las Palmas, el Campus de San Cristóbal, localizado en el barrio del mismo nombre hacia el extremo sur de la ciudad, el Campus de El Obelisco situado hacia el centro de la ciudad y finalmente el Campus de Montaña Cardones que se ubicaría en el término municipal de Arucas, municipio limítrofe por la zona norte con la ciudad. Junto a estos cuatro, se poseen otros dos campus fuera de la isla capitalina: uno en la isla de Fuerteventura y otro en la isla de Lanzarote, donde se imparten las titulaciones de Turismo y Enfermería.

Los grados diana se encuentran ubicados así: Ingeniería Química, Ingeniería de Organización Industrial y Ciencias del Mar, en el Campus de Tafira; Medicina, Enfermería y Fisioterapia en el Campus de San Cristóbal y finalmente, Veterinaria, en el Campus de Montaña Cardones.

3.2. Justificación y objetivos del estudio.

La pertinencia de este estudio radica principalmente en el interés que supone para la didáctica de las ciencias experimentales una formación adecuada de los conceptos ácido-base, especialmente en la enseñanza universitaria. Por otra parte, la escasez de estudios sobre estudiantes universitarios, a pesar de lo que pueda pensarse a partir de la bibliografía antecedente, convierte en necesidad la ampliación de las investigaciones en este ámbito.

Siguiendo estas directrices, es imprescindible arrojar luz sobre lo que está sucediendo con el aprendizaje de los contenidos ácido-base en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ya que anteriormente se había ignorado esta cuestión. Actualmente se están mejorando, los procesos de enseñanza-aprendizaje en la universidad y se están incorporando corrientes pedagógicas, didácticas, etc., que se consideraban propias de otros niveles educativos que mejoran dichos procesos. Por otro lado, el análisis de los estudios previos demuestra que no se abarca el amplio espectro de titulaciones científicas cuyo currículo posee contenido del tópico ácido-base y de las cuales se desconoce cómo se aplican, se estudian o se comprenden los contenidos ácido-base, específicamente en titulaciones con aplicaciones de este tema en contextos biológicos.

En esta investigación se trata de analizar las ideas más destacadas sobre los conocimientos ácido-base de los estudiantes universitarios de la U.L.P.G.C. En este sentido, se resalta que es la primera vez que en esta universidad:

- a) Se lleva a cabo un estudio sobre las ideas que poseen los estudiantes sobre el tópico ácido-base.
- b) Se analiza desde la perspectiva de la teoría de las generalizaciones la interpretación de las ideas sobre ácidos y bases.
- c) Se aporta un estudio de estas nociones para los grados de Ingeniería Química, Ingeniería de Organización Industrial, Ciencias del Mar, Medicina, Veterinaria, Enfermería y Fisioterapia, que anteriormente no habían sido

investigados. Por lo tanto, se amplía a grados universitarios diferentes a Magisterio, Química, Farmacia y Bioquímica, de los cuales sí se disponía de datos.

- d) Se solicita la interpretación de reacciones siguiendo las tres teorías ácido-base principales mediante dibujos descriptivos.

3.2.1. Objetivo General.

Dado el carácter exploratorio de esta investigación, el objetivo general se centra en:

- Poner de manifiesto las nociones presentes en el alumnado de la U.L.P.G.C. sobre los conceptos ácido-base y analizar sus interpretaciones, así como determinar su coincidencia o no con las más comunes descritas en la bibliografía precedente.

Esto implica indagar sobre la existencia o inexistencia en estudiantes universitarios de las ideas previas que conllevan la comprensión de las teorías ácidos - base y que podrían provenir desde la educación secundaria y preuniversitaria, puesto que se ha detectado que muchas ideas previas incorrectas perduran en los estudiantes incluso después de haberse licenciado. Se aprecia que muchos de las ideas previas presentes en niveles de enseñanza media coinciden con los averiguados en niveles universitarios. En el caso de la presente investigación, cobra mayor importancia la evaluación de grados universitarios con prevalencia de contenido biológico, dado que la muestra de estudiantes pertenece mayormente a los grados de Enfermería, Veterinaria, Medicina, Fisioterapia y Ciencias del Mar, donde la relevancia de la biología es destacada y donde estos conceptos tienen una gran aplicación.

3.2.2. Objetivos Específicos.

Los objetivos específicos están agrupados en torno a tres bloques de acuerdo a los ítems que figuran en el cuestionario. A continuación se muestran:

I. ***Detectar la nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.***

Este *bloque objetivo* se correlaciona con los ítems: 1, 2a, 3, 4 y 5. Responde a la pregunta de investigación: *¿en qué grado están presentes determinados conocimientos antecedentes en los alumnos de grado de la U.L.P.G.C.? Con los resultados obtenidos se completa una tabla resumen, en la que se especifican los conocimientos antecedentes a evaluar con su porcentaje obtenido, así como una clasificación del grado de presencia de cada una de ellas (tabla 19).*

II. ***Utilizar los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación en situaciones o fenómenos.***

Este *bloque objetivo* se corresponde con los ítems: 6, 7, 8 y 9. Responde a la pregunta de investigación: *¿cómo utilizan los conocimientos ácido-base para interpretar situaciones o fenómenos relacionados?*

III. ***Interpretar una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.***

Este *bloque objetivo* se corresponde con el ítem 2b. Responde a la pregunta de investigación: *¿cómo manejan las teorías ácido-base principales para interpretar una reacción química de estas características?* Esto conduce a una clasificación de los dibujos generados mediante patrones según la teoría de las generalizaciones.

En relación a los objetivos que se persiguen, se desataca que las investigaciones precedentes no suelen aportar datos sobre si los alumnos identifican o aplican correcta o incorrectamente las teorías ácido-base principales, cuando deben interpretar una situación real o ficticia. Dichas investigaciones se centran fundamentalmente en, detectar cómo los

estudiantes interpretan y analizan una reacción química y verificar la similitud del procedimiento seguido con las teorías ácido-base principales, pero en ningún caso se pedía seguir los postulados de las correspondientes teorías.

3. 3. Desarrollo metodológico.

En esta investigación se opta por un estudio exploratorio que pretende averiguar las ideas previas en el ámbito de las teorías ácido-base en estudiantes de los grados de Ingeniería Química, Ingeniería de Organización Industrial, Ciencias del Mar, Medicina, Veterinaria, Enfermería y Fisioterapia de la U.L.P.G.C. De acuerdo con las características de un estudio exploratorio, no hay hipótesis que refutar ni corroborar, ya que la función de este tipo de estudio es principalmente sentar las bases de futuras investigaciones sobre temas poco conocidos en ámbitos concretos (Hernández, Fernández y Baptista, 2006; Úriz *et al.*, 2006). Se ha estructurado de la siguiente forma:

1. Selección de la muestra.

Mediante un proceso no probabilístico o dirigido. Estos serían los sujetos pertenecientes a los grados de la U.L.P.G.C., objetivo del estudio. Los criterios definidos para formar parte de la muestra son:

- Estar matriculado en la U.L.P.G.C. en los cursos correspondientes y estar presente físicamente el día de la administración del cuestionario.
- Rellenar de forma voluntaria y anónima el cuestionario.

2. Diseño y elaboración de un cuestionario.

A partir de la revisión de las investigaciones antecedentes (apartado 3.5.).

3. Validación del cuestionario.

Se comprobó la utilidad del cuestionario mediante la validación en dos muestras seleccionadas mediante una prueba piloto. La primera prueba se pasó a una muestra de alumnos de tercero de Ciencias del Mar y la segunda a una muestra del alumnos del Máster de Formación del Profesorado de

Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas en la U.L.P.G.C., durante el curso 2012 - 2013, en la especialidad de didáctica de las ciencias experimentales, en la que los sujetos son estudiantes graduados o licenciados en las titulaciones diana.

4. *Administración del cuestionario.*

La muestra quedó conformada por un total de 899 sujetos de los grados de la U.L.P.G.C. objetivo del estudio. El cuestionario elaborado se administró de forma presencial y con carácter autocumplimentado.

Por otro lado, se debe añadir que la evaluación del conocimiento antecedente tiene pleno fundamento en los paradigmas de las generalizaciones y en la perspectiva constructivista. Así, advertimos que en la concepción que se deriva del enfoque de la *teoría de las generalizaciones* a partir del paradigma histórico-cultural, se recomienda en primer término la comprobación de los *conocimientos antecedentes* (Fleshner, 1958; Silvestre y Zilberstein, 2000, 2002). En esta misma línea, se encuentran las ideas constructivistas, donde tenemos los planteamientos del aprendizaje significativo (Ausubel, 1968, 1976; Ausubel, Novak y Hanesian, 1983), que también proponen la evaluación de los aprendizajes previos.

3.4. Población y muestra.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2006:264), los estudios de carácter exploratorio utilizan de forma regular muestras dirigidas. A este respecto, nos indica Mertens (2005), que el tamaño de muestra no está fijado desde el comienzo sino que se busca una cantidad aproximada de casos necesarios para responder a las preguntas de investigación. En nuestro caso, estas tres cuestiones se corresponden con la definición de tres *bloques objetivo* y son:

1. ¿Qué grado de presencia tienen los conocimientos precedentes más comunes en los alumnos de la U.L.P.G.C.?

2. ¿Cómo resuelven situaciones o fenómenos de carácter ácido-base?
3. ¿Cómo interpretan una reacción ácido-base siguiendo las tres teorías principales?

A partir de este planteamiento, mediante la revisión de los currículos, se seleccionaron a los sujetos cuyo grado universitario posee contenido curricular relevante, partiendo de lo analizado en la fundamentación teórica. Dicho análisis curricular define nuestra población. Así, tenemos como diana, todos los sujetos de los cursos de los grados de Ingeniería Química, Ingeniería de Organización Industrial, Ciencias del Mar, Medicina, Veterinaria, Enfermería y Fisioterapia. Finalmente, la muestra quedó conformada por un total de 899 alumnos de los grados antes mencionados. A continuación se muestra tabulado (tabla 16), el desglose de los sujetos encuestados por curso y grado.

Grado	Curso	Número de encuestados
Ingeniería Química	1º	124
	2º	26
	3º	14
Ingeniería de Organización Industrial	1º	39
Ciencias del Mar	1º	141
	2º	28
	3º	12
	4º	35
Medicina	1º	113
	2º	53
Veterinaria	1º	44
	2º	24
	3º	36

Tabla 16. Desglose del número de alumnos encuestados por curso académico y grado universitario.

Grado	Curso	Número de encuestados
Enfermería	1º	107
	3º	66
Fisioterapia	1º	37

Tabla 16 (continuación). Desglose del número de alumnos encuestados por curso académico y grado universitario.

3.5. Instrumento de recogida de datos.

De la revisión de los cuestionarios y resultados de varios autores (Banerjee, 1991; Bardanca *et al.*, 1993; Çetingül y Geban 2005; Cros, Chastrette y Fayol, 1988; De la Guardia *et al.*, 1985; Demircioğlu *et al.*, 2005; Furió-Más *et al.*, 2000; Jiménez-Liso, 2000; Jiménez-Liso y De Manuel, 2002; Jiménez-Liso *et al.*, 2002; Lin y Chiu, 2007a, 2007b; Nahkleh y Krajcik, 1993, 1994; Ouertatani *et al.*, 2006; Ros y Munby, 1991; Sheppard, 2006; Toplis, 1998), se pudo extraer una serie de sentencias comunes obtenidas de estudios precedentes (tabla 17), que se han adaptado para la creación de las ítems: 1, 2a, 3, 4 y 5. Los ítems: 2b, 2c, 2d, 6, 7, 8 y 9, se han diseñado específicamente para esta investigación.

Sentencias comunes
1. La fuerza de un ácido depende del número de átomos de hidrógeno en su estructura y la de una base del número de iones hidroxilo de su estructura.
2. Toda sustancia que contenga átomos de hidrógeno es un ácido y toda aquella que contenga grupos hidroxilo es una base.
3. Los ácidos fuertes dan lugar en disolución acusa a un pH más alto que un ácido débil.
4. A pH = 0 las sustancias no son ni ácidos ni bases.
5. Los ácidos fuertes sólo reaccionan con bases fuertes y los ácidos débiles sólo con bases débiles; y viceversa.
6. La reacción de ácidos con bases resulta siempre en una disolución neutra.

Tabla 17. Compendio de sentencias más comunes en el conocimiento precedente ácido-base.

7. Concepto erróneo de indicadores ácido - base y su aplicación.
8. Los ácidos son más peligrosos que las bases.
9. Los indicadores se utilizan para que se produzca la neutralización ácido - base.
10. Sólo los ácidos conducen la electricidad, las bases no.
11. El suelo no puede ser ácido porque los organismos viven en él.
12. El agua es un disolvente y no puede actuar ni como ácido ni como base.
13. Sólo se plantean la reacción entre una base fuerte y un ácido fuerte.
14. Desconexión realidad - conocimientos adquiridos, por ejemplo, no saber clasificar como ácido o base productos de uso doméstico.

Tabla 17 (continuación). Compendio de sentencias más comunes en el conocimiento precedente ácido-base.

Por tanto, el instrumento de recogida de datos es un cuestionario de tipo cuantitativo dentro de la modalidad observacional, con un grado de control mínimo sobre los sujetos. En cuanto a su dimensión temporal es de tipo seccional. Las preguntas de las que se compone son de tres clases:

- *Primera.* Preguntas de tipo “verdadero o falso” sin justificación.
- *Segunda.* Aplicación de los conceptos para explicar situaciones o fenómenos relacionados.
- *Tercera.* Realizar la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según las tres teorías ácido-base principales generando figuras.

Para las sentencias que abarcan desde la número uno hasta la cinco, debía rellenarse una tabla sobre las nociones básicas con sus respectivos porcentajes obtenidos (tabla 19).

Se hace necesario comenzar, no sólo citando los porcentajes de discentes que poseen una cierta generalización o idea previa sobre un tópico, sino además una clasificación por *segmentos por categorías* que nos indican de alguna manera la importancia de las preconcepciones halladas. Así, se ha decidido utilizar una escala para obtener esta clasificación (tabla 18). Los segmentos por categorías y su nomenclatura adoptada son los siguientes:

Segmentos por categoría	
<i>Presencia minoritaria</i>	Si el porcentaje es inferior a un 10%
<i>Presencia moderada</i>	Desde un 10% hasta un 49,9%
<i>Presencia elevada</i>	Desde un 50% hasta un 79,9%
<i>Presencia máxima</i>	Desde un 80% hasta un 100%

Tabla 18. Segmentos por categoría para la clasificación diseñada.

Este tratamiento permite sistematizar el trabajo con las generalizaciones. Lo más importante es evaluar su presencia-ausencia en una población tal y como se ha venido defendiendo a lo largo de toda la tesis doctoral y que esta clasificación permita orientar al investigador o docente. La tabla debe rellenarse para cada grado. En general queda conformada, tras la construcción del cuestionario, como sigue:

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.		
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.		
Ácido fuerte y base débil no reaccionan		
Base fuerte y ácido débil no reaccionan		
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles		
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases		
Sal siempre neutra		
Grupo OH como criterio para ser base		
Grupo H como criterio para ser ácido		
5,5 es pH neutro		
A pH = 0 no hay ácidos ni bases		
El pH de la lluvia natural es neutro		

Tabla 19. Plantilla diseñada para representar el conocimiento precedente más común acerca de los conceptos ácido-base.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente.		
Los suelos son solamente neutros.		
La lejía es un ácido.		
La sosa cáustica es un ácido.		
El pH final de una neutralización es siempre 7.		
El indicador ácido-base produce la neutralización.		
El cambio de color es a un pH único y específico.		

Tabla 19 (continuación). Plantilla diseñada para representar el conocimiento precedente más común acerca de los conceptos ácido-base.

Se resumen en la tabla 20, los tres *bloques objetivo*, sus correspondientes ítems asignados, que quedaron establecidos en el cuestionario (ver anexo I) y los aspectos que esperaban evaluarse en cada uno de ellos.

Bloque Objetivo	Ítems	Evaluación
I. Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.	1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, 1h, 1i, 1j, 1k, 1l, 2a, 3, 4a, 4b, 5a, 5b y 5c.	Fuerza y debilidad de ácidos y bases, estructura química, neutralización, hidrólisis de la sal, pH neutro. Carácter anfótero del agua, clasificación de productos comunes, titulaciones ácido-base.
II. Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.	6a, 6b, 6c, 7a, 7b, 7c, 8, 9a, 9b y 9c.	Reacciones ácido-base y medioambiente, equilibrio químico, ley de acción de masas en contextos biológicos y no biológicos. Disolución de electrolitos y conducción de la electricidad. Manejo de gráficas en equilibrios múltiples.
III. Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.	2b, 2c y 2d.	Aplicación de las teorías ácido-base de Arrhenius, Brønsted-Lowry y Lewis.

Tabla 20. *Bloques objetivo* con sus correspondientes preguntas asignadas y los aspectos que se evalúan.

3.6. Toma de datos.

Para la toma de datos experimentales, me fue entregado un certificado expedido por el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales que me permitía pasar al encuesta en las diversas titulaciones de la U.L.P.G.C. (ver anexo III). Mediante correo electrónico, llamadas telefónicas, visitas a despachos, laboratorios, clases, etc., se contactó con los profesores que permitieron pasar la encuesta durante sus horas de clase, por lo que la administración del cuestionario fue presencial siguiendo un cronograma definido (ver anexo II).

3.7. Análisis primario y codificación de los datos.

Los datos recogidos mediante encuesta deben ser codificados posteriormente en una base de datos. En este caso, dicha base de datos, ha sido generada con el programa *numbers* en un ordenador con sistema operativo *apple - mac*; el procesado de los datos se realiza con el paquete estadístico *R* que forma parte del conocido software libre. Las encuestas físicas (en papel), fueron numeradas con un código de tres dígitos desde la 001 hasta la 899 y se generó un archivo de respuestas denominado **ftoeE** con extensión *.csv* para que pudiera ser procesado por el programa estadístico descrito. El anterior código, se introduce en la base de datos para tener una correspondencia entre los valores que toman las variables antes descritas y el soporte físico del que proceden.

3.7.1. Codificación de las variables (desde la 1 hasta la 22).

La base de datos contó con un total de 35 *variables categóricas* debido a la naturaleza del estudio y están referidas a las opciones de las preguntas que se realizaron. Estas variables se codificaron en un cuestionario en blanco donde se codificó también con una serie de letras las posibles soluciones de las opciones presentadas. La primera variable es la *titulación de los estudiantes universitarios* que se hacía necesaria debido al muestreo en las diversas

titulaciones que incluían los contenidos ácido - base. Dicha variable se nombró como *tit* y permite siete entradas, las cuales son: **MED**: para los estudiantes del Grado en Medicina, **CCM**: para los estudiantes del Grado en Ciencias del Mar, **VET**: para los estudiantes del grado en Veterinaria, **FIS**: para los alumnos del Grado en Fisioterapia, **IQ**: para los estudiantes del Grado en Ingeniería Química y finalmente **IO**: para los estudiantes del Grado en Ingeniería en Organización Industrial.

La segunda variable se nombró como *bach* para codificar la clase de bachillerato del que procedían los alumnos: **1**, se refiere a que el alumno proviene de un bachillerato con la especialidad de Tecnología; **2**, para los alumnos que provengan de un bachillerato con la especialidad de Ciencias de la Salud y **3**, para todos los otros accesos posibles: ciclos formativos, acceso para mayores de 25 años, acceso para mayores de 45 años, bachillerato inglés, bachillerato de arte, bachillerato de ciencias sociales, etc.

La tercera variable es el curso, codificada como *cur* y que admite, en número, el curso en el que estaba matriculado el alumno: **1**, se corresponde con el primer año de grado; **2**, se corresponde con el segundo año de grado y así sucesivamente. Las variables desde la cuatro hasta la quince son aquellas sentencias incluidas en la primera tabla del cuestionario que fueron codificadas por una **S** y seguida por una segunda letra que se irá modificando por orden alfabético, según nos desplazemos a través de los apartados. Por tanto, variará desde la **SA** hasta la **SL**.

Cada una de estas variables puede admitir cuatro niveles según lo que haya respondido el sujeto: **A**: si el alumno marcó la opción como verdadera, **B**: si el alumno marcó la opción como falsa, **C**: si el alumno marcó la opción como “no sé” y **E**, si el alumno dejó en blanco el ítem. La variable dieciséis codifica el ítem dos del cuestionario referido a la reacción de autoprotólisis del agua con el nombre de **aup** y posee cinco respuestas posibles: **A**: para la primera opción, **B**: para la segunda opción, **C**: para la tercera opción, **D**: para la cuarta opción y finalmente **E**: si el alumno deja la pregunta en blanco.

Dentro de este mismo ítem, existe otro apartado en el cual el alumno debe interpretar la reacción de autoprotólisis del agua en términos de las tres teorías ácido - base más importantes, dicho apartado se va a repartir entre tres variables: la diecisiete, la dieciocho y la diecinueve.

Las variables anteriores se codificaron con tres pares de letras: **BL**, para la interpretación siguiendo los postulados de la teoría de Brønsted - Lowry; **AR**, para la interpretación siguiendo los postulados de la teoría de Arrhenius y **LW**, para la interpretación siguiendo los postulados de la teoría de Lewis. Se admiten tres opciones posibles para los valores: **B**: si la interpretación puede considerarse correcta, **M**: si la respuesta no se adapta satisfactoriamente a los postulados de la teoría y **E**: si los alumnos lo dejan en blanco.

De esta manera, lo más destacable de esta cuestión no es su evaluación cuantitativa, sino el estudio de las figuras generadas por los alumnos, lo que nos va a ofrecer información muy relevante sobre los procesos que suceden en su mente en el momento de resolver la tarea; es decir, se espera que sean expresiones de sus **generalizaciones**.

La variable veinte, codifica el ítem tres del cuestionario, relacionado con el carácter ácido - base de los suelos. Fue nombrado como **SS** y admite cinco respuestas posibles: **A**, si se marcaba la primera opción, **B**, si se marcaba la segunda opción, **C**, si se marcaba la tercera, **D**, si se marcaba la cuarta y finalmente **E**, si el alumno lo dejaba en blanco.

Las variables veintiuno y veintidós se codificaron con los nombres **CLA** y **CLB** respectivamente y se refieren a la clasificación como ácido o como base de dos sustancias de uso común.

Ambas clasificaciones admitían tres respuestas posibles: **A**, si clasificaban la sustancia como "ácido", **B**, si la clasificaban como "base" y **E**, si el alumno dejaba en blanco el ítem.

Variable	Significado	Valor categórico	Significado del valor categórico
Tit	Titulación o grado universitario	IQ	Estudiante de Ingeniería Química
		IO	Estudiante de Ingeniería de Organización Industrial
		CCM	Estudiante de Ciencias del Mar
		MED	Estudiante de Medicina
		VET	Estudiante de Veterinaria
		ENF	Estudiante de Enfermería
		FIS	Estudiante de Fisioterapia
Bach	Especialidad de bachillerato cursada	1	Científico-Tecnológico
		2	Ciencias de la Salud
		3	Otras especialidades
Cur	Curso académico	1	Primer curso
		2	Segundo curso
		3	Tercer curso
		4	Cuarto curso
SA-SL	Sentencias desde la A hasta la L	a	Verdadero
		b	Falso
		c	No sabe
		e	En blanco
BL	Interpretación mediante la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry	b	Correcto
		m	Incorrecto
		e	En blanco
AR	Interpretación mediante la teoría ácido-base de Arrhenius	b	Correcto
		m	Incorrecto
		e	En blanco
LW	Interpretación mediante la teoría ácido-base de Lewis	b	Correcto
		m	Incorrecto
		e	En blanco

Tabla 21. Descripción de las variables estudiadas desde la primera hasta la número veintidós, con sus correspondientes significados y valores categóricos.

Variable	Significado	Valor categórico	Significado del valor categórico
LW	Interpretación mediante la teoría ácido-base de Lewis	b	Correcto
		m	Incorrecto
		e	En blanco
SS	Carácter ácido-base de los suelos	a	No ácido
		b	Todos los tipos
		c	No básicos
		d	Neutros
		e	En blanco
CLA-CLB	Clasificación de la lejía y la sosa cáustica	a	Ácido
		b	Base
		e	En blanco

Tabla 21 (continuación). Descripción de las variables estudiadas desde la primera hasta la número veintidós, con sus correspondientes significados y valores categóricos.

3.7.2. Codificación de las variables (desde la 23 hasta la 35).

Las variables veintitrés, veinticuatro y veinticinco se nombraron como **STA**, **STB** y **STC** respectivamente y se correspondían con los tres apartados del ítem cinco. Las tres admitían cuatro respuestas posibles: **A**: si el alumno marcaba la opción como verdadera, **B**: si el alumno marcaba la opción como falsa, **C**: si marcaba la opción “no sabe” o bien **E**: si el alumno dejaba en blanco el ítem.

Las variables veintiséis, veintisiete y veintiocho, son los tres apartados del ítem seis del cuestionario, fueron nombradas como **TPA**, **TPB** y **TPC** respectivamente y que admiten cinco respuestas posibles: **A**: si el alumno marcaba la opción “aumenta”, **B**: si el alumno marcaba la opción “disminuye”, **C**: si marcaban la opción “se mantiene”, **D**: si marcaban la opción “no sabe” y finalmente **E**: si dejaban el ítem.

El ítem siete del cuestionario, dividido en tres apartados incluye a las variables veintinueve, treinta y treinta y uno, nombradas como **TPD**, **TPE** y **TPF**, admitiendo las siguientes respuestas: **A**: si se desplazaba el equilibrio hacia la derecha, **B**: si lo hace hacia la izquierda, **C**: si no se desplazaba, **D**: si no sabe y **E**: si lo dejaba en blanco.

La variable treinta y dos, nombrada como **OMB**, codifica al ítem ocho del cuestionario y admite cinco respuestas posibles: **A**: si se marcaba la primera opción, **B**: si se marcaba la segunda opción, **C**: si se marcaba la tercera opción, **D**: si se marcaba la cuarta opción y finalmente **E**: para los alumnos que dejaran en blanco el ítem.

Las variables treinta y tres, treinta cuatro y treinta y cinco, se utilizaron para codificar los tres apartados del ítem nueve respectivamente y fueron nombradas como **FFA**, **FFB** y **FFC**.

Cada una de las tres podía tener cinco respuestas posibles: **A**: si la especie predominante fuese el H_3PO_4 , **B**: si la especie predominante es el H_2PO_4^- , **C**: si la especie predominante es el HPO_4^{2-} , **D**: si la especie predominante es el PO_4^{3-} y **E**: si el alumno dejaba en blanco el ítem.

Por si existen errores, se realiza una revisión general de la base de datos, a modo de depuración, antes de realizar ningún cálculo; para ello se utiliza el comando *table()* para cada una de las variables lo que nos permite ver los valores asignados y el porcentaje correspondiente.

De esta forma, solamente se encontró un error en una de las variables que mediante el código asignado a las encuestas físicas se corrigió inmediatamente. Toda vez acabado este proceso se puede comenzar a realizar las gráficas y cálculos de porcentajes para los resultados de los bloques objetivo.

Variable	Significado	Valor categórico	Significado del valor categórico
STA, STB y STC	Sentencias sobre las titulaciones ácido-base	a	Verdadero
		b	Falso
		c	No sabe
		e	En blanco
TPA, TPB y TPC	Apartados del ítem 6 sobre el equilibrio del tampón carbonato en el océano	a	Aumenta
		b	Disminuye
		c	Se mantiene
		d	No sabe
		e	En blanco
TPE, TPF y TPG	Apartados del ítem 7 sobre el equilibrio del tampón carbonato en un animal pulmonado	a	Desplazamiento hacia la derecha
		b	Desplazamiento hacia la izquierda
		c	No hay desplazamiento
		d	No sabe
		e	En blanco
OMB	Tipo de disolución que permite el paso de la corriente eléctrica	a	Disolución ácida
		b	Disolución básica
		c	Tanto ácidas como básicas
		d	Ni ácidas ni básicas
		e	En blanco
FFA, FFB y FFC	Especie química predominante de un ácido poliprótico según pH	a	H_3PO_4
		b	$H_2PO_4^-$
		c	HPO_4^{2-}
		d	PO_4^{3-}
		e	En blanco

Tabla 22. Descripción de las variables estudiadas desde la número veintitrés hasta la número treinta y cinco, con sus correspondientes significados y valores categóricos.

3.7.3. Codificación de las figuras generadas por los estudiantes.

En esta investigación, cabe recalcar que se considera de suma importancia, el análisis de las figuras generadas por los estudiantes, por lo que fue necesario un tratamiento aparte: en primera instancia y durante la fase de traspaso de los datos físicos hacia la base de datos, se separaron aquellos cuestionarios en los que aparecían figuras donde se habían resuelto, total o parcialmente, la reacción de autoprotólisis del agua mediante las tres teorías ácido-base principales. Luego, fueron enviados a digitalizar para su clasificación y así proceder, posteriormente, al recorte digital de dichas figuras según cada teoría ácido-base estudiada.

La codificación primaria (nombre asignado), de cada dibujo, incluyó cuatro bloques: el primero es el curso que como ya vimos puede variar en esta muestra desde primero hasta cuarto, en segundo lugar, la titulación de la que procede, cuyos valores ya se destacaron anteriormente. Asimismo, se le añade el código de tres números de la encuesta de la que se extrajo y el código de dos caracteres que se corresponde con cada una de las tres teorías ácido-base.

Como ejemplo, una figura queda nombrada como **11OI222BL**, lo cual indica que este archivo es de primer curso (**1**), del grado en Ingeniería en **Organización Industrial**, de la encuesta física numerada con el **222** y que es un intento de la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry (**BL**).

Cuando todos los dibujos estuvieron nombrado se dividieron en las tres carpetas, cada una correspondiente a cada teoría ácido-base. Después se realizó una primera división en tres categorías, correctos, incorrectos y tentativos. Todos estos casos se revisaron siguiendo lo descrito para la teoría de las nociones/generalizaciones lo que derivó en una clasificación que se tratará en profundidad en el apartado sobre la discusión de los resultados.

Capítulo IV: RESULTADOS

CAPÍTULO IV. RESULTADOS.

Con los resultados procesados mediante el programa estadístico *R*, se procede a representar los resultados obtenidos en cada ítem del cuestionario de manera específica para cada uno de los grados examinados. El análisis en términos generales queda reservado para el apartado de los resultados finales. Para este fin dividiremos todo en tres bloques coincidentes con los tres grandes bloques objetivo ya mencionados en el capítulo anterior:

- Bloque I: Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.
- Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.
- Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

Comenzamos por el primero que iremos aplicando a cada uno de los grados examinados.

4.1. Bloque I: Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.

En este primer bloque, cuyo contenido específico pretende explorar las generalizaciones presentes en los alumnos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, vamos a realizar el examen de cada inciso por grado universitario. Es importante recordar el sesgo introducido en estos análisis debido a los datos obtenidos que no han podido abarcar una muestra probabilística de la población de estudio además del carácter general de estos; ya que los datos están analizados fusionando todos los cursos de cada grado. En primera instancia y para el grado de Ingeniería Química, el análisis de los datos será más detallado. No obstante, para agilizar la presentación y lectura

de los datos, el estudio del resto de grados será más escueto pues todo vuelve a repetirse; por tanto tómese el análisis de este grado como un modelo a seguir con los demás.

4.1.1. Grado en Ingeniería Química.

Comenzamos este análisis con el grado de Ingeniería Química, uno de los más vinculados al tópico de estudio ya que hemos podido observar su elevada presencia en los currículos de los respectivos cursos durante el análisis llevado a cabo en la fundamentación teórica. En este caso se han podido estudiar tres de esos cursos, entre los cuatro posibles del grado: primero, segundo y tercer, lo que en cierto sentido no ayuda a mejorar la sensibilidad de los datos al sesgo introducido por no poder examinar a los sujetos del cuarto curso. Un 57,3% de los sujetos proviene de la especialidad de tecnología en el bachiller, un 40,9% de ciencias de la salud y un 1,8% de otras.

Así, tenemos la primera sentencia dentro del subgrupo que trata de examinar las posibles relaciones existentes entre fortaleza y debilidad de los ácidos y las bases. Se ha podido observar en el gráfico correspondiente a la sentencia 1a (figura 11) que un 32,9% relaciona la fortaleza de un ácido con su estructura química pero específicamente con la *cantidad de protones presentes*.

Por el contrario, un 54,9% entiende que la fortaleza o la debilidad de un ácido no es a causa de esa cantidad de protones que antes hemos mencionado y por ello cataloga de falsa la sentencia. Un 9,8% indica que no sabría, al comparar dos ácidos, si sus fuerzas relativas se deben a un mayor número de protones presentes o no. Finalmente un 2,4% no marcó opción dejando en blanco el problema.

Del análisis de las teorías ácido-base realizado en la fundamentación teórica se comprendió que para comparar las fuerzas relativas de estos compuestos se necesitaba un patrón común, el cual era el agua. A partir de esto se establecían los valores de las constantes de equilibrio que es el parámetro comparativo,

aunque realmente los valores utilizados son los logaritmos negativos de las constantes de equilibrio que están tabulados en los libros de texto como pK_a . Como ejemplo se puede citar al ácido fosfórico cuya disolución está en la pregunta nueve de este cuestionario y que a pesar de poseer tres protones es un ácido relativamente débil mientras que el ácido cianhídrico posee un sólo protón y es igualmente débil.

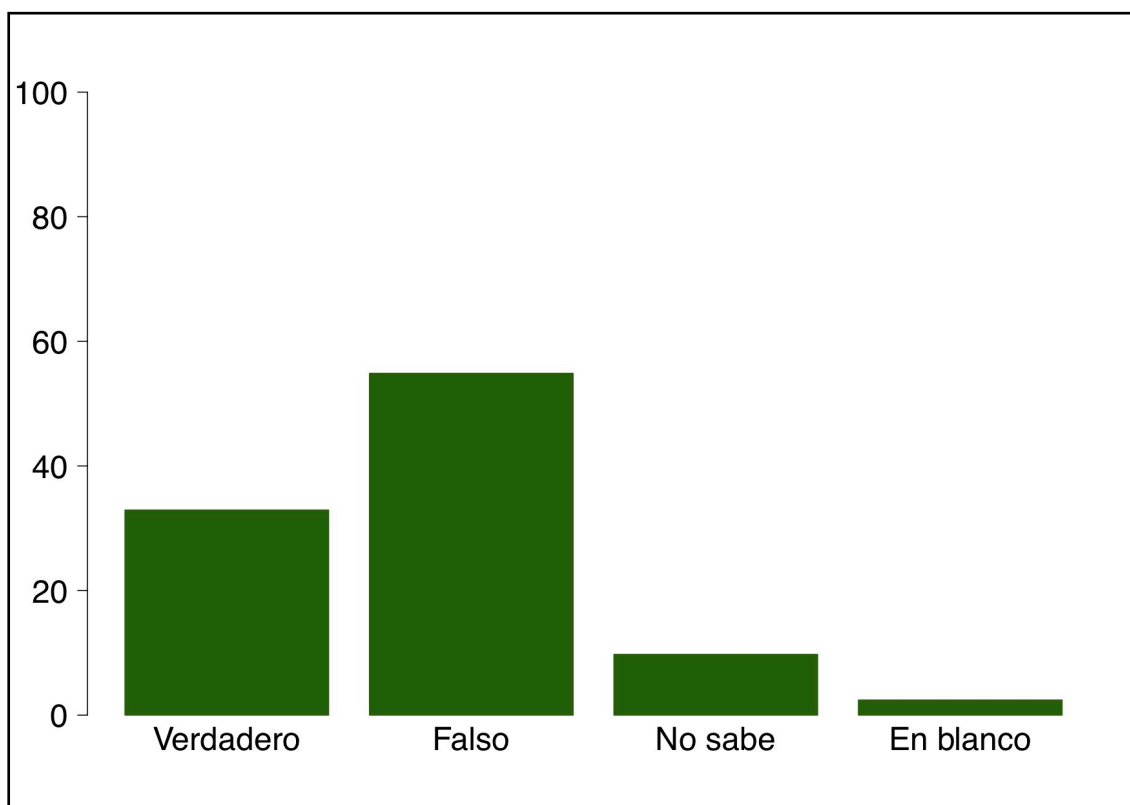


Figura 11. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

En el gráfico generado a partir del procesamiento de los datos obtenidos para la sentencia 1b (figura 12), se explora el mismo problema pero en este caso para las bases, por si existiesen diferencias en el tratamiento de uno de las dos clases de compuestos.

Así, un 33,5% consideró que la fuerza de dichos compuestos es debida a la cantidad de iones hidroxilo presente en su estructura mientras que un 52,4% lo consideró falso, de forma muy parecida a los resultados encontrados en el ítem

inmediatamente superior. Un 12,2% no sabe cómo responder a esta pregunta, por tanto no sabría comparar la fortaleza de dos bases; por otro lado y un 1,8% dejó en blanco la pregunta. Ocurre aquí algo similar al caso anterior, en el cual la cantidad de protones es un indicador de la fortaleza o debilidad de un ácido, ahora la cantidad de grupos OH es el indicador o rasgo de valor informativo para definir la fortaleza de una base.

Por analogía es realmente el pK_b quien permite esta comparación y el número de este grupo químico no es indicativo de la fortaleza o la debilidad de una base. Ambas sentencias nos permiten inferir, pero no demostrar, que el rasgo de valor informativo de lo que es un ácido y una base está muy relacionado con la teoría de Arrhenius donde poseen un papel preponderante los grupos químicos que le son característicos (H y OH).

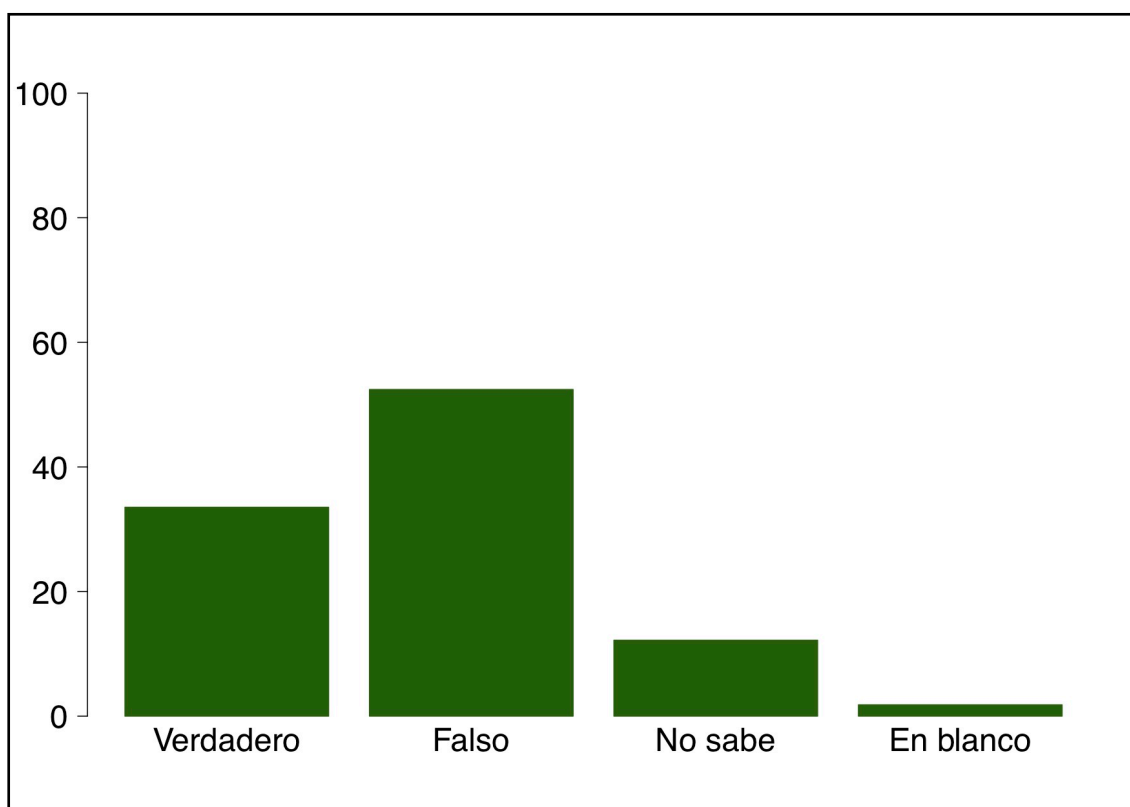


Figura 12. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

Para el gráfico de la sentencia 1c (figura 13), podemos observar que los estudiantes del grado de Ingeniería Química tienen muy claro que un ácido

fuerte y una base débil pueden reaccionar, como así lo demuestra el 92,1% que declara falsa esta afirmación.

Minoritariamente tenemos un 5,5% que pensó que es verdadera, un 1,8% no sabe que responder y un 0,6% la deja en blanco. Es evidente que el carácter débil o fuerte no obstaculiza la posibilidad de que un ácido y una base reaccionen y así lo han comprendido.

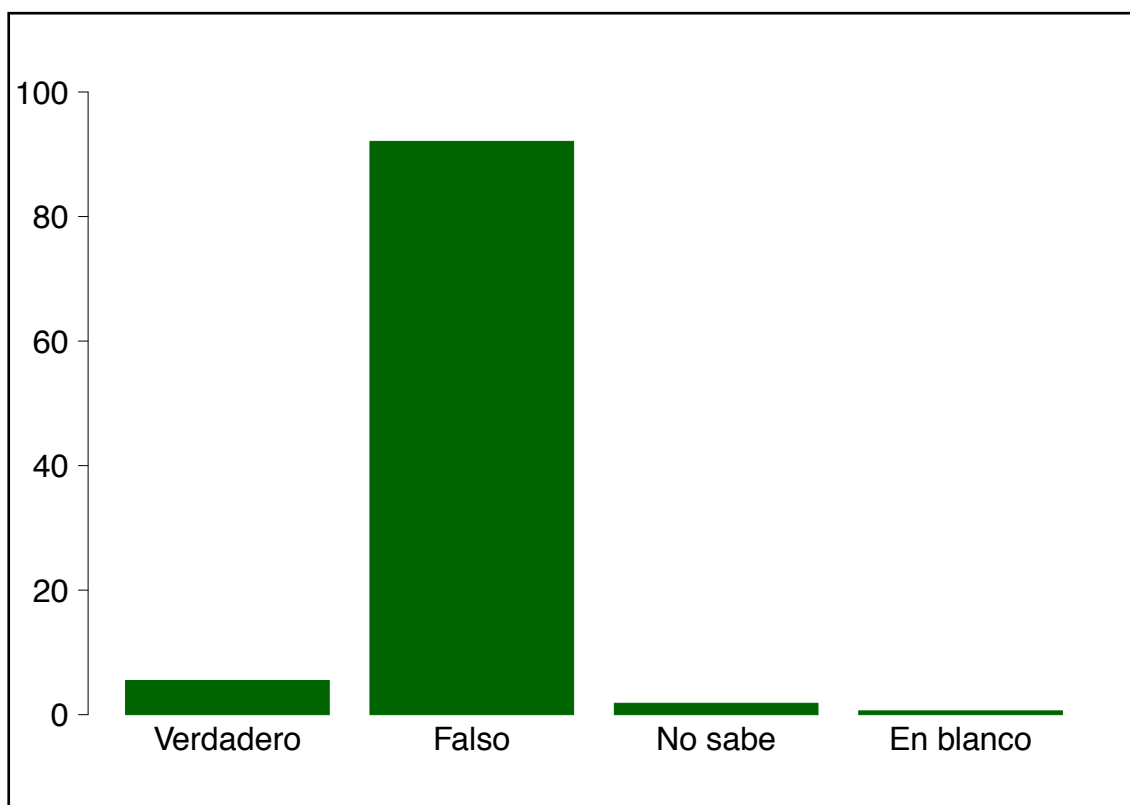


Figura 13. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

La muestra se comporta igualmente para la sentencia 1d (figura 14), como demuestra el gráfico obtenido. Otra vez el carácter de la fortaleza o la debilidad de un ácido y una base no son óbice para que puedan reaccionar entre ellos.

Por ello, un 88,4% entendió como falsa esta afirmación mientras que, en menor medida, un 6,1% piensa que es verdadera, un 4,3% no supo qué responder y un 1,2% la deja en blanco.

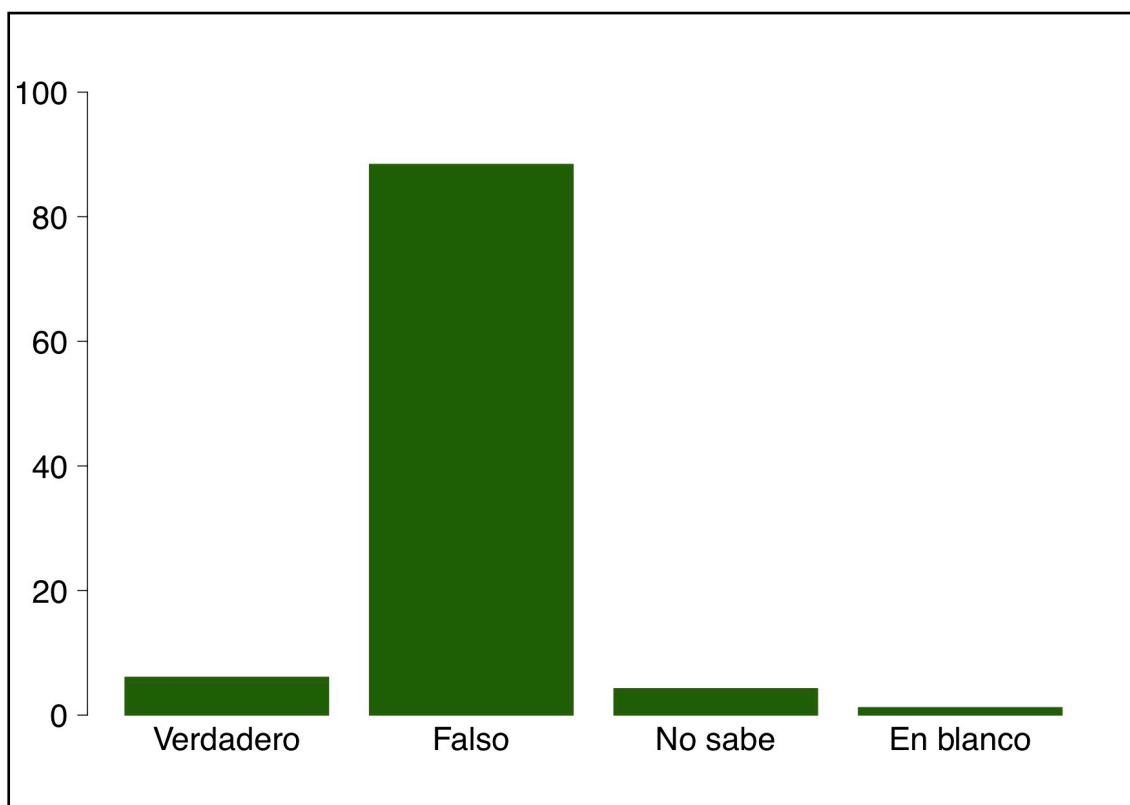


Figura 14. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

Ahora, en la sentencia 1e, se pretende conocer qué relación habría entre la debilidad o fortaleza de un ácido y el pH al que daría lugar en una disolución acuosa. Se observa (figura 15), que tanto la opción que consideró falsa la afirmación presentada como la verdadera están ahora más igualadas y no tan decantadas por una de las opciones como ocurría anteriormente. Un 37,2% efectivamente piensa que un ácido fuerte da lugar a un mayor pH en disolución acuosa respecto de uno débil, al contrario del 47,6% que la encuentra falsa. Un elevado 12,8% no supo qué responder y un 2,4% la dejó en blanco.

Sabemos que el pH final de la disolución acuosa a la que se añada un ácido dependerá de no sólo de si es fuerte o débil, lo cual está condicionado por su grado de disociación, sino además de la concentración preparada. Sin embargo, lo que se plantea aquí se refiere a que parece existir una *relación directa entre pH y fortaleza de los ácidos*, así un ácido fuerte da lugar a un pH elevado (totalmente incorrecto) y uno débil a uno bajo (también incorrecto). Se pueden disolver bajas concentraciones ($< 10^{-7}$ a 298 K y 1 atm) de un ácido

fuerte en agua que apenas modificarán el pH propio de la disolución acuosa ($\text{pH} = 7$ a 298K y 1 atm). Estos tipos de relaciones directas en vez de inversas, se exploran también en la pregunta **6** apartado **c**, ya que allí puede asociarse de manera directa el pH con la concentración de protones. Sería recomendable para futuras investigaciones evaluar fehacientemente esta cuestión.

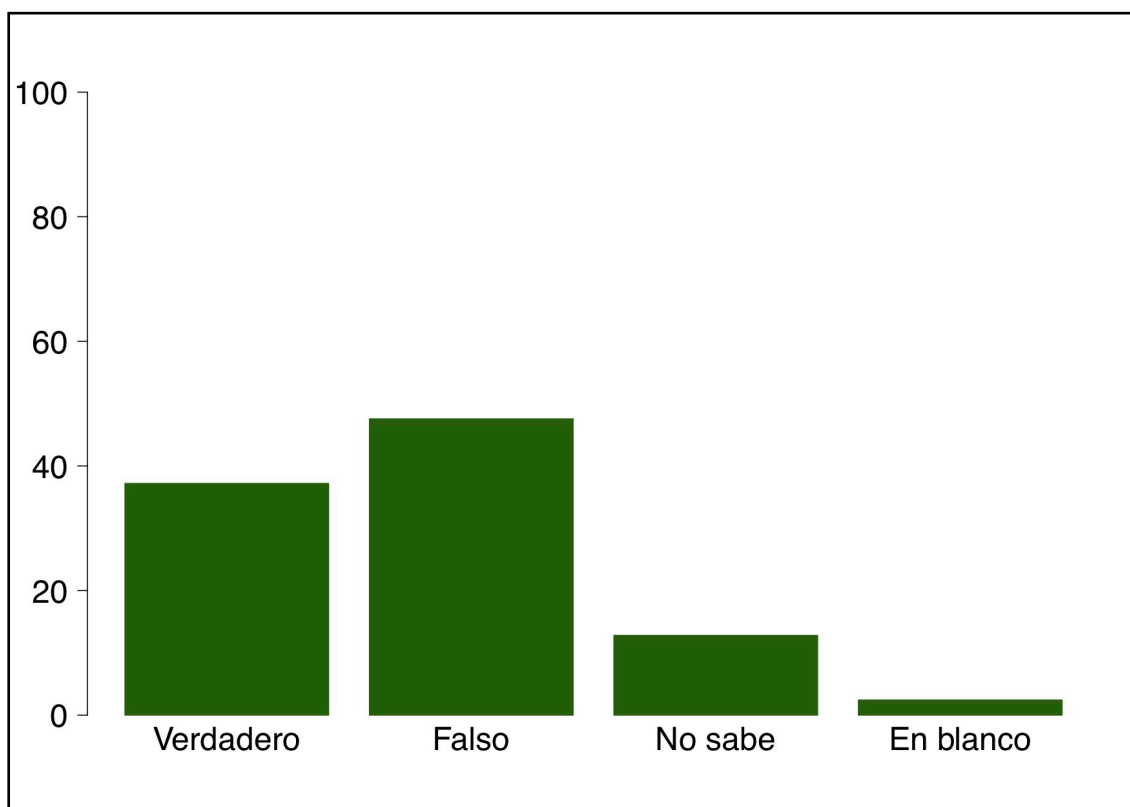


Figura 15. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

Para terminar con este subgrupo donde se evalúan la fortaleza y debilidad de ácidos y bases. En la figura 16, correspondiente a la sentencia 1f, demuestra que un 68,3% de los universitarios del grado de Ingeniería Química se inclinan por la opción *falso* en esta pregunta lo que evidencia que tanto ácidos como bases pueden quemar la piel si se encuentran en concentraciones lo suficientemente fuertes. Un 20,7%, sin embargo, si cree que los ácidos pueden dañar la piel y no así las bases. No supo contestar un 10,4% y un bajísimo 0,6% la dejó en blanco. Estas ideas podrían proceder de generalizaciones

empíricas, quizás inducidas por la educación o de la propia experiencia, en la cual el carácter dañino secundario se toma como primario.

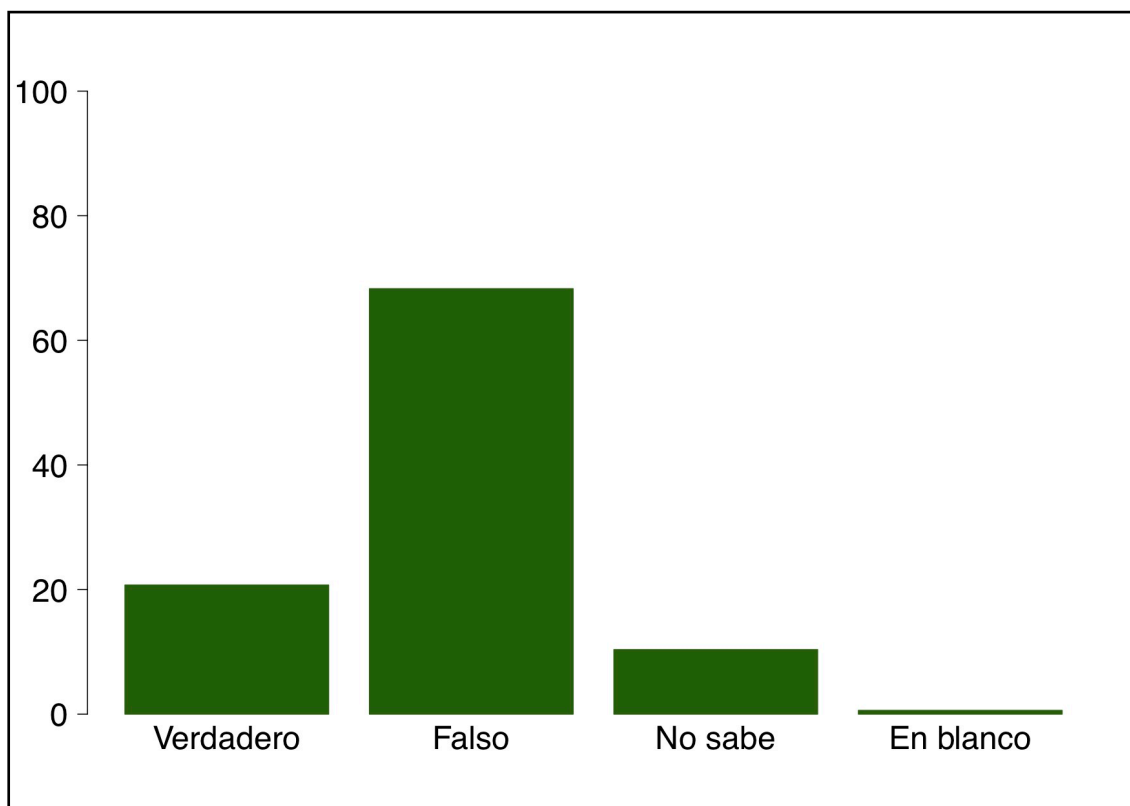


Figura 16. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Con la presentación del gráfico para la sentencia 1g (figura 17), que se muestra en la página siguiente, se comienza a evaluar la relación existente entre el carácter ácido-base y las sales. De la fundamentación teórica habíamos podido ver que incluso antes de la teoría de Arrhenius ya se comprendía el carácter ácido-base multiforme de las sales pudiendo haberlas básicas, ácidas e incluso neutras. En nuestra muestra para el grado en Ingeniería Química, sin embargo, ocurre que un 17,7% piensa que las sales son siempre neutras y se quedarán al margen de las reacciones ácido-base.

Sabemos que esto no es verdad, ya que muchas sales son básicas o ácidas interviniendo en las reacciones incluso en las titulaciones ácido-base donde pueden cambiar el pH final. Parece que un 74,4% de los sujetos ha utilizado este u otro criterio similar para decantarse por la falsedad de la afirmación

presentada. Por último un 4,9% no supo qué debía responder y un 3% dejó en blanco la respuesta.

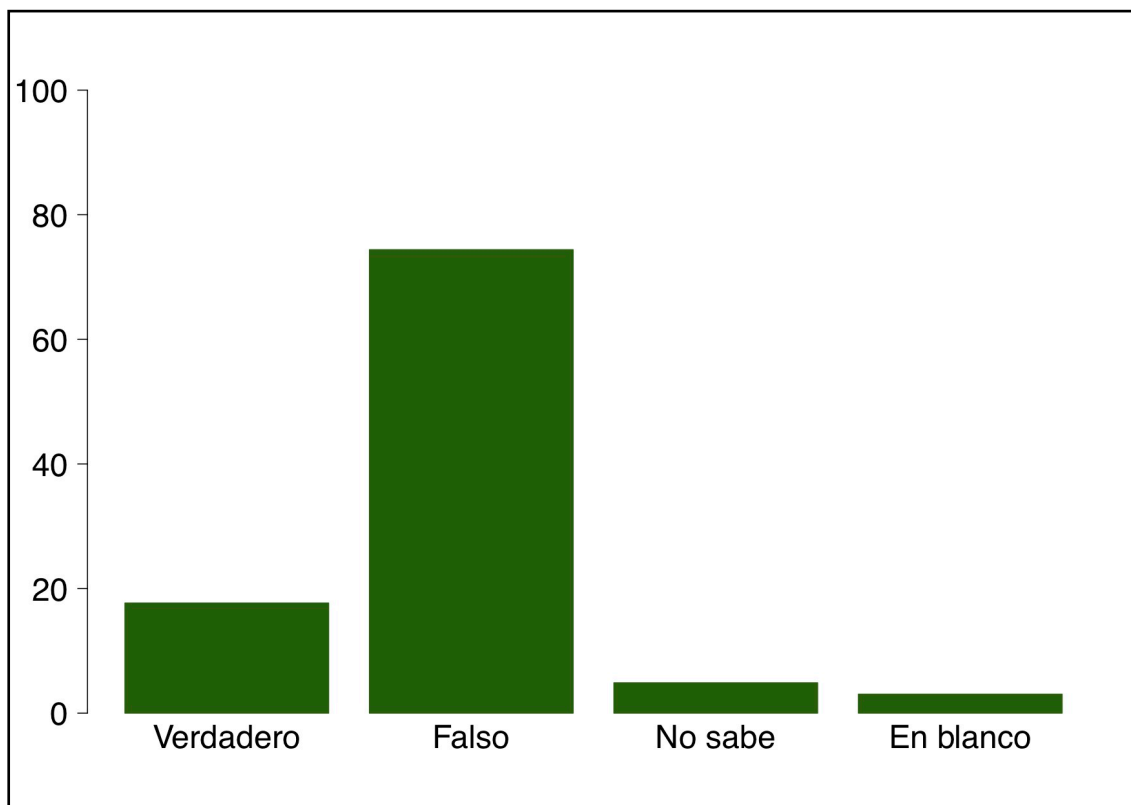


Figura 17. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

La representación gráfica para la sentencia 1h (figura 18), da inicio a otro subgrupo de dos respuestas que pretendían evaluar específicamente el vínculo entre los ácidos, las bases y la estructura química propuesta por la teoría de Arrhenius.

Esta vinculación estructural ya fue hallada por otros autores (Cros, Chastrette y Fayol, 1988; Zoller, 1990) y postula la conexión entre el grupo hidroxilo y las bases. En esta muestra se halló que un 29,9% considera que una base lo es porque posee grupos químicos hidroxilo (OH).

Se manifiestan aquí dos problemas, el primero de ellos se debe a la incorrecta clasificación de un compuesto como base simplemente porque posea grupos

OH y el segundo se deriva de este ya que no supieron clasificar el alcohol etílico como tal y por tanto poderle asignar correctamente sus propiedades ácido-base; de hecho el alcohol etílico tiene propiedades ácidas en disolución acuosa contrario a la afirmación mostrada. Seguidamente, un 56,7% cree que esta no es una condición *sine qua non* que les obligue a clasificar a este compuesto como base por ello marcan la opción falso lo que nos induce a inferir que manejan otros criterios menos estrictos de clasificación. Finalmente un 11% no sabe qué criterio utilizar para clasificar el compuesto dado y un 2,4% parece mostrarse solidario dejándolo en blanco.

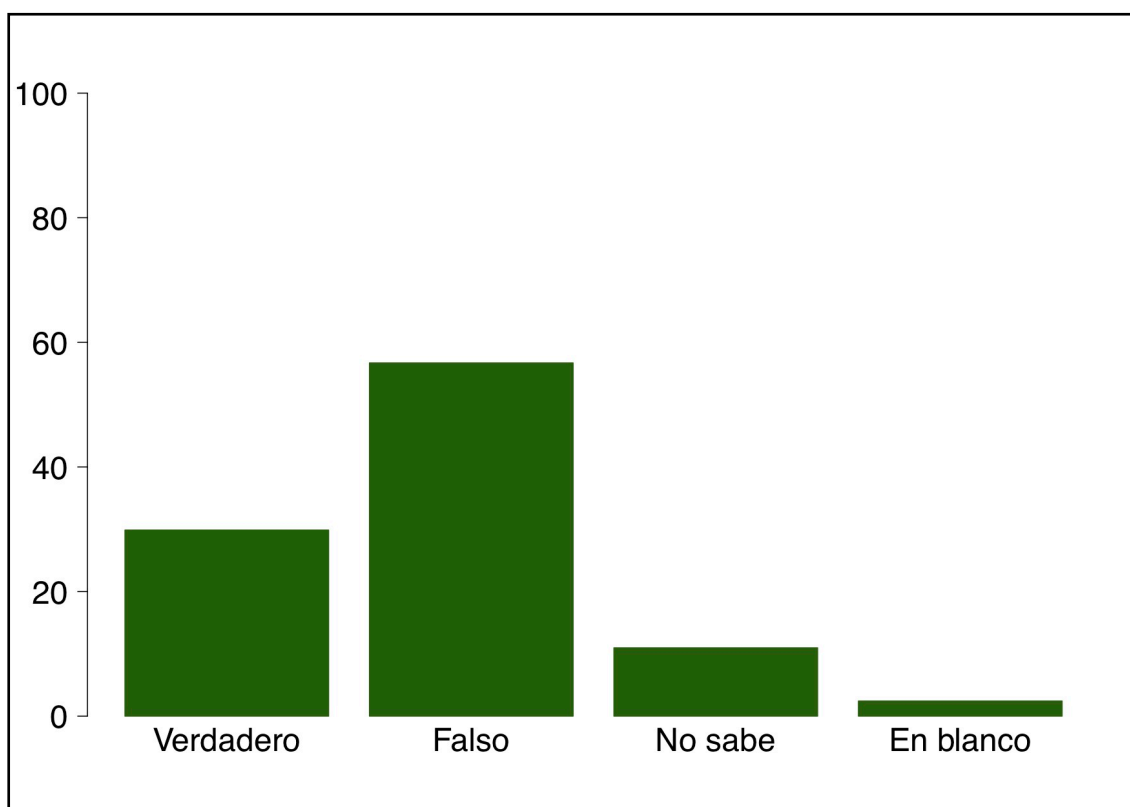


Figura 18. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

Continuamos con la sentencia 1i (figura 19), en la que ahora debería permitimos conocer si se guarda esta misma idea pero para los ácidos. Si para las bases se tomaba como rasgo la presencia de grupos OH en la fórmula química, siguiendo la teoría de Arrhenius debería tomarse como rasgo los protones en la fórmula química para el caso de los ácidos.

Así, se encontraron resultados idénticos en estudios anteriores (Cros, Chastrette y Fayol, 1988; Zoller, 1990) cuya generalización de ácido era AH, siendo A un anión. En esta muestra, un 86% marca la opción falso y determina que el amoníaco no es un ácido por el mero hecho de contener protones, la cuestión estriba aquí en que no se pudo diferenciar si los alumnos reconocieron el compuesto de memoria y por ello lo tenían agrupado con las bases lo que habría interferido con los criterios de clasificación. Un escaso 8,5% se decantó por considerar al compuesto un ácido evidenciando que su criterio de clasificación es la presencia de protones tal y como se aprendió incorrectamente de la teoría de Arrhenius.

Un 3% no sabe qué responder y un 2,4% lo deja en blanco. A la vista de estos resultados, sin poder despreciar el efecto de lo que saben de memoria, parece que el criterio clasificatorio para las bases está más apegado a la interpretación incorrecta de la teoría de Arrhenius que la de los ácidos en esta muestra.

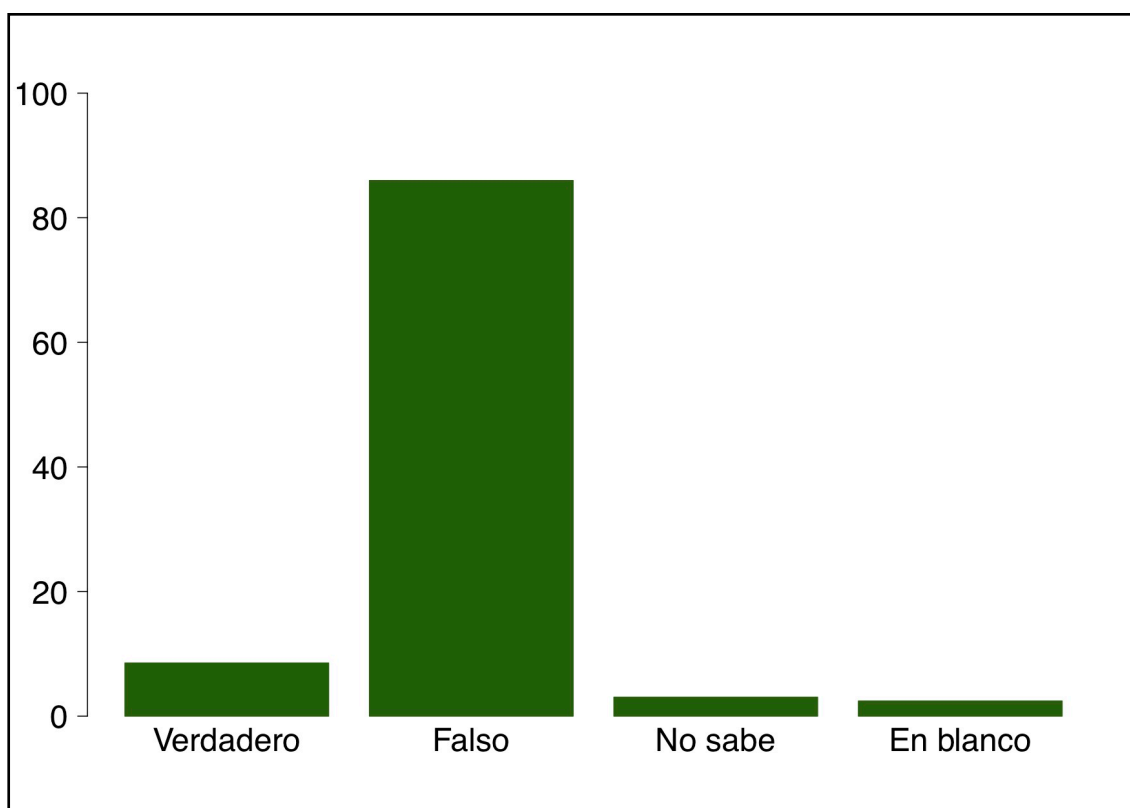


Figura 19. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

Las últimas tres sentencias se unirán en el microgrupo de la evaluación de generalizaciones en torno al pH. Para ello en la sentencia 1j se deseaba conocer qué pH se denota como neutro en condiciones normales. En la figura 20, se observa que un 97% se decantó por la respuesta correcta despreciando el valor 5,5 como neutro y solamente un 3% creyó esta afirmación.

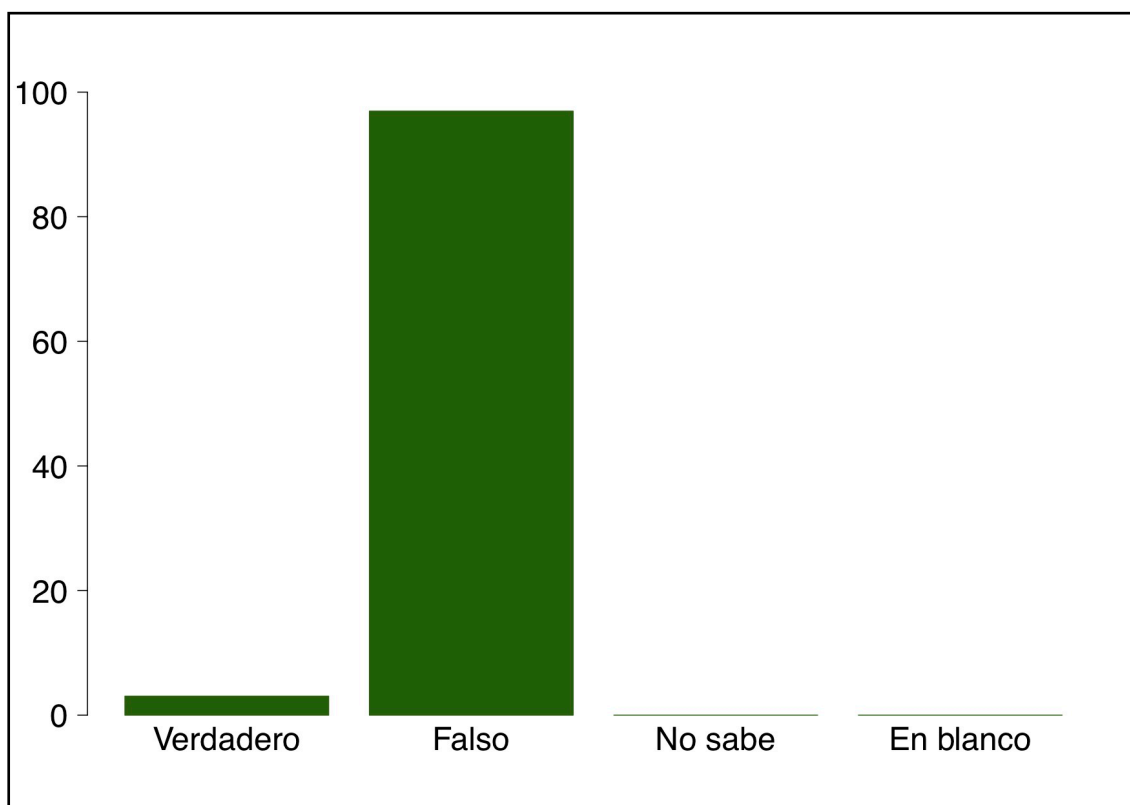


Figura 20. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

En la sentencia 1k (figura 21), se buscaba evaluar qué ocurría a pH cero ya que era un valor controvertido en la escala de pH. Sólo un 10,4% piensa que a ese valor de pH las sustancias no son ni ácidos ni bases.

El carácter ácido-base de las sustancias no viene determinado por su pH, esto muestra que existen problemas para delimitar lo que es disolución de lo que es un compuesto ácido-base, haciendo corresponde disolución ácida con ácido o disolución básica con base cuando no ello no es estrictamente necesario debido a las concentraciones del compuesto preparado.

Contrariamente, un elevado 74,4% si se percata de este error no confundiendo compuesto con disolución. Un porcentaje superior al de respuestas incorrectas, 13,4% no sabe qué responder reafirmando la controversia que se genera en los alumnos ese valor de la escala de pH junto a 1,8% que lo deja en blanco.

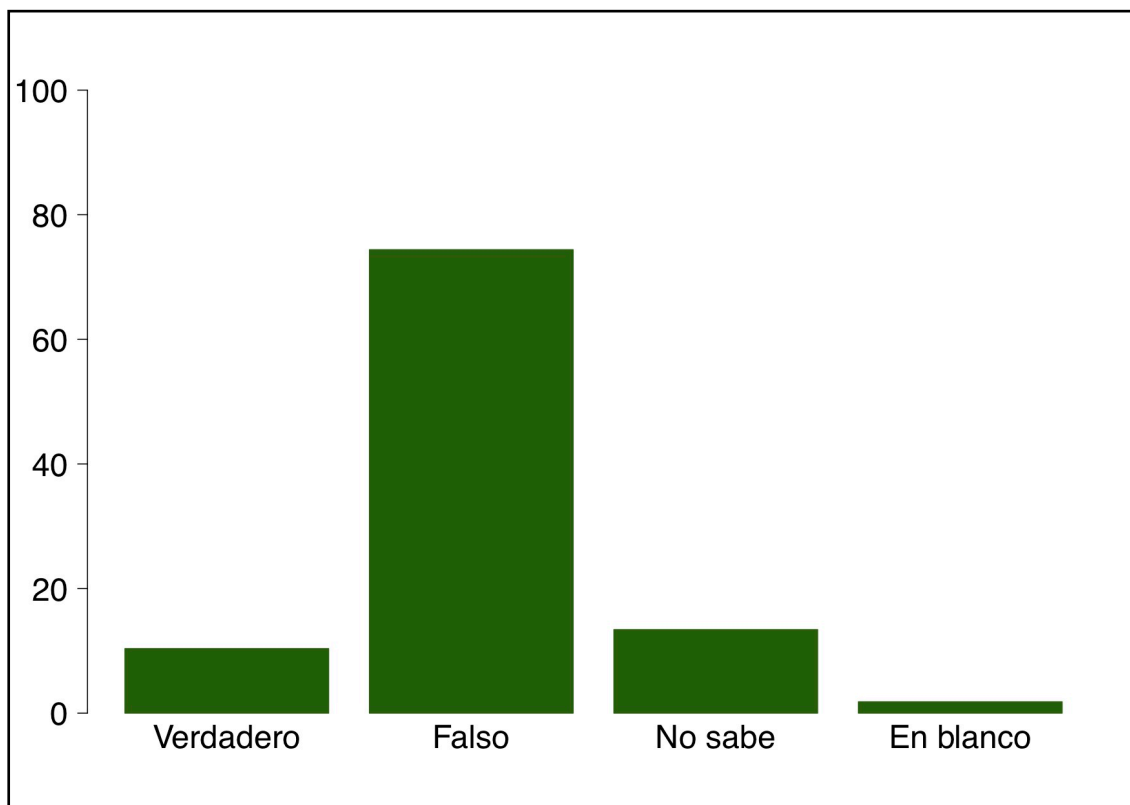


Figura 21. Distribución de porcentajes para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Para finalizar la batería de afirmaciones, en la sentencia 1l (figura 22), donde quería obtenerse una pincelada sobre el pH y el medio ambiente. Así, un 23,2% entiende que el pH de la lluvia natural debe ser neutro, no puede tener otros valores.

Es conocido que dependiendo de dónde se forme la lluvia puede tener distintos valores de pH, básico, ácido o neutro de forma totalmente natural sin la intervención del ser humano. Otro tópico sería la lluvia ácida, tan importante para el medioambiente a causa de la actividad humana que aquí no pudo evaluarse.

Por otro lado, un 55,5% entendió que no necesariamente debe ser neutro el valor del pH de la lluvia natural que de hecho muchas veces (no siempre) es ácido por la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera. Un elevadísimo 19,5% no sabe qué responder a esta afirmación y un 1,8% la deja en blanco.

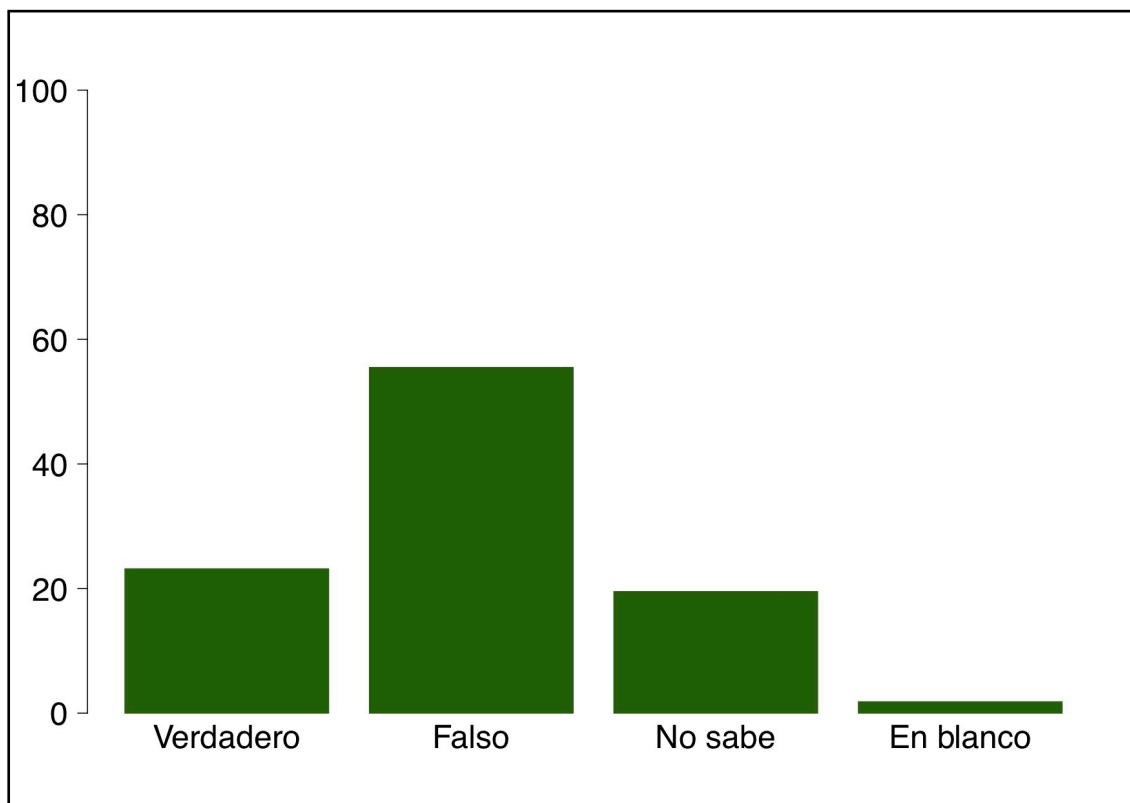


Figura 22. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1).

Toda vez analizados la batería de afirmaciones de la primera pregunta pasamos a estudiar solamente el primer apartado de los cuatro que formarían parte de la pregunta 2. El resto se analizan en el bloque que se ocupa de la interpretación de una reacción, de la autoprotólisis del agua en este caso, mediante las tres teorías ácido base principales.

Por tanto, en la sentencia 2a (figura 23), un bajísimo 0,6% y otro 0,6% afirman que el agua se comporta como base o como ácido en este tipo de reacción lo cual es incorrecto. Al contrario, una mayoría con un 79,3% quienes observan

correctamente que el agua se comporta como ambos tipos de sustancia en su reacción de autoprotólisis.

Un elevado 18,9% considera que el agua es un mero espectador de su propia reacción de autoprotólisis y no puede participar de estas reacciones ya que es un disolvente. Un escaso 0,6% deja en blanco la pregunta ya que no sabe con qué carácter ácido-base se manifiesta el agua en dicha reacción por lo que no deben conocer el carácter anfótero de esta sustancia ampliamente estudiada en los cursos de química universitarios.

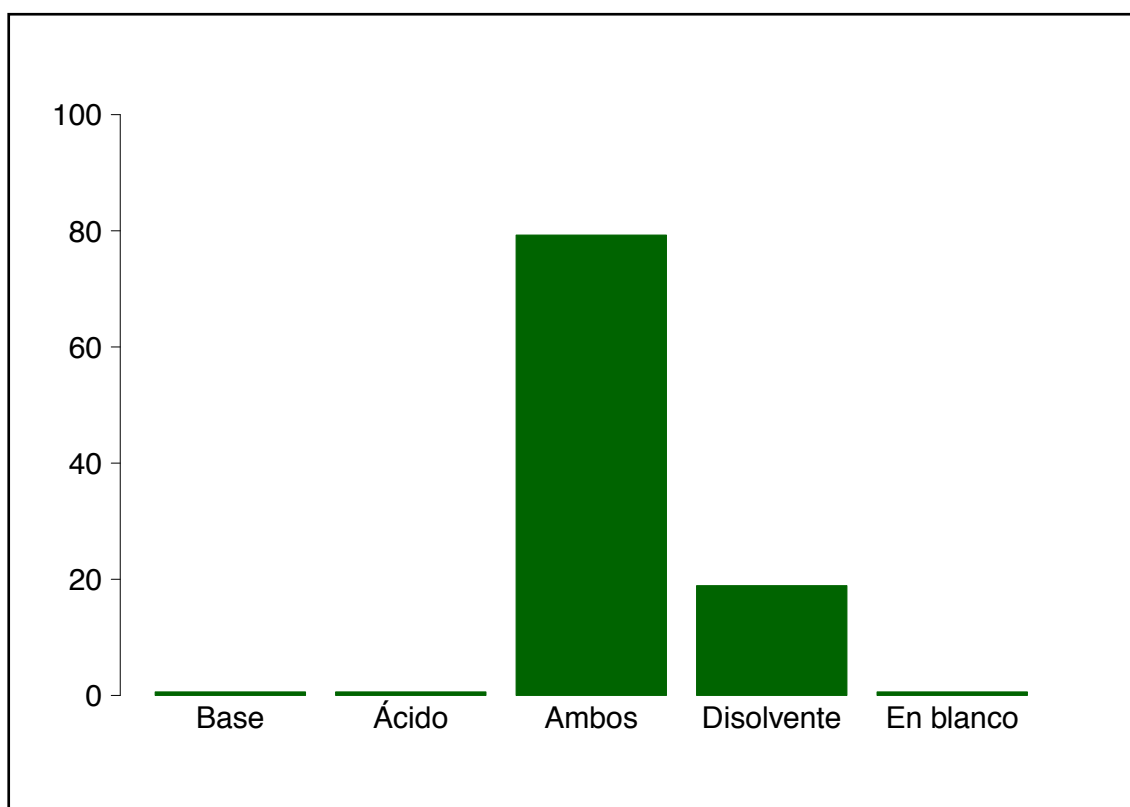


Figura 23. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

Continuamos con la sentencia 3 (figura 24), que debe evaluar las posibles clasificaciones de los suelos según su carácter ácido-base para los estudiantes del grado de Ingeniería Química. Es conocido que los suelos pueden ser de varias clases según su composición, ellos pueden ser ácidos, básicos o neutros.

Esta clasificación utilizando el parámetro del carácter ácido base es imprescindible para describir el medio ambiente y la gestión de los suelos en la agricultura. Acorde con los esperado, los universitarios de este grado se han decantado por considerar la afirmación correcta de la variedad de clases de suelos, apoyada por un 69,5%. A su vez y de manera incorrecta tenemos que un 4,3% ha considerado que los suelos no pueden ser ácidos, un 4,9% que no puede ser básicos, un 12,2% acepta que deben ser únicamente neutros y finalmente un 9,1% dejó en blanco la pregunta.

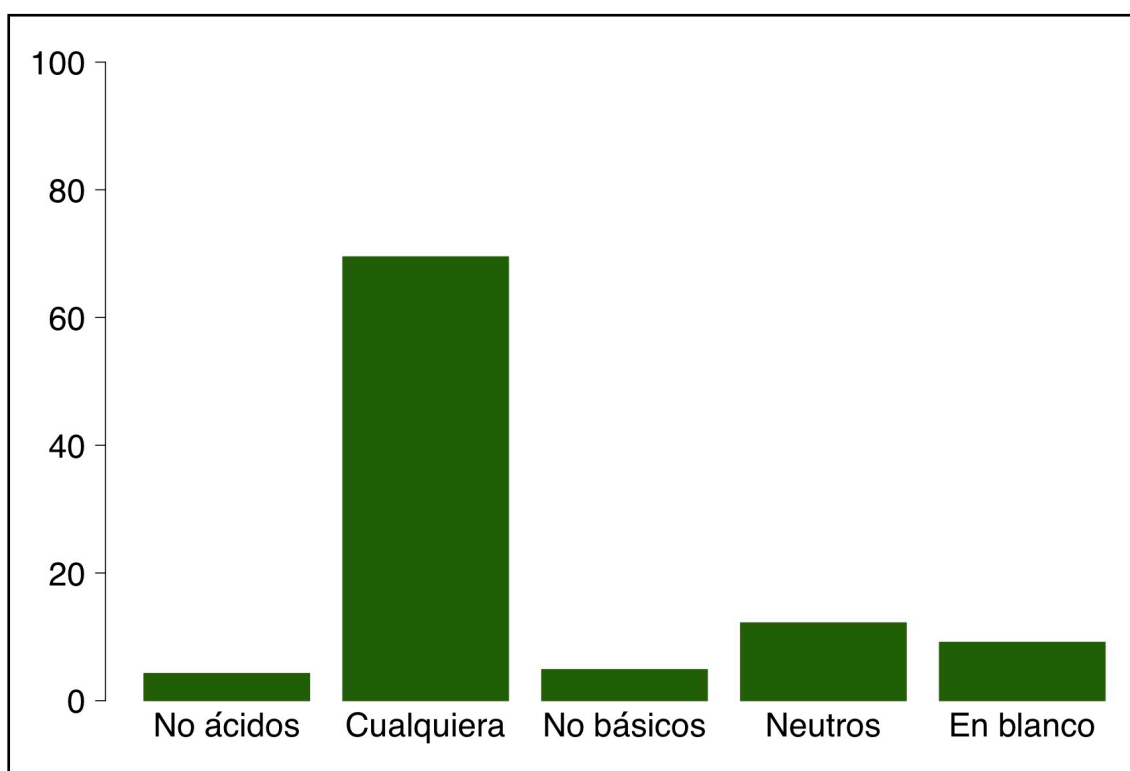


Figura 24. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

Los dos apartados de la pregunta 4 tenían por objeto descubrir cómo los estudiantes universitarios clasificaban algunas sustancias muy cotidianas, se optó por dos sustancias muy conocidas como son la sosa cáustica y la lejía, ambas bases.

En la sentencia 4a (figura 25), donde se pedía la clasificación de la lejía ocurrió que los porcentajes de una u otra opción son realmente muy parecidos. Un

42,7% declara que la lejía es un ácido frente a un 53,7% que la clasificó correctamente como una base; un 3,7% la dejó sin respuesta.

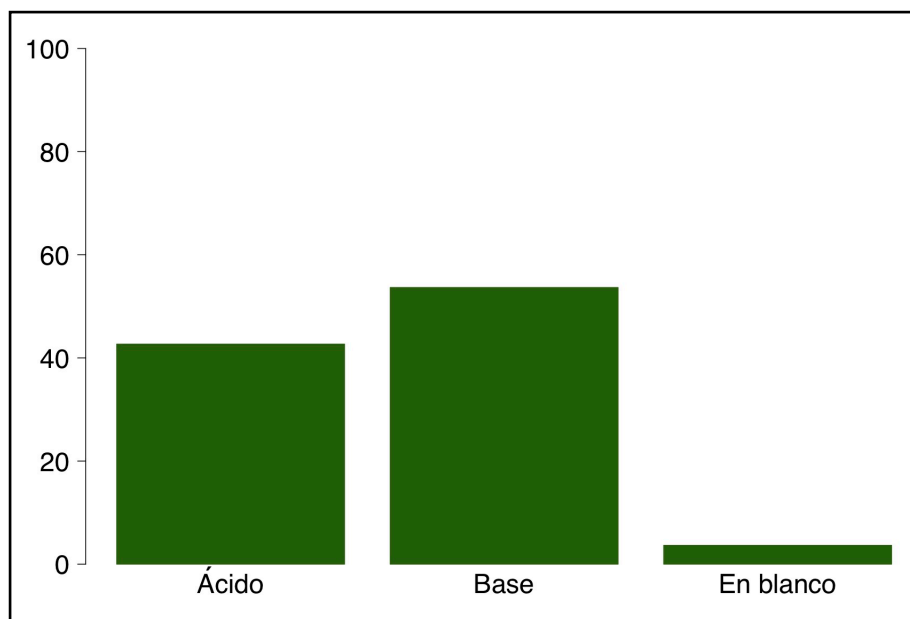


Figura 25. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

En la sentencia 4b (figura 26) se propone entonces la clasificación de la sosa cáustica y se obtuvo lo contrario al apartado anterior donde un 83,5% se decanta por la opción correcta clasificándola como una base frente a un 11,6% la considera un ácido. Por último un 4,9% deja en blanco la pregunta.

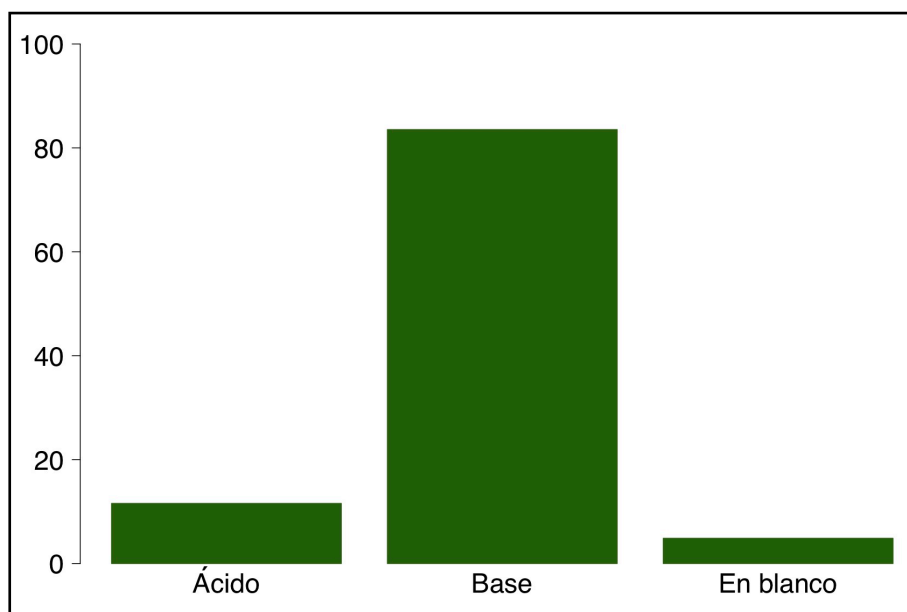


Figura 26. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

Para finalizar el primer bloque donde se estudian los conocimientos precedente que poseen los alumnos universitarios se les planteó la pregunta 5 con tres sentencias sobre las titulaciones ácido-base.

De esta forma, en la sentencia 5a (figura 27), un 26,2% que en una titulación ácido débil-base fuerte el pH final debe ser estrictamente siete como en el caso de una titulación ácido fuerte - base fuerte en cantidades equimolares ya que para ellos así ocurre en todas las titulaciones ácido-base, es decir, no se tiene en cuenta el carácter de la fortaleza o de la debilidad cuando dos compuestos de esta clase reaccionan.

También se ignora el posible papel de las sales. De las sentencias 1c y 1d se observa que admiten la interacción entre un ácido y una base sin importar el carácter pero no está del todo claro dicha interacción. Un elevado 63,4% sí tiene en cuenta esta interacción y marca la opción correcta, un 7,9% no sabe y un 2,4% deja en blanco la pregunta.

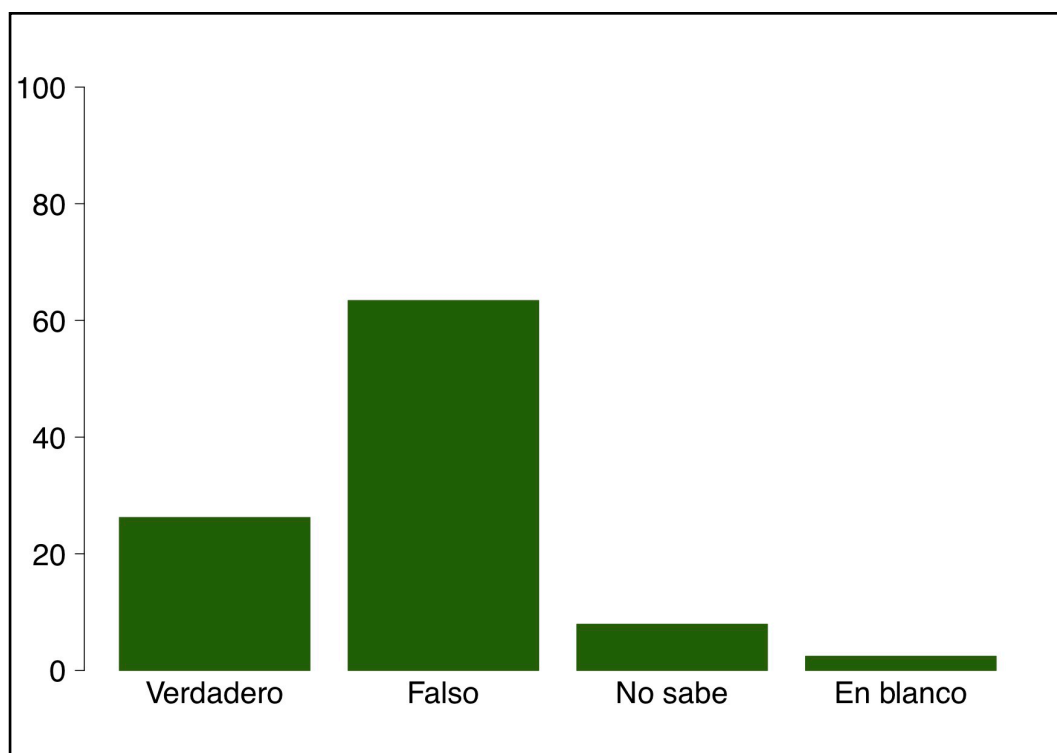


Figura 27. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

Siguiendo en esta línea, en la sentencia 5b (figura 28), un elevado 90,9% responde correctamente al considerar que el indicador no es necesario para que se produzca la titulación ácido-base, sin embargo, un escaso 4,9% cree que éste es el papel de dicho compuesto. Un 2,4% no sabe qué rol juega una indicador ácido-base y un 1,8% lo deja en blanco.

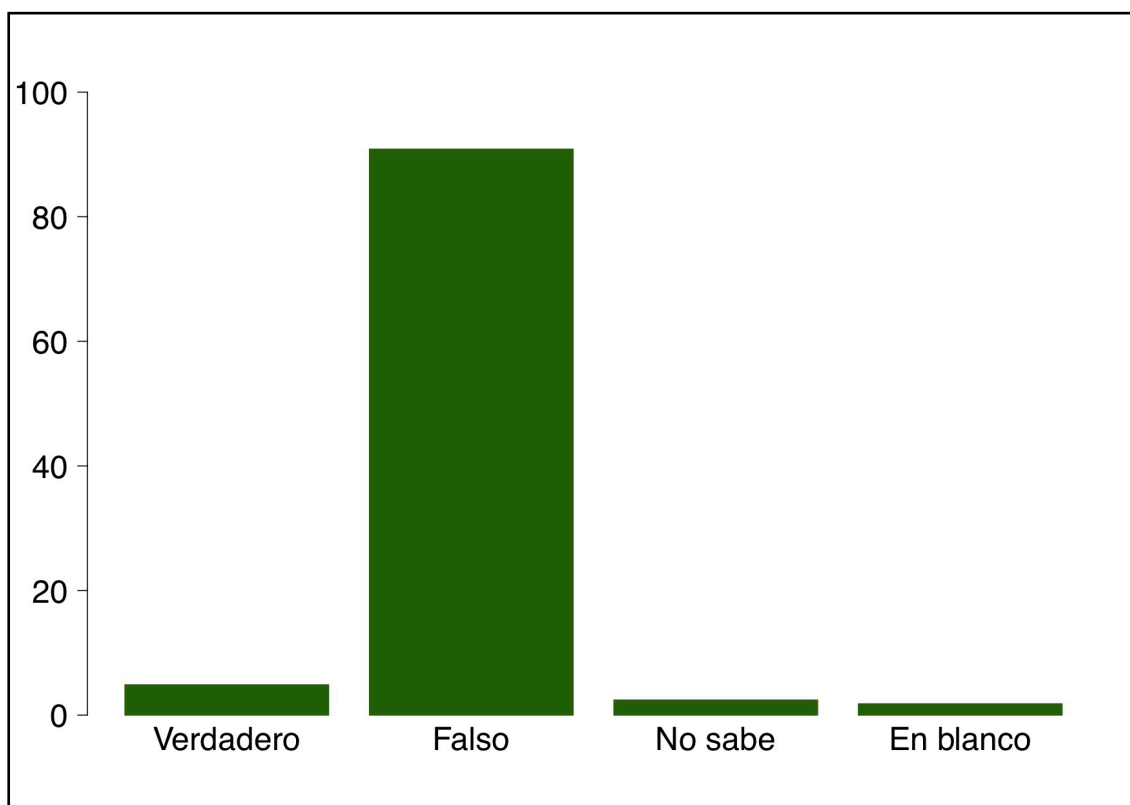


Figura 28. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

En la sentencia 5c (figura 29), un 72% marca la opción incorrecta por la que el cambio de pH en una titulación ácido-base cambia a un valor específico y único cuando realmente se necesitan varios ensayos para determinar un valor medio de pH que es aproximado.

Un 25% decide, contrariamente a los examinados anteriores que efectivamente no se trata de un pH único sino un valor en torno al cual se produce el cambio de coloración. Un 2,4% no sabe a qué tipo de valor se produce dicho cambio y un 0,6% la deja en blanco.

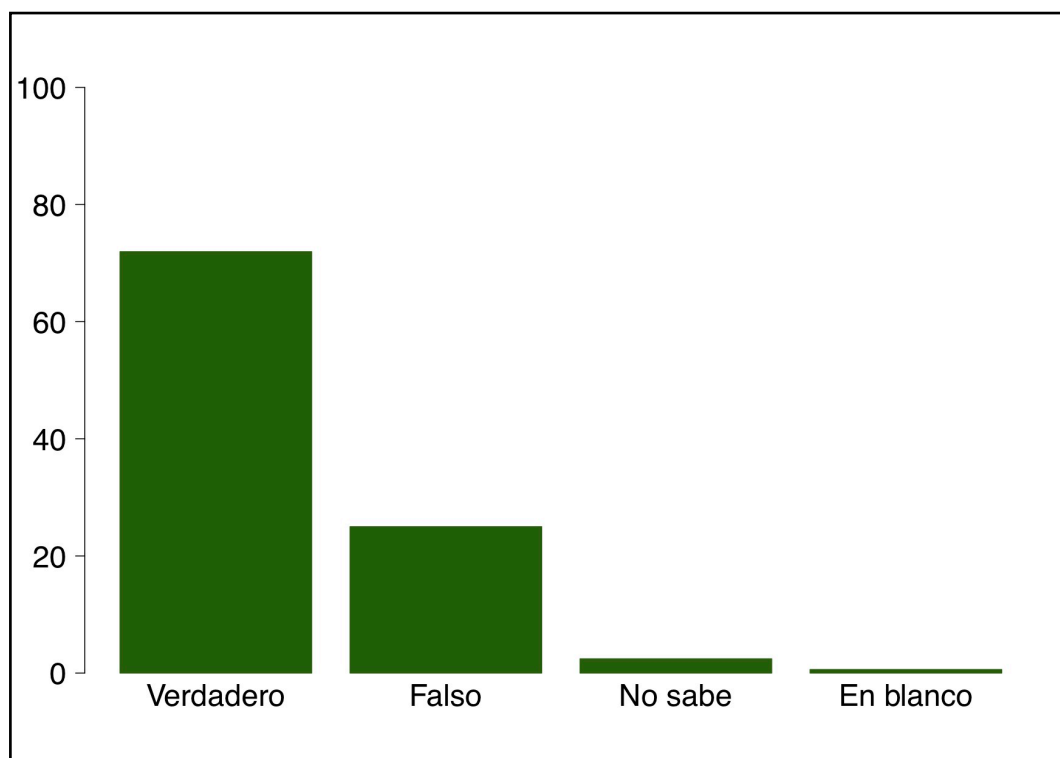


Figura 29. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

A continuación, se presenta en la tabla 24, el resumen del conocimiento precedente, su grado de presencia y su clasificación en la U.L.P.G.C.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	32,9	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	33,5	Moderada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan.	5,5	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan.	6,1	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles.	37,2	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases.	20,7	Moderada
Sal siempre neutra.	17,7	Moderada

Tabla 23. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado de Ingeniería Química.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
Grupo OH como criterio para ser base.	29,9	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido.	8,5	Minoritaria
5,5 es el pH neutro.	3	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases.	10,4	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro.	23,2	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente.	18,9	Moderada
Los suelos son solamente neutros.	12,2	Moderada
La lejía es un ácido.	42,7	Moderada
La sosa cáustica es un ácido.	11,6	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7.	26,2	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización.	4,9	Minoritaria
El cambio de color es a un pH único y específico.	25	Moderada

Tabla 23 (continuación). Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado de Ingeniería Química.

4.1.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Los resultados obtenidos en el grado en Ingeniería de Organización Industrial cuentan con mayor sesgo debido a que solamente fue posible administrar el cuestionario a los alumnos de primer año. Los examinandos provienen en un 84,6% de la especialidad de ciencias y tecnología en el bachillerato, un 10,3% de las ciencias de la salud y un 5,1% de otras opciones.

En la sentencia 1a (figura 30), un 35,9% achaca la fuerza de un ácido a la cantidad de protones que éste posea en su fórmula química. Al contrario, un 28,2%, consideró falsa esta afirmación. Un elevado 35,9% no sabe qué criterio permite comparar la fuerza de dos ácidos, no obstante, ningún estudiante dejó en blanco la respuesta.

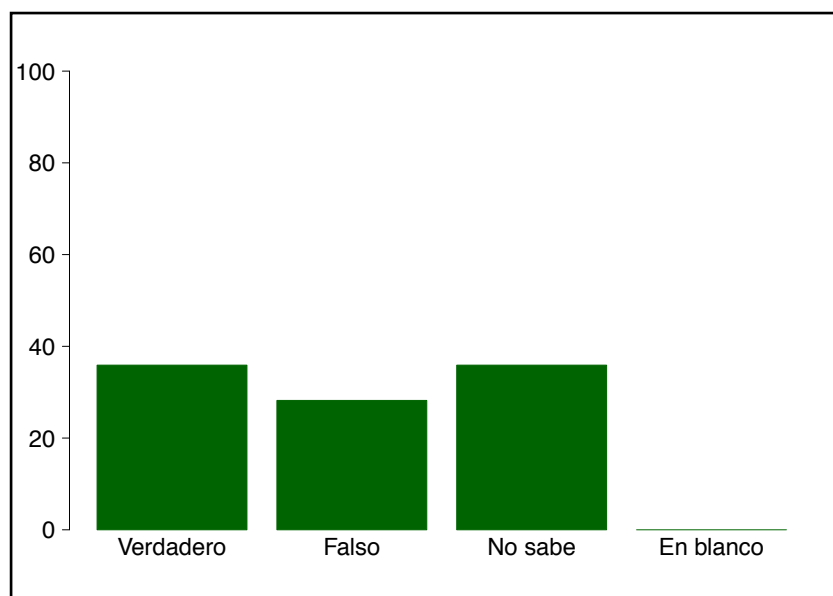


Figura 30. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

En la sentencia 1b (figura 31), se encontró que un destacado 51,3% cree que el criterio que permite comparar las fuerzas de las bases es la cantidad de grupos hidroxilos en su fórmula química, opuestamente, sólo un 10,3% cree que este criterio es falso. Un 38,5% no sabe qué responder y ningún examinando dejó en blanco la cuestión.

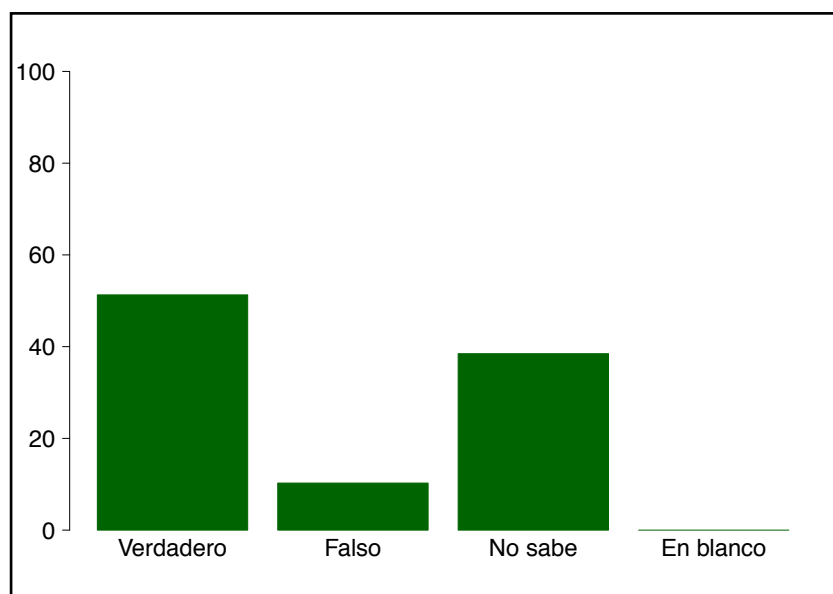


Figura 31. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

Por otro lado, en la sentencia 1c (figura 32), un importante 59% considera que el carácter fuerte o débil no es impedimento para que un ácido y una base puedan reaccionar. Contrariamente, existe un 17,9% que entiende que el carácter de estos compuestos sí comporta un obstáculo para su interacción y que por tanto esa reacción química no se produciría.

Por último, un 23,1% no sabe si el carácter de los ácidos y las bases es un impedimento para que pueda ocurrir entre ellos una reacción química. Se encontró además que ninguno de los sujetos examinados dejó la pregunta en blanco.

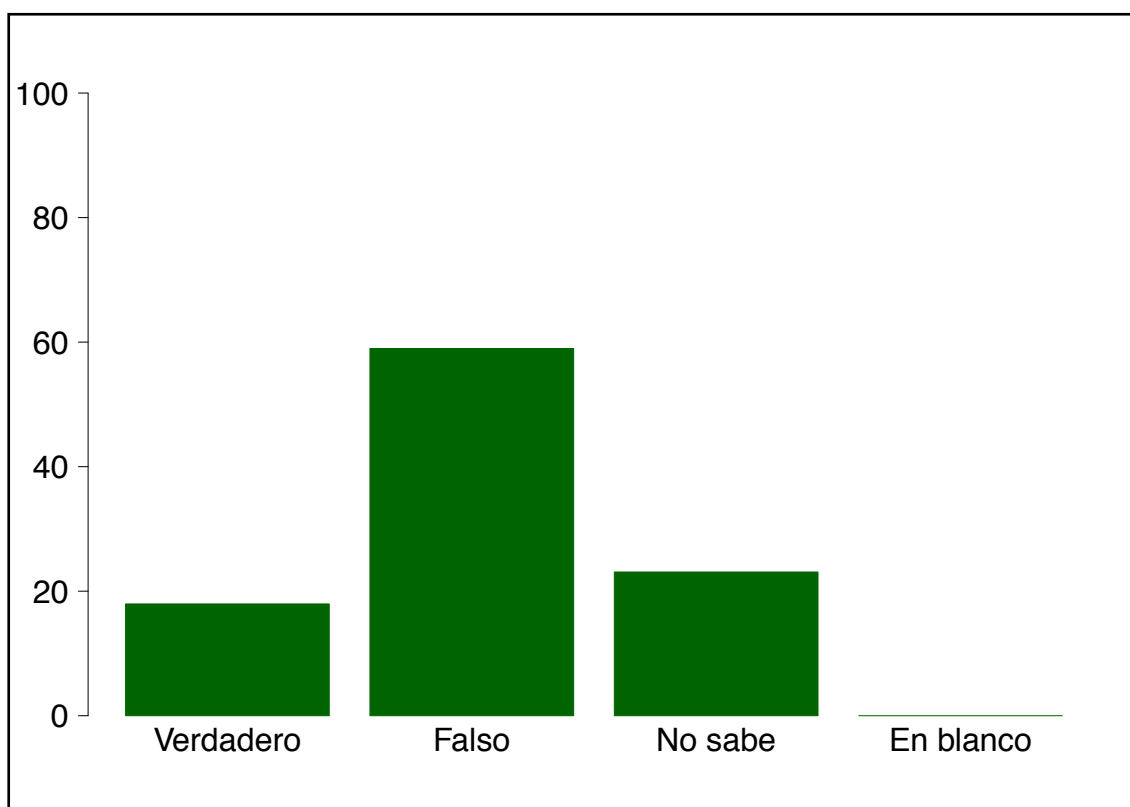


Figura 32. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

En la sentencia 1d seguimos con el problema inverso destacando el papel de una base fuerte, no obstante se obtienen resultados similares al inciso anterior. Así, en la figura 33 se observa que un elevado 53,8% que cree que una base

fuerte y un ácido débil pueden reaccionar sin dar importancia al carácter que posean.

Por otro lado, un 17,9% marca la opción por la que se muestra en desacuerdo con la afirmación precedente sobre la posibilidad de reacción de estos dos compuestos, dando a entender que su carácter constituye de alguna forma un impedimento a la reacción química. Un importante 28,2% no sabe y ninguno de los sujeto dejó en blanco la respuesta.

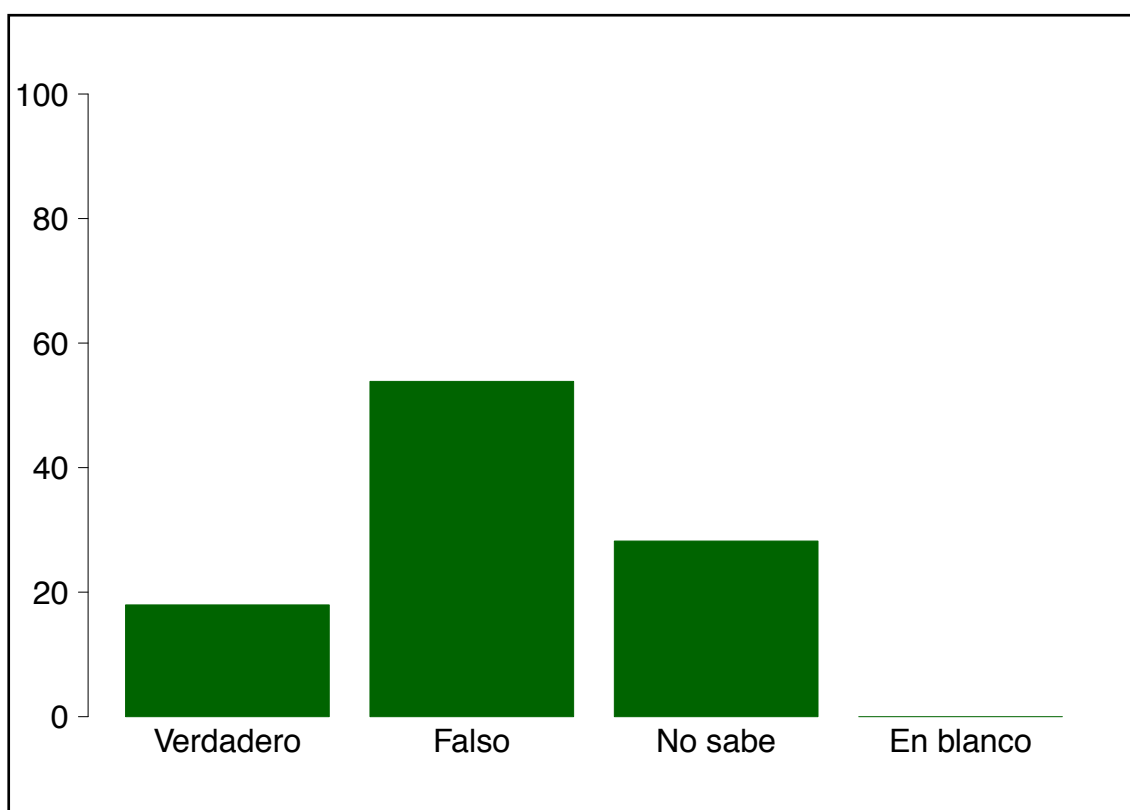


Figura 33. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

Se destaca la opción “no sé” en la sentencia 1e (figura 34), con un 43,6% junto a un 23,1% que piensa que los ácidos fuertes deben dar un valor de pH elevado frente a los ácidos débiles que deben dar un valor de pH más bajo. Este resultado es superado por un 28,2% que cree que es falsa la afirmación planteada y un 5,1% dejó en blanco la pregunta.

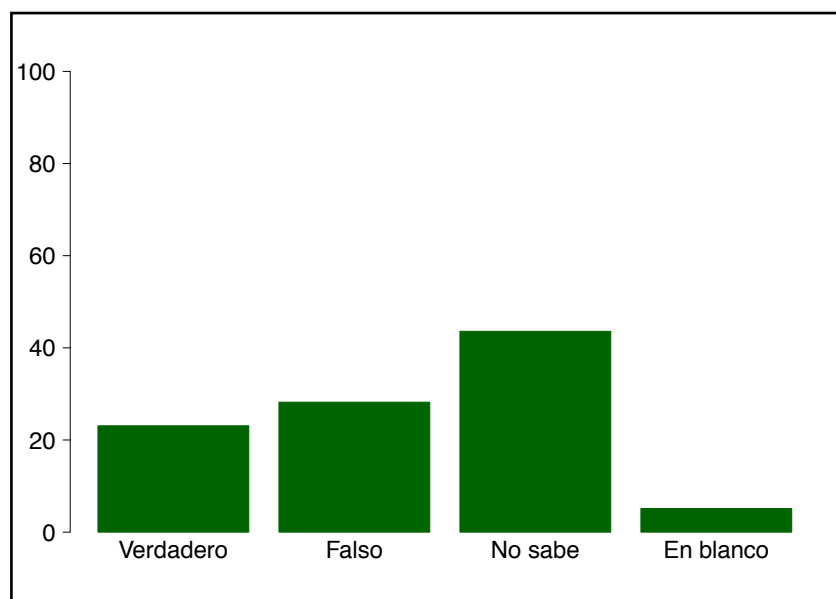


Figura 34. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

En cuanto a la percepción de la peligrosidad de los ácidos y las bases, vemos en la figura 35, que un 25,6% considera que solamente los ácidos podrían quemar la piel y las bases no, mientras que un 48,7% opina justamente lo contrario, admitiendo la posible peligrosidad de ambos compuestos. Un 23,1% no sabe y un 2,6% lo deja en blanco.

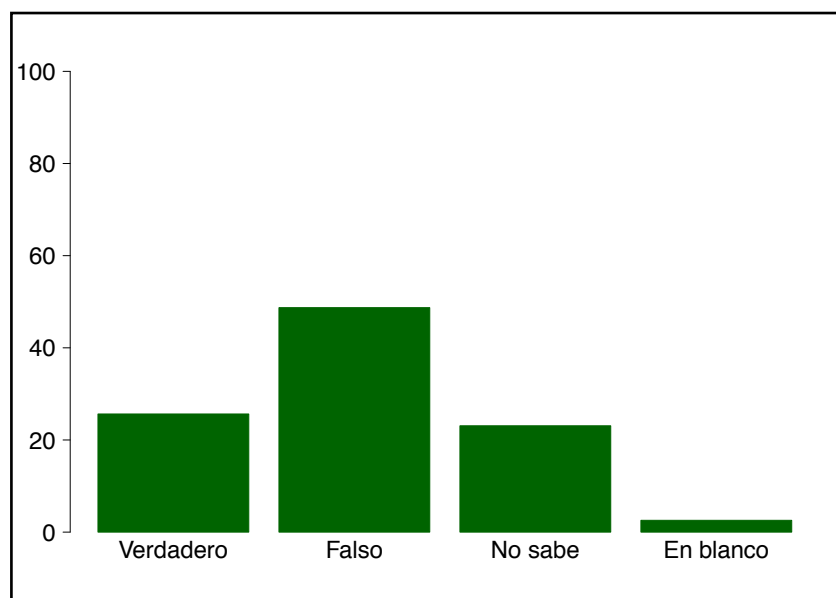


Figura 35. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Ya en el grado de Ingeniería Química habíamos observado cómo existía una presencia moderada al pensar como siempre neutro el carácter de las sales. Respecto al papel desempeñado por ellas en las reacciones ácido-base podemos, observar en el número de respuestas dadas a la sentencia 1g (figura 36), que un 15,4% entiende que las sales siempre son neutras y que jamás participarán en este tipo de reacciones.

No obstante, un 53,8% admite que las sales juegan un papel mucho más amplio. Además, un importante 23,1% no sabe qué rol juegan las sales en las reacciones ácido-base y un 7,7% prefiere dejar en blanco la respuesta.

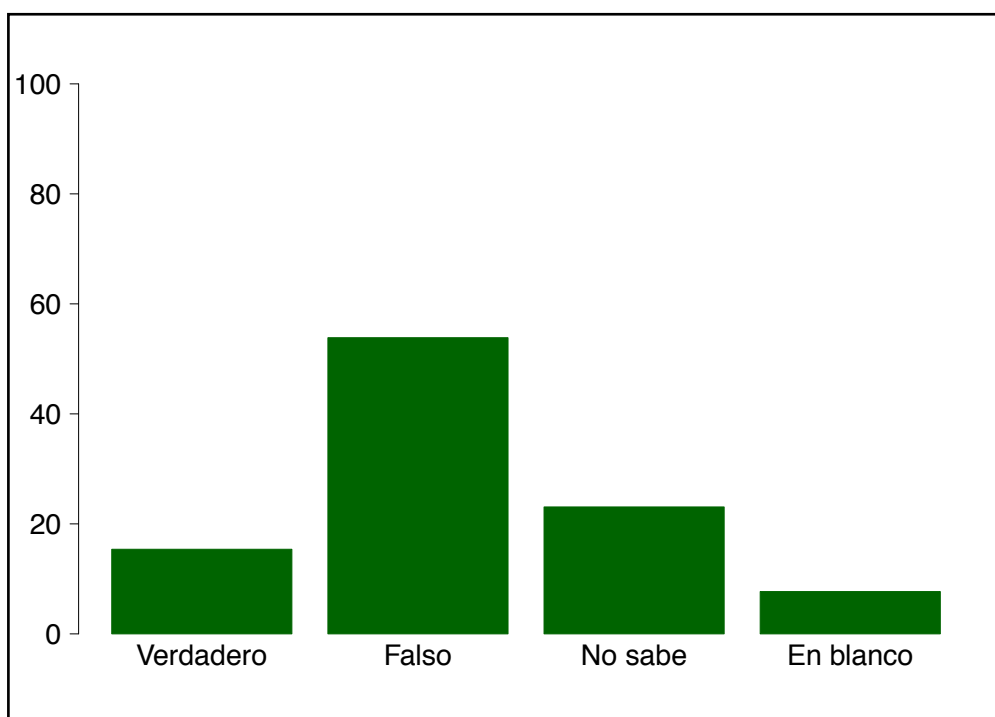


Figura 36. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

Sobre la utilización de la fórmula química para la clasificación de un compuesto, tenemos en la sentencia 1h (figura 37) que un 43,6% estima que la presencia de un grupo OH terminal indica que ese compuesto debe ser clasificado como base al contrario de un 33,3% que cree que el alcohol etílico no puede incluirse en ese grupo a causa de ese factor. Un 23,1%, no sabe cómo abordar esta afirmación.

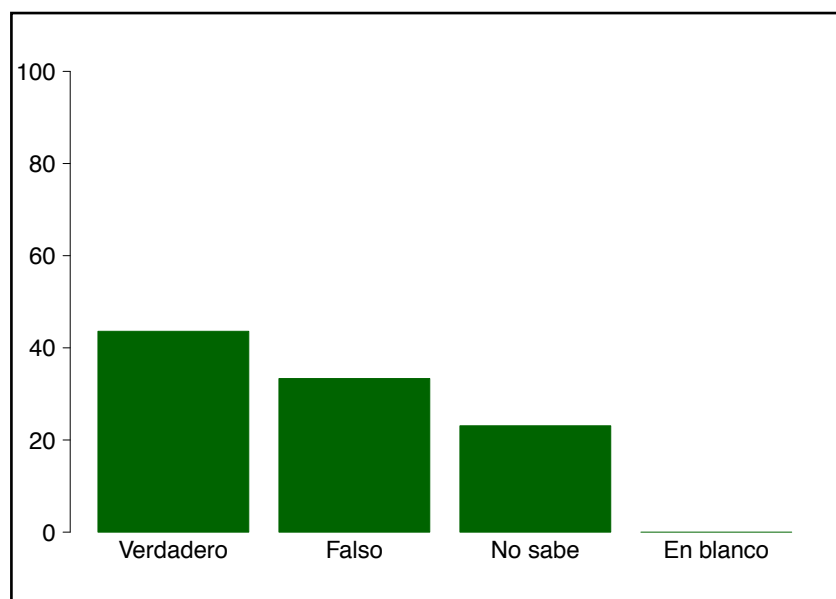


Figura 37. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

Se observa un viraje en la sentencia 1i (figura 38), cuando se evalúa el papel de la estructura en los ácidos, ya que ahora sólo un 17,9% cree que un compuesto es ácido por la mera presencia de protones en su estructura, frente a un 35,9% que considera lo contrario. Un elevado 43,6% no sabe si este criterio permite o no clasificar la sustancia mostrada como ácido y un 2,6% dejó en blanco el problema.

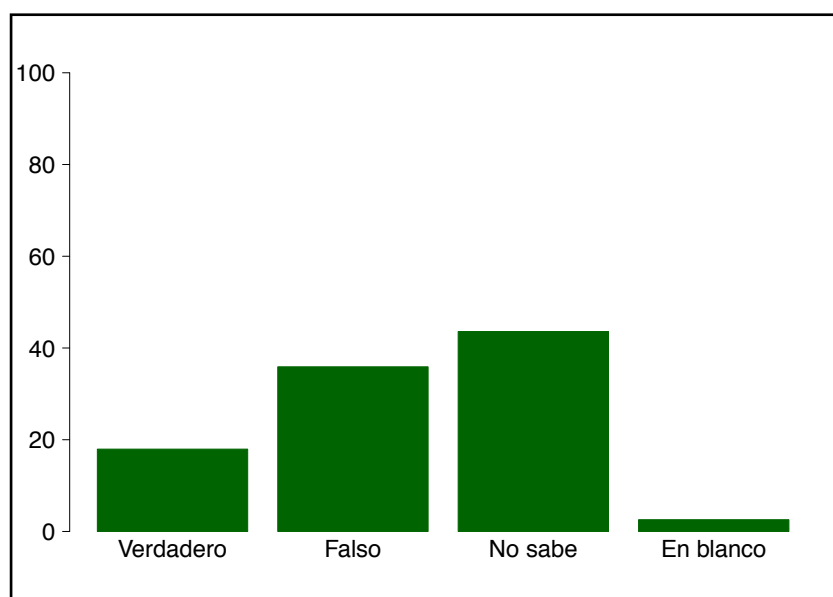


Figura 38. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

Se ha representado gráficamente los resultados, en cuanto a las respuestas de los estudiantes sobre el valor del pH neutro (a 298 K y 1 atm), para la sentencia 1j (figura 39). Así, los sujetos se inclinan por la respuesta correcta en una gran mayoría, concretamente un 74,4% que comprende que el valor de 5,5 no puede ser el valor del pH neutro.

Por el contrario, existe un 7,7% que cree que efectivamente este valor se corresponde con lo afirmado. Se encontró además que un importantísimo 17,9%, no sabe qué valor de pH debería corresponderse con la neutralidad para valores normales de presión y temperatura. Ninguno de los sujetos estudiados dejó de marcar opción alguna, por lo que queda en cero el porcentaje de blancos.

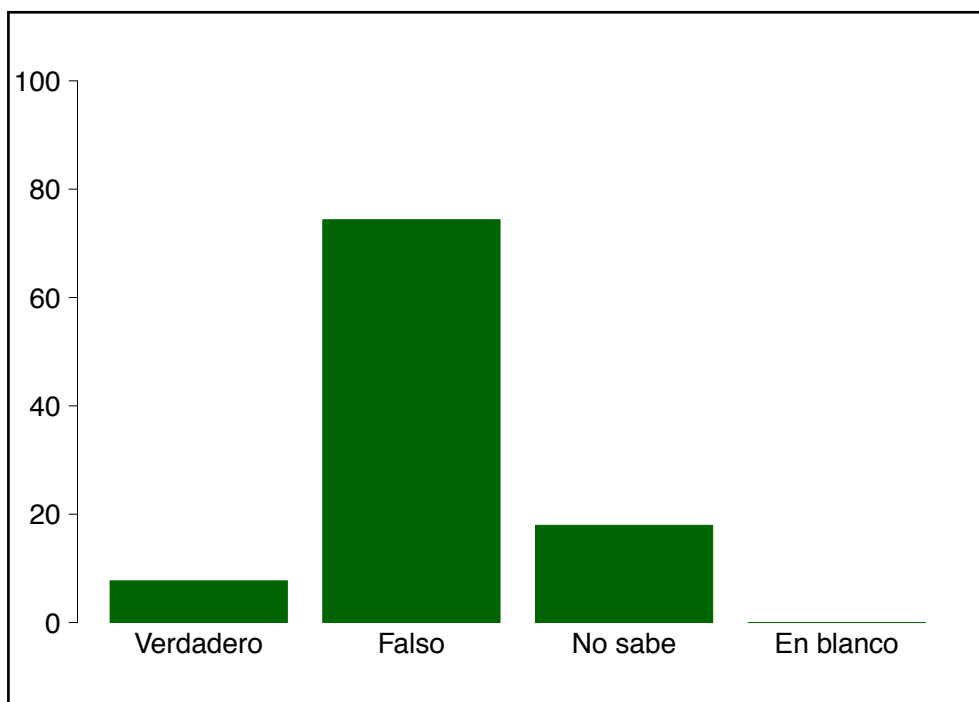


Figura 39. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

El valor controvertido de pH igual a cero se evalúa en la sentencia 1k (figura 40), encontrándose que un 23,1% piensa que a ese valor las sustancias han perdido su carácter ácido-base, frente a un importante 46,2% que considera estas dos cuestiones como independientes. El 28,2% no sabe qué ocurre a ese valor de la escala y un 2,6% no respondió.

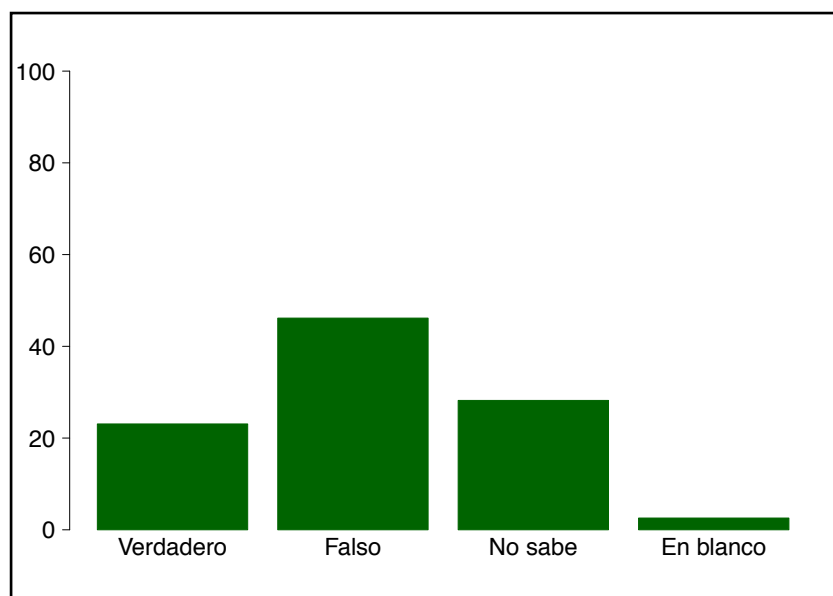


Figura 40. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Para finalizar, en la sentencia 1l (figura 41), las opciones de verdadero y falso quedaron empatadas, ambas con un 38,5% de alumnos que consideraron que el pH de la lluvia natural debe ser neutro y de los que creen lo contrario ampliando el rango de valores de pH posible de la lluvia natural. Un 23,1% no sabe y ninguno de los sujetos dejó en blanco la cuestión.

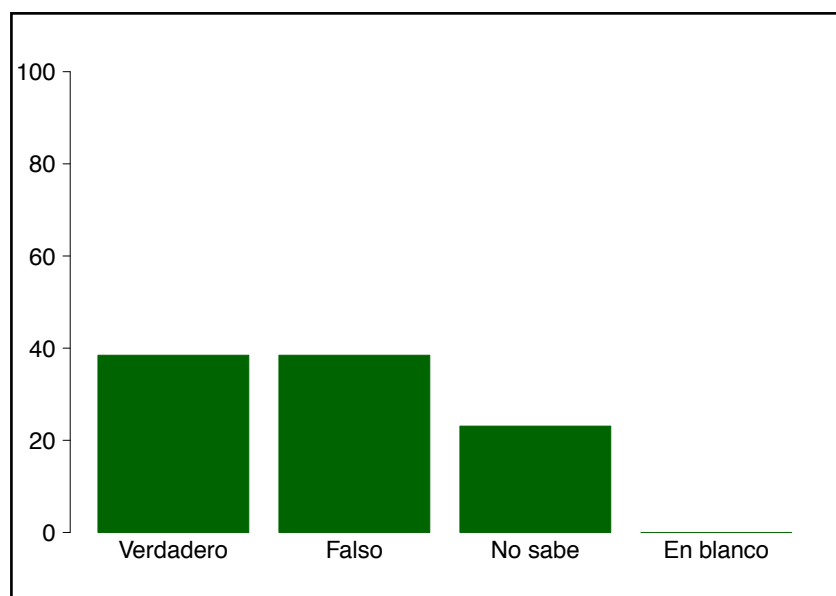


Figura 41. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).

A continuación, pasamos a la interpretación de la distribución de los porcentajes correspondientes a la sentencia 2a (figura 42), donde se analizará el rol del agua en la reacción de autoprotólisis, ya que el resto de apartados de esta pregunta, pasarán a ser estudiados en el bloque objetivo de interpretación de los dibujos generados por los sujetos mediante la teoría de las nociones/generalizaciones.

De la representación gráfica se obtiene que un 15,4% cree que el agua actuará sólo como base. De modo opuesto, el 10,3% piensa que sólo actuará como si fuera un ácido. Un importantísimo 41% cree que actuará como si fuera un ácido y una base simultáneamente, por consiguiente aceptando el carácter anfótero del agua. El 23,1% cree que como el agua es un disolvente, debe asumir un rol de espectador de su propia reacción y no puede participar ni como ácido ni como base. Finalmente un 10,3% no responde.

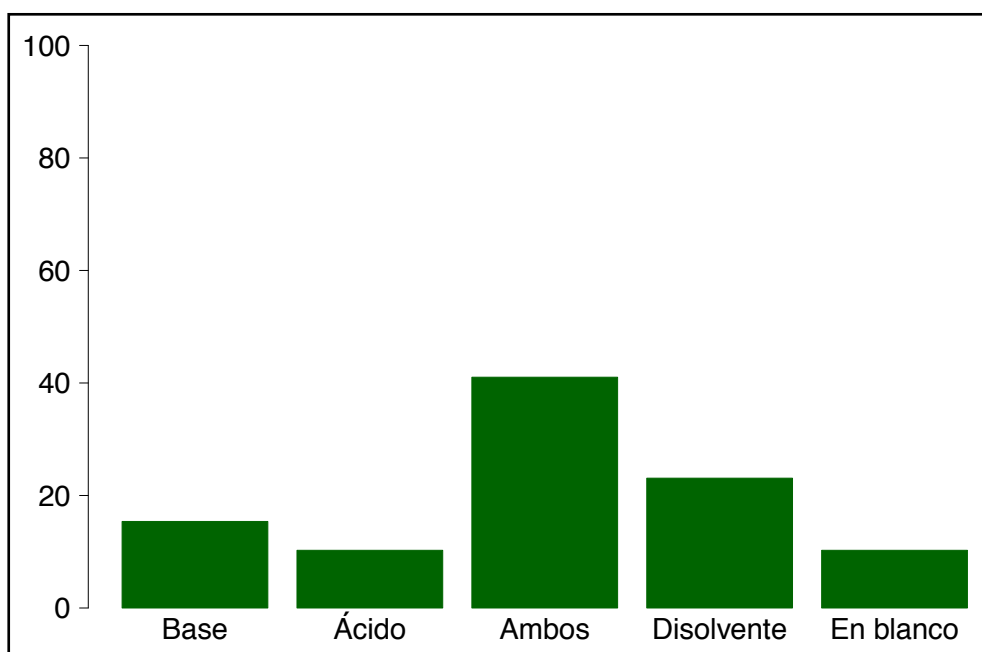


Figura 42. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

Para la sentencia 3 (figura 43), los porcentajes están un poco más concentrados que en la anterior cuestión, así para el carácter ácido-base de los suelos un 51,3% acepta que pueden ser básicos, ácidos o neutros, un 2,6%

que los suelos no pueden ser ácidos, un 5,1% que no pueden ser básicos, un 23,1% que deben se estrictamente neutros y un 17,9% que lo deja en blanco.

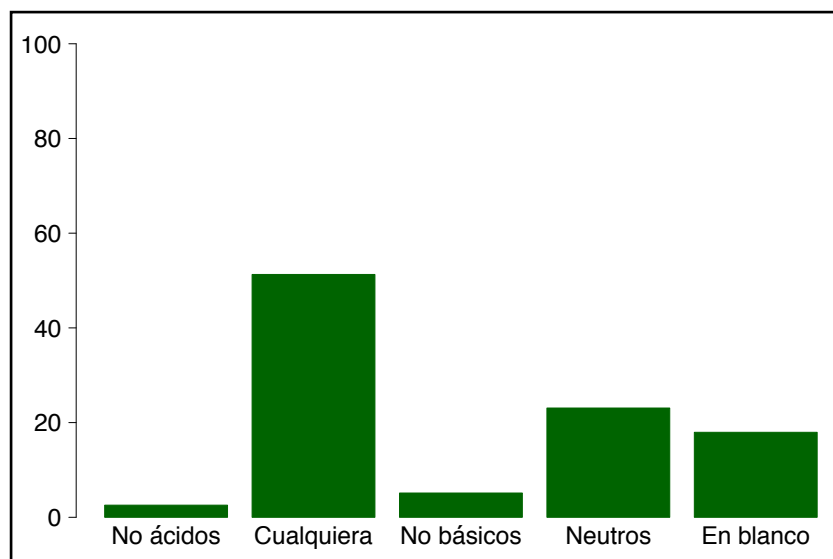


Figura 43. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

En la clasificación de sustancias cotidianas dado en la sentencia 4a, se observa (figura 44), que un 51,3% incluye a la lejía entre los ácidos frente a un 33,3% que la incluye entre las bases. Otro 15,4% deja en blanco la pregunta.

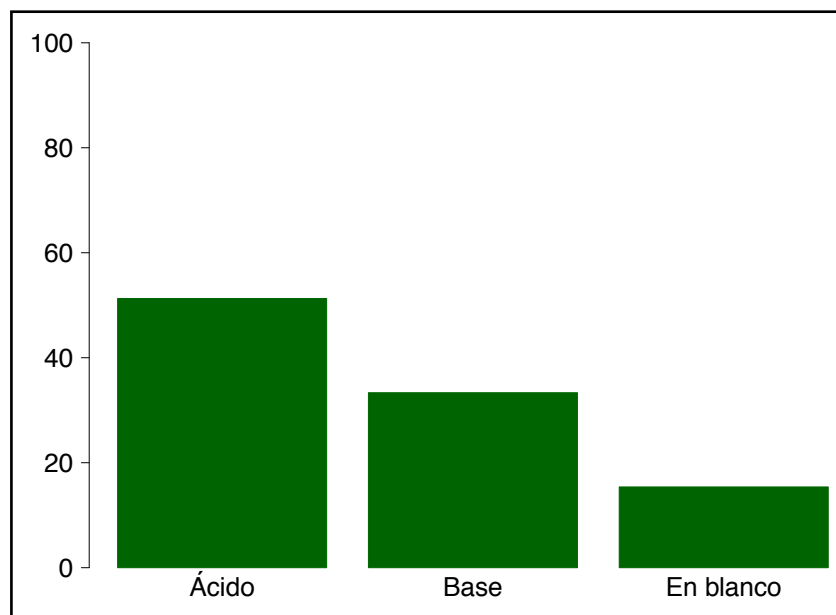


Figura 44. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

Por otro lado, en la sentencia 4b (figura 45), parecen decantarse los alumnos por la opción clasificatoria de la base con un 56,4% para el caso de la sosa cáustica frente a un 30,8% que la clasifica como ácido. Un 12,8% no sabe cómo clasificar esta sustancia y no responde.

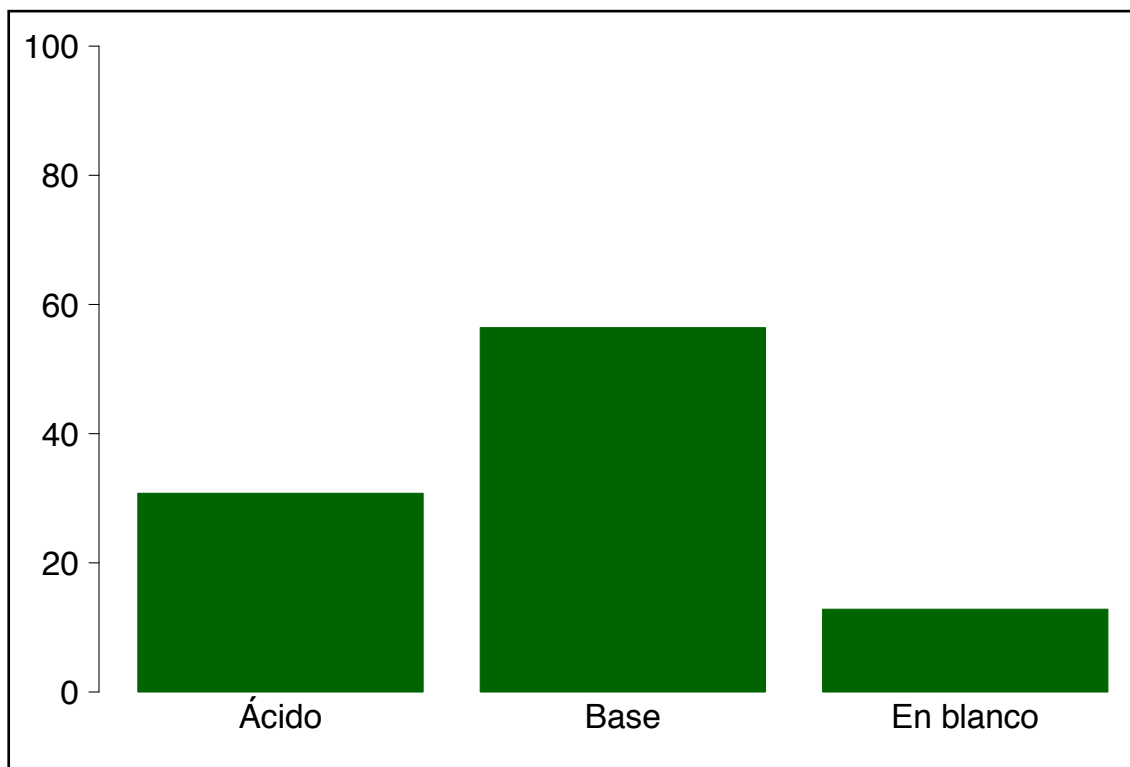


Figura 45. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

Seguidamente, pasamos a la sentencia 5a (figura 46), donde nos proponemos estudiar las ideas sobre el pH final en las neutralizaciones ácido-base, aparece que los porcentajes están muy repartidos entre las opciones dadas a los examinandos.

De esta manera, ocurrió que un 30,8% considera que el pH final de toda neutralización ácido-base debe ser el valor siete, sin importar el carácter fuerte o débil de los compuestos participantes. No obstante, un 33,3%, si considera la posibilidad de otros valores de pH distintos del mencionado para el punto final de una neutralización, un importantísimo 33,3% no sabe sobre esta cuestión y un 2,6% no responde.

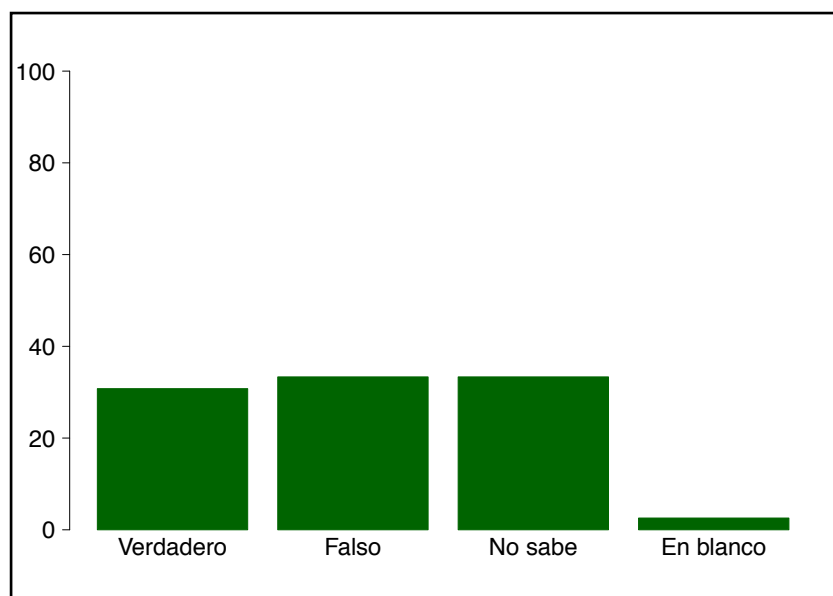


Figura 46. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

Los resultados obtenidos para la sentencia 5b (figura 47), nos permite observar que un 15,4% ha admitido que los indicadores producen la reacción ácido-base. Opuestamente, aparece un 38,5% que es capaz de comprender que esto no es cierto. Un destacado 43,6% no sabe que rol juega un indicador ácido-base junto a un 2,6% deja en blanco la respuesta porque tampoco están seguros de qué tipo de participación es la que desempeñan estos compuestos.

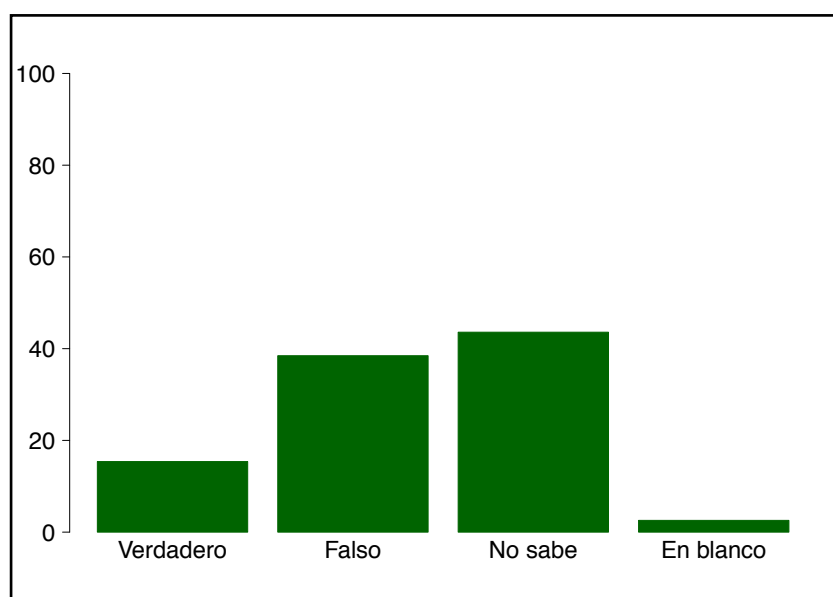


Figura 47. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Por último, en la sentencia 5c (figura 48), un 33,3% concluye que el cambio de color de un indicador se produce a un valor de pH único y específico al contrario que un 30,8% que admite la posibilidad de un intervalo. Un 33,3% no sabe cómo se produce el cambio de color y un escaso 2,6% no sabe qué responder y por ello deja en blanco la pregunta.

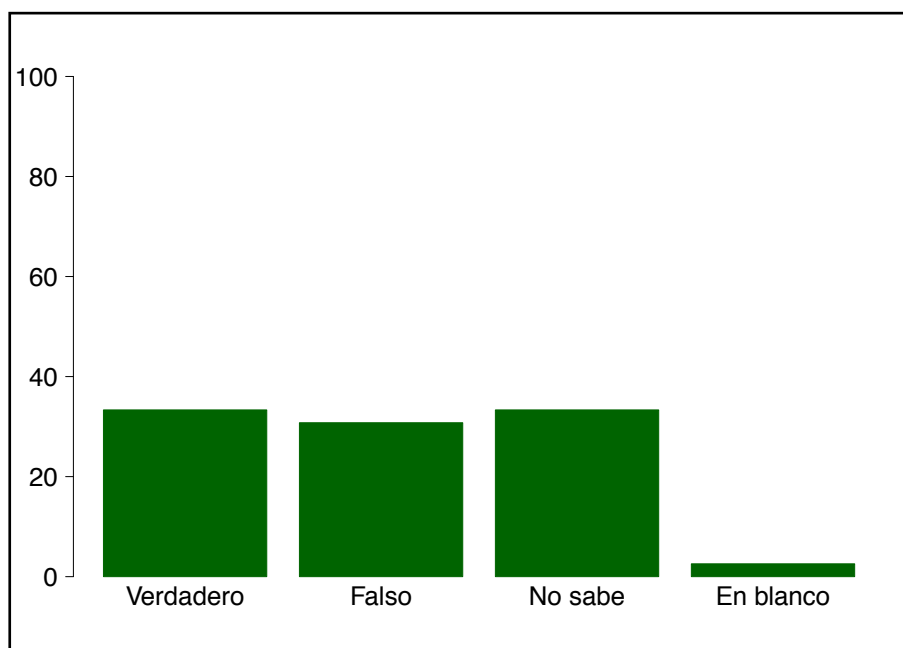


Figura 48. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

A continuación se muestra un resumen del conocimiento precedente encontrado (tabla 24), así como el porcentaje asignado que permite su clasificación posterior.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	35,9	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	51,3	Elevada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan.	17,9	Moderada
Base fuerte y ácido débil no reaccionan.	17,9	Moderada

Tabla 24. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles.	23,1	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases.	25,6	Moderada
Sal siempre neutra.	15,4	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base.	43,6	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido.	17,9	Moderada
5,5 es pH neutro.	7,7	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases.	23,1	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro.	38,5	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente.	23,1	Moderada
Los suelos son solamente neutros.	23,1	Moderada
La lejía es un ácido.	51,3	Elevada
La sosa cáustica es un ácido.	30,8	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7.	30,8	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización.	15,4	Moderada
El cambio de color es a un pH único y específico.	33,3	Moderada

Tabla 24 (continuación). Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ingeniería de Organización Industrial.

4.1.3. Grado en Ciencias del Mar.

En el grado de Ciencias del Mar fue posible muestrear el máximo de cursos de todos los grados estudiados. Así, se administró el cuestionario a los alumnos de primer, segundo, tercer y cuarto curso con la excepción de quinto. Por tanto nos enfrentamos al análisis con menor sesgo de todos los que se realizaron, no obstante, esto no libera de posibles sesgos como lo es el introducido a causa de la mayor cantidad de sujetos de cursos inferiores (1º y 2º) que de superiores (3º y 4º). Los examinandos de esta muestra provienen en un 47,2% de la especialidad de ciencias y tecnología del bachillerato mientras que un 45,4% lo hace de la especialidad de ciencias de la salud; un 7,4% viene de otras especialidades.

Contando con esto y dentro del subgrupo que evalúa la fortaleza o debilidad de ácidos y bases tenemos que para la sentencia 1a (figura 49), podemos observar como un 56,5% considera que el número de protones presentes en la estructura de los ácidos determina su fuerza, lo cual permite compararlo, contrariamente a un 28,7% que no acepta este criterio como determinante. Un 11,6% no sabe qué determina la posibilidad de comparar la fortaleza de dos ácidos y un 3,2% deja la pregunta en blanco.

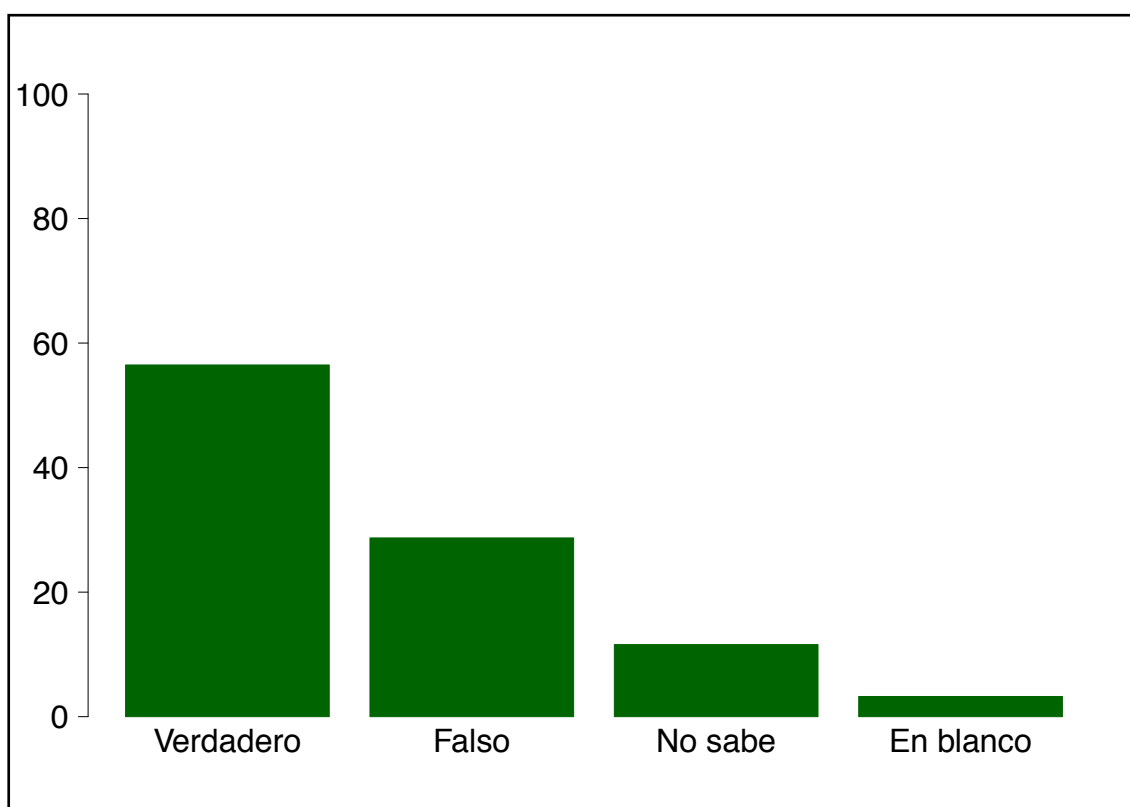


Figura 49. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

En la representación gráfica de la sentencia 1b (figura 50), que evalúa exactamente lo mismo para las bases, se observa un comportamiento similar por el cual un 59,3% plantea que se podrá comparar la fortaleza de dos bases mediante el número de grupos OH que forman parte de su estructura química, determinando así cuál es más fuerte que la otra, sin embargo, un 22,2% tomó esta afirmación como falsa mientras que un elevado 15,7% no sabe qué considerar respecto a esta cuestión y un 2,8% la dejó en blanco.

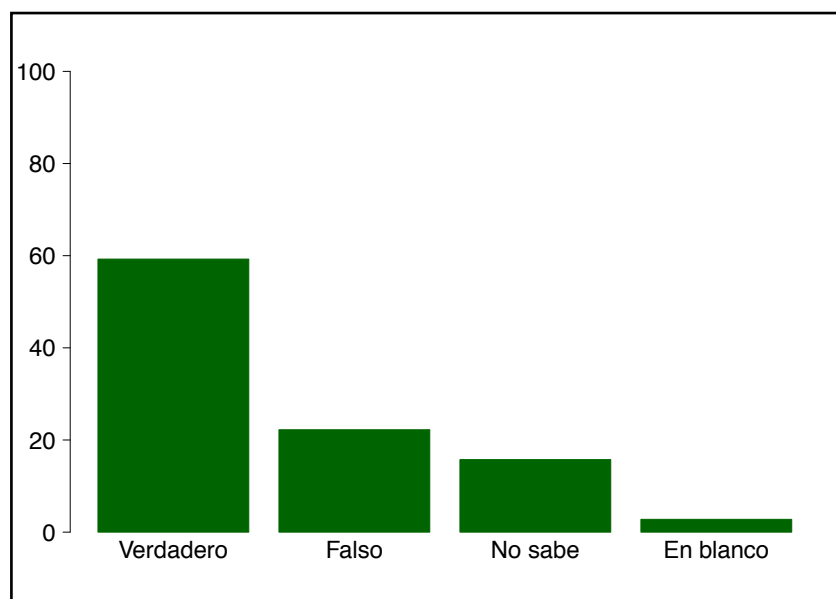


Figura 50. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

La sentencia 1c (figura 51), muestra gráficamente que un abrumador 84,3% considera posible la reacción entre un ácido y una base sin importar el carácter de su fortaleza o debilidad mientras que un escaso 5,1% piensa lo contrario. Un 7,9% no sabe si un ácido fuerte y una base débil pueden reaccionar y un 2,8% no cumplimenta la pregunta.

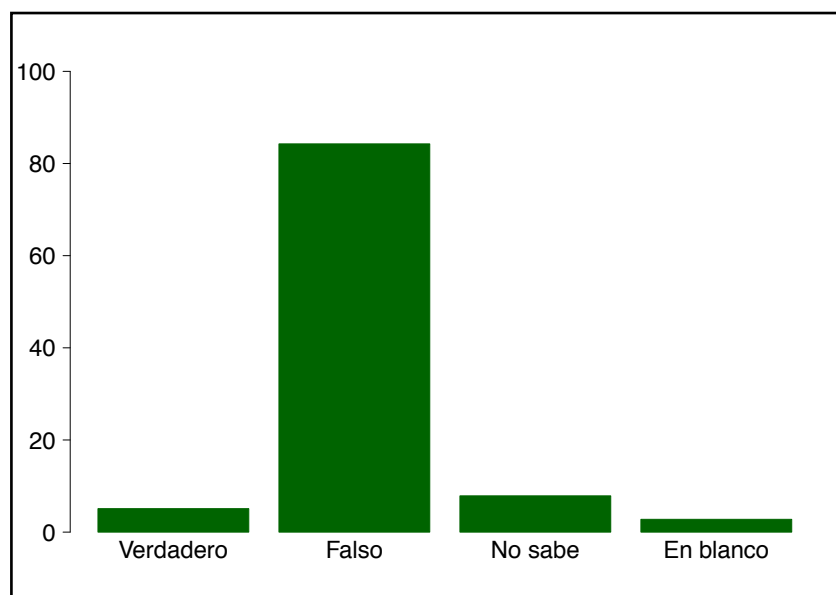


Figura 51. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

En la figura 52, tenemos el mismo comportamiento que para la anterior, así un 75,5% acepta la posibilidad de que una base fuerte y un ácido débil reaccionen a pesar de que un 10,6% no acepta esa posibilidad. Un 8,3% no sabe si es posible que esta reacción se produzca mientras que un 5,6% deja la pregunta en blanco.

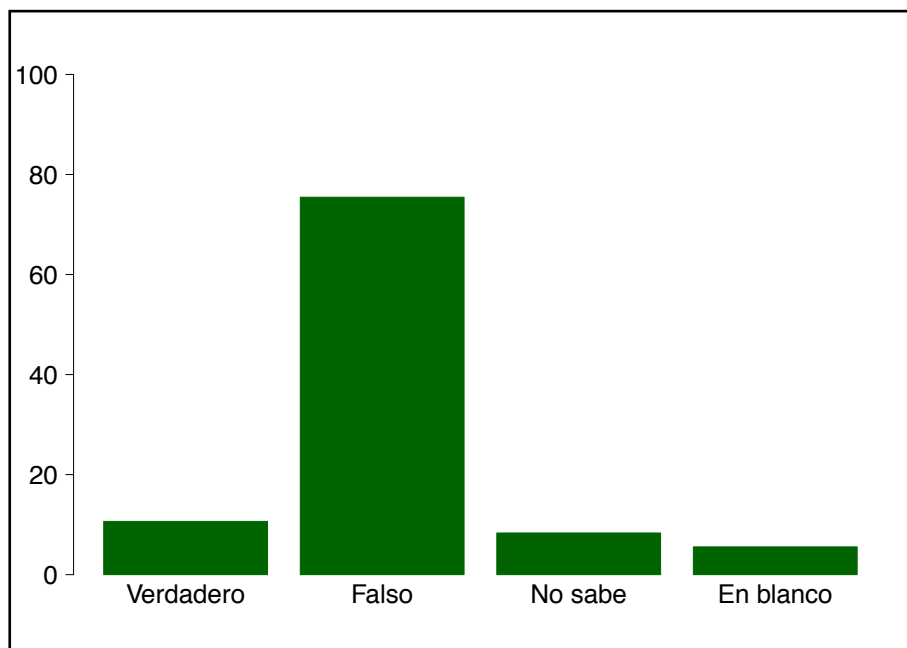


Figura 52. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

La sentencia 1e (figura 53), recoge gráficamente como un 43,5% de los estudiantes cree que un ácido fuerte en disolución acuosa da lugar a un pH mucho mayor que un ácido débil.

Esta observación de los datos vuelve a reforzar la idea descrita en el grado de ingeniería química, donde quedó aparecía la posibilidad de que los alumnos pensarán en una relación directa entre la variable pH y los valores de la escala a la que da lugar, en vez de manera inversa como le correspondería. Luego, gráficamente se muestra que un 37,5% considera falsa esta afirmación por lo que quizás estos alumnos comprenden que el valor de pH medido en una disolución no depende sólo del carácter del ácido, sino de la concentración en que éstos se hallen. Por otro lado, un importante 15,7% no sabe qué ocurre y un 3,2% que deja lo deja en blanco.

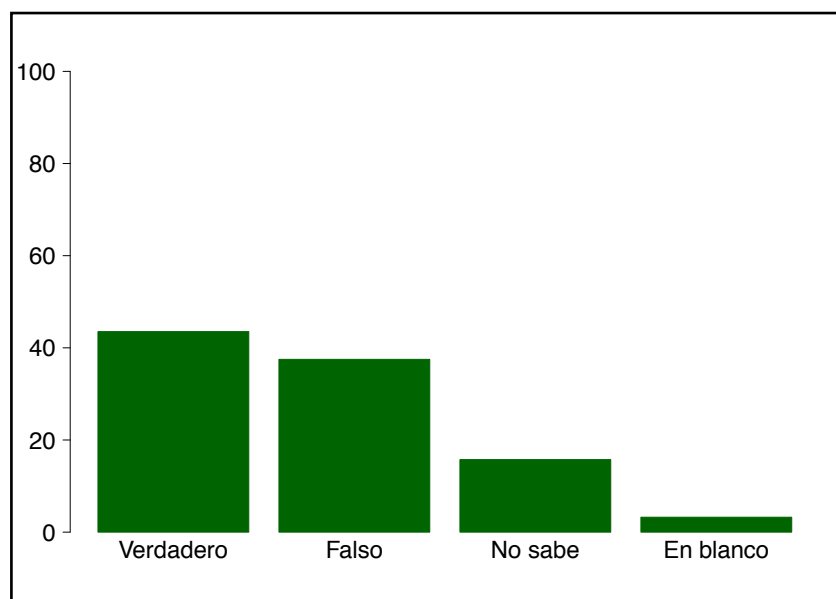


Figura 53. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

En la sentencia 1f (figura 54) tenemos que un 28,2% considera verdadero que son los ácidos quienes dañan la piel mientras que un importante 54,2% entiende que es falsa dicha afirmación. Un elevado 14,8% indica que no sabe qué riesgos para la piel ofrecen los ácidos y las bases, mientras que un 2,8% dejó en blanco la cuestión.

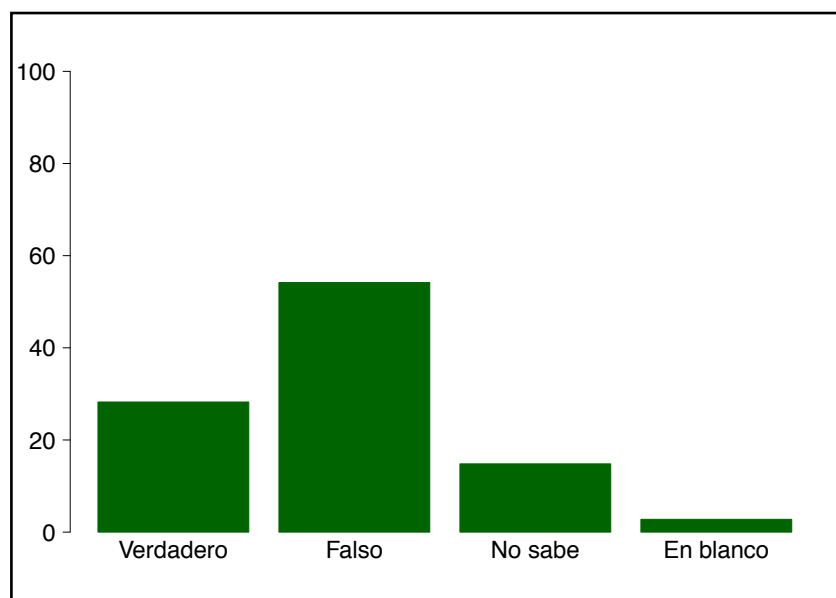


Figura 54. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Sobre el tema del comportamiento salino, en la gráfica de la sentencia 1g (figura 55), se obtiene que un 20,8% considera las sales siempre neutras y que nunca participarán en reacciones ácido-base, al contrario que un elevado 60,2%, que sí comprende que las sales pueden tener los tres tipos de carácter ácido-base. Un destacado 16,7% no sabe si las sales deben ser estrictamente neutras o no, mientras que un 2,3% no marca opción.

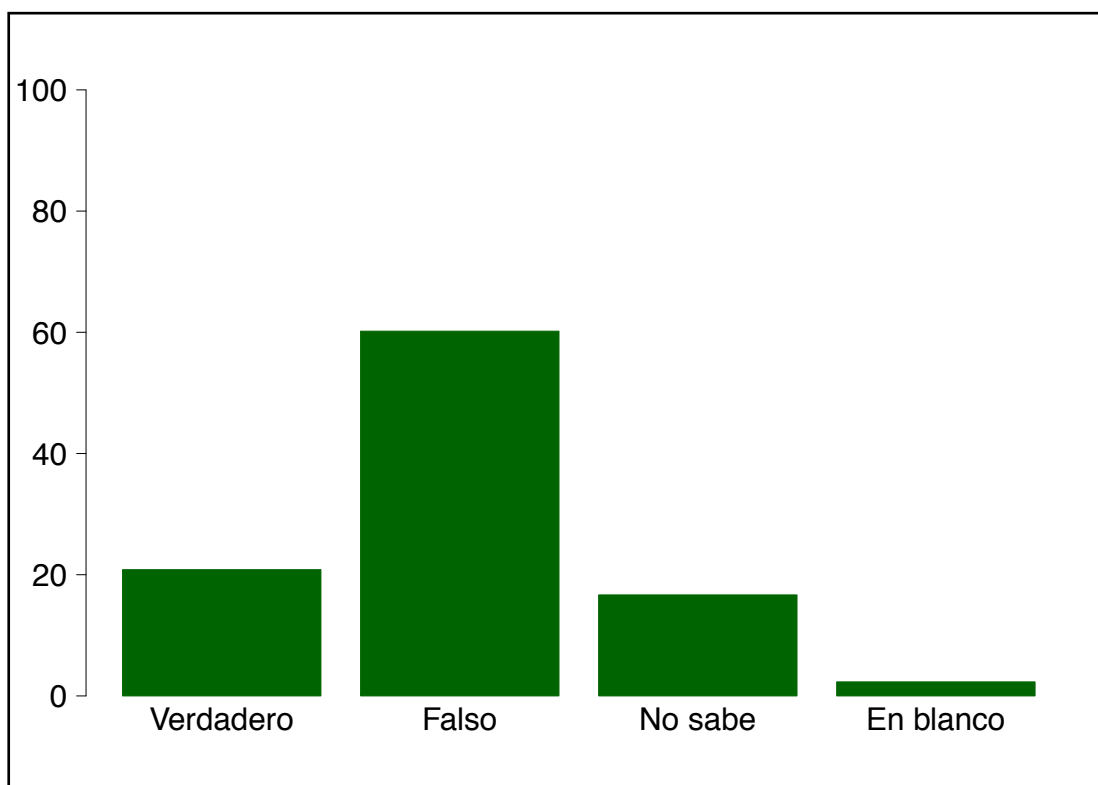


Figura 55. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

Para la sentencia 1h (figura 56), un 43,5% entiende que la presencia o ausencia del grupo OH en un compuesto químico marca su clasificación como base, criterio clasificatorio incompleto que, como ya se había comentado anteriormente, parece derivarse de una interpretación simple de la teoría de Arrhenius. Por otra parte, un 37% no toma como rasgo de valor informativo la presencia de este grupo en una fórmula química por lo que saben que el alcohol etílico no tiene que ser una base y amplían en cierto sentido los criterios para conformar el grupo de las bases. Un llamativo 15,3% no sabe si la presencia de un grupo OH es determinante para la clasificación de una base y un 4,2% lo deja en blanco.

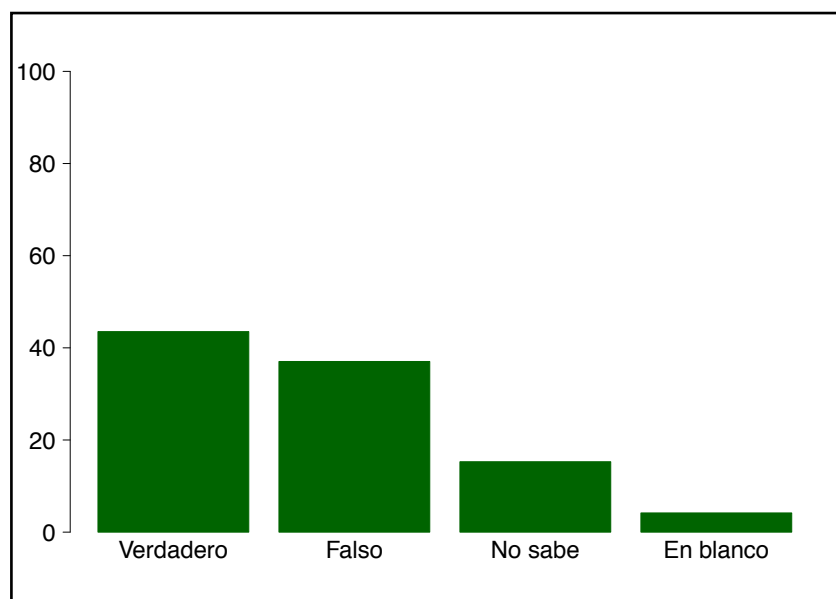


Figura 56. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

La sentencia 1i (figura 57), describe cómo un importante 30,1%, admite que la presencia de protones en la estructura de un compuesto marca su inclusión en los ácidos. Al contrario, un 54,6% advierte que este criterio no es suficiente. Un importante 13% indica que no sabe si este criterio permite o no la clasificación del compuesto mostrado mientras que un 2,3% opta por dejar en blanco la pregunta.

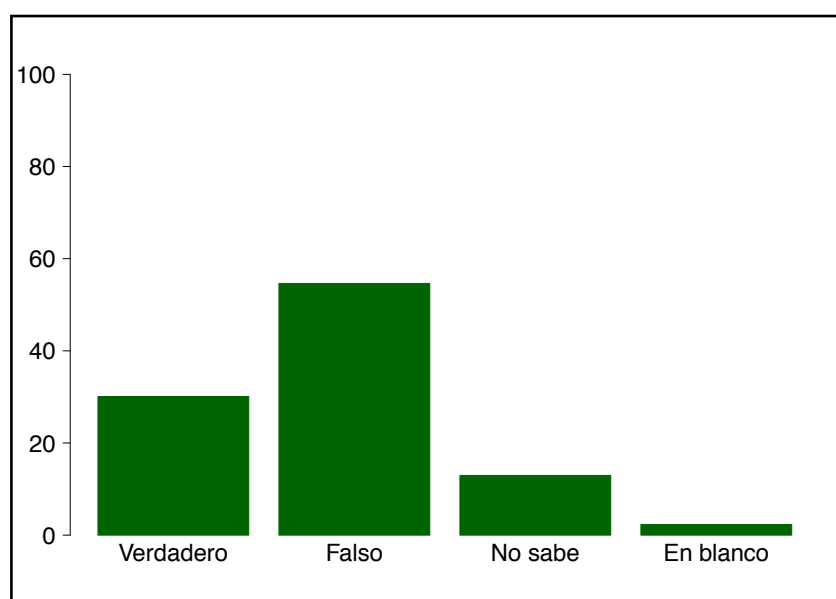


Figura 57. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

Pasando al estudio de la escala de pH y sus valores observamos gráficamente para la sentencia 1j (figura 58), que al igual que los alumnos de Ingeniería Química, un elevadísimo 94,4% se decanta por mencionar que 5,5 no es el pH neutro frente a un 4,6% que si marca esa opción. Ningún sujeto dejó en blanco la pregunta y solamente un 0,9% no supo qué contestar.

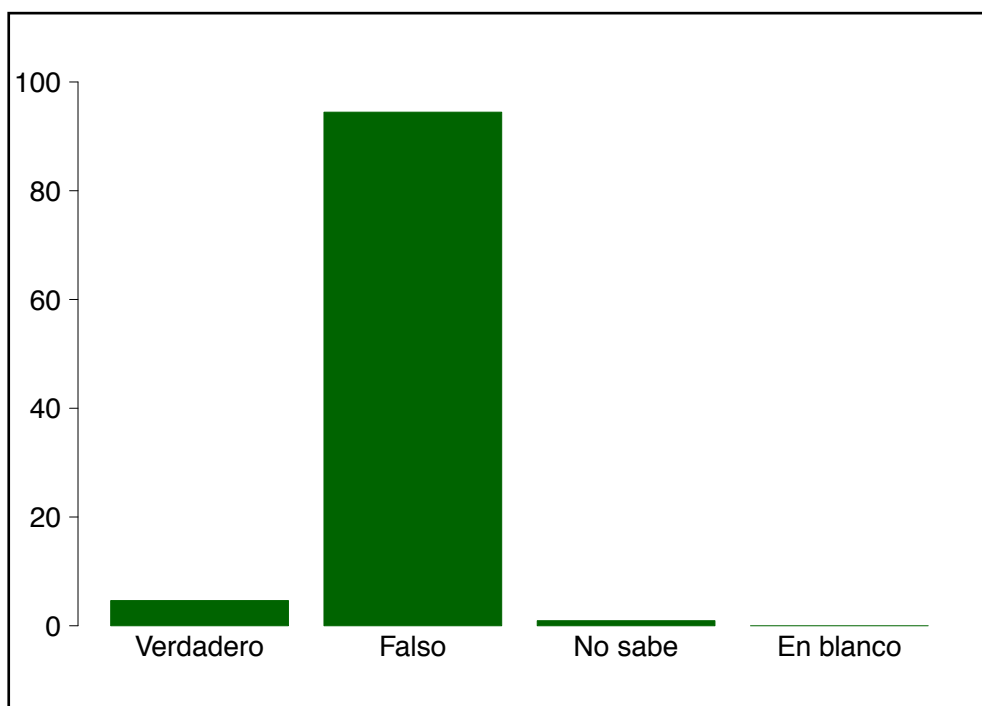


Figura 58. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

En este mismo subgrupo, para la representación gráfica correspondiente a la sentencia 1k (figura 59), se obtuvo que un 75,5% optó por comprender que el carácter ácido-base de las sustancias no está relacionado o delimitado por el valor que tome la variable pH en la disolución sino por otros aspectos, por ello consideró falsa la afirmación presentada. Es cierto que la concentración de protones actúa sobre el equilibrio, dando lugar a especies más favorecidas que otras, como en el caso del ácido poliprótico presentado en la pregunta nueve, pero no es indicador del carácter de una sustancia. Por otra parte, un 12,5% pensó que efectivamente a pH cero las sustancias pierden su carácter ácido-base. Un 10,2% no sabe qué ocurre a ese valor de la escala de pH que ya era controvertido para algunos estudiantes, mientras que un 1,9% optó por no marcar ninguna de las opciones.

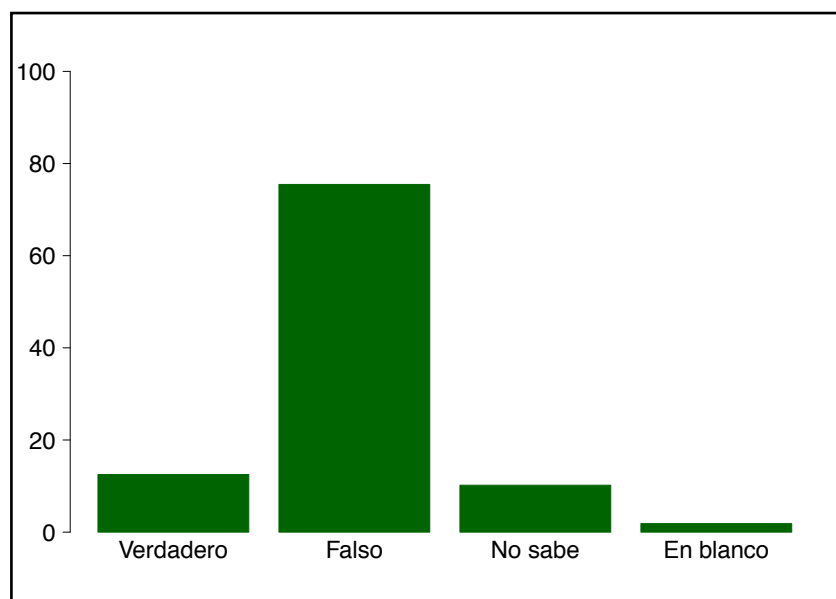


Figura 59. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Finalmente, ocurre que en la sentencia 1l (figura 60), un 35,2% opta por la idea de que el pH de la lluvia natural debe ser específicamente neutro por oposición a un 43,5% que considera que pueden haber otras opciones del valor de la escala de pH . Un importantísimo 18,5% no sabe qué tipo de pH puede tener la lluvia natural y un 2,8% decide dejar en blanco la pregunta.

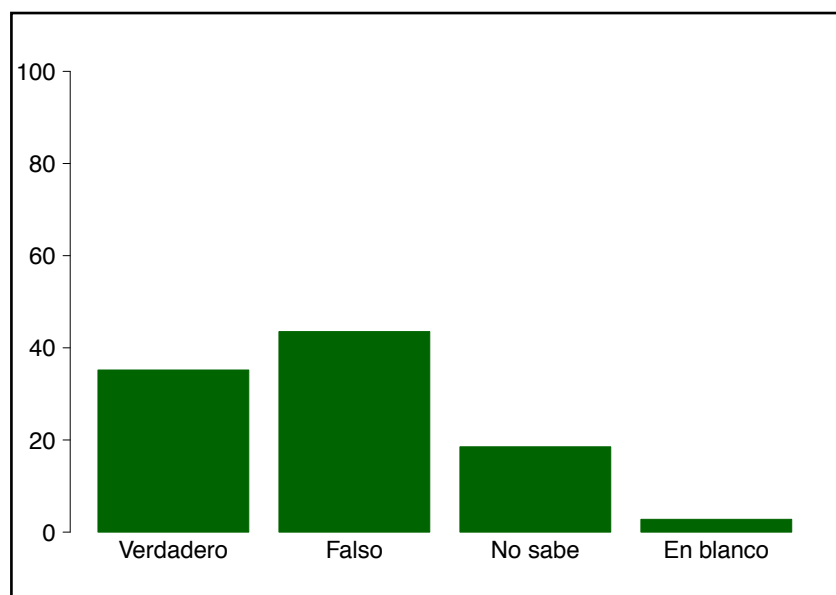


Figura 60. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).

Pasamos al análisis de la pregunta 2, donde nos ocuparemos sólo del apartado **a**, ya que el resto se examinará en el bloque de la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua. Por tanto, para la gráfica correspondiente a la sentencia 2a (figura 61) nos muestra que existe un empate entre las opciones que consideran que el agua actúa sólo como ácido y la que actúa sólo como base, ambas con un bajísimo 2,8%. Por otro lado, otro empate entre los sujetos que consideraron que el agua es ácido y base simultáneamente y lo que piensan que siendo un disolvente no puede actuar ni como ácido ni como base, con un 44,4% respectivamente. Por último un 5,6% no marca opción dejando en blanco la pregunta.

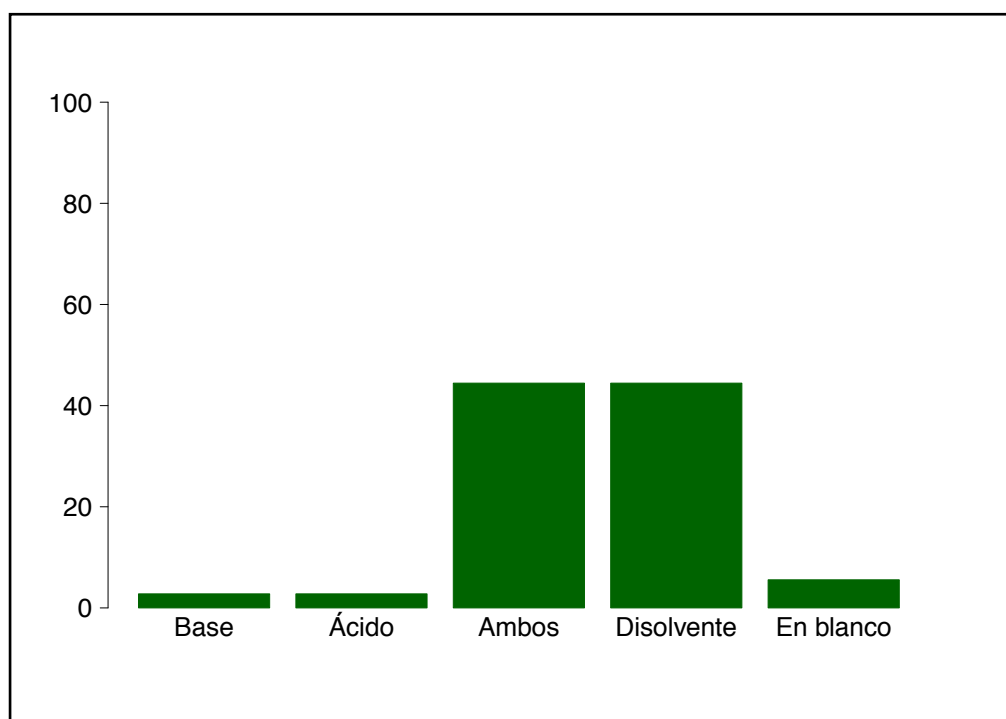


Figura 61. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

Para el análisis del carácter ácido-base de los suelos, tenemos los resultados de la sentencia 3 (figura 62), donde un destacado 83,8% entiende que los éstos pueden ser ácidos, básicos o neutros. Mientras, se observó que un escaso 1,9% ha determinado que los suelos no pueden ser ácidos. A su vez, un 2,3% ha pensado que no pueden ser básicos, un 7,4% que deben ser estrictamente neutros y un 4,6% optó por no marcar opción, dejando así la pregunta en blanco.

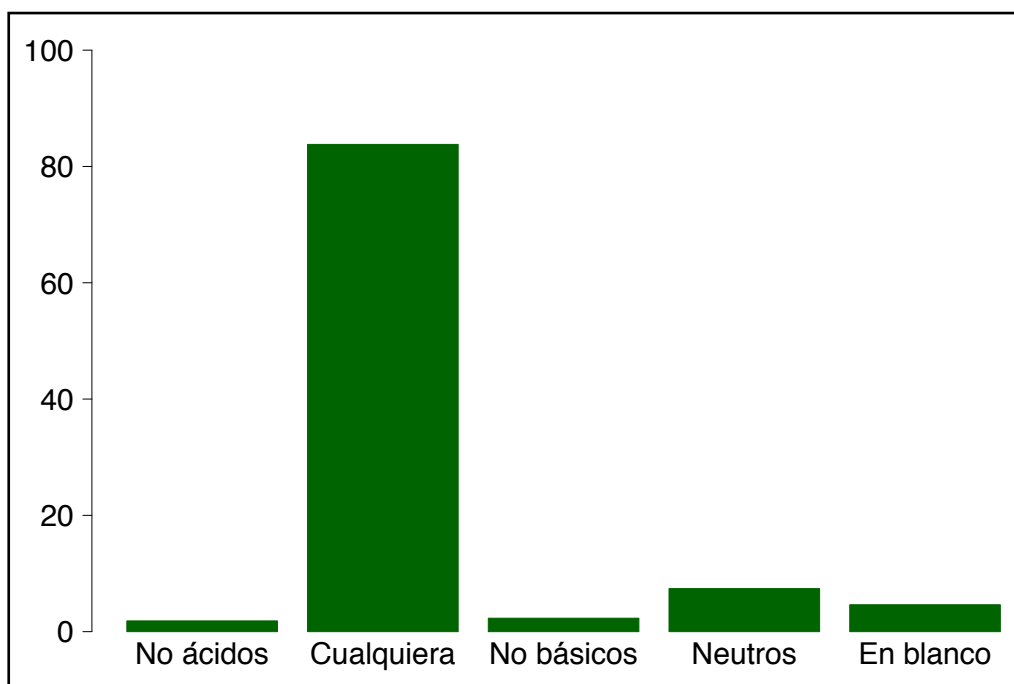


Figura 62. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

Continuamos con la sentencia 4a (figura 63), sobre el análisis de la clasificación de sustancias cotidianas, así un 64,4% la ha clasificado como ácido, al contrario de un 31% que realiza la clasificación en el grupo contrario, considerándola una base. Un 4,6% no responde dejando la pregunta en blanco.

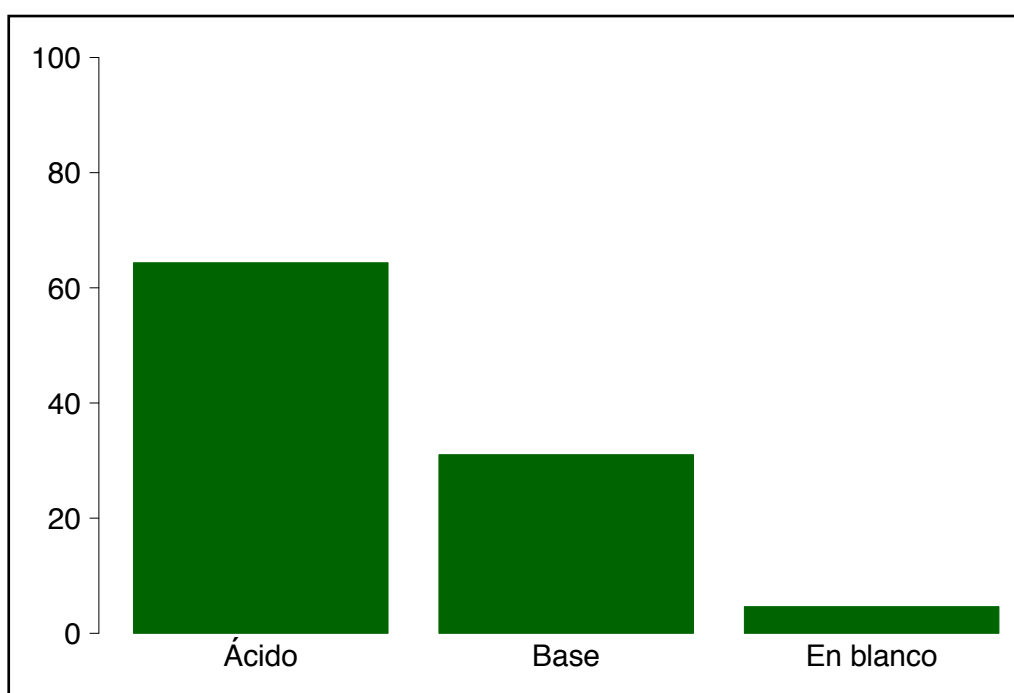


Figura 63. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

Ahora bien, para la sentencia 4b (figura 64), la balanza se inclina hacia el lado contrario, ya que un 78,2% indica que la sosa cáustica es una base al contrario que el 17,1% que la clasifica como ácido. Un 4,6% la deja en blanco.

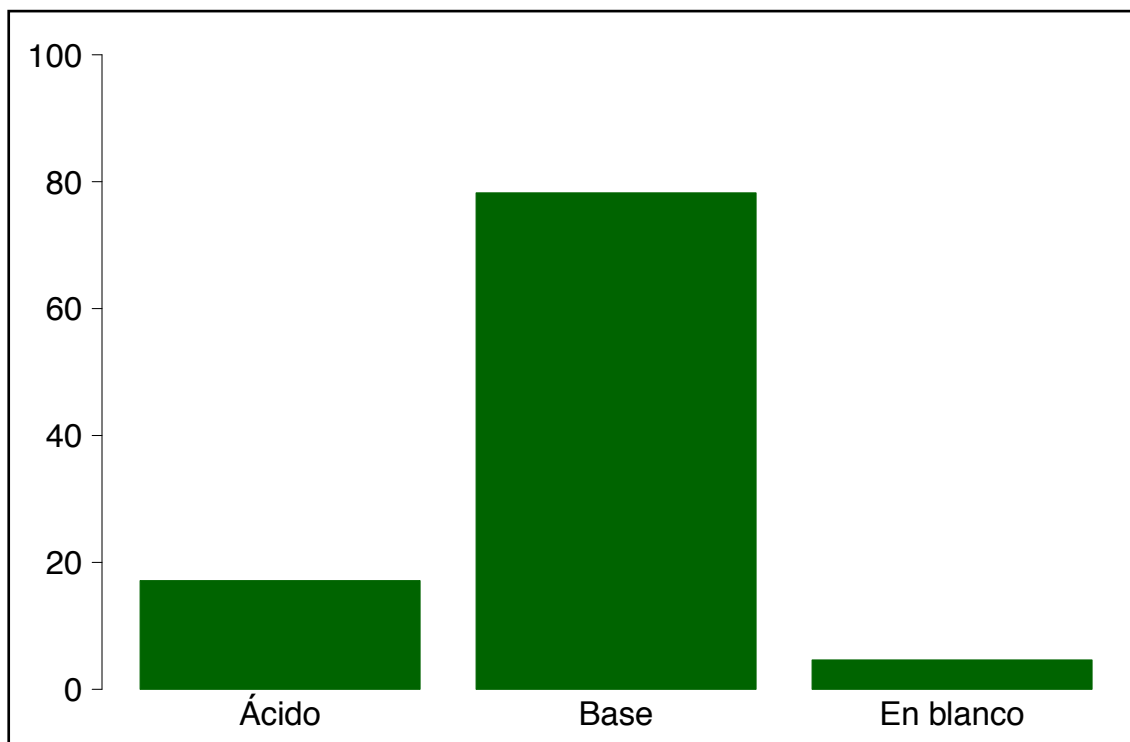


Figura 64. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

Con la representación gráfica correspondiente al tratamiento de los datos para la sentencia 5a (figura 65), nos iniciamos en la evaluación de las titulaciones ácido base. Según los resultados obtenidos existe un 28,7% que tiende a pensar que el pH final de esta clase de reacciones debe ser estrictamente de valor siete; estos discentes se enmarcarían dentro de aquellos que habían considerado que los procesos de neutralización ácido-base son siempre se producen entre cantidades equimolares de ácido fuerte con base fuerte o viceversa. No obstante, de manera totalmente contraria piensa un 51,9% de los sujetos que marca la opción correcta al entender que puede haber otro pH final de valor distinto a siete, es decir, pueden haber otros procesos que determinen un cambio del pH final toda vez finalizada la neutralización. Un 15,7% no sabe qué ocurre con el pH final en las titulaciones ácido-base, siendo ésta una de las prácticas de laboratorio propias de este grado junto a un 3,7% no marca opción alguna y por tanto deja en blanco la cuestión.

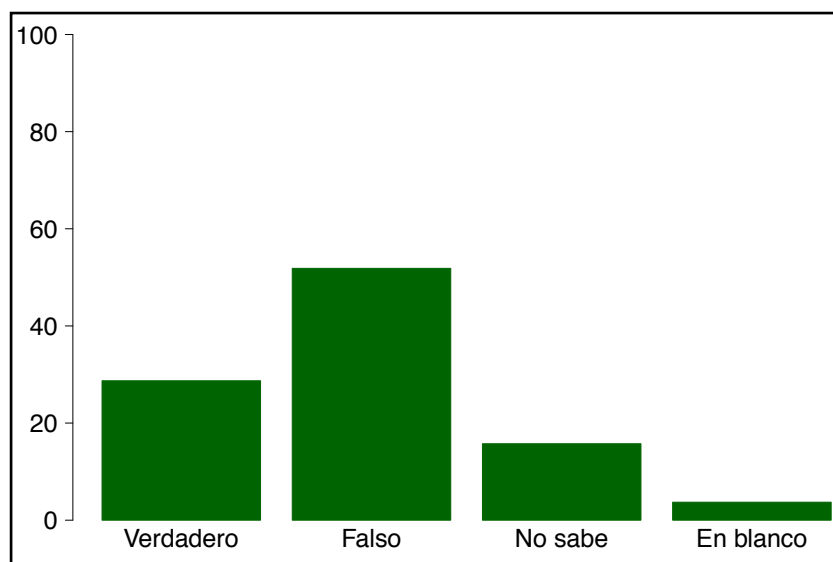


Figura 65. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

Continuamos con la sentencia 5b (figura 66), donde tal y como ocurriera con los examinandos de Ingeniería Química, un 79,6% expresa claramente que es falso que un indicador ácido-base sea el responsable de que se produzca la reacción volumétrica, frente a un 7,4% que sí considera que esa es su función. Un 10,6% no sabe qué función posee un indicador ácido-base en una reacción de titulación y un 2,3% deja en blanco la cuestión.

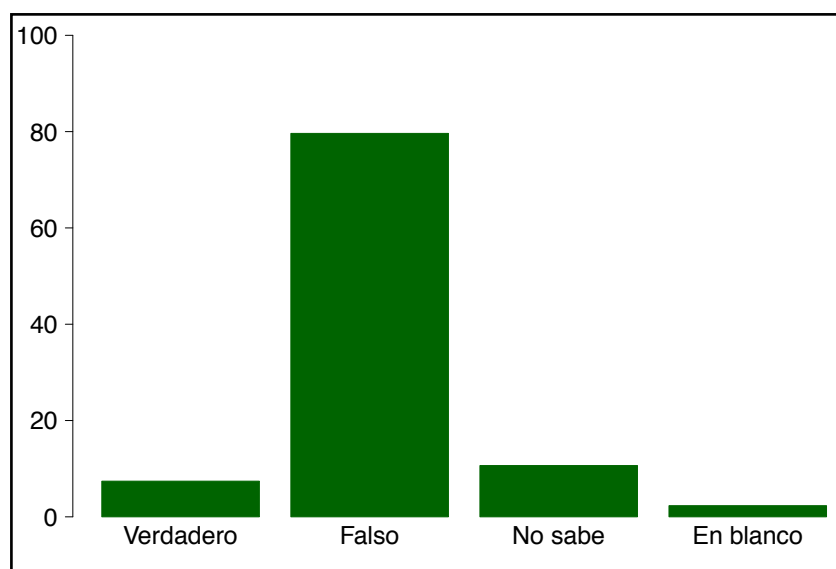


Figura 66. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Para finalizar este bloque, en la sentencia 5c (figura 67), tenemos que un 62,5% cree que el cambio de color no se producirá en un intervalo de valores de pH sino a un valor único y específico siempre, sin embargo, un 29,6% admite correctamente que esta cuestión no tiene porqué ser así. Un 6,9% no sabe de qué forma se producen los cambios de color en estos procesos y un 0,9% deja en blanco la pregunta.

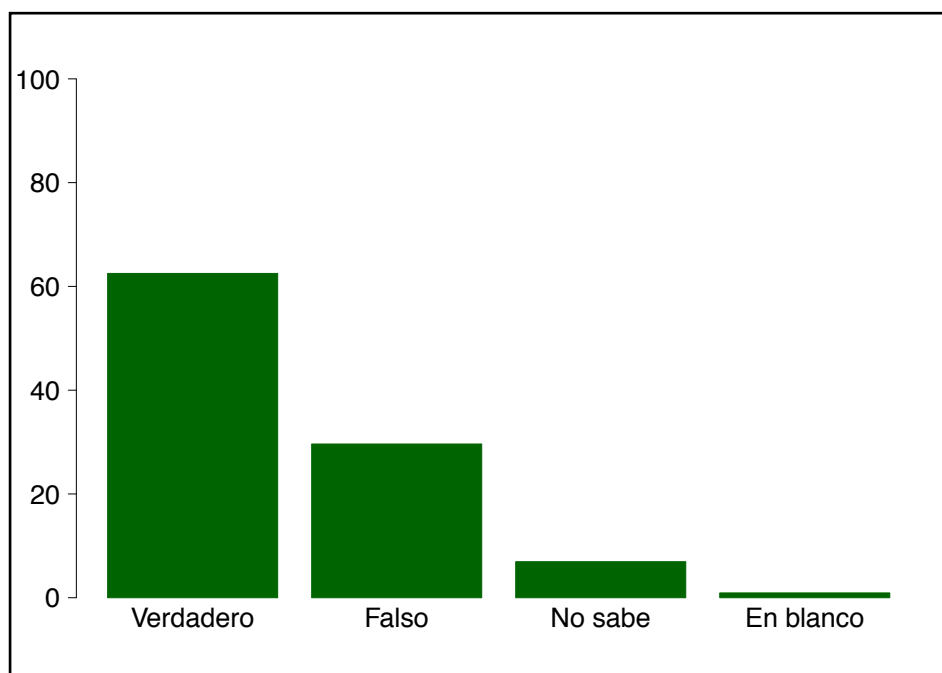


Figura 67. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

A continuación se presenta el resumen del conocimiento precedente para el grado en Ciencias del Mar (tabla 25), así como los porcentajes obtenidos empíricamente que permiten su clasificación.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	56,5	Elevada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	59,3	Elevada

Tabla 25. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ciencias del Mar.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	5,1	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	10,6	Moderada
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	43,5	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	28,2	Moderada
Sal siempre neutra	20,8	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	43,5	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	30,1	Moderada
5,5 es pH neutro	4,6	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	12,5	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro	35,2	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	44,4	Moderada
Los suelos son solamente neutros	7,4	Minoritaria
La lejía es un ácido	64,4	Elevada
La sosa cáustica es un ácido	17,1	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7	28,7	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	7,4	Minoritaria
El cambio de color es a un pH único y específico	62,5	Elevada

Tabla 25 (continuación). Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Ciencias del Mar.

4.1.4. Grado en Medicina.

El grado en Medicina presenta también un importante sesgo al estar muy representados los alumnos de primer y segundo curso que son más accesibles a la administración del cuestionario y la nula comparecencia de cursos superiores a estos. Los sujetos provienen en su enorme mayoría de la especialidad de ciencias de la salud con un 92,8%, frente a un bajísimo 5,4% de la especialidad de ciencias y tecnología. Un escaso 1,8%, proviene de otro tipo de especialidades.

Iniciamos nuestro examen con la batería de afirmaciones de la primera pregunta sobre la vinculación entre fortaleza o debilidad de ácidos y bases. En la sentencia 1a (figura 68), se observa gráficamente que un 72,9% se decanta por indicar que el criterio para comparar la fortaleza de dos ácidos no está en el número de protones que estos posean en su estructura, no obstante un importante 22,9% sí lo cree. Un 2,4% no sabe si el número de protones de la estructura de un ácido permite la determinación de la fuerza o no, mientras un 1,8% deja la pregunta en blanco.

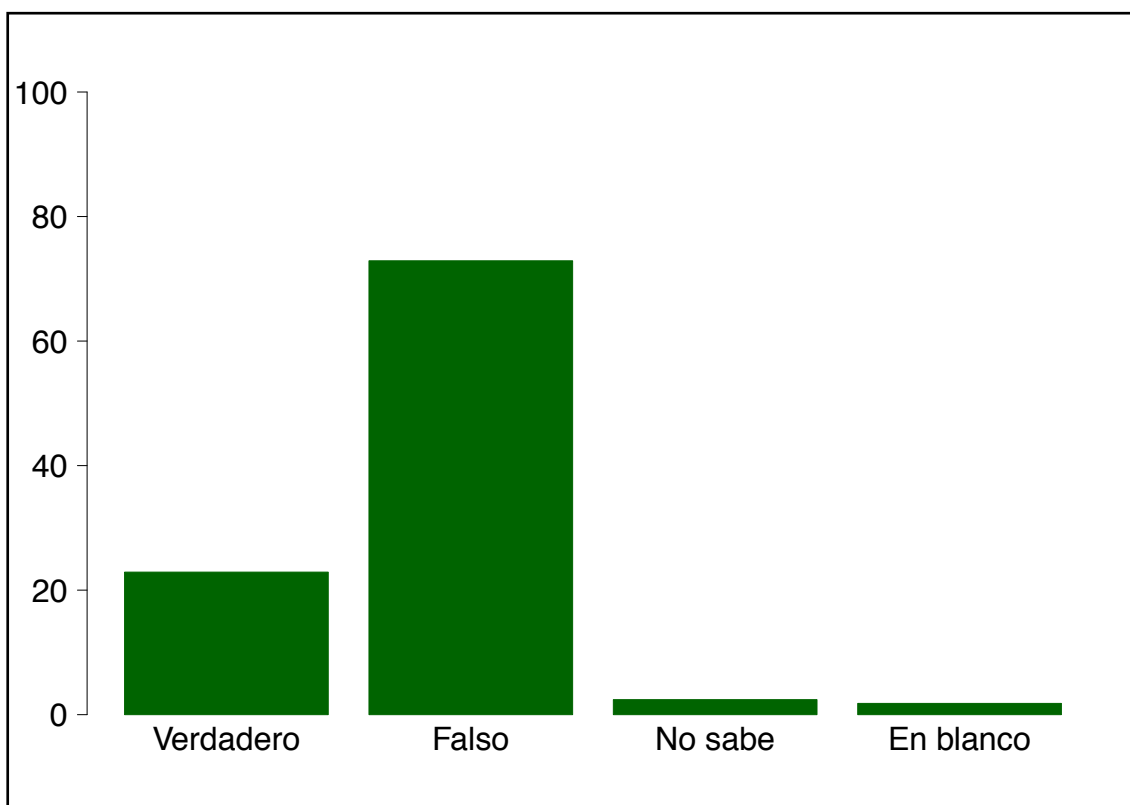


Figura 68. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

Para la sentencia 1b (figura 69), se mantiene la tendencia observada en el inciso anterior, decantándose un 72,3% de los estudiantes por la idea de que la fuerza de las bases no radica en el número de grupos OH que contenga una base. Un 20,5%, sin embargo, sí cree que este es el criterio que permite comparar la fuerza de dos bases y por tanto el rasgo de valor informativo en el que habrá que prestar atención. Un 4,2% no sabe si este criterio es el correcto o no y un 3% lo deja en blanco.

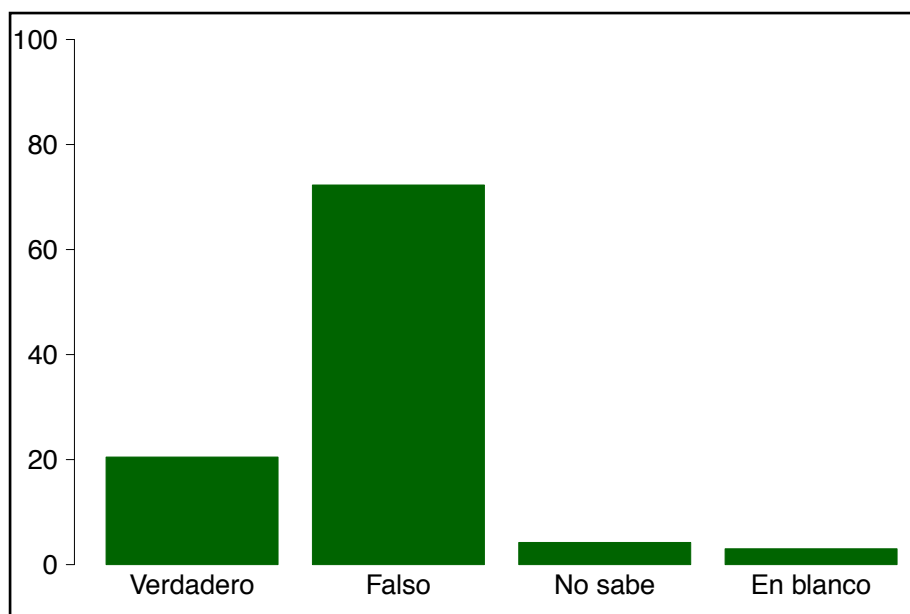


Figura 69. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

En el caso de la sentencia 1c (figura 70), la tendencia es a posicionarse en la opción correcta, ya que un 87,3% considera que un ácido fuerte y una base débil pueden reaccionar, al contrario que un 7,2%, que piensa que por el carácter contrario de estos dos compuestos, es imposible que puedan reaccionar. Un 4,8% no sabe y un 0,6% deja sin respuesta la cuestión.

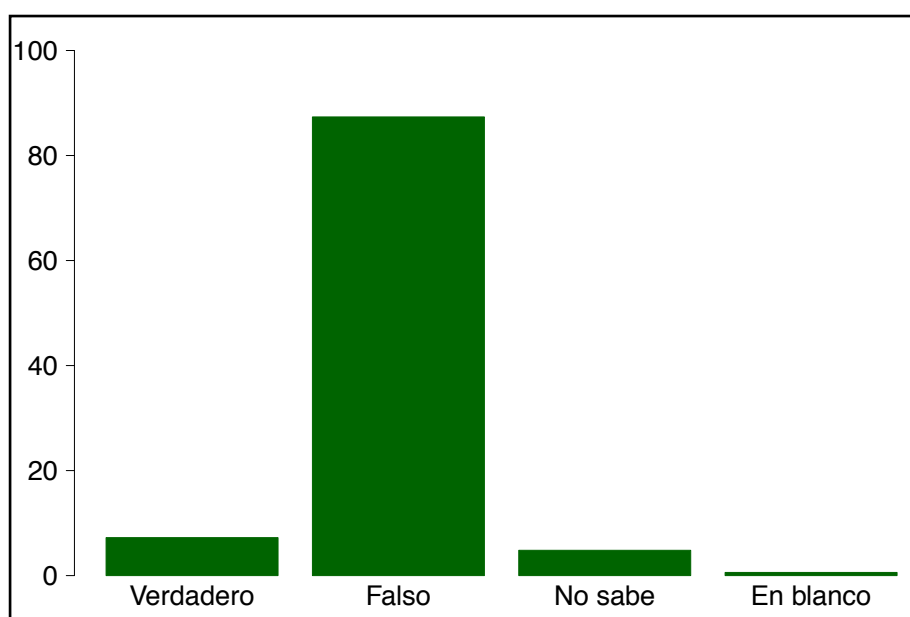


Figura 70. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

De idéntica forma ocurre en la representación gráfica que se corresponde con los resultados obtenidos para la sentencia 1d (figura 71), ya que es posible observar como un 83,7% también comprende correctamente que una base fuerte y un ácido débil pueden reaccionar sin que el carácter que poseen dichos compuestos sea un obstáculo para que la interacción se produzca.

Como añadido a esta respuesta, tenemos que un escaso 7,2% piensa, por el contrario, que el carácter en sí es un impedimento para que dos de estos compuestos puedan reaccionar químicamente. Además, se obtuvo que un 7,2% no sabe qué contestar a esta pregunta por lo que no comprenden si el carácter es óbice o no. Por último, tenemos un 1,8% que se decanta por dejar en blanco la pregunta.

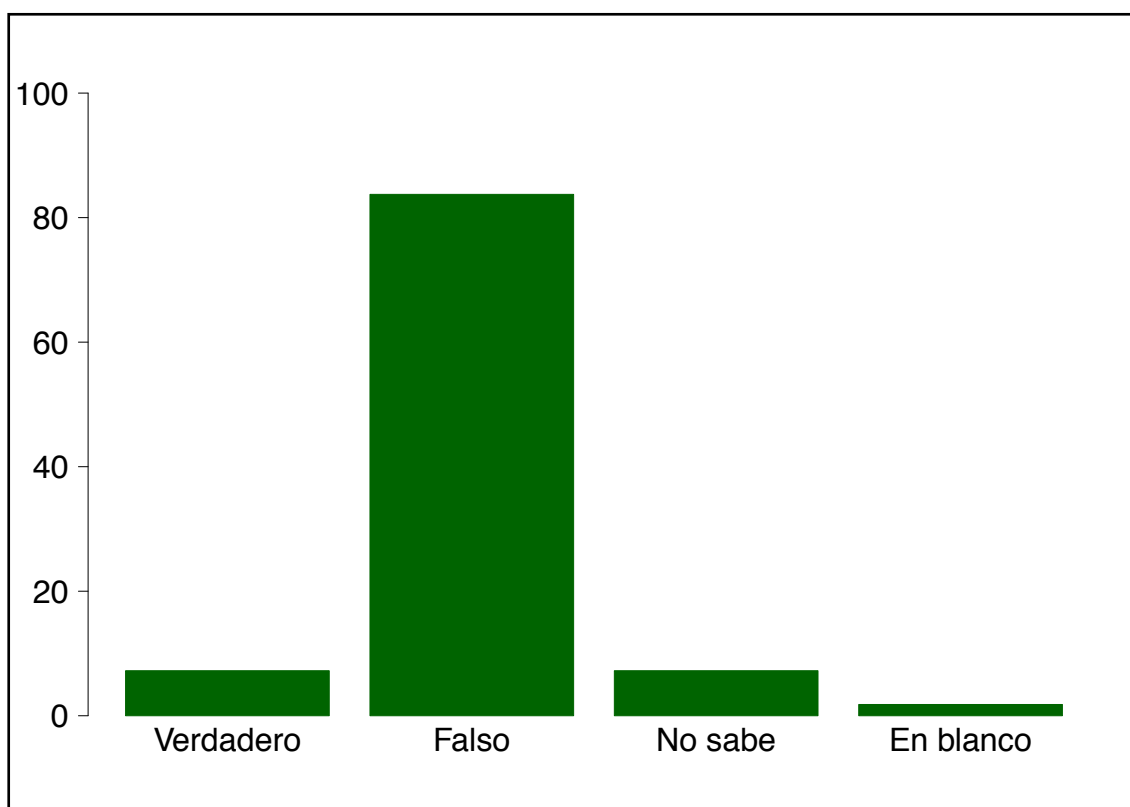


Figura 71. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

La tendencia se mantiene en la sentencia 1e (figura 72), donde un 85,5% comprende que un ácido fuerte no tiene que dar un valor elevado de pH frente

a un ácido débil sino que esto dependerá de otros parámetros, sin embargo, un 9% sí considera esta opción, lo que nos lleva nuevamente a la conjetura de la existencia de la relación directa entre fuerza y pH. Finalmente un 2,4% no sabe qué ocurriría entre el pH y la disolución de un ácido débil y uno fuerte y un 3% la deja en blanco.

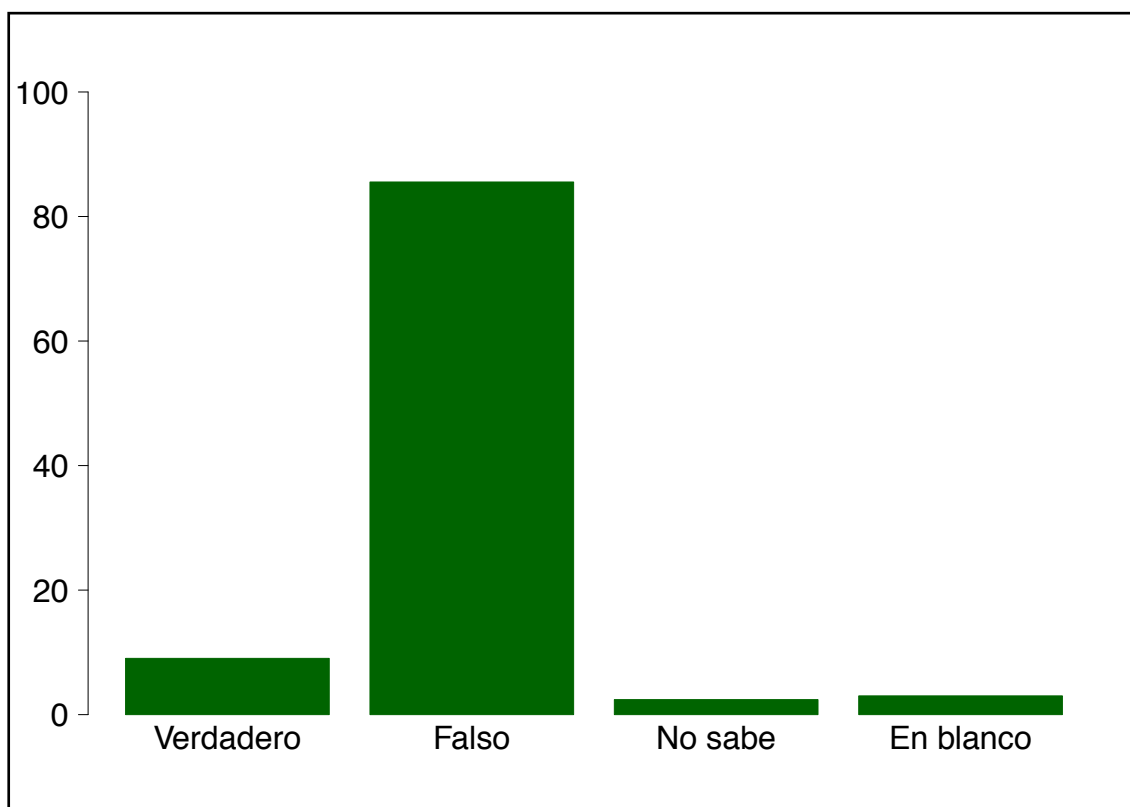


Figura 72. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

Para finalizar el subgrupo que estudia la fortaleza de ácidos y bases llegamos a la sentencia 1f (figura 73), donde los porcentajes varía ligeramente pero se mantiene la tendencia hacia considerar falsa la afirmación presentada.

Así, un 74,1% piensa que es falso que los ácidos quemen la piel y las bases no, extendiendo la peligrosidad a ambos compuestos. Ahora bien, el porcentaje de respuestas contraria va en aumento, puesto que un 14,5% consideró que sólo los ácidos son peligrosos. Un importante 11,4% no sabe y ningún sujeto dejó la pregunta en blanco.

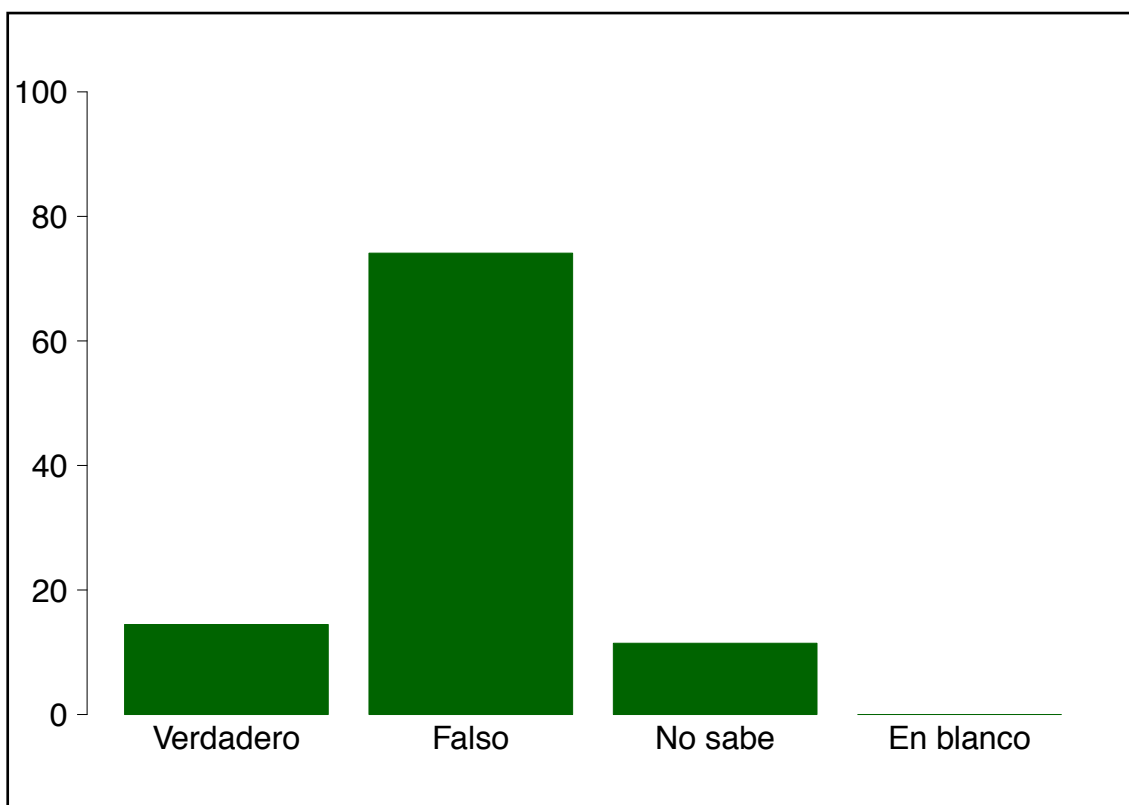


Figura 73. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

El papel de la sal en las reacciones ácido-base se examina en la sentencia 1g (figura 74), que como habíamos visto en los anteriores grados suele concurrir la idea de considerarlas únicamente con carácter neutro y, sin embargo, despreciar otros comportamientos posibles para ellas, como podrían ser ácido o básico.

En cuanto a los resultados para el grado en Medicina, se ha encontrado gráficamente que un 25,9% considera las sales como estrictamente neutras y, por tanto, jamás participará en reacciones ácido-base, restringiendo así sus tipos.

Empero, un 68,7%, entiende que las sales pueden participar en estas reacciones y su comportamiento puede ser también ácido o básico. Para finalizar, un 4,8% no sabe qué carácter tienen las sales y por ello marca la opción “no sabe” frente al muy bajo 0,6% que no marcó opción y dejó en blanco la pregunta.

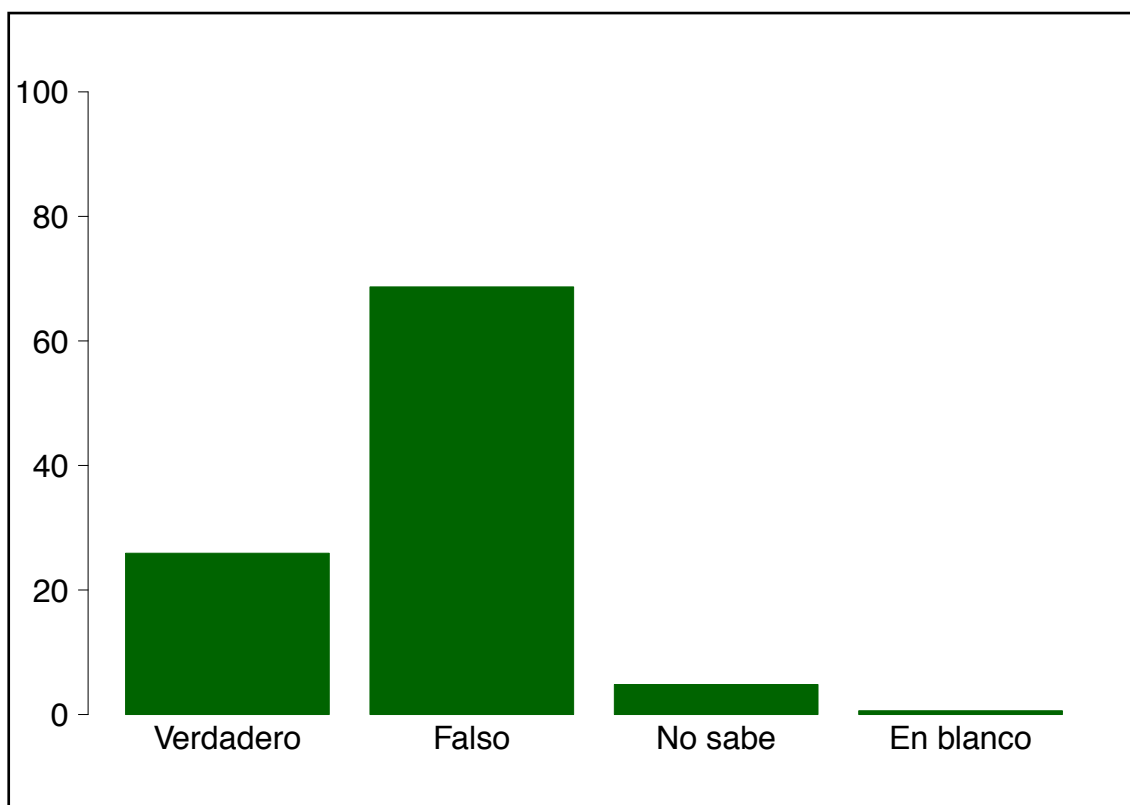


Figura 74. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

Los resultados empíricos conseguidos para la sentencia 1h (figura 75), nos vamos a centrar en el papel de la estructura en la clasificación de los ácidos y las bases. Tenemos que el 66,3% determina que por el mero hecho de que un compuesto químico posea un grupo OH no le convierte en base y por este argumento no clasifican al alcohol etílico como tal, es decir, es posible que estos alumnos no tengan una idea tan restringida de la relación que existe entre la fórmula química y la clasificación de un compuesto.

Al contrario, un 24,7% si lo considera, poniendo nuevamente en discusión el problema estructural de la comprensión incompleta de la teoría de Arrhenius debería entenderse como una subgeneralización. Es importante recalcar que este apartado no demuestra que el problema esté originado por la teoría de Arrhenius pero nos permite aportar un indicio en consonancia con el análisis que realizaron otros autores (Cros, Chastrette y Fayol, 1988; Zoller, 1990), en la fundamentación teórica. Un 6% no sabe si el criterio estructural permite clasificar al compuesto como base y un 3% prefiere no marcar opción.

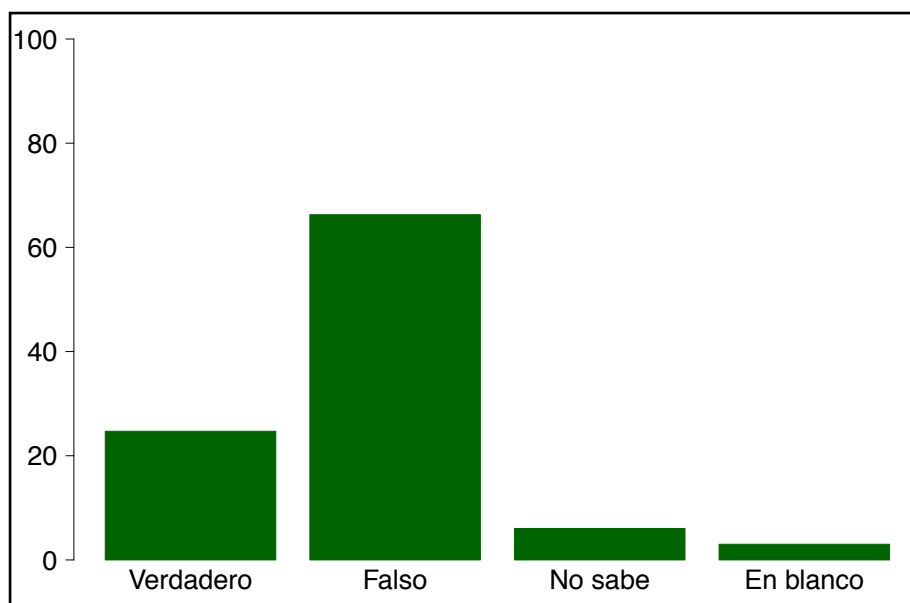


Figura 75. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

Para la sentencia 1i (figura 76), los sujetos marcan, en un 84,3% que el amoníaco no puede ser ácido solamente por contener protones en su estructura, mientras que se decantan por la opción estructural estricta un 12% sin que podamos saber el origen exacto de esta concepción. Un 2,4% no sabe que responder y un 1,2% deja en blanco la pregunta.

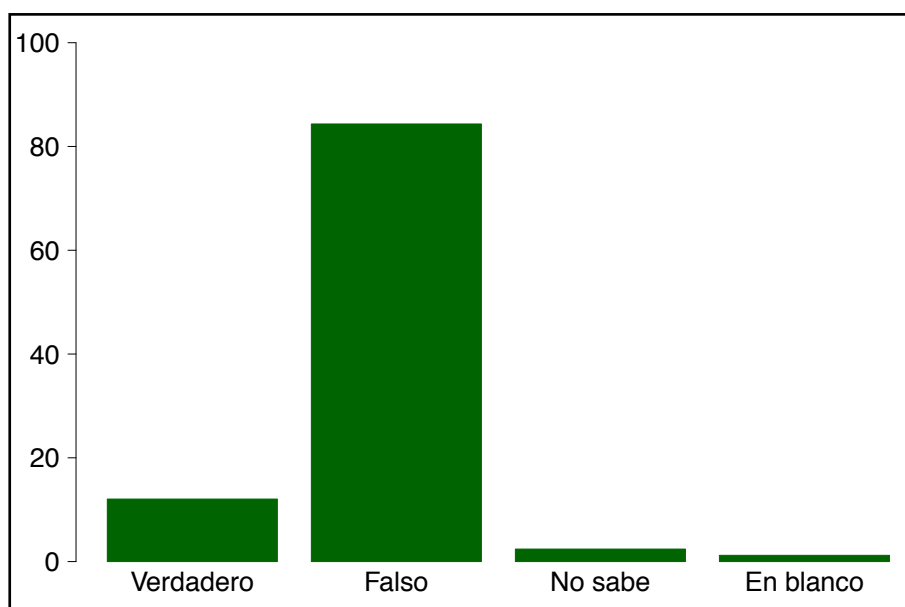


Figura 76. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

La evaluación de generalizaciones sobre el pH comienza con la sentencia 1j (figura 77), en la que un abrumador 99,4% se decanta por indicar que el pH neutro en condiciones normales no es 5,5. Solamente un 0,6% indicó que este valor de pH se corresponde con la neutralidad y ningún examinando la dejó en blanco.

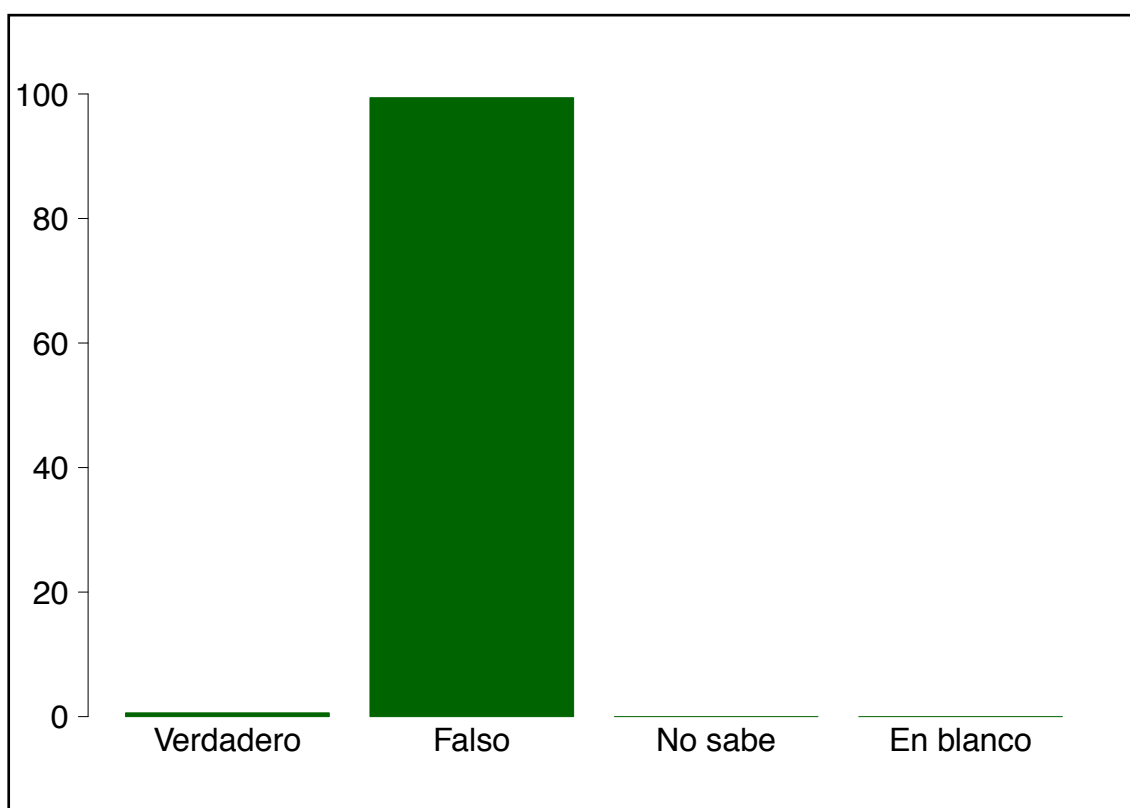


Figura 77. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

Continuando con la representación gráfica de los datos analizados para la sentencia 1k (figura 78), aumenta ligeramente el porcentaje adjudicados a la generalización incorrecta que se pretendía evaluar. Así, el 87,3%, comprende que las sustancias seguirán siendo ácidos o bases independientemente del pH de la disolución.

Sin embargo, un 7,8%, sí considera que a ese valor las sustancias pierden su carácter ácido-base por lo que en ellos existe confusión a esos valores de la escala. Culminando, el 3,6% no sabe qué ocurre a dichos valores y un 1,2% deja en blanco la cuestión.

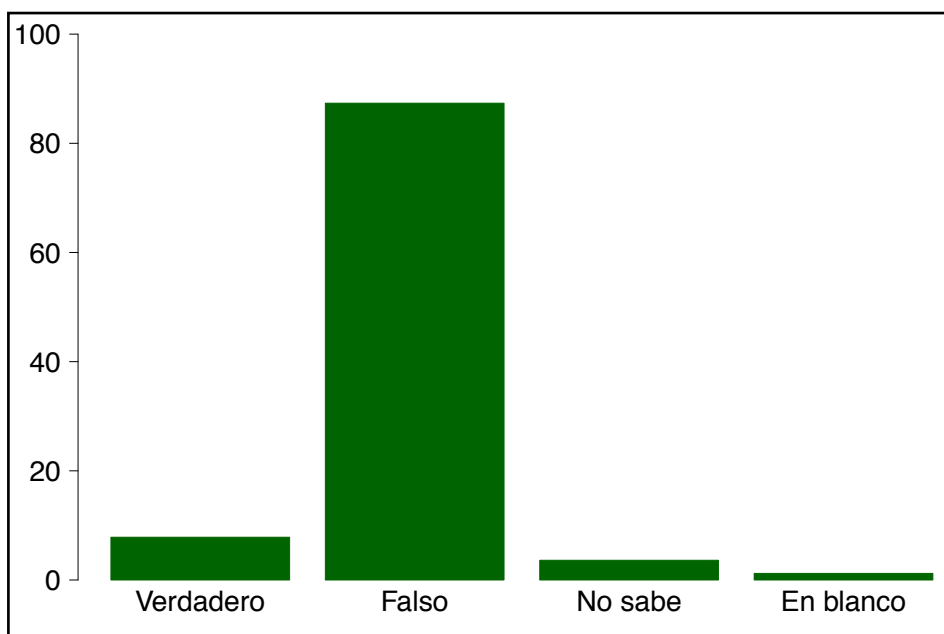


Figura 78. Distribución de porcentajes para el enunciado: a $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Finalmente para la sentencia 1l (figura 79), los porcentajes están mucho más repartidos, por lo que un 27,7% cree que el pH de la lluvia natural debe ser necesariamente neutro mientras que un 47% admite la posibilidad de otros tipos de valores de pH . Un elevadísimo 21,1% no sabe qué responder a esta cuestión y un 4,2% no marca opción alguna.

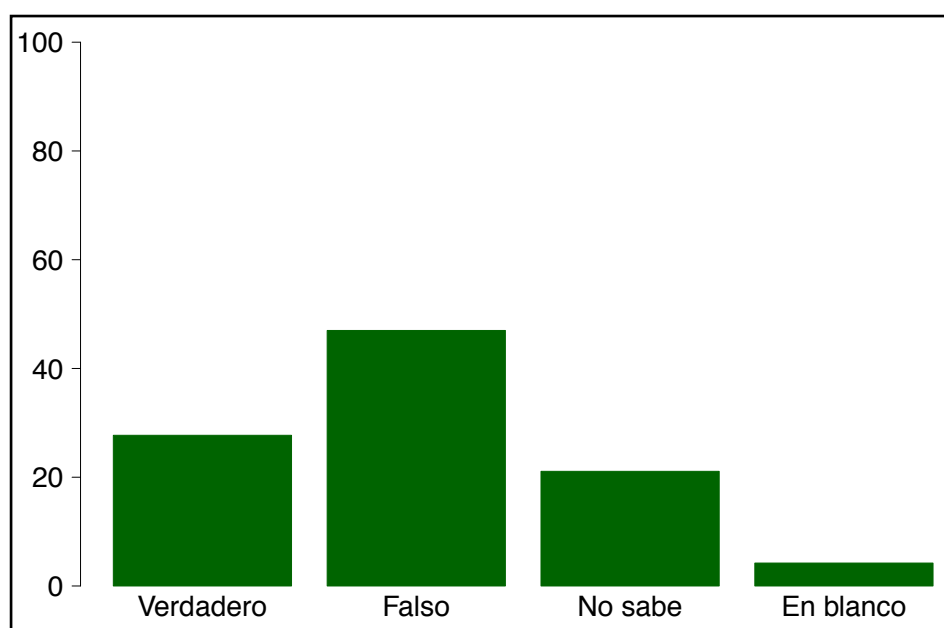


Figura 79. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).

Pasamos al examen del papel del agua en la reacción de autoprotólisis, mediante la sentencia 2a (figura 80), ya que el resto de apartado de esta pregunta se analizan en el último bloque de objetivos. Un 87,3% plantea que en esta reacción química el agua actúa como ácido y como base, es decir, tiene carácter anfótero. El actuar sólo como base, no es marcado por ningún sujeto y el actuar sólo como ácido se queda con un escaso 1,8%. La opción de actuar como disolvente que no participa en la reacción es marcada por un 8,4% lo que es llamativo y por último un 2,4% deja la pregunta en blanco.

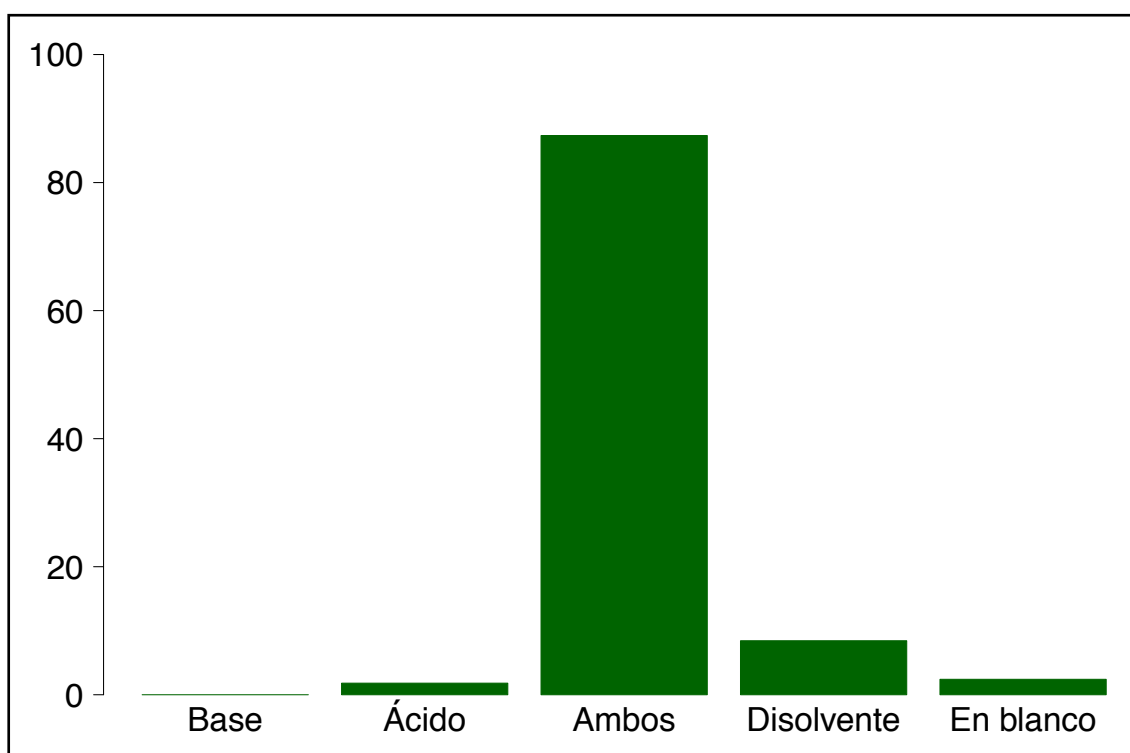


Figura 80. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

En la sentencia 3 (figura 81), continuamos con el carácter ácido-base de los suelos. Podemos observar que un importante 69,9% de los alumnos universitarios del grado de medicina se inclinan por la opción en la cual los suelos pueden tener cualquier valor de pH y ningún encuestado indica que los suelos no puedan ser ácidos. Por otra parte, un 3% entiende que no pueden ser básicos, un 14,5% indica que deben ser estrictamente neutros y un 12,7% que deja en blanco el ítem.

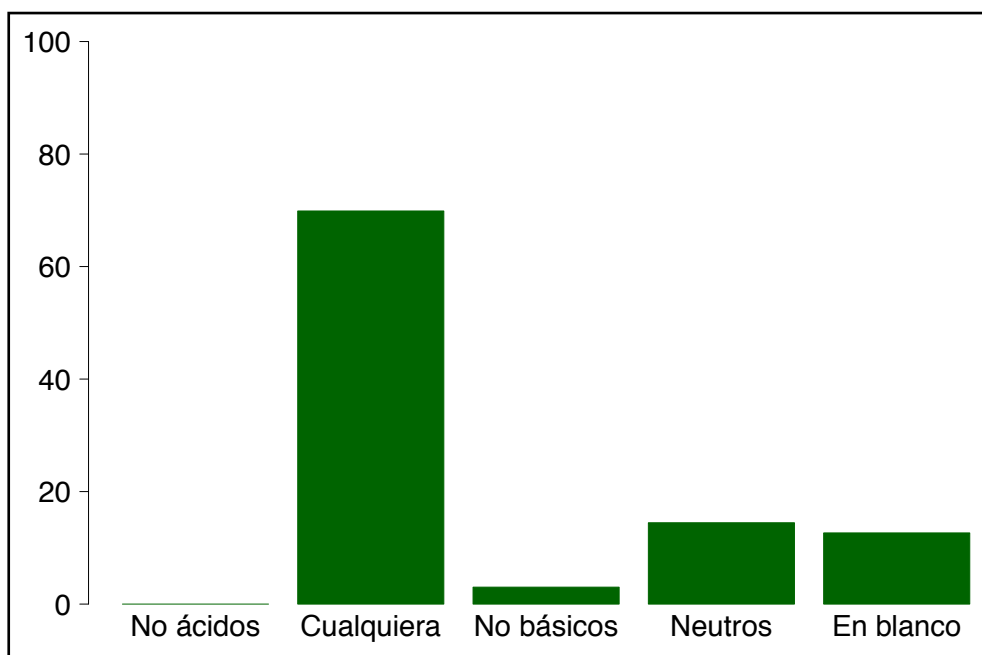


Figura 81. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

La tendencia a concentrarse en torno a una misma opción en estos estudiantes se viene a romper claramente con la clasificación de una sustancia tan sencilla y cotidiana como la lejía. Así, observamos en la sentencia 4a (figura 82), un 54,8% de los encuestados clasifica a esta sustancia como ácido, mientras que un 43,4% lo hace como base. Solamente un 1,8% lo deja en blanco.

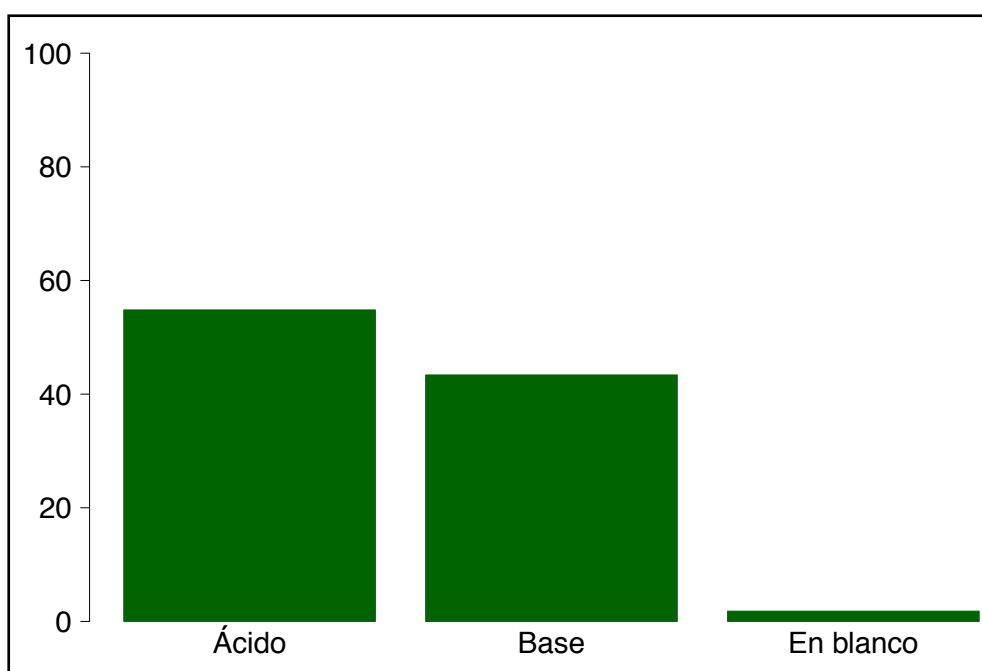


Figura 82. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

Se vuelve a recuperar la tendencia con la descripción gráfica de la distribución de porcentajes para la sentencia 4b (figura 83), en la que podemos observar que un importantísimo 86,7% clasifica como base a la sosa cáustica dando con la respuesta clave para esta sustancia de uso cotidiano y muy común en las clases de química. Opuestamente, el 12,7%, piensa que debe ser incluida en la categoría de ácido. Un escaso 0,6% deja el ítem sin responder.

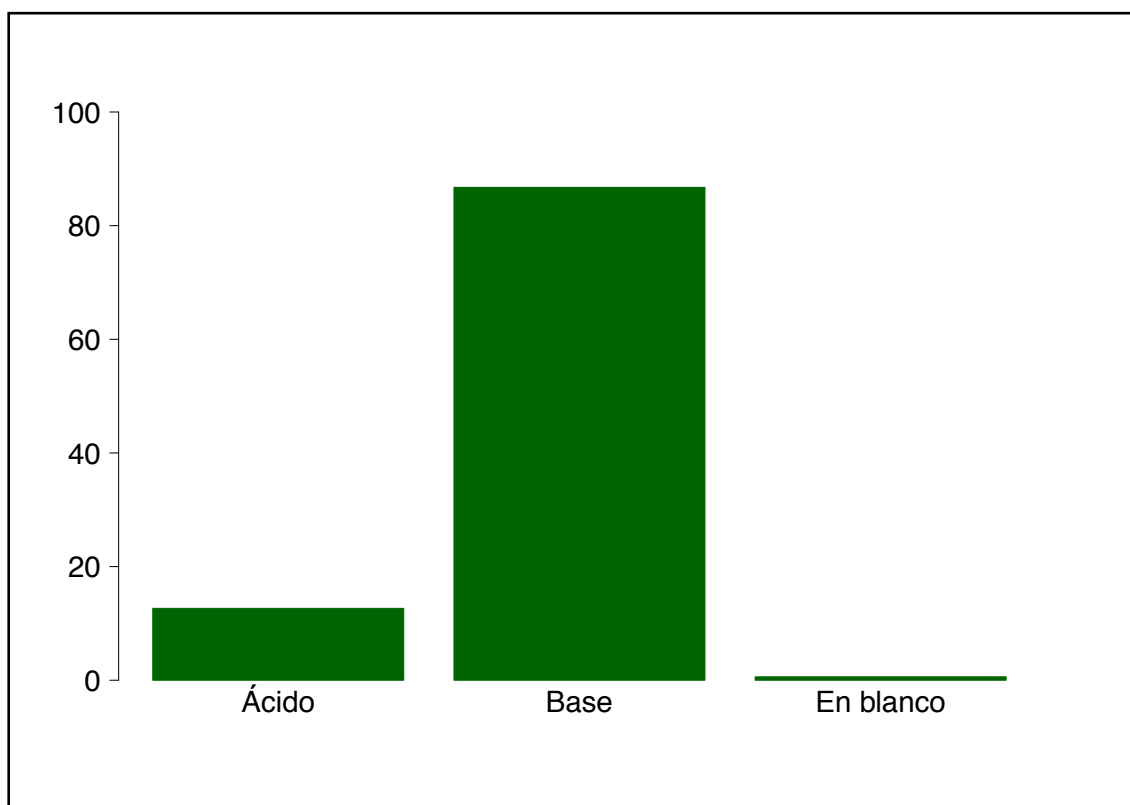


Figura 83. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

Ahora, para la descripción gráfica de la distribución de los porcentajes correspondientes a la sentencia 5a (figura 84), existe un 74,7% que entiende que el pH final de la neutralización planteada no tiene que ser estrictamente siete, sino que puede tomar otra serie de valores. Tenemos también que un 12,7% considera todo lo contrario, manifestando que es el valor siete el que se corresponde con el punto final de una valoración ácido-base. Un 10,8% marca la opción no sabe, ante el desconocimiento, y un 1,8% decide dejar en blanco el ítem.

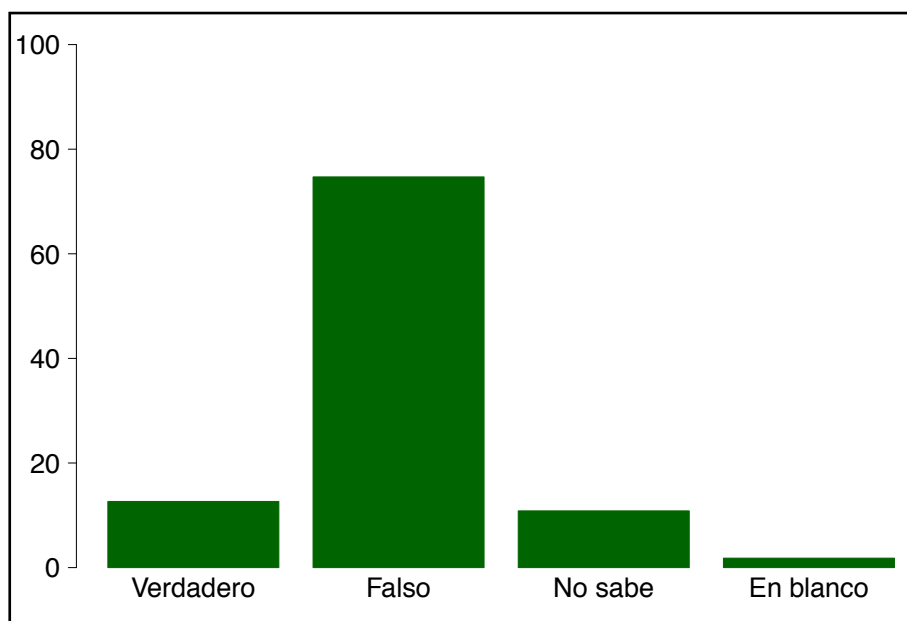


Figura 84. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

En la distribución gráfica de porcentajes que se corresponde con la sentencia 5b (figura 85), un 75,9% comprende que el papel de un indicador ácido-base no es que se produzca la reacción, mientras que sólo un 5,4% cree lo contrario. Un importantísimo 18,1% no sabe qué papel desempeña un indicador ácido-base y un bajo 0,6% no marca opción.

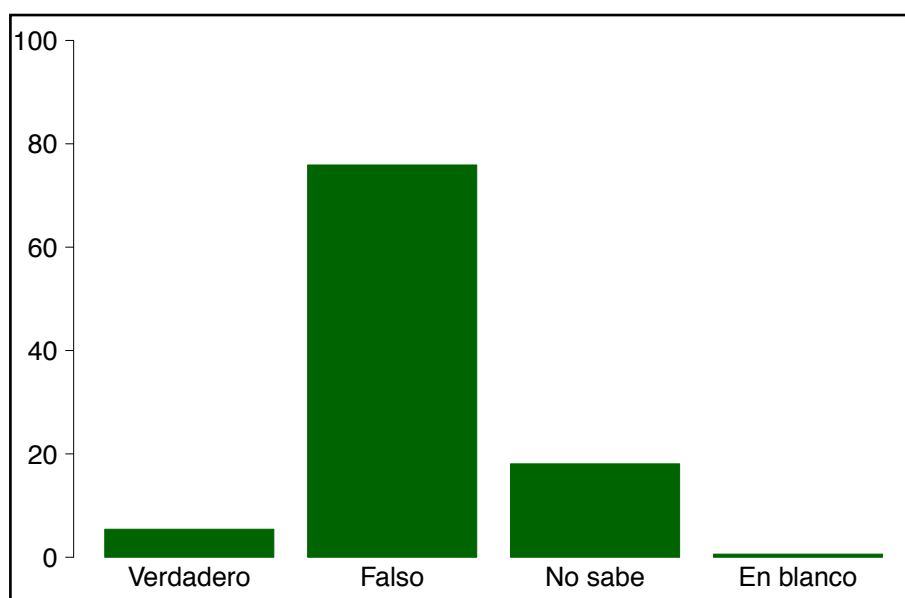


Figura 85. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Finalmente, en la sentencia 5c (figura 86), se observa que los porcentajes vuelven a repartirse entre las opciones mostradas y no existe una concentración clara en torno a una de ellas. Un 50% admite que el cambio de color de un indicador se produce a un valor de pH único y específico mientras que un 34,9% admite justo lo contrario. Un destacado 13,9% no sabe a qué valores de pH se producen los cambios de color y un 1,2% deja en blanco la pregunta.

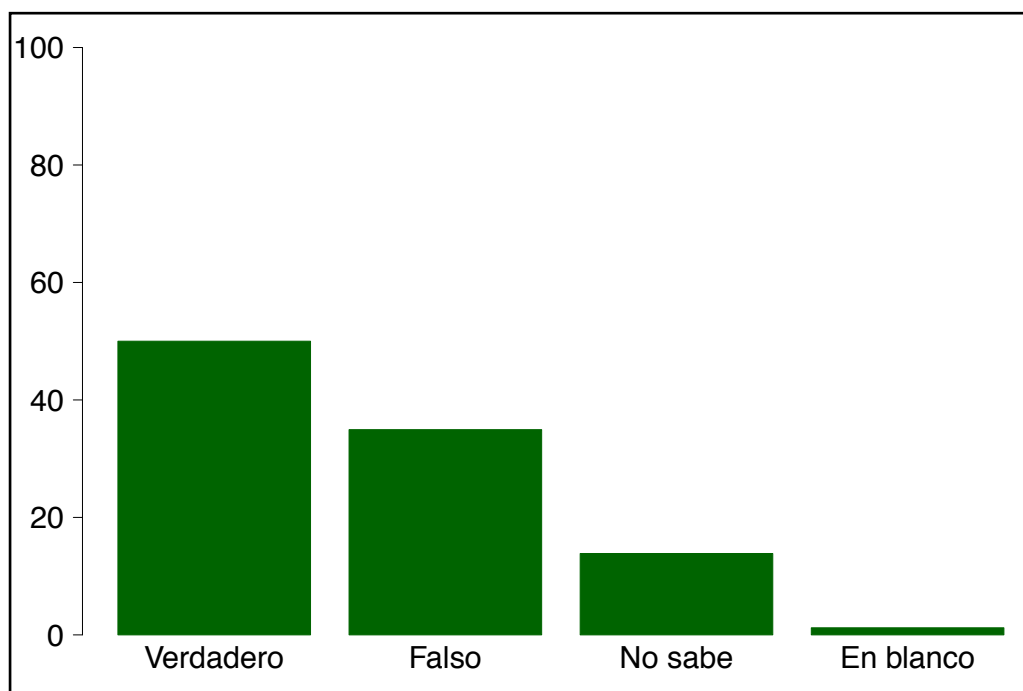


Figura 86. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

Para finalizar se muestra a continuación la tabla 26, donde se resume el conocimiento precedente para el grado en Medicina con los porcentajes calculados y su clasificación.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	22,9	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	20,5	Moderada

Tabla 26. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Medicina.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	7,2	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	7,2	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	9	Minoritaria
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	14,5	Moderada
Sal siempre neutra	25,9	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	24,7	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	12	Moderada
5,5 es pH neutro	0,6	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	7,8	Minoritaria
El pH de la lluvia natural es neutro	27,7	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	8,4	Minoritaria
Los suelos son solamente neutros	14,5	Moderada
La lejía es un ácido	54,8	Elevada
La sosa cáustica es un ácido	12,7	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7	12,7	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	5,4	Minoritaria
El cambio de color es a un pH único y específico	50	Elevada

Tabla 26 (continuación). Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Medicina.

4.1.5. Grado en Veterinaria.

Para el grado de Veterinaria se contó con la participación de tres cursos: primero, segundo y tercero. Esto nos permitió evitar, en la medida de lo posible, el sesgo introducido, intentando minimizarlo frente a lo obtenido en otros grados. Esta muestra se compone en un 11,5% de encuestados que proviene de un bachillerato de formación específicamente tecnológica, un abrumador 83,7% de la especialidad de ciencias de la salud y un escaso 4,8% de otras especialidades.

Trataremos en primer lugar, como hemos hecho hasta ahora, la relación entre la fortaleza o la debilidad con los ácidos y las bases mediante la sentencia 1a (figura 87). Un importante 29,8% consideró que, efectivamente, un ácido debe ser más fuerte que otro debido solamente a la presencia de un mayor número de hidrógenos en su estructura frente a un 41,3% que se opuso a esta afirmación.

Un importantísimo 20,2% no sabe qué responder ante este problema, es decir, no sabe qué parámetro permite la comparación de la fuerza de dos ácidos. Por último, un 8,7% dejó la pregunta en blanco.

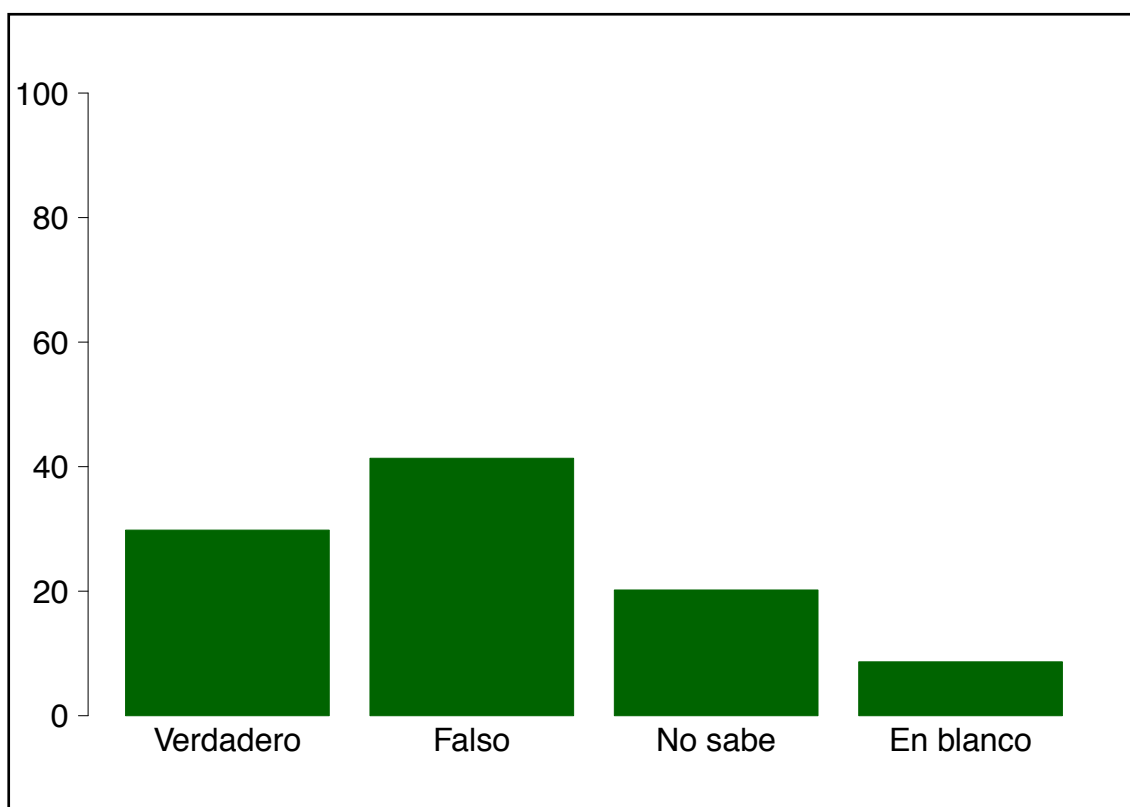


Figura 87. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

Continuamos con la sentencia 1b (figura 88), donde el 40,4% declina hacia la consideración estructural superando ligeramente al 38,5% que opta por la opción correcta. Un 13,5% no sabe si el patrón estructural puede utilizarse para comparar la fortaleza de dos bases y un 7,7% deja en blanco la pregunta.

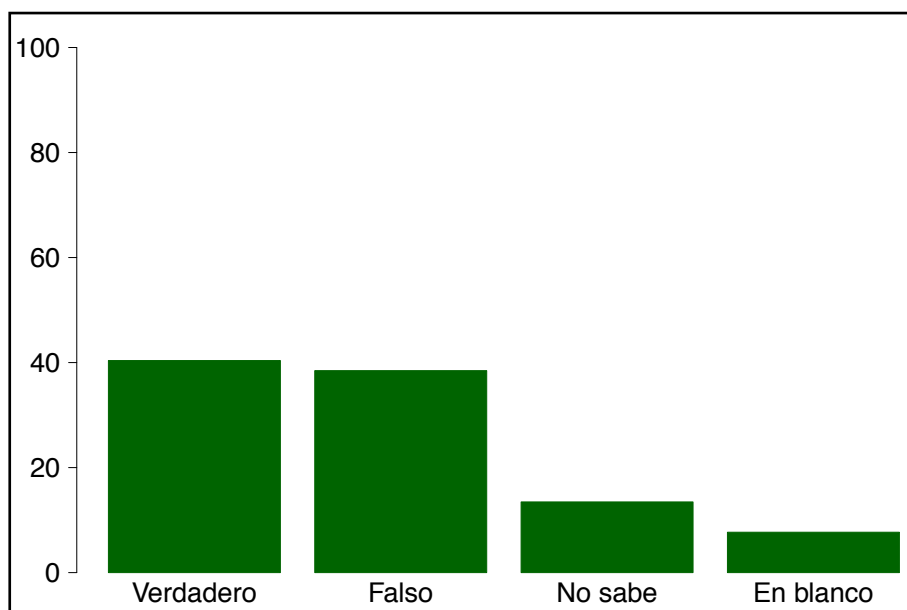


Figura 88. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

Ya en la representación gráfica para la sentencia 1c (figura 89), se observa que un 83,7%, admite que puedan reaccionar un ácido y una base sin importar su carácter. Sólo un 5,8% consideró la posibilidad de que no pudiesen reaccionar debido a la fuerza que poseen, un 4,8% no sabe si pueden reaccionar o no y un 5,8% deja en blanco la pregunta.

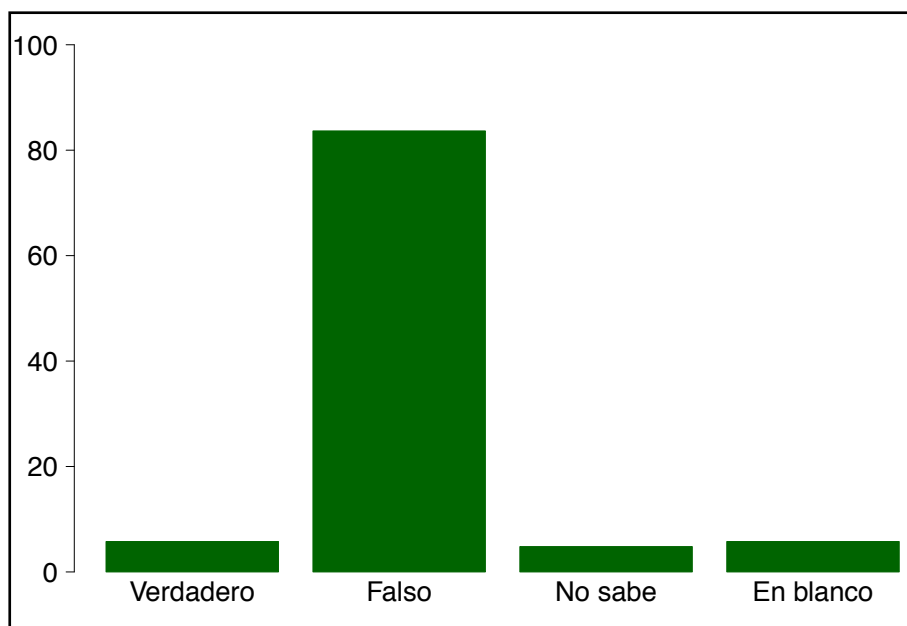


Figura 89. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

De esta misma manera sucede con los datos gráficamente representados para la sentencia 1d (figura 90), donde un 77,9%, se decantó por aceptar que una base fuerte y un ácido débil sí pueden reaccionar, independientemente de su carácter.

Contrariamente, esta idea no parece adecuada para a un 5,8%, que ve como un impedimento el carácter de los compuestos a interaccionar. Posteriormente, un 9,6% desconoce si efectivamente puede el carácter débil o fuerte de una base y un ácido impedir la reacción junto a un 6,7% que no marca opción alguna dejando en blanco la respuesta.

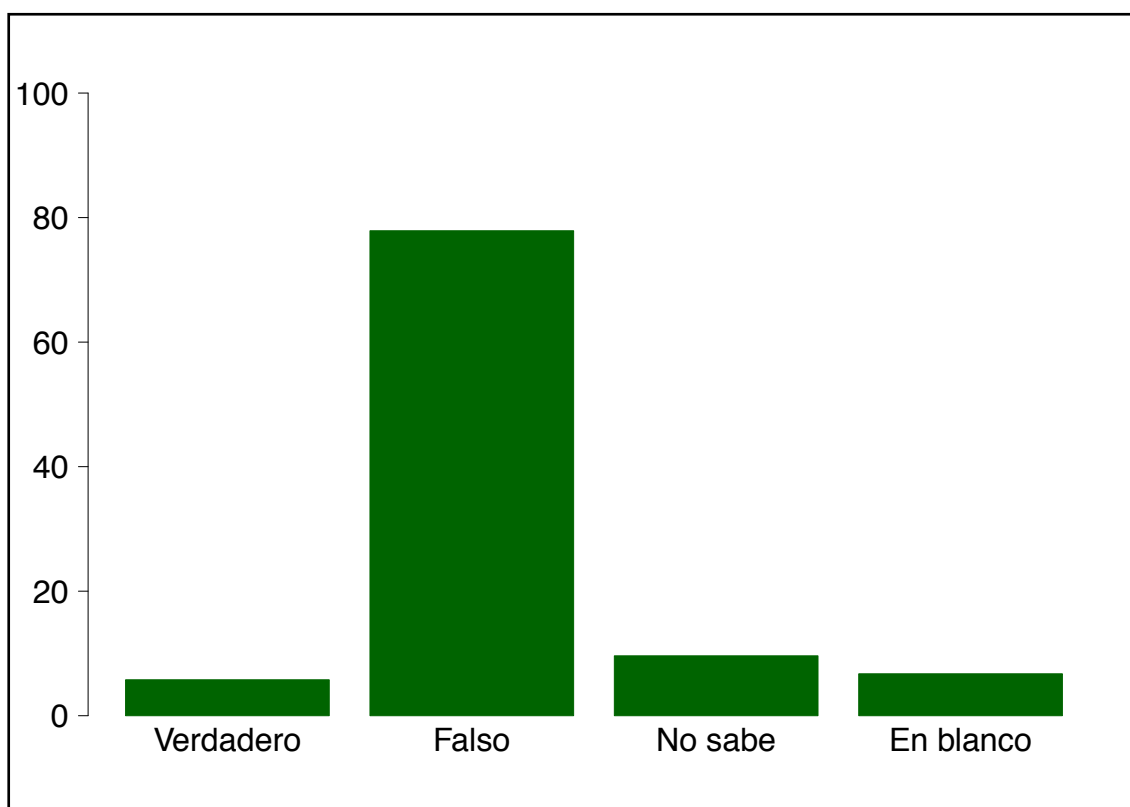


Figura 90. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

Un 29,8% de los que respondieron a la sentencia 1e (figura 91), cree que los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que si disolviésemos un ácido débil, esto nos vuelve a poner sobre la pista de una posible relación directa e incorrecta entre fortaleza y valores de pH.

Por otro lado, un 55,8% sí consideró como incorrecta esta afirmación, un 10,6% no sabe qué relación existiría entre el pH y la fortaleza-debilidad de un ácido y un 3,8% deja en blanco la pregunta.

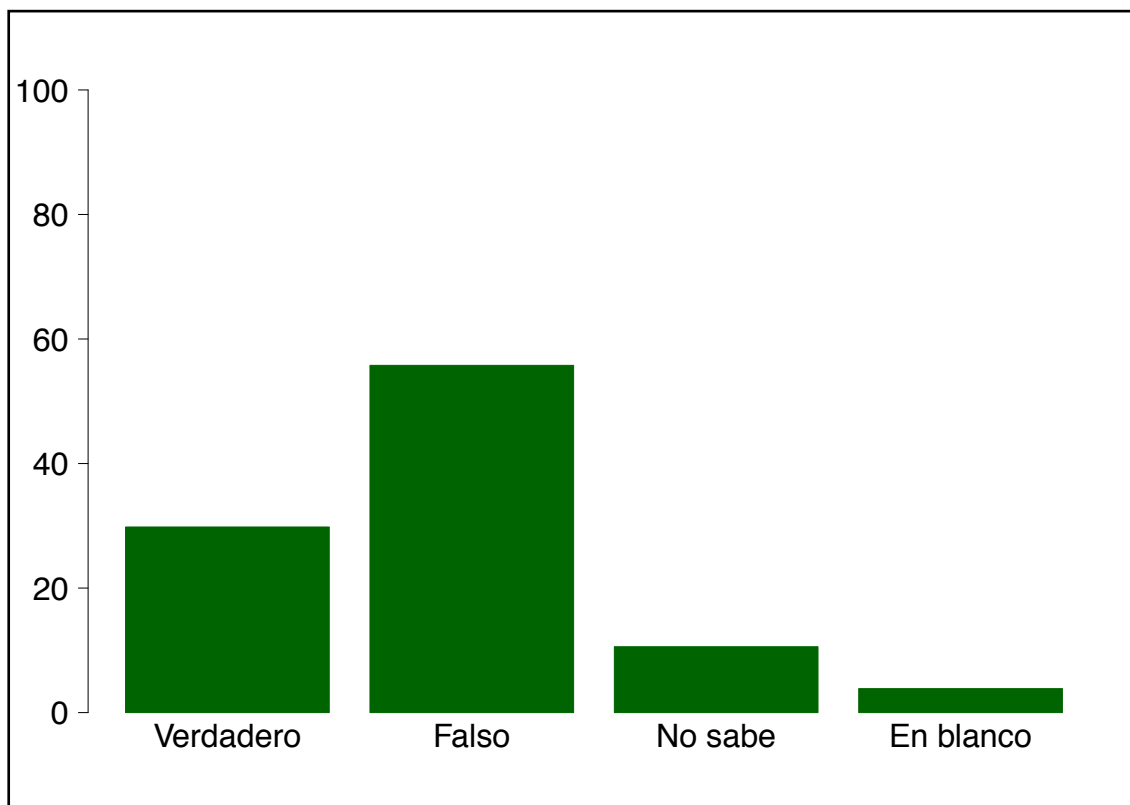


Figura 91. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

En la sentencia 1f (figura 92), se refleja que un 67,3% de los alumnos del grado de Veterinaria entienden que tanto las bases como los ácidos pueden ser peligrosos para la piel puesto que tienen una visión más amplia de la peligrosidad de estas sustancias en general, mientras que un 22,1% cree que sólo los ácidos pueden quemar la piel realizando un daño al cuerpo humano pero las bases no lo harían.

El 6,7% no sabe cómo se reparte la peligrosidad de estos compuestos, o sea, si uno es más peligroso que otro. El 3,8% deja en blanco la pregunta ya que de alguna manera tampoco saben qué grado de peligrosidad asignar a cada uno de estos compuestos.

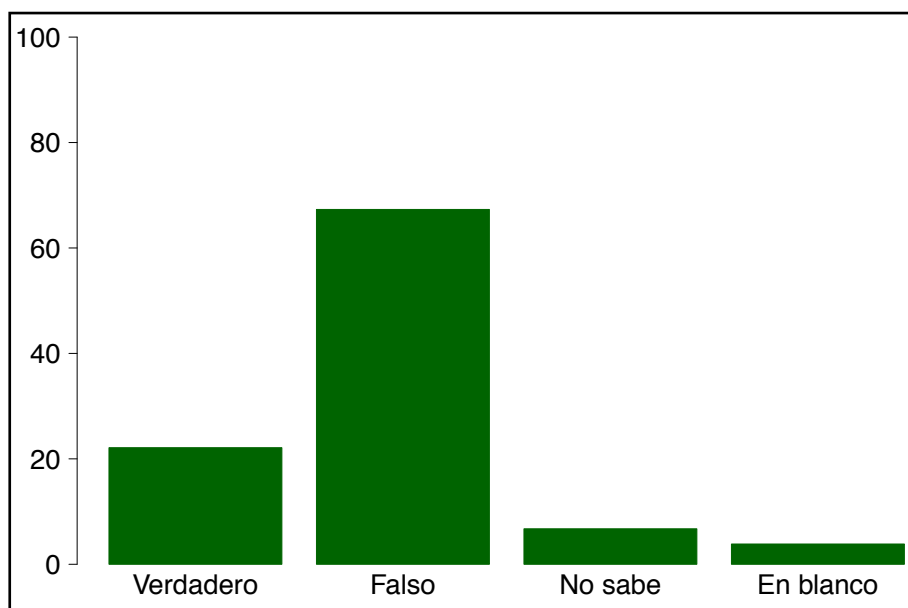


Figura 92. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Los resultados obtenidos para la sentencia 1g (figura 93), muestran que un 67,3% cree que las sales no deben ser estrictamente neutras, ponderando la posibilidad de otros comportamientos. Empero, un 24% consideró que no deben tener otro tipo de participación. Si las sales participan o no de este tipo de reacciones es marcado por un 5,8% y un 2,9% no marca opción.

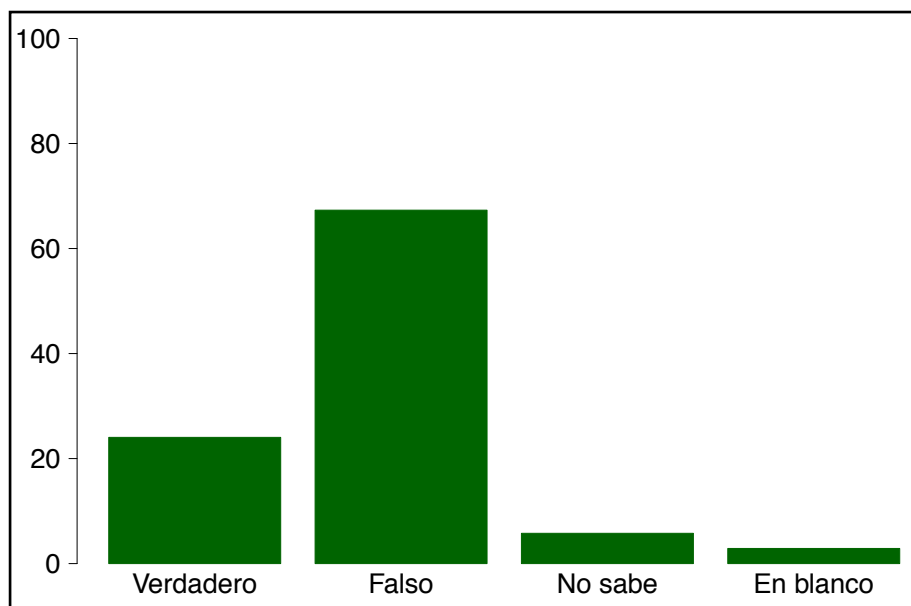


Figura 93. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

Continuamos con la evaluación de la relación estructura respecto de ácidos y bases con la sentencia 1h (figura 94) donde existe prácticamente un equilibrio entre el 36,5% que creen que la presencia de grupos OH en la fórmula química del alcohol etílico le convierte automáticamente en base y el 38,5% que se opone a esta afirmación. Por otra parte, existe un 17,3% que no sabe si este criterio le permite o no la clasificación del compuesto y un 7,7% que lo deja en blanco.

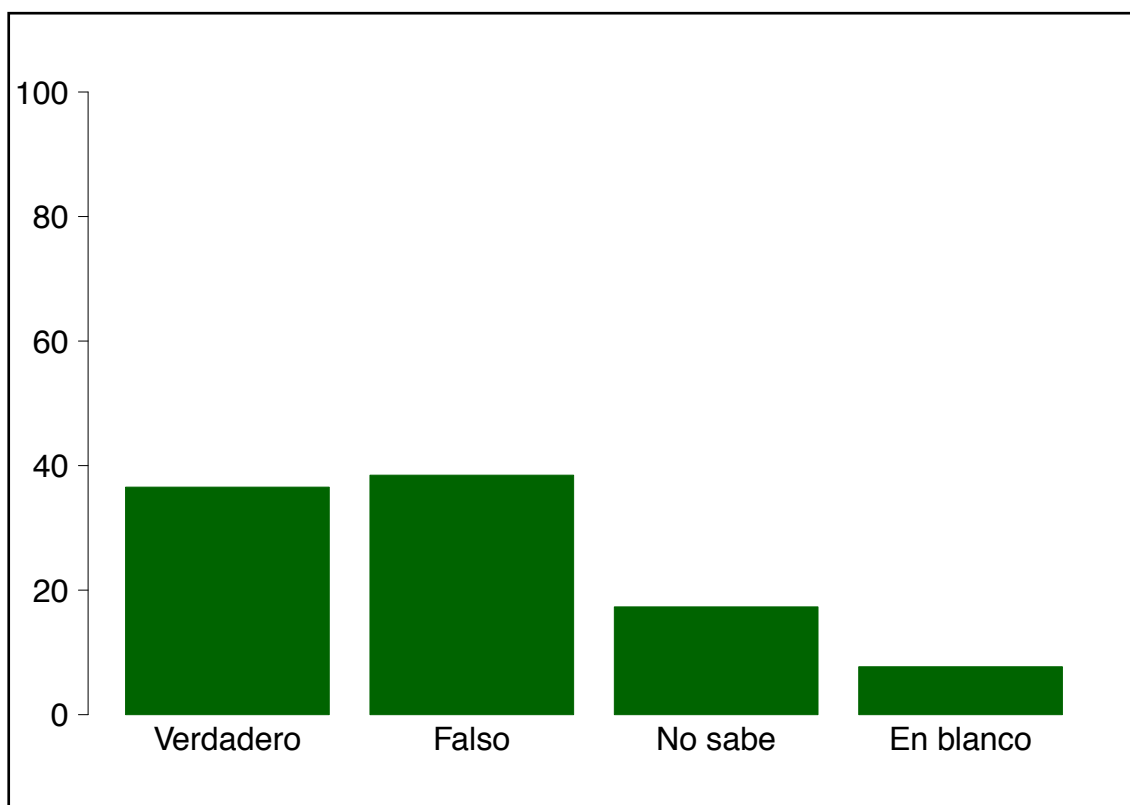


Figura 94. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

En el caso contrario, evaluándose el efecto de la presencia de protones en la fórmula química de un compuesto en la sentencia 1i (figura 95), se observa que un 19,2% se declina por la utilización de este criterio para decidir que un compuesto químico sea ácido o no.

Un 63,5% no considera estrictamente necesaria la presencia de protones en la estructura química. El 10,6% no sabe concluir si este criterio es suficiente o no

y un 6,7% deja la pregunta en blanco. La evaluación de las sentencias *h* e *i* nos inducen a pensar que existen errores de interpretación de los postulados de la teoría de Arrhenius.

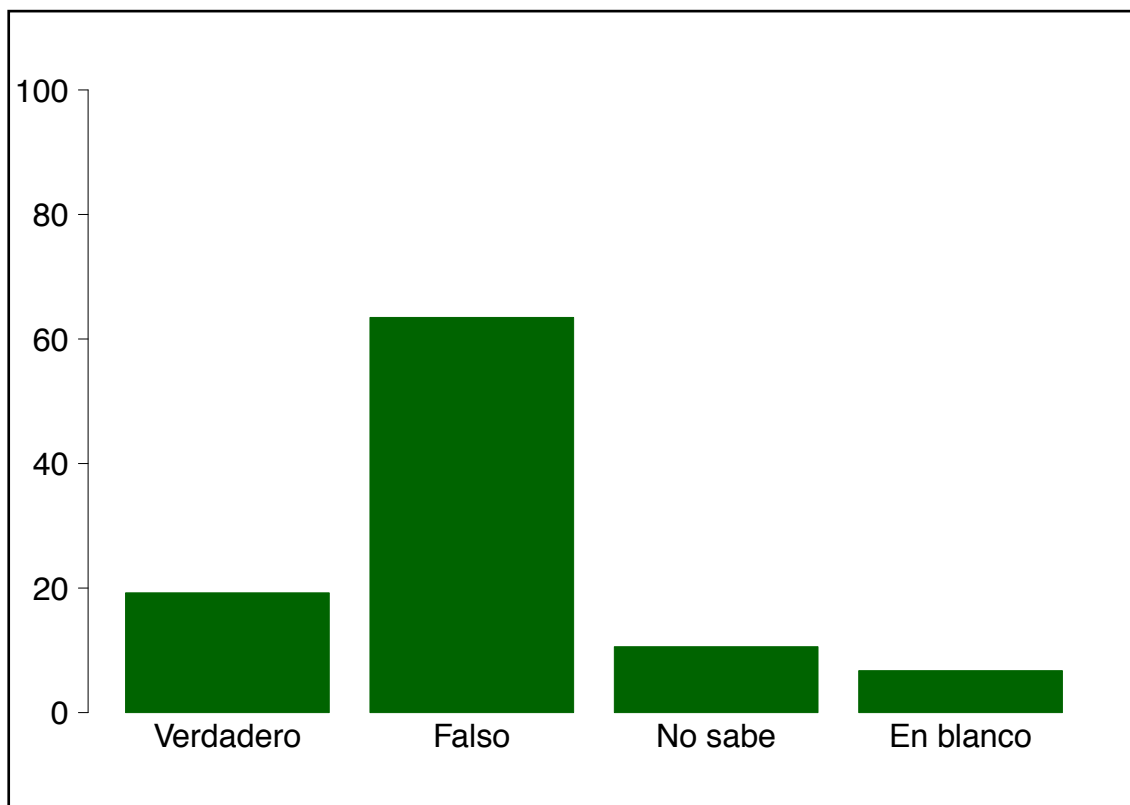


Figura 95. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

En cuanto al valor de pH neutro en condiciones normales (a 298 Kelvin de temperatura y una atmósfera de presión), estudiado en la representación gráfica de los resultados obtenidos para la sentencia 1j (figura 96), el comportamiento de los estudiantes de Veterinaria está acorde con lo observado en el resto de los grados.

Por ello, se observa que un 92,3% acepta que el valor 5,5 no se corresponde con jamás con el valor de pH neutro a las condiciones fisicoquímicas ya descritas. Empero, un escaso 5,8% cree que este es el valor que debe ser tomado como pH neutro por lo que debe haber alguna influencia externa a los currículos que les lleva a tomar esta decisión ya que no se encuentra descrito

en la literatura científica como tal. Luego, un 1% no sabe qué valor de pH se corresponde con lo preguntado y finalmente otro igual 1% no marcó opción alguna.

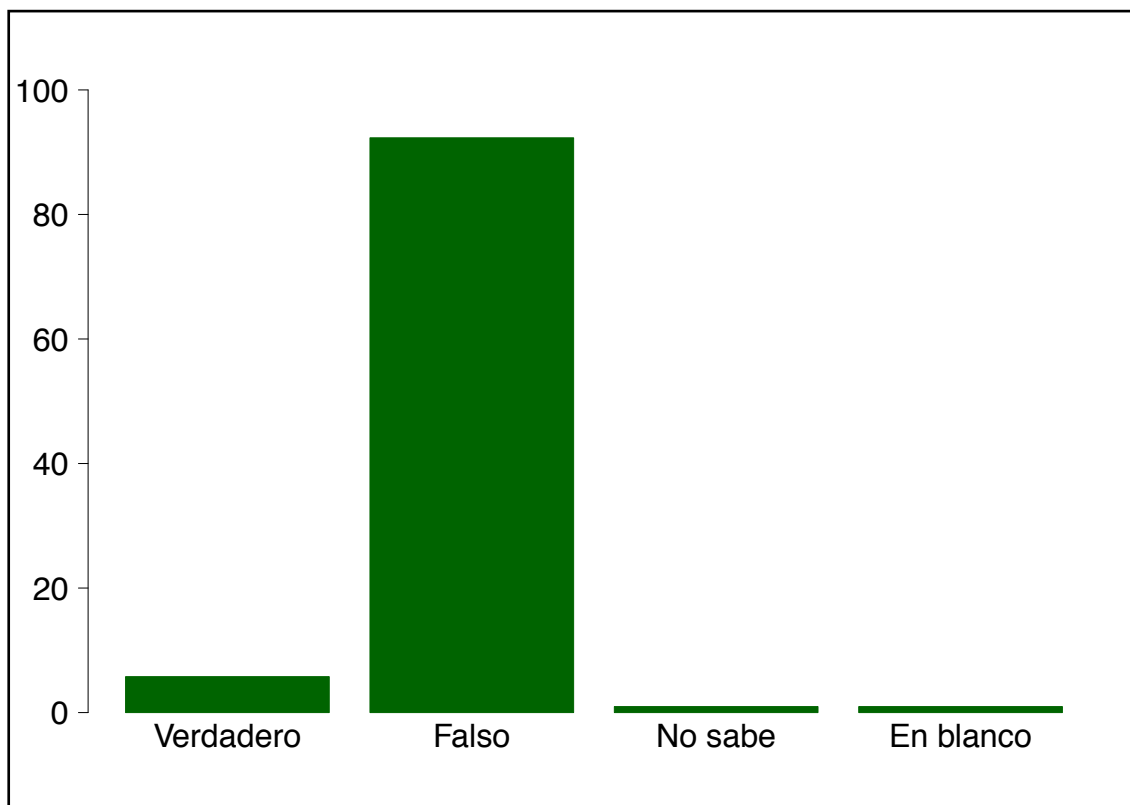


Figura 96. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

Esta tendencia mencionada antes, se mantiene en la distribución gráfica de porcentajes calculados para la sentencia 1k (figura 97), puesto que un 79,8% comprendió que el carácter ácido-base de una sustancia no depende del valor del pH. Esto no significa que no estén relacionados ya que muchas veces la evaluación de un ácido o una base depende de que se disuelva en disolución acuosa y se mida su pH, se requiere, por ello, un examen más detallado de esta cuestión.

Además, un 6,7% cree que efectivamente los ácidos y las bases pierden las propiedades que las definen cuando este valor de pH se alcanza. El 8,7% no sabe qué ocurre cuando la escala de pH desciende hasta este valor tan poco usual en la bibliografía y un 4,8% decide dejar en blanco la pregunta.

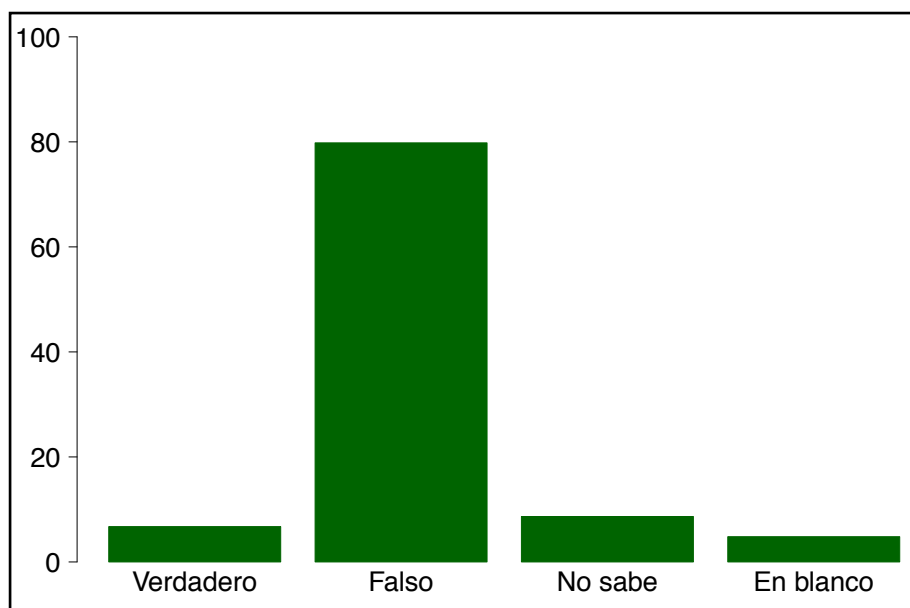


Figura 97. Distribución de porcentajes para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

El equilibrio aproximado en el reparto de los porcentajes vuelve con la sentencia 1l (figura 98) ya que un 29,8% piensa que el pH de la lluvia natural es neutro frente a un 46,2% que admite otros valores de pH y por tanto otras denominaciones como ácido o básico. Un elevadísimo 20,2% no sabe cómo debe ser el pH de la lluvia natural y un 3,8% lo deja en blanco.

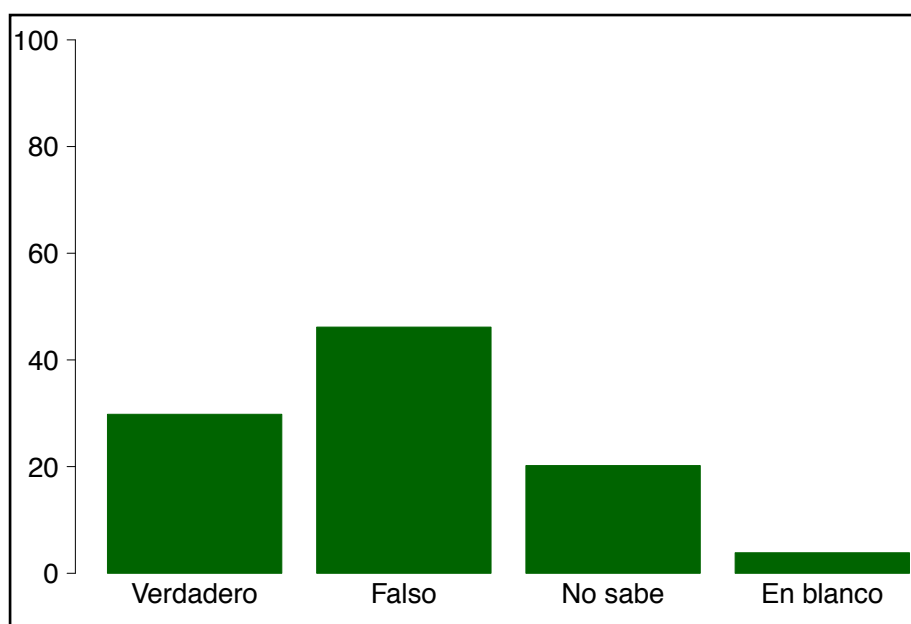


Figura 98. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1l).

Se procede a examinar las respuestas para la reacción de autoprotólisis del agua con la sentencia 2a (figura 99); el resto de afirmaciones de la pregunta dos se tratan separadamente en el bloque que tiene por objetivo la interpretación de dicha reacción mediante las tres teorías ácido-base principales.

Así, un 61,5% considera que el agua puede actuar como ácido y como base simultáneamente admitiendo el carácter anfótero de esta sustancia. Seguidamente aparece con un 29,8% la idea de la neutralidad del agua que al ser un disolvente no podría intervenir en su propia reacción, un 2,9% cree que el agua solamente puede actuar como una base, un 1% que sólo lo hará como ácido y un 4,8% deja en blanco la pregunta.

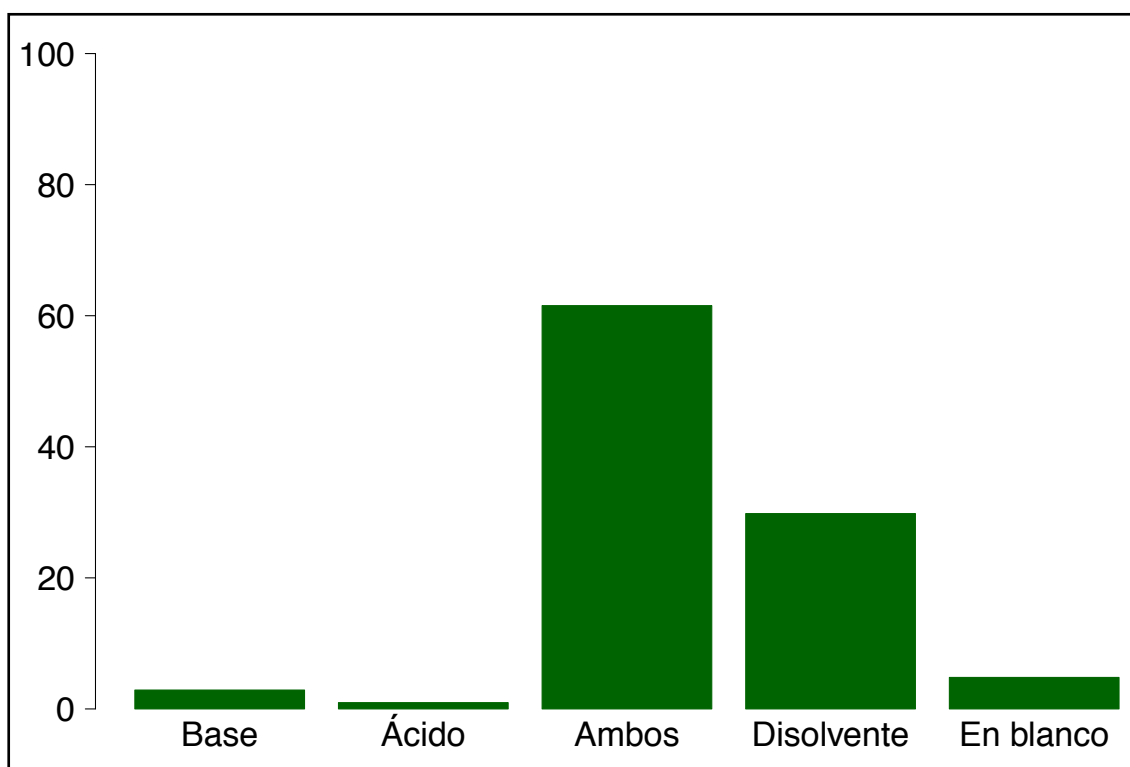


Figura 99. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

En la sentencia 3 (figura 100), verificamos qué carácter ácido base es asignado a los suelos. Así, un 93,3% indica que los suelos pueden tener cualquiera de ellos: ácido, básico o neutro. Este resultado tan distinto al de otros grados

sobre esta cuestión pueda deberse probablemente a que existen contenidos específicos sobre edafología en la asignatura de Agronomía. Sólo un 1,9% cree que los suelos no pueden ser ácidos, un 1% que no pueden ser básicos, otro 1% que deben ser estrictamente neutros y un 2,9% que deja la pregunta en blanco.

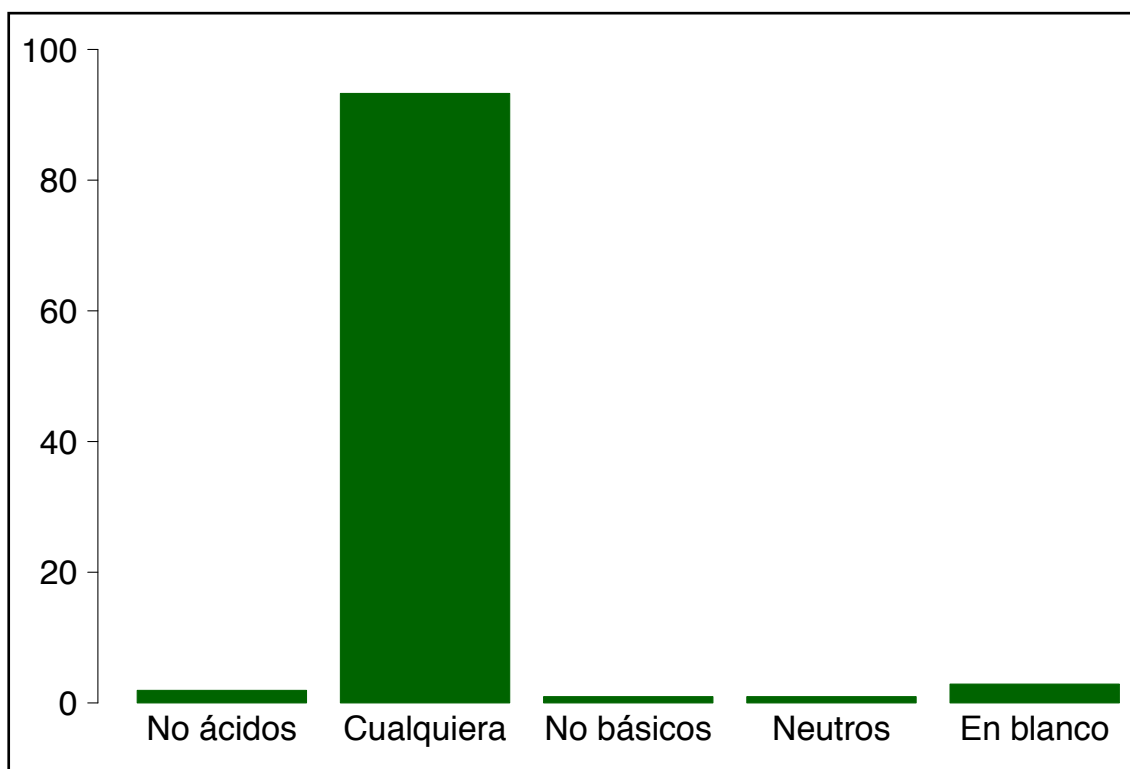


Figura 100. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

Nos enfocamos inmediatamente en la clasificación de las sustancias cotidianas gracias a la clasificación propuesta en la sentencia 4a (figura 101). La primera sustancia que se les ofrece a los alumnos es la lejía, el cual es un producto de limpieza muy conocido en los hogares. Además, se cree que existe una desconexión entre la vida cotidiana y la química enseñada.

Erróneamente, un 62,5% incluye a la lejía dentro de los ácidos. Opuestamente aparece un 36,5% que la clasificaría como base. Un bajo 1% deja la pregunta en blanco.

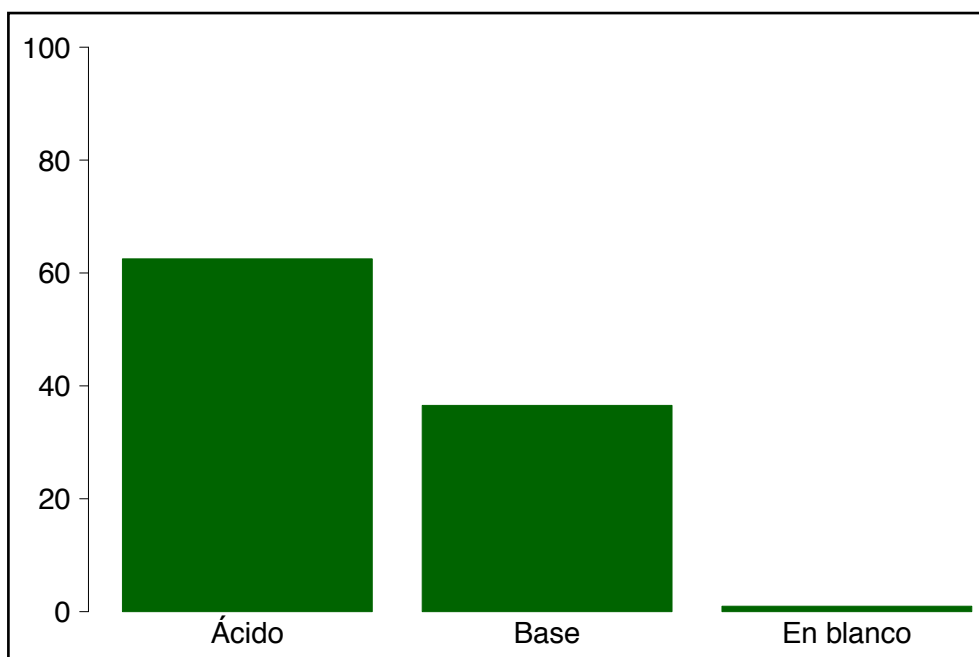


Figura 101. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

En comparación con el ítem antecedente, la clasificación parece más clara en la sentencia 4b (figura 102). Dada la representación gráfica de la distribución de los porcentajes calculados, un 76% indica que la sosa cáustica es una base frente a un 22,1% que la incluiría en el grupo de los ácidos. Por último, el 1,9% la deja en blanco.

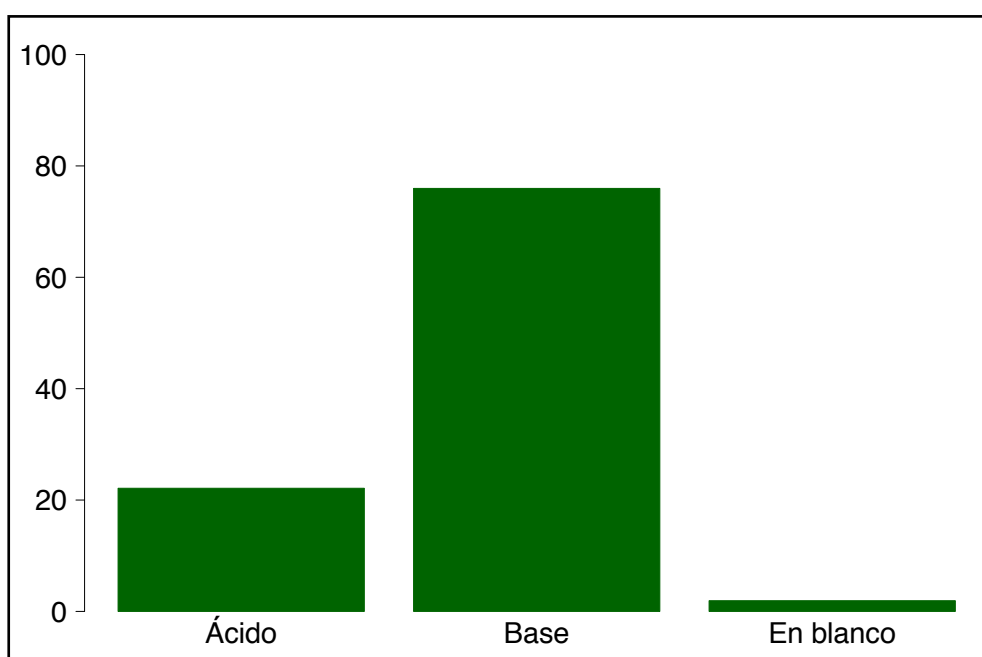


Figura 102. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

En la descripción gráfica del análisis de los datos obtenidos para la sentencia 5a (figura 103), un 21,2% indica que el pH final de una titulación ácido-base debe ser estrictamente siete como en el caso de los ácidos y bases fuertes a concentraciones equimolares mientras que un 56,7% considera que es posible otro pH final distinto al señalado.

El 17,3% no sabe y un 4,8% deja en blanco la cuestión. Parece que, de forma similar a otros grados, existen problemas al tener en cuenta la fortaleza o la debilidad de ácidos y bases en las reacciones de neutralización.

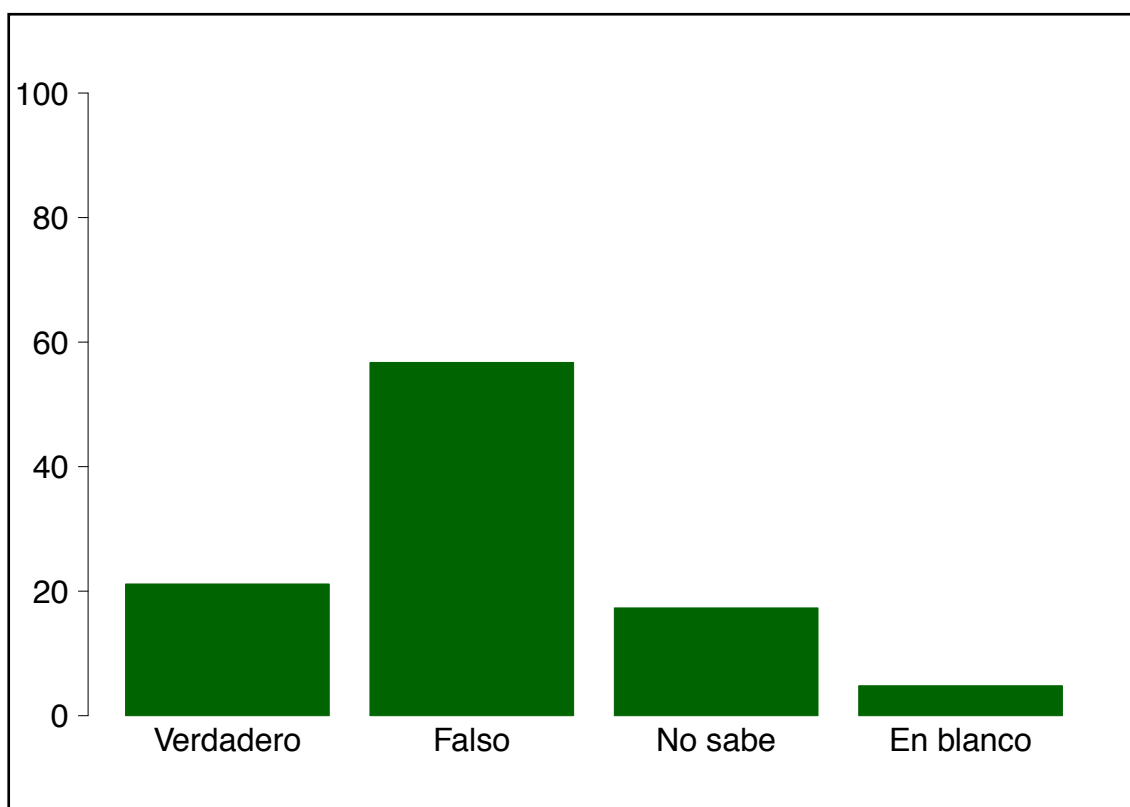


Figura 103. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

En la sentencia 5b (figura 104), parece existir una mayor inclinación hacia la respuesta correcta con un 62,5% que comprende que el papel de un indicador ácido-base no es producir la reacción opuestamente a un 15,4% que consideró que ese es su papel. Un elevado 19,2% no sabe qué rol desempeña un indicador ácido-base y un 2,9% dejó en blanco la pregunta.

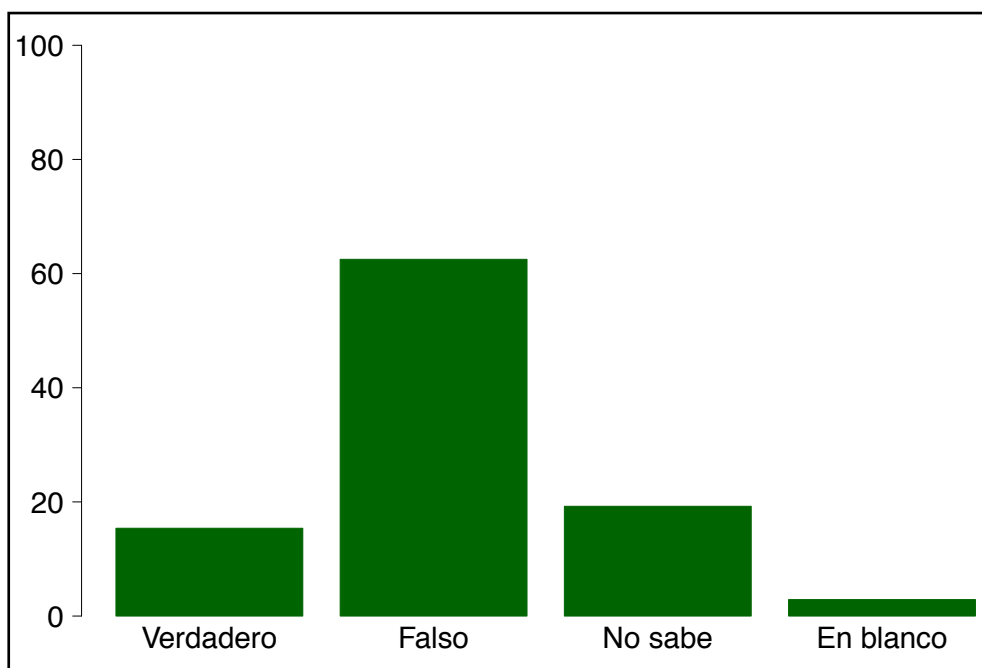


Figura 104. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Finalmente, para la sentencia 5c (figura 105), tenemos que un 64,4% piensa que el cambio de color de un indicador ocurre a un pH único y específico al contrario que un 20,2%. Un 13,5% no sabe y un 1,9% no marca opción.

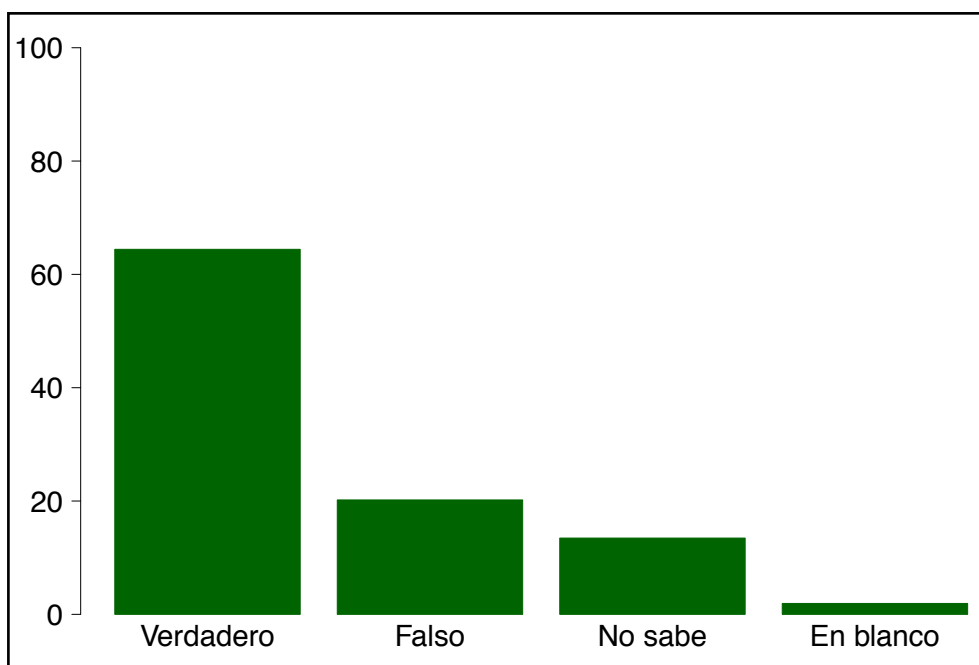


Figura 105. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

Para culminar se presenta la tabla resumen del conocimiento precedente con su porcentaje y el tipo de presencia asignado (tabla 27).

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	29,8	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	40,4	Moderada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	5,8	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	5,8	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	29,8	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	22,1	Moderada
Sal siempre neutra	24	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	36,5	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	19,2	Moderada
5,5 es pH neutro	5,8	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	6,7	Minoritaria
El pH de la lluvia natural es neutro	29,8	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	29,8	Moderada
Los suelos son solamente neutros	1	Minoritaria
La lejía es un ácido	62,5	Elevada
La sosa cáustica es un ácido	22,1	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7	21,2	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	15,4	Moderada
El cambio de color es a un pH único y específico	64,4	Elevada

Tabla 27. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Veterinaria.

4.1.6. Grado en Enfermería.

En el grado de Enfermería sólo fue posible examinar a los alumnos de primer y tercer curso, imposibilitándose la tarea de estudiar a los alumnos de segundo y cuarto. En este grado, el 91,3% de los examinandos proviene del bachillerato de la especialidad de ciencias de la salud, un bajo 6,4% de la especialidad de las ciencias y la tecnología y por último un 2,3% de otras especialidades.

Iniciamos pues, el examen, con la sentencia 1a (figura 106), en la que se encuentra que un importante 43,4% afirma que un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura, asimilando que la fuerza está determinada por el número de protones y por tanto existe una relación fuerza-estructura que probablemente provenga de la incomprensión de la teoría de Arrhenius. El 20,8% no cree que este criterio permita comparar las fuerzas de dos ácidos, un 27,7% no sabe qué parámetro debe utilizarse para comparar la fortaleza de los ácidos y un 8,1% deja en blanco la cuestión.

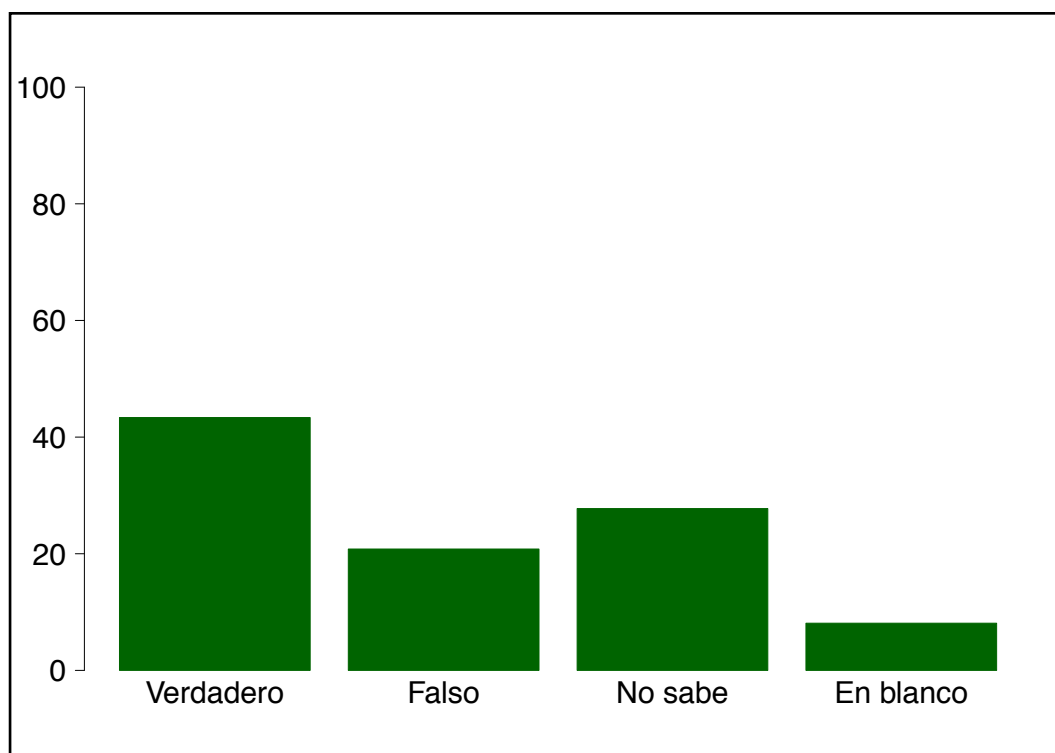


Figura 106. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

En la sentencia 1b (figura 107), se confirma la tendencia observada en el apartado anterior pero para el caso de las bases, con un 36,4% que piensa que la cantidad de grupos OH determina la fuerza de una base y permite compararla con otras frente a un 22% que opina justamente lo contrario. El 28,9% no sabe si este criterio es admisible para la comparación y un 12,7% deja en blanco la pregunta.

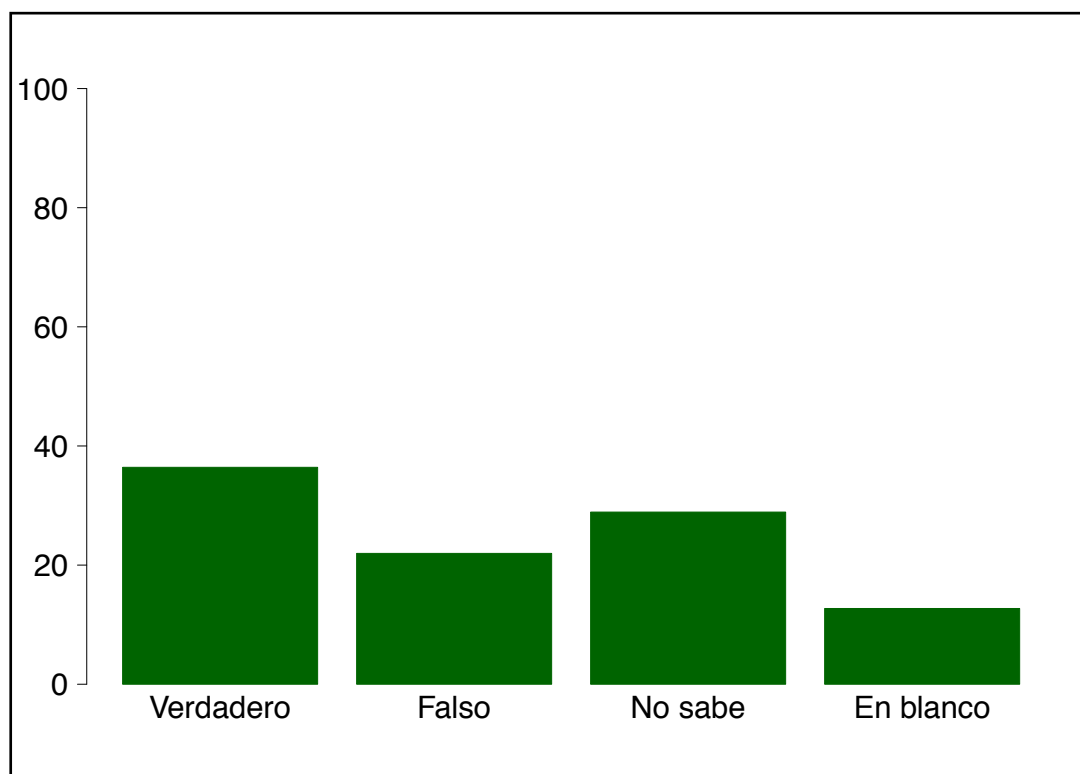


Figura 107. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

Observando la representación gráfica de los porcentajes calculados utilizando los datos obtenidos mediante encuesta, vemos que cambia la tendencia en la sentencia 1c (figura 108) respecto del análisis del ítem anterior.

Ahora los sujetos están de acuerdo en un 74,6% que un ácido fuerte y una base débil pueden reaccionar, no tomando así el carácter como un impedimento para que se produzca la interacción entre ambos. No obstante, un 9,2%, se decanta por admitir que el carácter débil o fuerte sí supone un obstáculo a la reacción. Un 12,1% no sabe qué puede hacer para resolver este dilema teórico-práctico y un 4% deja en blanco la cuestión.

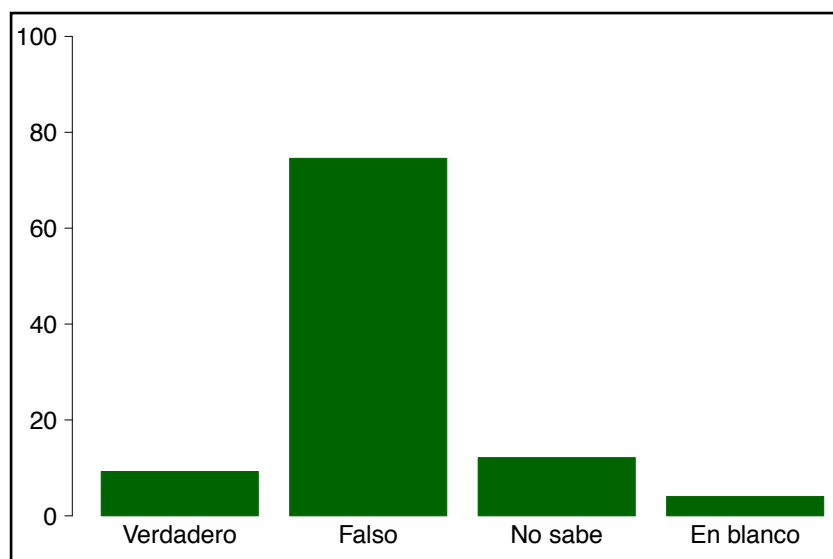


Figura 108. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

Siguiendo la descripción gráfica de los porcentajes obtenidos es posible observar en la sentencia 1d (figura 109), que sólo un 9,8% admite que el carácter fuerte o débil de una base o un ácido no les permite reaccionar, al contrario que un 69,4% que si entiende que el carácter no es óbice. Asimismo, un 12,1% no sabe qué responder a este problema que relaciona carácter y reacción, junto a un 8,7% prefiere dejar en blanco la respuesta.

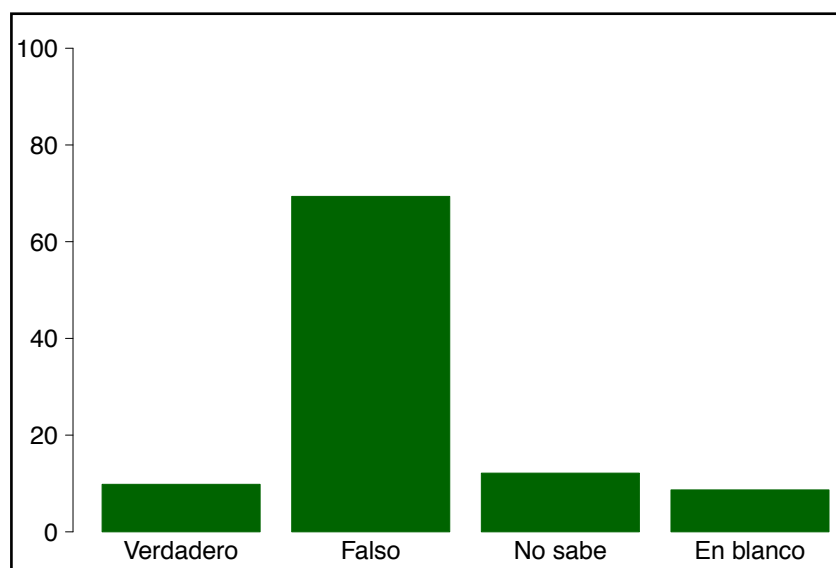


Figura 109. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

Los porcentajes se reparten entre las opciones de la sentencia 1e (figura 110), a la inversa de la concentración que observamos en los dos apartados anteriores con un 27,2%, que afirma que un ácido fuerte debe dar un valor de pH más alto que un ácido débil contrariamente a un 27,7% que considera que esto no es así. Un abrumador 31,2% no sabe qué responder y un importante 13,9% deja la pregunta en blanco.

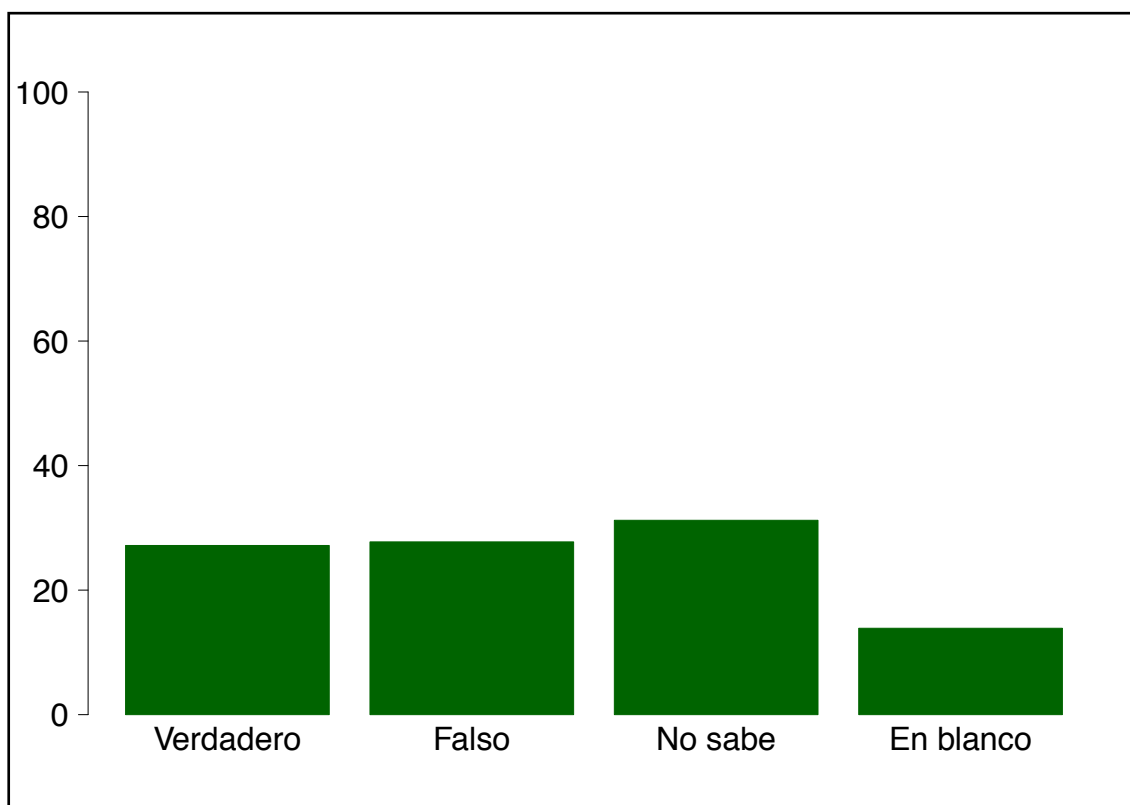


Figura 110. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

Para el posible daño ocasionado por los ácidos y las bases se describe gráficamente los porcentajes resultantes del análisis de las respuestas dadas por los sujetos a la sentencia 1f (figura 111). Se observa en ella similitudes con el apartado anterior, donde un 28,3% cree que los ácidos pueden quemar la piel pero no así las bases opuestamente a un 43,9% que admite la peligrosidad (si la concentración es adecuada) de ambos compuestos. Un elevado 20,8% desconoce si un ácido es más peligroso que una base o no mientras que un 6,9% opta por dejar en blanco la respuesta.

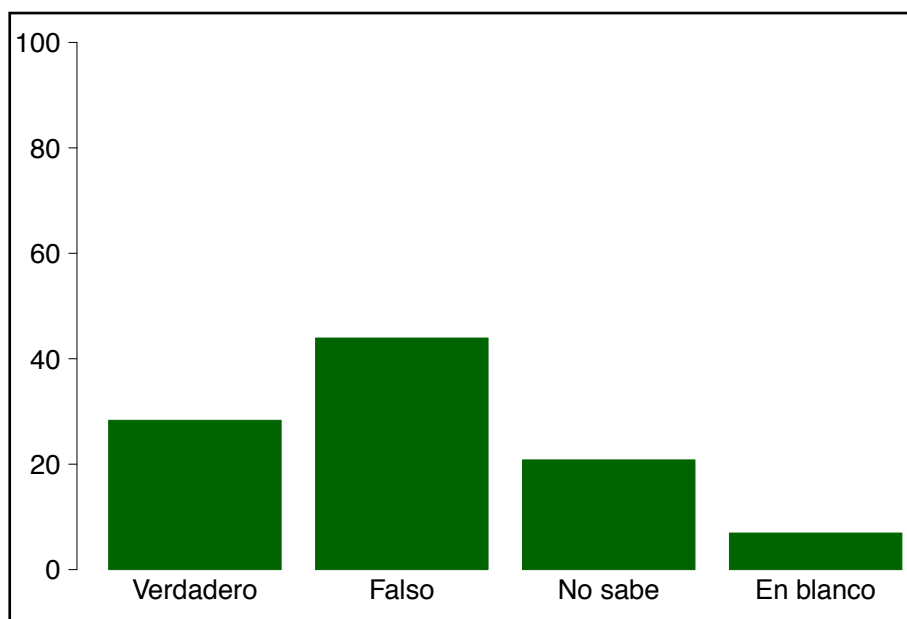


Figura 111. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Sobre las sales, en la sentencia 1g (figura 112), tenemos que un 17,9% las considera estrictamente neutras y que no pueden participar en las reacciones ácido-base. Un 51,4% admite que pueden tener varios caracteres y por tanto participar de esta clase de reacciones. Por otro lado, un destacado 20,8% no sabe qué rol pueden jugar las sales y un 9,8% deja en blanco la pregunta.

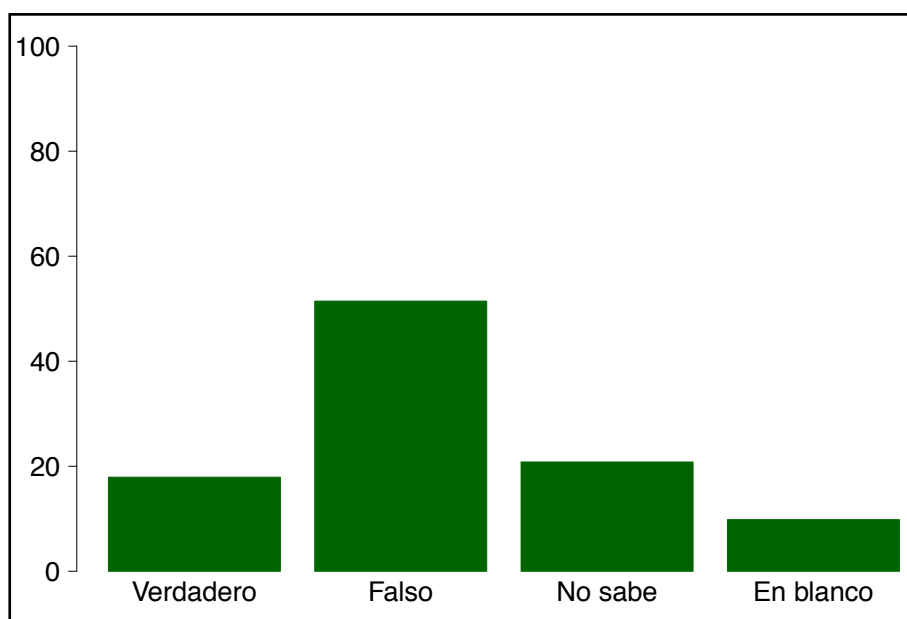


Figura 112. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

En la sentencia 1h (figura 113), pasamos a evaluar el componente estructural asignado a la fórmula química de un compuesto en la clasificación, así existe un 38,7% que acepta la presencia de grupos OH terminales como indicador de que el alcohol etílico deba ser clasificado como base frente a un 22,5% que opta porque este criterio no sea determinante. Luego, un elevado 27,2% no sabe cómo actuar frente al criterio y un 11,6% deja en blanco la cuestión.

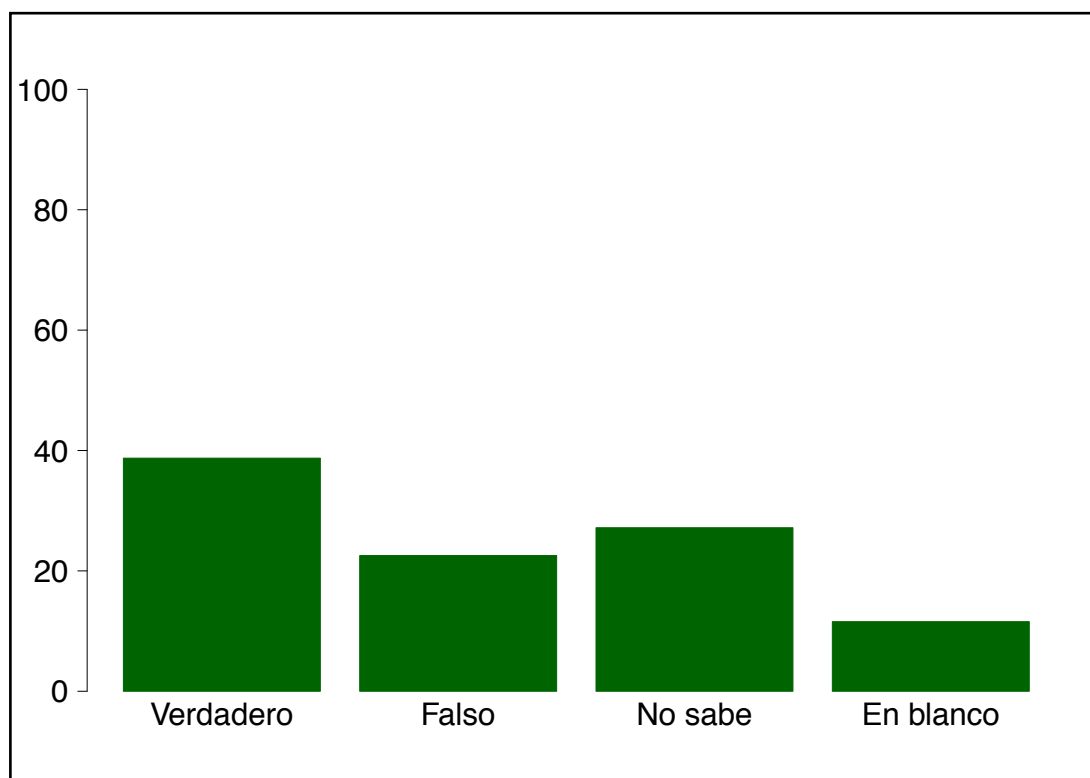


Figura 113. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

El anverso del anterior apartado se encuentra en la sentencia 1i (figura 114), con la inclusión del amoníaco en los ácidos si tomásemos en cuenta la exclusiva presencia de protones en la fórmula química.

Por ello se observa que un 31,8% sí resolvería el problema de esta manera mientras que un 39,3% no cree que la mera presencia de protones en una fórmula química sea condición imprescindible para su clasificación como ácido. Un importante 16,8% no sabe qué responder y un 12,1% deja en blanco la cuestión.

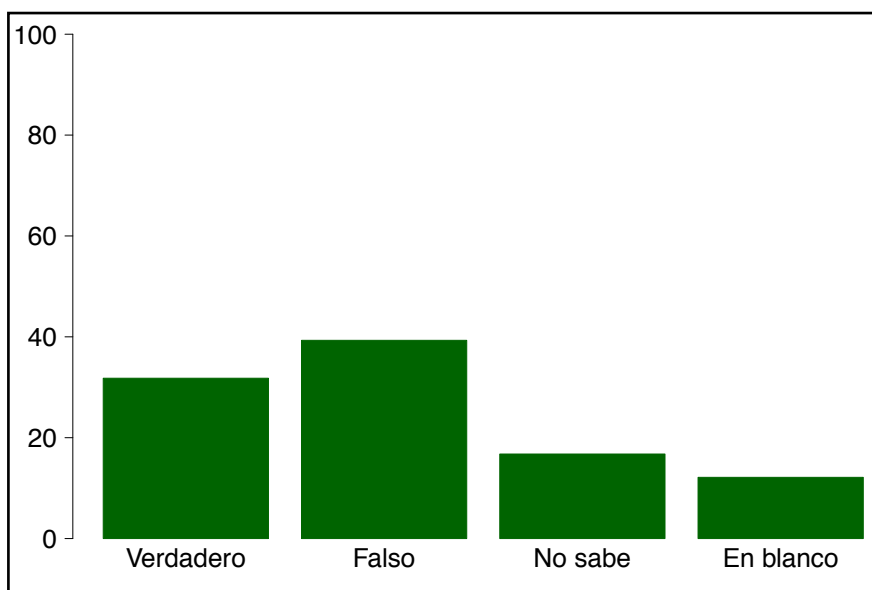


Figura 114. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

De forma muy similar se presentan los resultados de la sentencia 1j (figura 115). La distribución de los porcentajes obtenidos permite observar que un abrumador 97,1% niega el valor 5,5 como valor de pH neutro en condiciones normales, frente a un 2,9% que admite que dicho valor es el correspondiente a la neutralidad. Las opciones “no sabe” y las respuestas en blanco quedaron completamente desiertas.

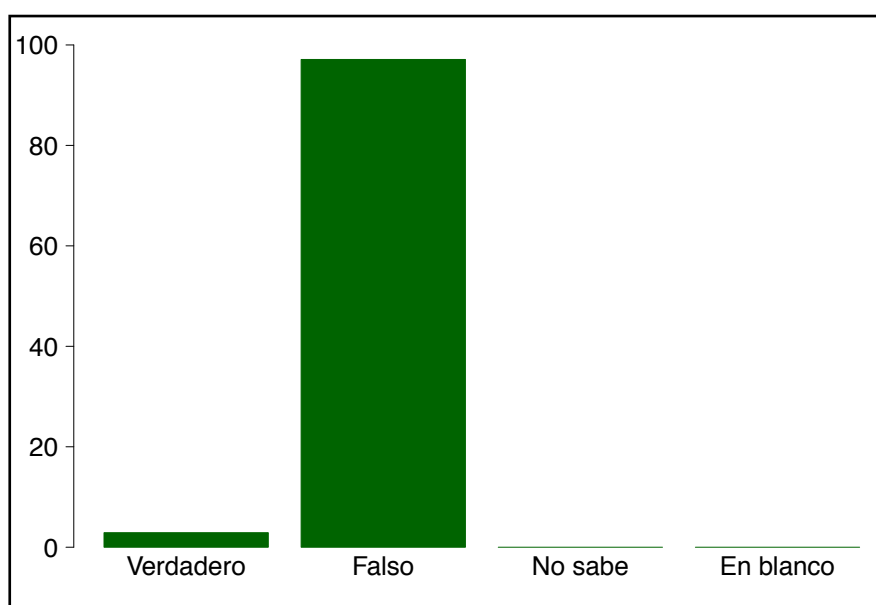


Figura 115. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

En la sentencia 1k (figura 116), evaluamos la posibilidad de considerar el carácter ácido-base como una característica ligada a la escala de pH de la disolución. Mediante la representación gráfica, podemos observar que un 10,4% de la muestra estimó oportuno considerar que a pH igual a cero las sustancias pierden su carácter ácido-base mientras que un 81,5% da con la idea correcta al entender que son temas relacionados pero influyentes y que ese valor controvertido de pH, desde el punto de vista de los estudiantes, no pierden su carácter ácido-base. El 5,2% no sabe qué ocurre a ese valor de pH y un 2,9% lo deja en blanco.

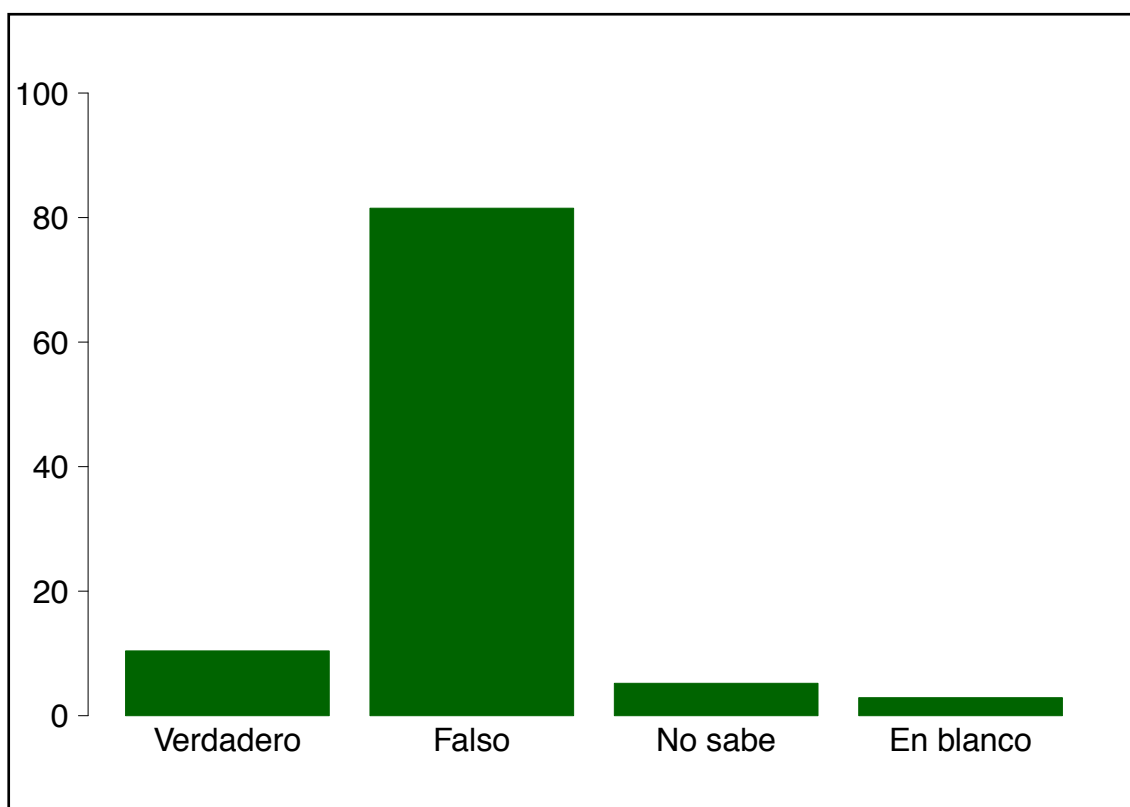


Figura 116. Distribución de porcentajes para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Para finalizar con la batería de sentencias correspondientes a la pregunta 1, pasamos a la sentencia 1l (figura 117), en la cual evaluaremos la relación entre la neutralidad de los valores de pH y los fenómenos naturales. Así, un 21,4% cree que el pH de la lluvia natural debe ser neutro, un 40,5% considera que

esto es falso admitiendo la posibilidad de otros tipos de valores de pH para este fenómeno, un importante 29,5% no sabe y un 8,7% dejó en blanco la cuestión.

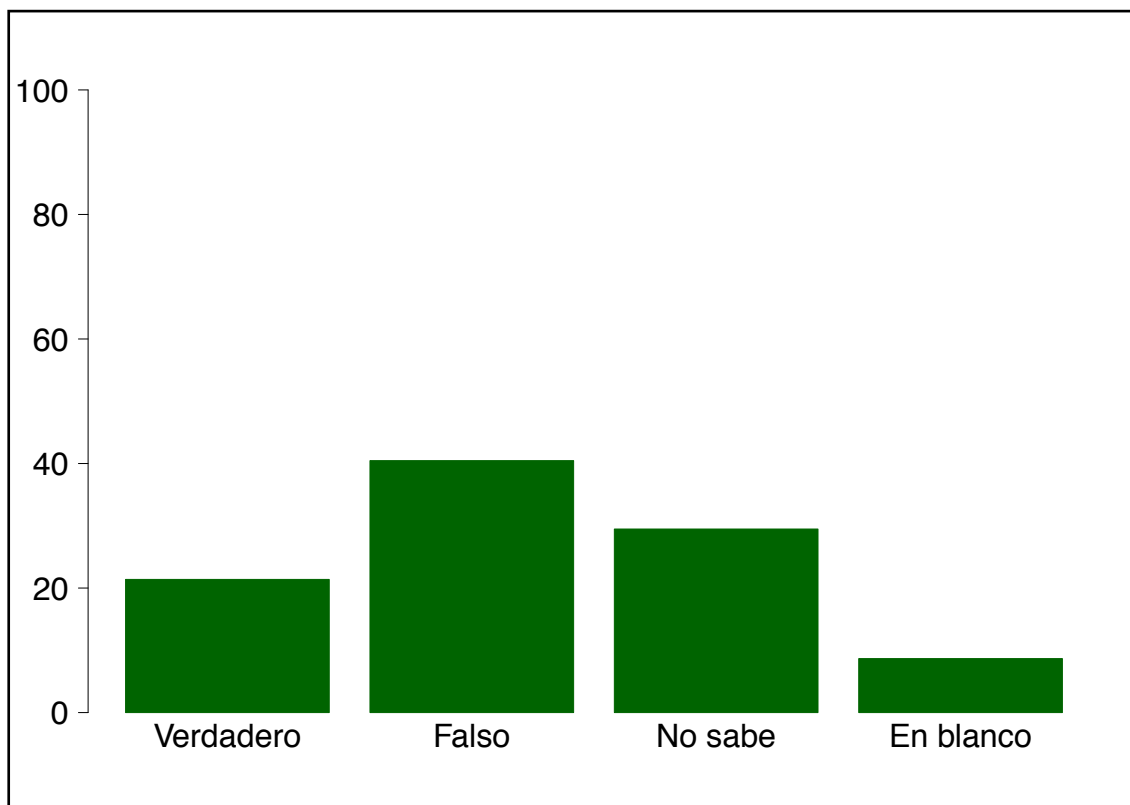


Figura 117. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1).

Seguimos con la representación gráfica de los porcentajes asignado para la sentencia 2a (figura 118), ya que el resto de apartados de esta pregunta quedará para ser analizado en el bloque de interpretación de las reacciones según las teorías ácido-base principales.

En este caso, no existe un comportamiento acusado como en otros grados sino que ahora se reparten más los sujetos entre las respuestas de comportamiento anfótero y el de disolvente. Por ende, un 46,8% admite el carácter anfótero del agua por el cual puede actuar como ácido y como base en la reacción de autoprotólisis frente a un 39,3% que considera que por ser un disolvente no puede participar de estas reacciones. Un 1,7% cree que el agua sólo actúa como base, bajísimo 0,6% que sólo actúa como ácido y un 11,6% no responde.

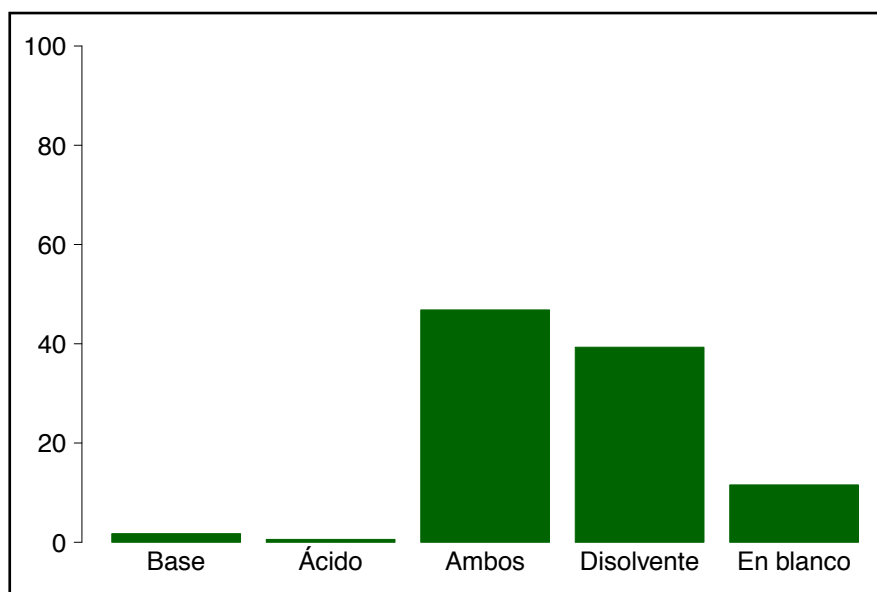


Figura 118. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

Con la sentencia 3 (figura 119), iniciamos el análisis del carácter ácido-base de los suelos, sigue siendo mayoritaria la idea de que los suelos pueden ser de cualquier clase ácido-base, con un 58,4%. Mientras, un 2,9% piensa que no pueden ser ácidos, un 0,6% que no pueden ser básicos, un 5,2% que deben ser estrictamente neutros y un inesperado 32,9% que no tiene criterios para responder dejando la pregunta en blanco.

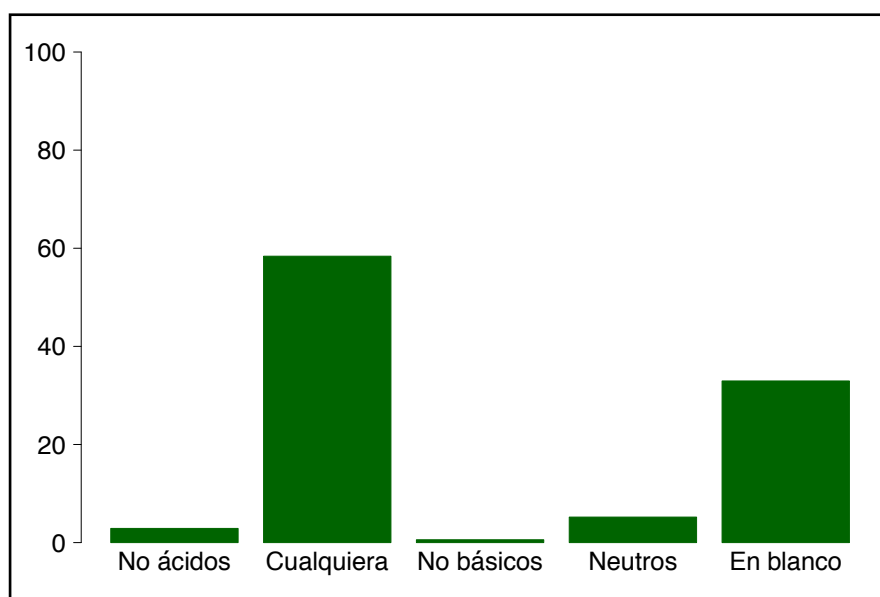


Figura 119. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

Para la sentencia 4a (figura 120), puede observarse que 56,1% clasifica la lejía como un ácido frente a un 38,7% que la incluye en la categoría de las bases; un 5,2% deja la pregunta en blanco.

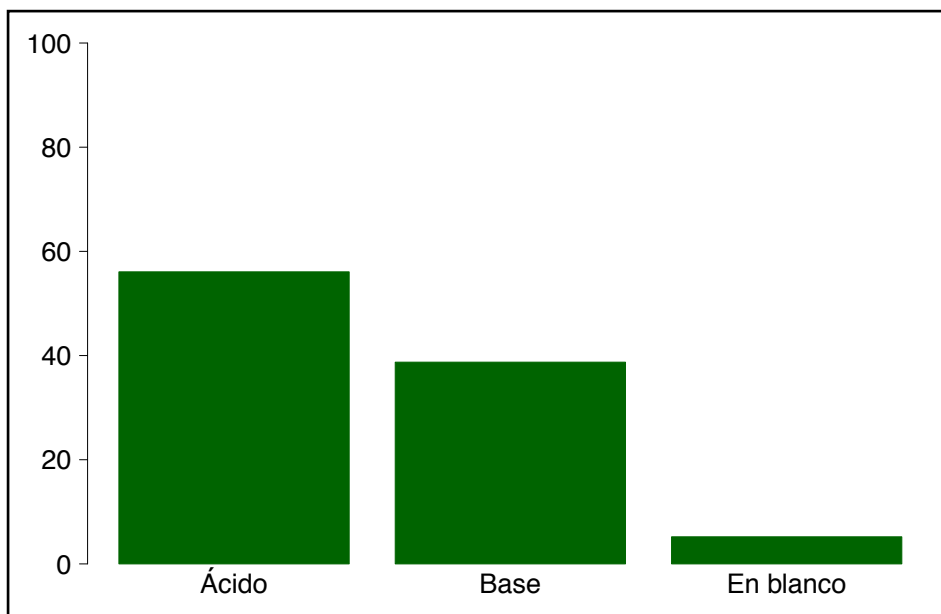


Figura 120. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

Continuamos con la sentencia 4b (figura 121), donde un 27,7% clasifica la sosa cáustica como ácido, un 62,4% como base y un 9,8% no responde.

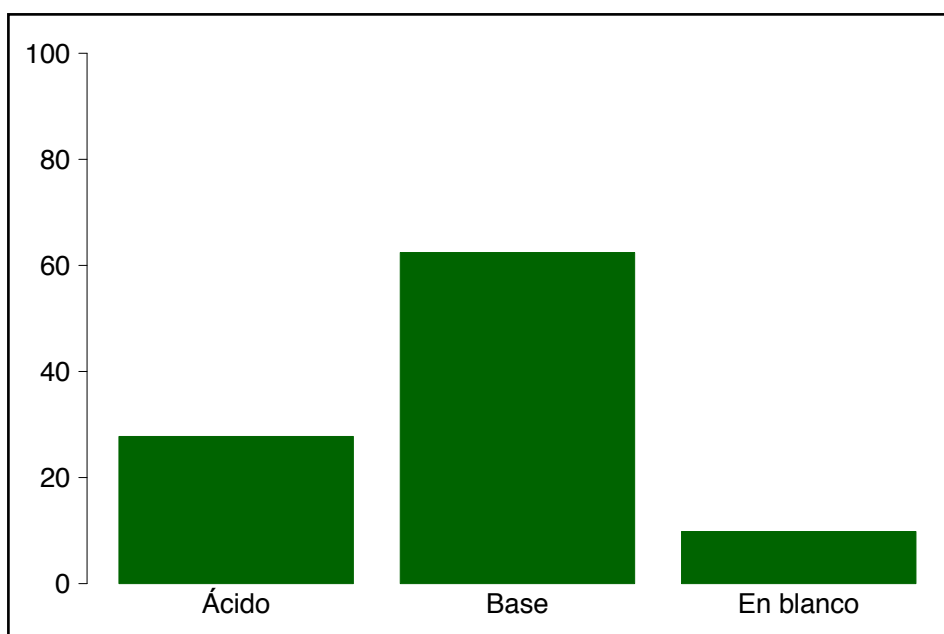


Figura 121. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

En el gráfico obtenido para la sentencia 5a (figura 122), el 28,3% cree que el valor de pH en el punto de neutralización vale siete siempre sin importar la fortaleza o debilidad de los compuestos implicados. Existen sujetos para los cuales la afirmación sería justamente la opuesta y así un 29,5% admite otros valores posibles diferentes del presentado en el cuestionario. Un elevado 27,2% no sabría, para el caso de las titulaciones ácido-base qué valor de pH es posible y un también destacado 15% lo deja en blanco.

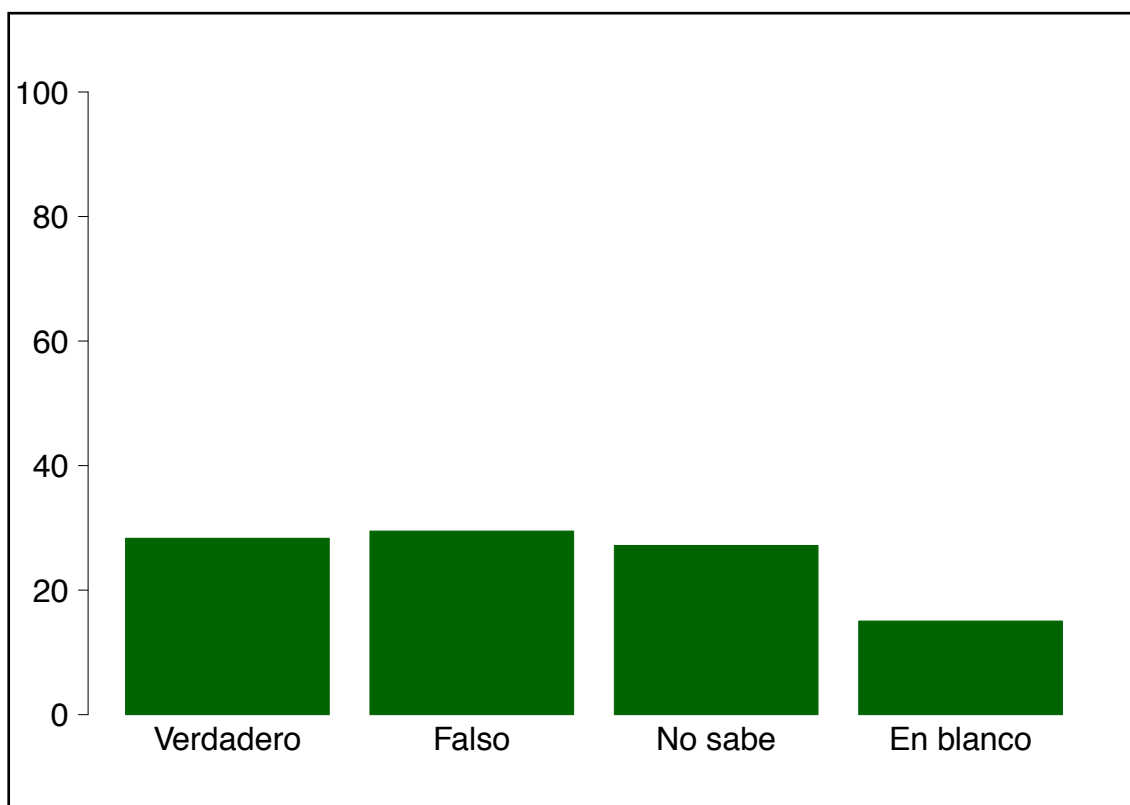


Figura 122. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

A continuación, se muestra la gráfica que se corresponde con el análisis de los datos obtenidos para la sentencia 5b (figura 123). Ahora las respuestas de los sujetos están desplazadas más hacia el desconocimiento de la afirmación propuesta, con un 37,6% que no sabe qué responder sobre el papel del indicador en una titulación ácido-base. Un 15%, cree que es un compuesto químico que ayuda a que se produzca la reacción, un elevado 31,2% considera que no interviene en dicha reacción al no saber qué responder y un 16,2% que deja en blanco el ítem.

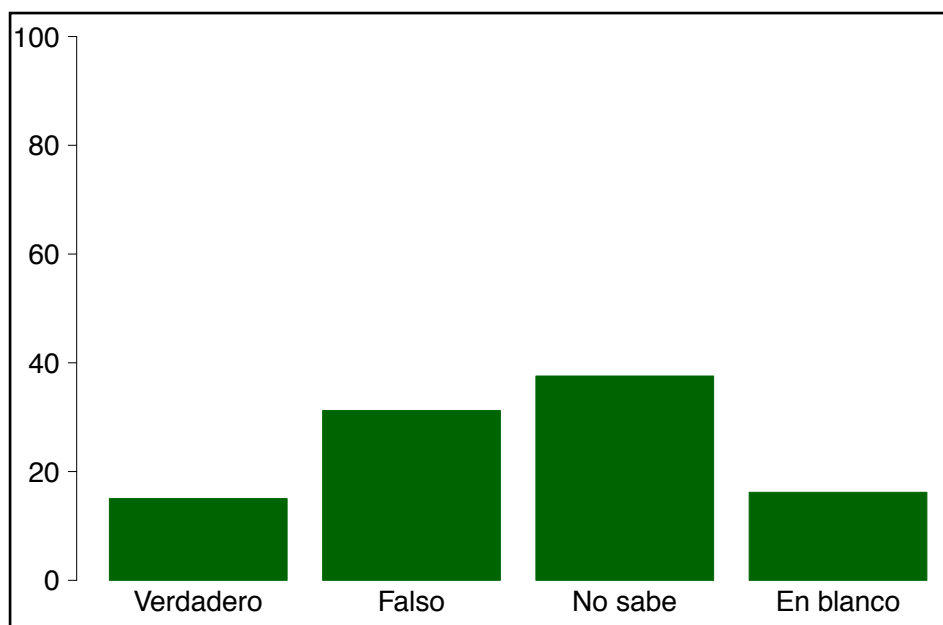


Figura 123. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Para finalizar, en la sentencia 5c (figura 124), prosigue el reparto similar de las respuestas con un 28,9% que cree que el cambio de color del indicador se produce a un valor único y específico, un 21,4% que piensa justamente lo contrario, un 34,1% que no sabe y un 15,6% que opta por no responder.

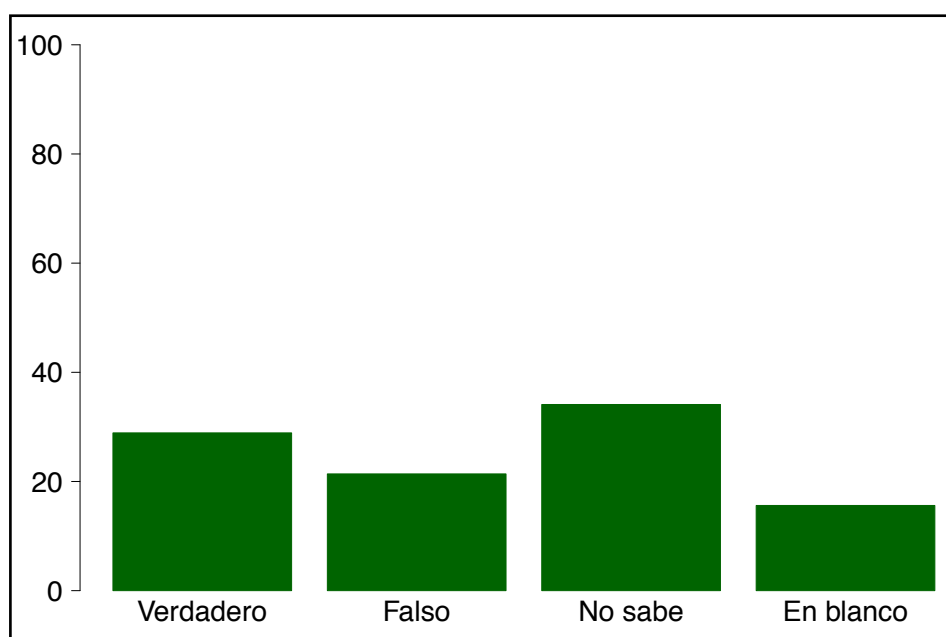


Figura 124. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

Finalmente se presenta la tabla resumen de los conocimientos precedentes del grado estudiado con su porcentaje correspondiente y el grado de presencia asignado (tabla 28).

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	43,4	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	36,4	Moderada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	9,2	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	9,8	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	27,2	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	28,3	Moderada
Sal siempre neutra	17,9	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	38,7	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	31,8	Moderada
5,5 es pH neutro	2,9	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	10,4	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro	21,4	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	39,2	Moderada
Los suelos son solamente neutros	5,2	Minoritaria
La lejía es un ácido	56,1	Elevada
La sosa cáustica es un ácido	27,7	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7	28,3	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	15	Moderada
El cambio de color es a un pH único y específico	28,9	Moderada

Tabla 28. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Enfermería.

4.1.7. Grado en Fisioterapia.

El examen al grado en Fisioterapia coincide en gran parte con el realizado al grado en Ingeniería de Organización Industrial, ya que sólo se pudo evaluar un curso de los cuatro posibles, lo que origina un importante sesgo, a pesar de que a partir del segundo curso se pierden los contenidos ácido-base específicos del currículo. Un 75,7% de los encuestados provino de la especialidad de ciencias de la salud frente a un 10,8% de la especialidad de ciencias y tecnología; un 13,5% provino de otras especialidades.

Iniciaremos nuestra exploración con la representación gráfica de los resultados obtenidos para la sentencia 1a (figura 125), en la que un 35,1% considera que un ácido es más fuerte que otro únicamente por la mayor presencia de protones en su estructura, un 43,2% cree que este criterio no es adecuado para la comparación de la fortaleza de dos ácidos y finalmente un 21,6% no sabe en qué criterio basarse para comparar la fuerza dos ácidos.

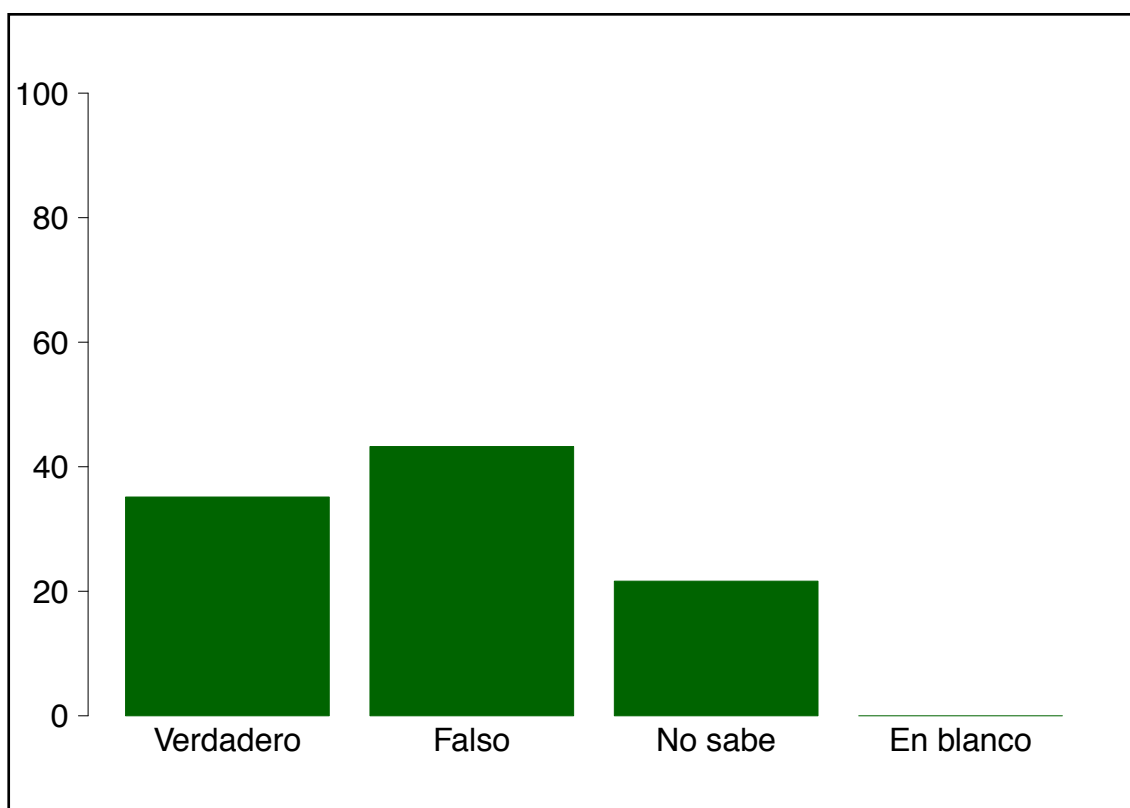


Figura 125. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

Para las bases, descubrimos en el gráfico perteneciente a los datos tomados para la sentencia 1b (figura 126), que los examinandos parecen tener bastante claro el papel de los grupos hidroxilos de la estructura química en la fuerza del compuesto.

De esta manera, un 62,2% considera que una base es más fuerte que otra porque posee un mayor número de grupos hidroxilo en su fórmula química, frente a un 16,2% que cree que este parámetro no permite la comparación de la fuerza. Un 21,6% no sabría responder a este problema teórico-práctico y ninguno de los sujetos dejó en blanco la cuestión.

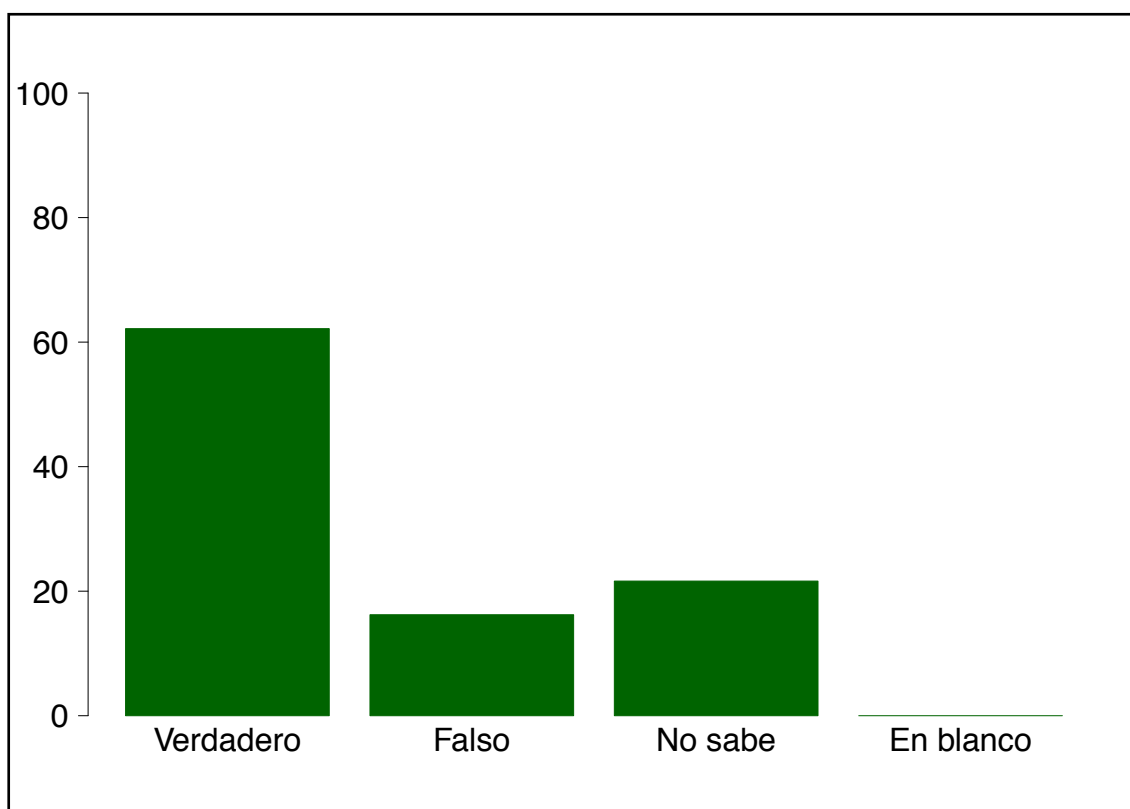


Figura 126. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

Ya en la sentencia 1c (figura 127), un 24,3% piensa que el carácter débil o fuerte de un ácido y una base les impide reaccionar frente a un 64,9% que entiende que ese parámetro no es óbice. El 10,8% no sabe si el carácter de los ácidos y las bases les impide reaccionar o no.

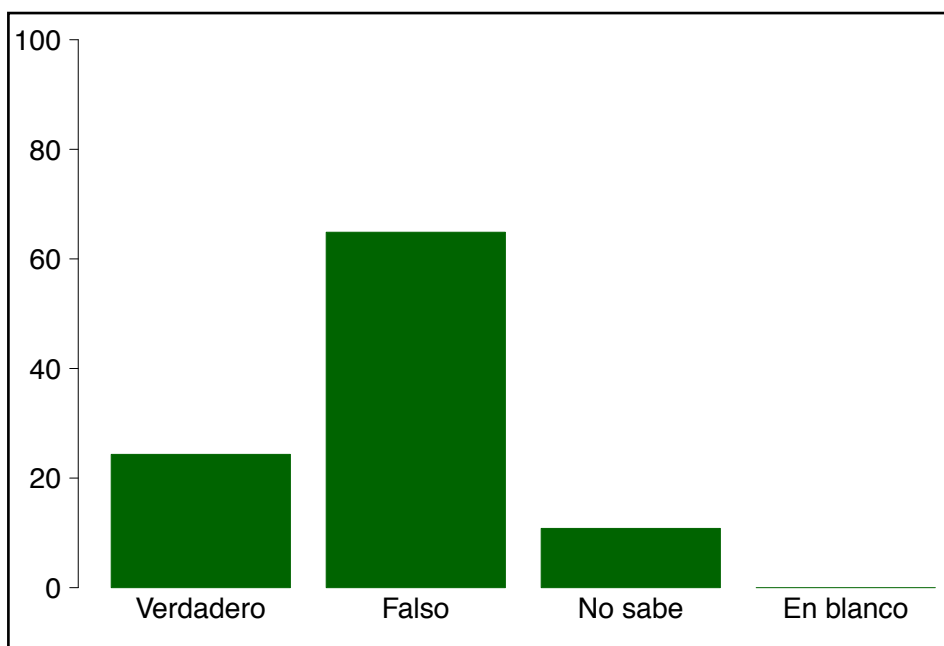


Figura 127. Distribución de porcentajes para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

En la sentencia 1d (figura 128), cambian radicalmente las respuestas de los alumnos, ya que un destacado 86,5% cree que una base fuerte puede reaccionar con un ácido débil opuestamente a un escaso 2,7% que lo cree verdadero. Un 8,1% no sabe y solamente un 2,7% deja la cuestión en blanco.

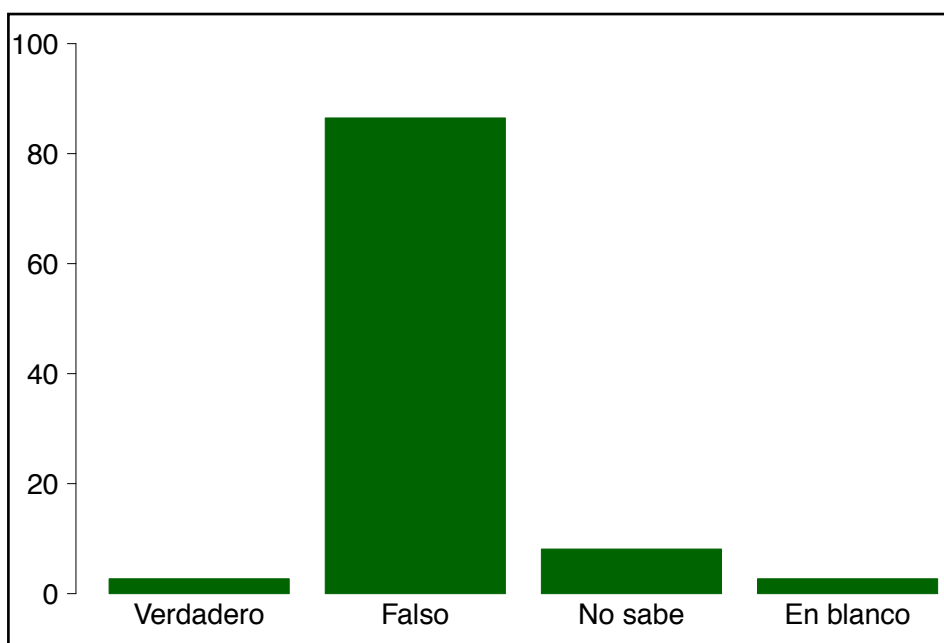


Figura 128. Distribución de porcentajes para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

En el gráfico correspondiente a los cálculos basados en las respuestas dadas por los sujetos para la sentencia 1e (figura 129), se observa una mejor repartición de estos entre las opciones ofrecidas, las cuales pretendía evaluar el papel comparativo del pH y la fuerza de dos ácidos.

Se halló que un 32,4% de la muestra piensa que los ácidos fuertes deben dar un valor de pH mayor que los que son débiles, volviendo a ponernos sobre la pista de la relación directa entre pH y fuerza; un 40,5% decide que no es cierta esta afirmación. Además, un 24,3% no sabría qué relación asignar entre fuerza y pH para a la hora de comparar dos ácidos y un 2,7% deja la cuestión en blanco.

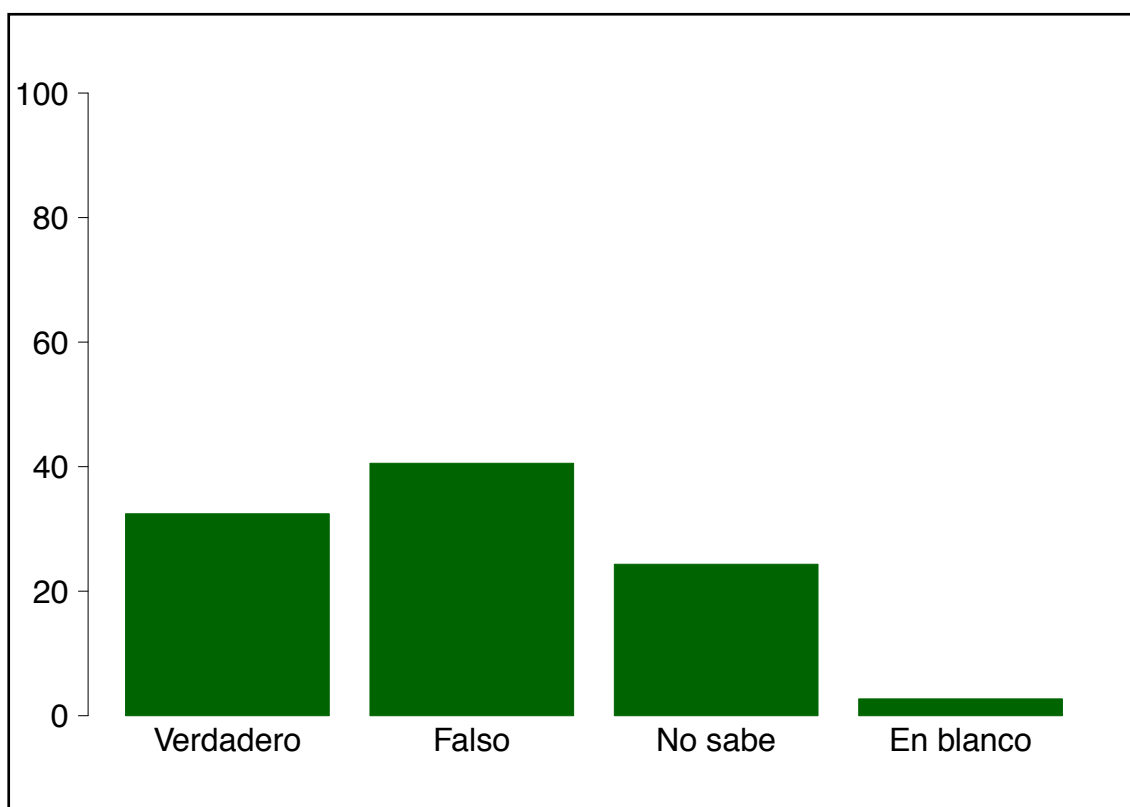


Figura 129. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

Un 51,4% de los que respondieron a la sentencia 1f (figura 130), se inclinan por afirmar que los ácidos sí pueden dañar la piel mientras que las bases no, la peligrosidad de ambas sustancias sólo es suscrita por el 37,8% y finalmente un 10,8% no sabe si un ácido puede quemar la piel o no.

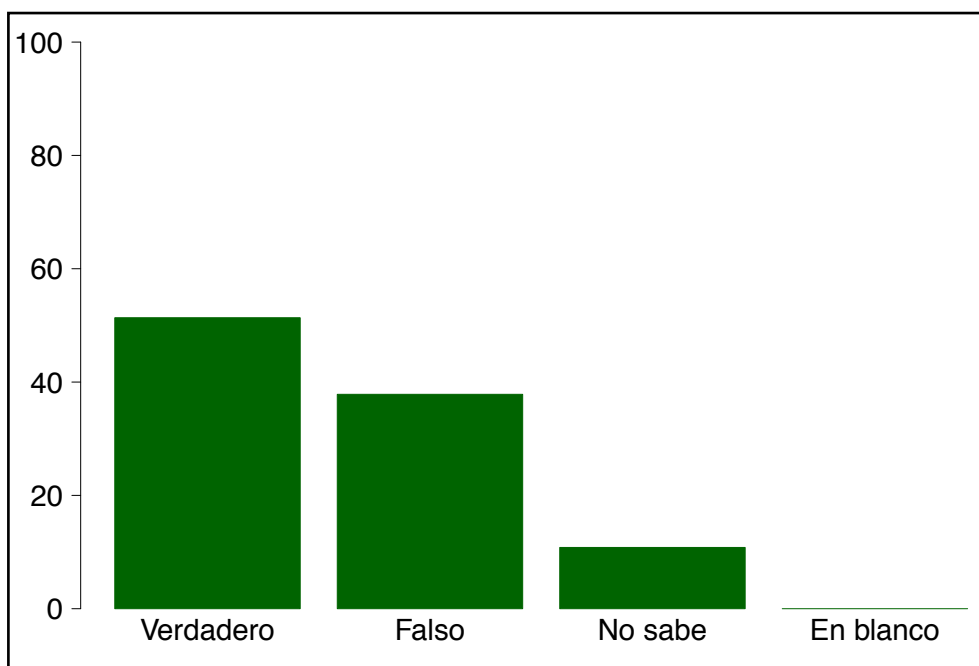


Figura 130. Distribución de porcentajes para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

Sobre el papel de las sales en la sentencia 1g (figura 131), el 27% entiende que son siempre neutras. Esta idea tan cerrada de la participación de las sales en reacciones ácido-base tiene a su contrario en un 54,1% que admite otras posibilidades. Un 16,2% no sabe qué rol juega una sal y un 2,7% no responde.

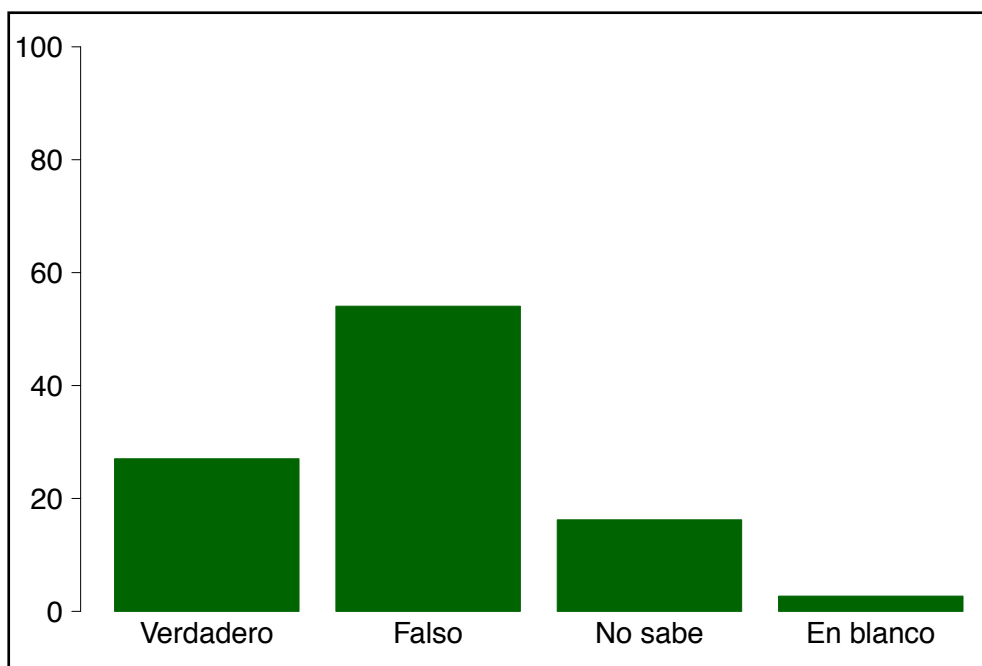


Figura 131. Distribución de porcentajes para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

La evaluación del problema estructural y la clasificación de ácido y bases realizada en la sentencia 1h (figura 132), demuestra que un 43,2% plantea que por la sola razón de la presencia de grupos OH terminales en una fórmula química ese compuesto debe ser una base, es decir, parece ocurrir una interpretación estricta de acuerdo con los postulados de la teoría de Arrhenius.

Empero, nos encontramos con un 27% que cree justo lo contrario. Un elevado 29,8% no sabe si la presencia de un grupo químico concreto determina la clasificación de un compuesto como base o no y ningún sujeto dejó la pregunta en blanco.

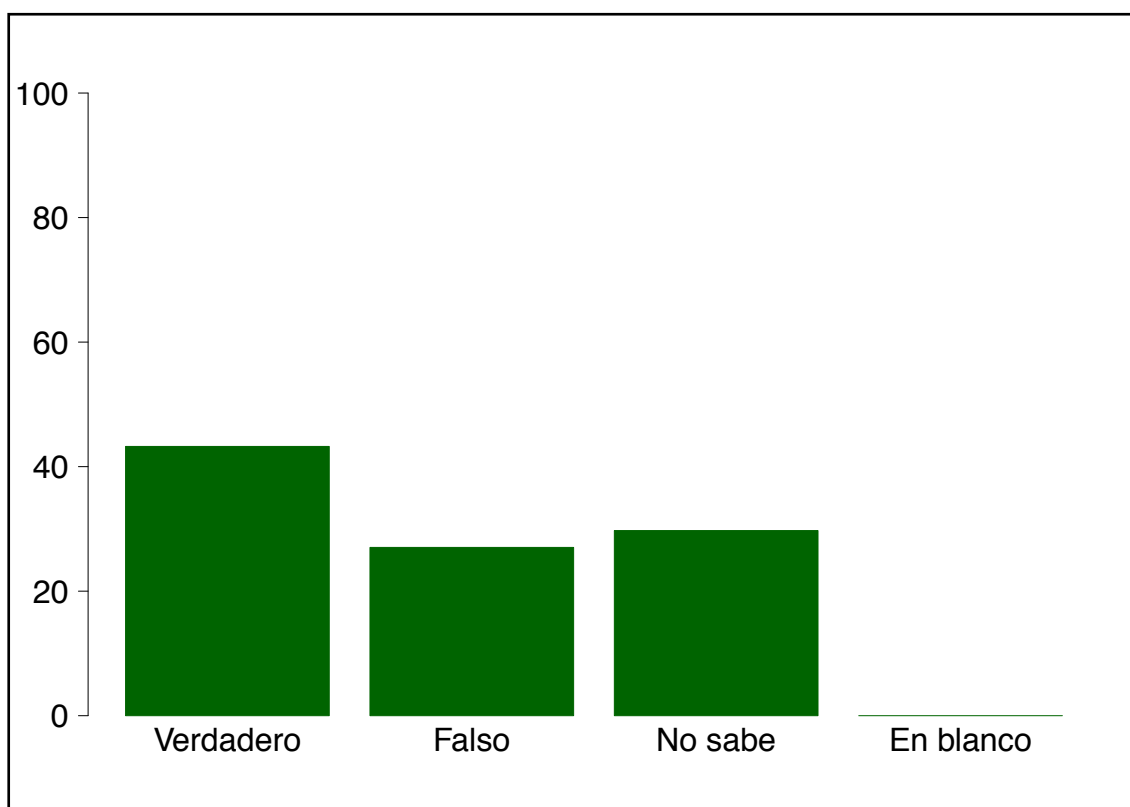


Figura 132. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

En la sentencia 1i (figura 133) se sigue con el mismo problema pero para los ácidos y sucedió que un 35,1% admite que la presencia de protones indica que ese compuesto debe ser un ácido mientras que un 45,9% opina justamente lo contrario. Finalmente un 18,9% no sabe si este criterio estructural permite o no la clasificación del compuesto mostrado.

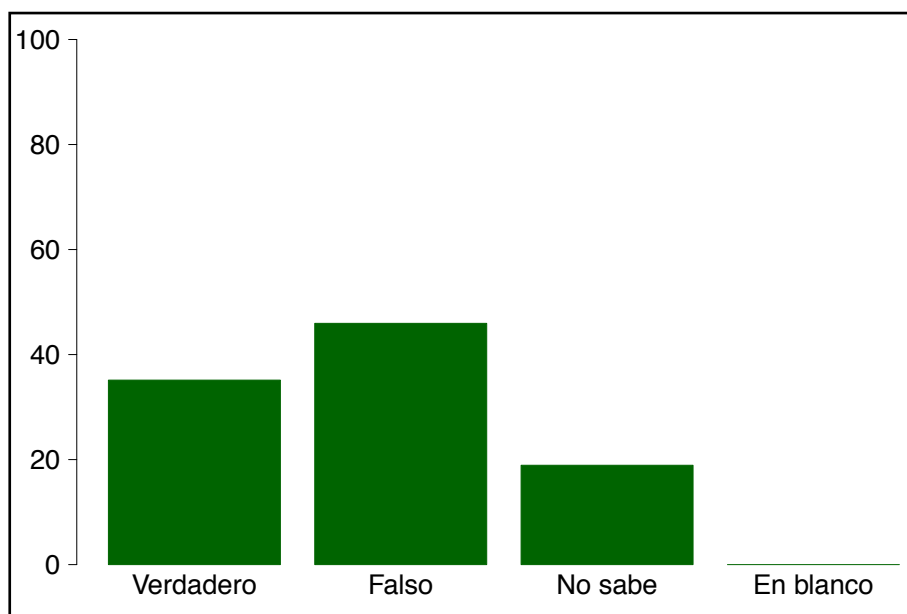


Figura 133. Distribución de porcentajes para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

Para la representación gráfica de la sentencia 1j (figura 134), se puede observar como los alumnos se oponen en un 94,6% a que el valor de pH 5,5 sea el neutro frente a un escasísimo 2,7% que piensa totalmente lo contrario. Por último un 2,7% no sabe si ese valor de pH se corresponde con la neutralidad o no; ningún examinando dejó en blanco la cuestión.

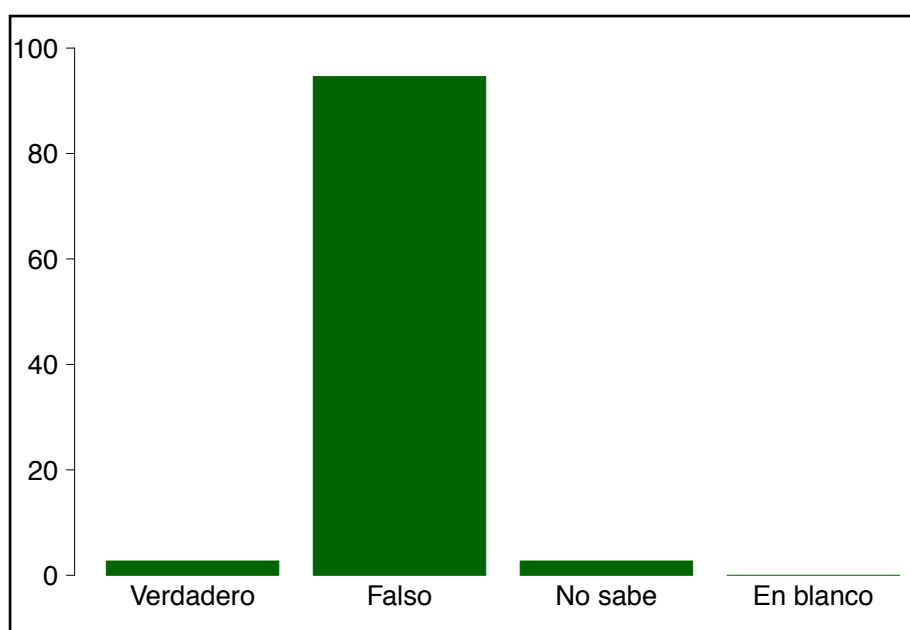


Figura 134. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

Para la gráfica que se corresponde con el análisis de las respuestas obtenidas en la sentencia 1k (figura 135), sucede el comportamiento contrario a lo observado en otros grados evaluados con un sorprendente 81,1% que no cae en la dificultad que supone el valor de la escala de pH cero y entiende que las sustancias no pierden su carácter ácido o básico por este hecho.

Por otra parte, sin embargo, un 10,8% si cree esta afirmación por lo que sigue existiendo la controversia con la posibilidad de que el valor de la escala de pH igual a cero produzca confusiones en cuanto al carácter de los compuestos. Un 8,1% no sabe qué ocurre a este valor de pH y ocurre que ningún sujeto dejó en blanco la sentencia ofrecida.

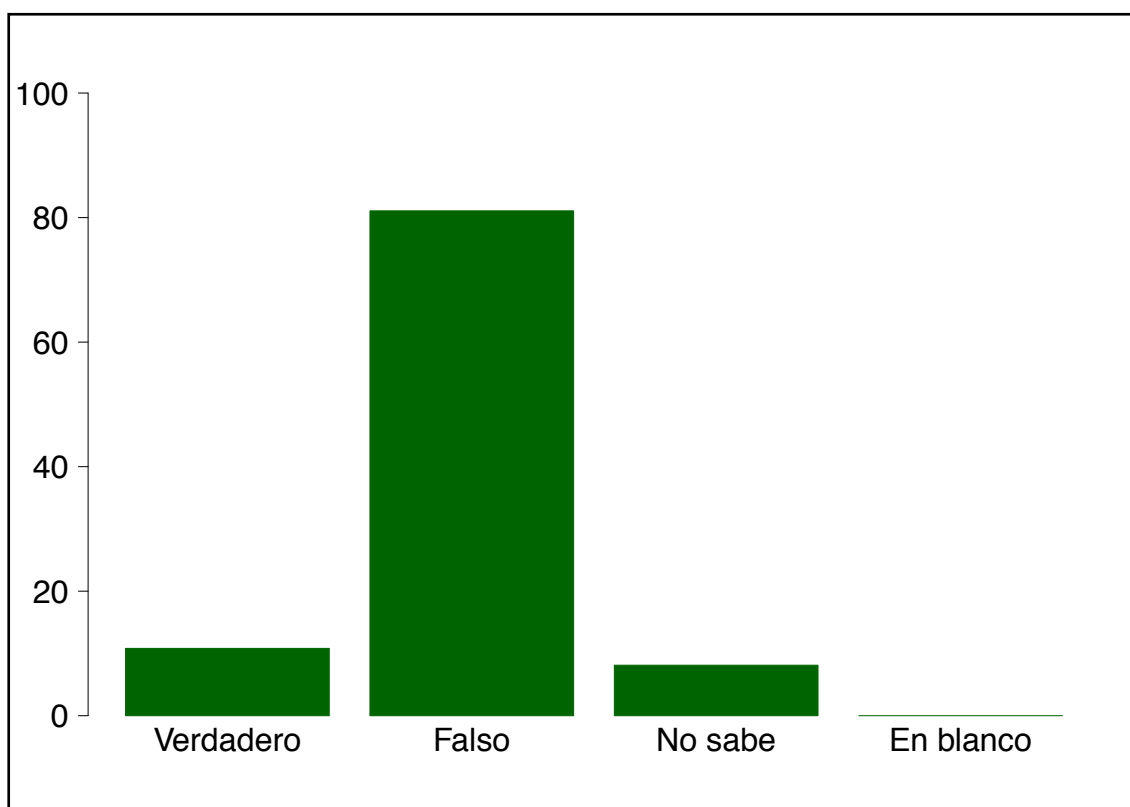


Figura 135. Distribución de porcentajes para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Finalmente, en la sentencia 1l (figura 136), se observa que un 24,3% cree que el pH de la lluvia natural debe ser neutro mientras que un 48,6% admite la posibilidad de otros tipos de valores. Un elevado 27% no sabe qué tipos de pH puede tener la lluvia natural.

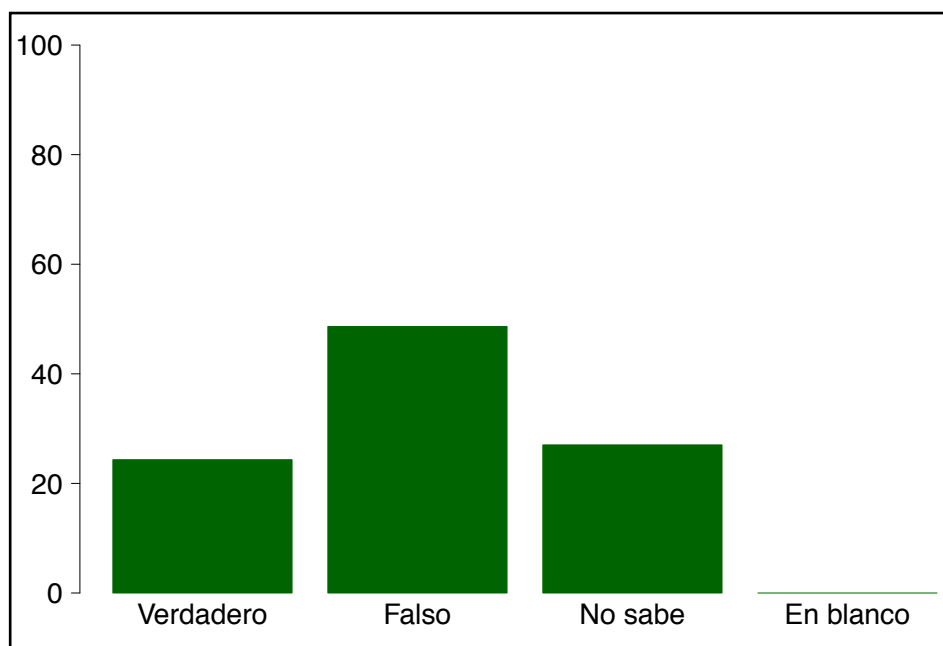


Figura 136. Distribución de porcentajes para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1).

Analizamos a continuación la sentencia 2a (figura 137), donde ningún sujeto considera que el agua pueda actuar como ácido, un 8,1% cree que actúa sólo como base, un 51,4% reconoce el carácter anfótero, un 37,8% piensa que como disolvente debe ser un simple espectador y un 2,7% lo deja en blanco.

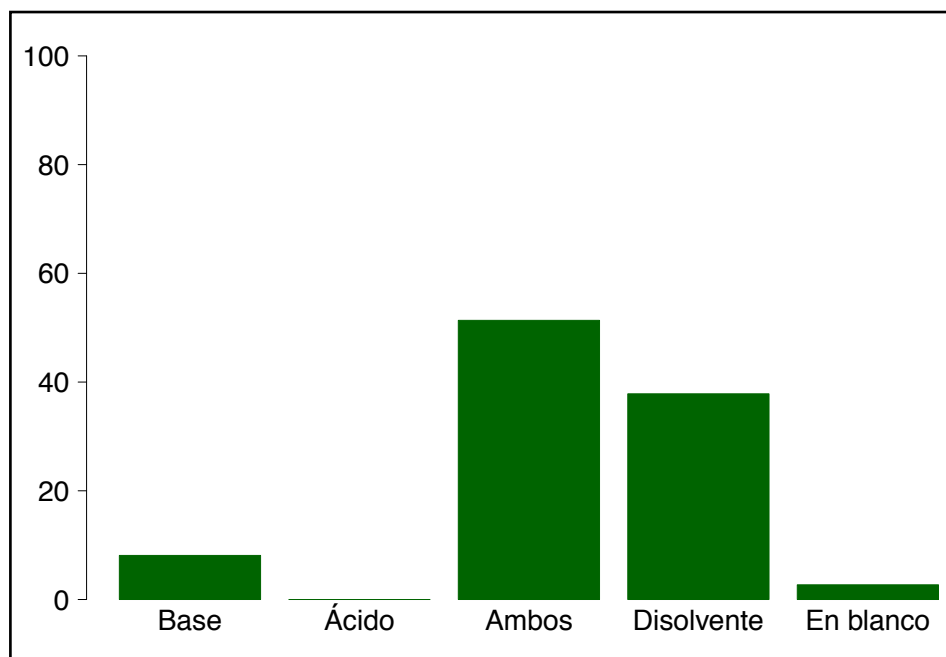


Figura 137. Distribución de porcentajes para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

El estudio del carácter ácido-base de los suelos se trata en la sentencia 3 y es a continuación donde podemos ver su representación gráfica (figura 138). En ella se observa que un 5,4% cree que los suelos no pueden ser ácidos. Un destacado 73% considera que los suelos pueden tener cualquier rango de pH adecuado a la respuesta esperada.

Ningún examinando cree que los suelos no puedan ser básicos, quedando desierto este apartado, un 13,5% de los encuestados piensa que deben ser estrictamente neutros y un 8,1% opta por dejar en blanco el apartado.

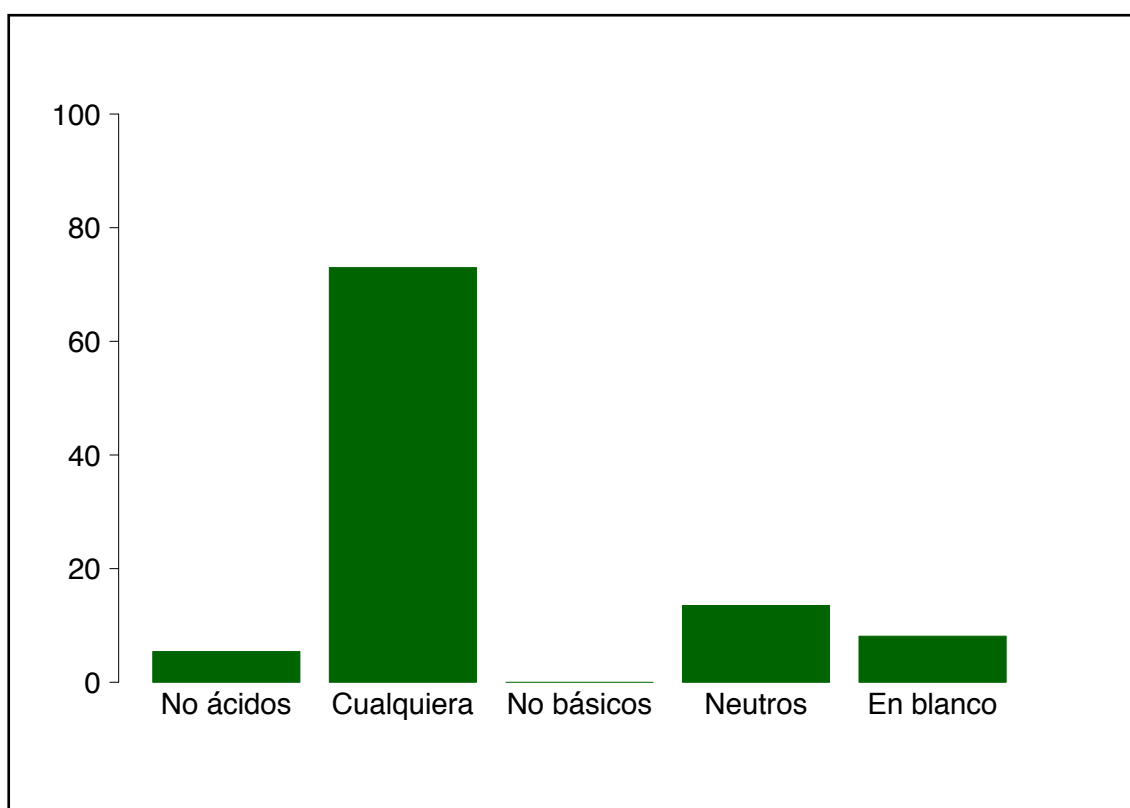


Figura 138. Distribución de porcentajes para el carácter ácido-base de los suelos (3).

En la sentencia 4a (figura 139), sucede que existe una inclinación muy importante hacia la consideración de que la lejía es una base, lo cual queda respaldado por un 81,1%. No obstante, es importante mencionar que existe un 18,9% que decidió que esa clasificación anterior es totalmente incorrecta y se decanta por introducirla en el grupo de las bases. Ninguno de los sujetos cuestionados dejó en blanco la cuestión.

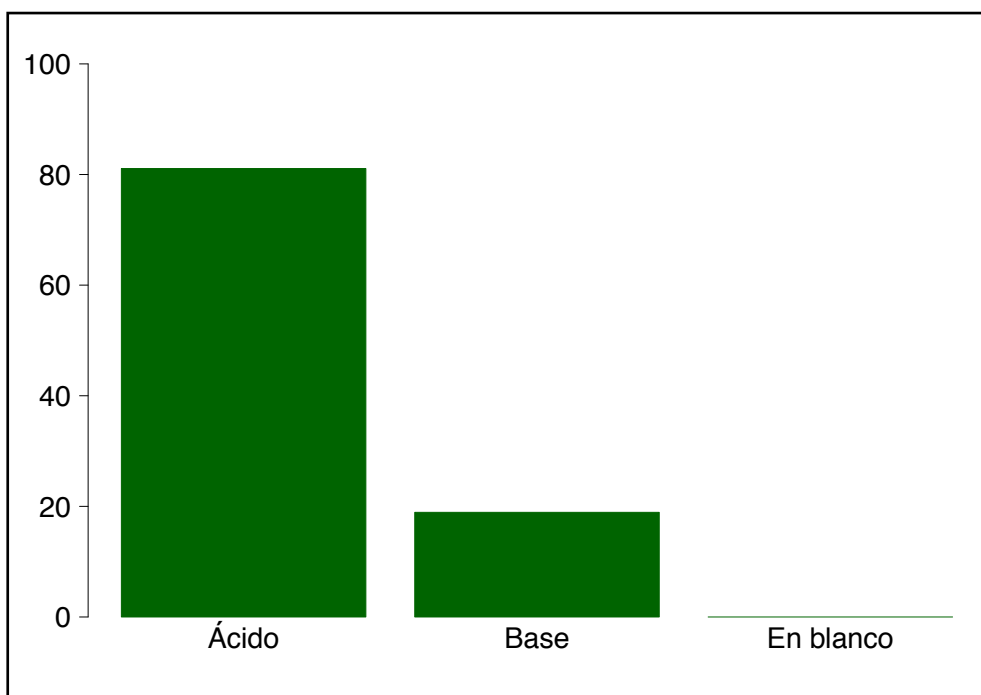


Figura 139. Distribución de porcentajes para la clasificación de la lejía (4a).

La tendencia clasificatoria se invierte en la sentencia 4b (figura 140), donde sólo un 8,1% clasifica a la sosa cáustica como ácido mientras que un 86,5% se decanta por clasificarla como base. Un 5,4% dejó en blanco la cuestión.

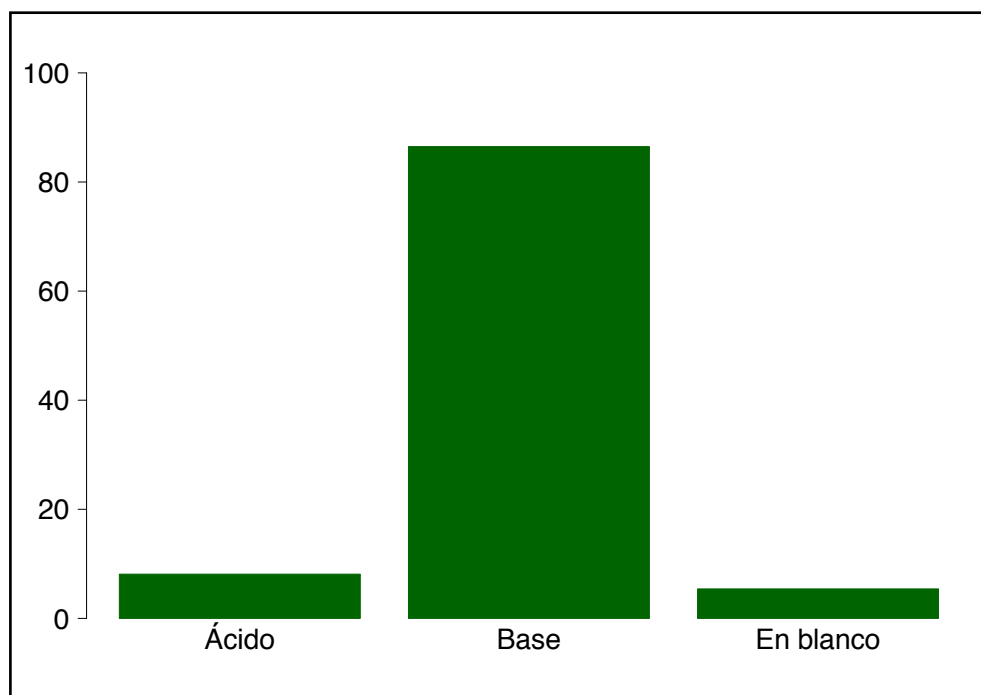


Figura 140. Distribución de porcentajes para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

En la sentencia 5a (figura 141), se obtuvo que el 48,6% de los discentes examinados cree que el valor del pH final de una titulación ácido-base debe ser siete independientemente de la fuerza de los compuestos que reaccionan, el 29,7% apuesta por lo contrario, el 13,5% no sabe qué responder a esta cuestión y el 8,1% lo deja en blanco.

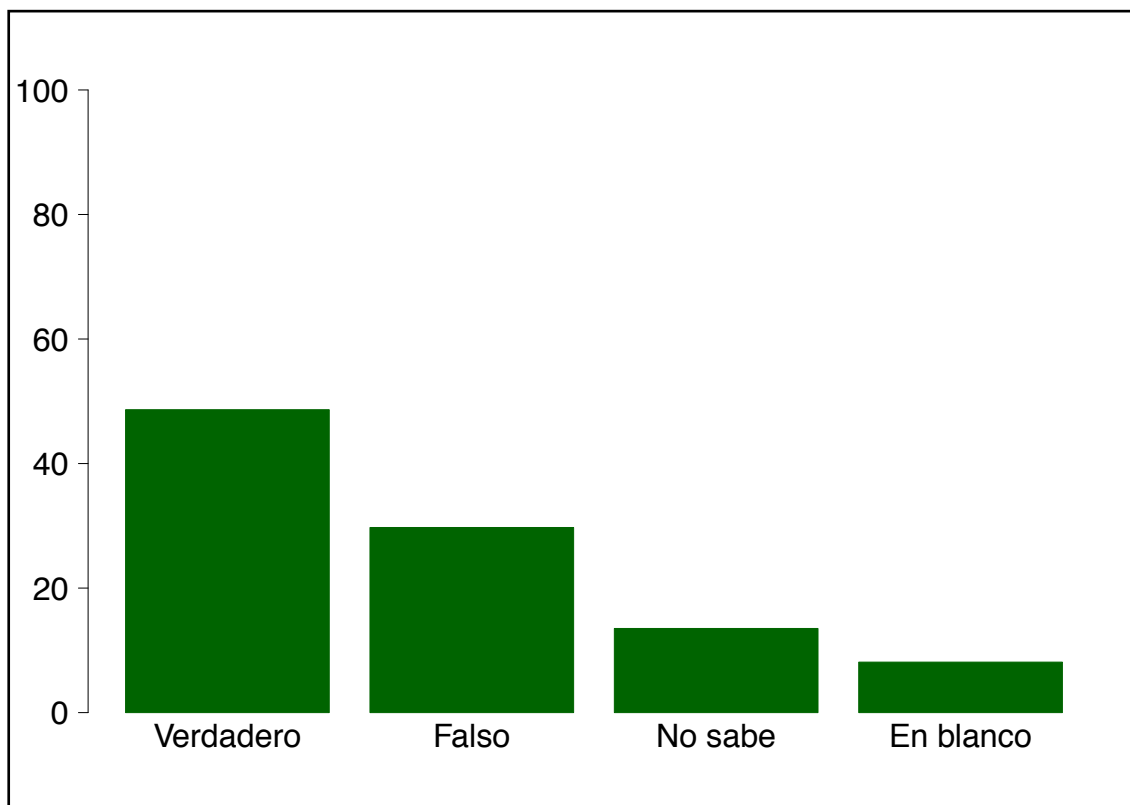


Figura 141. Distribución de porcentajes para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

Pasamos ahora a examinar la representación gráfica derivada del cálculo de los datos obtenidos por los examinandos en el caso del análisis del papel que juegan los indicadores ácido-base en una reacción de valoración.

El 48,6% de los encuestados de esta muestra aseguran para la sentencia 5b (figura 142), que el indicador ácido-base no es el que produce la reacción. Opuestamente, aparece un 21,6% que cree que esta es su función función y por ello marca como verdadera la sentencia ofrecida. Además, un 21,6% no sabe qué papel desempeña un indicador ácido-base y un 8,1% lo deja en blanco.

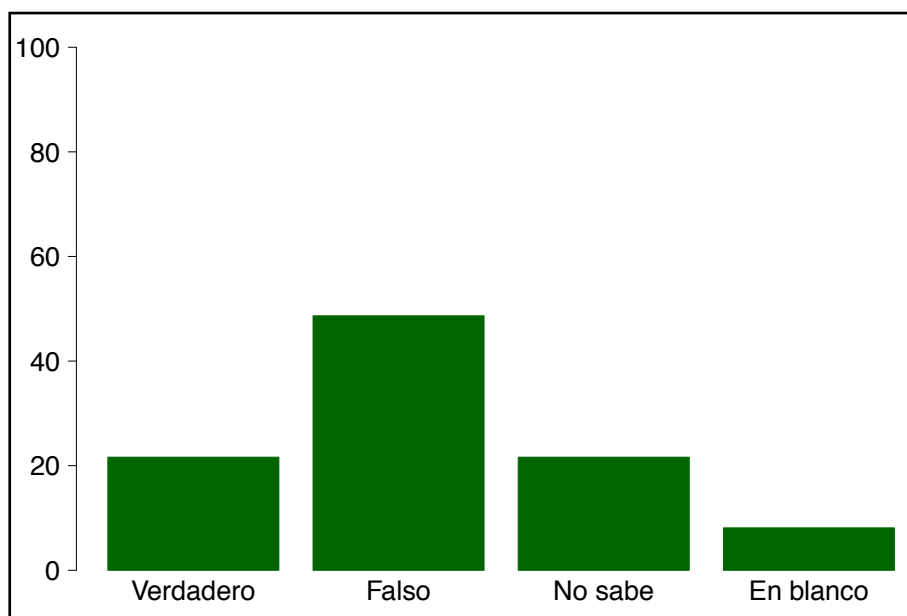


Figura 142. Distribución de porcentajes para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Para finalizar, en la sentencia 5c (figura 143), puede observarse que un 45,9% piensa que el cambio de color que se produce en el indicador ácido-base ocurre a un valor de pH único y específico. Existe, además un 29,7% que admite que puede haber un intervalo de valores posibles. El 18,9 % no sabe cuándo ocurre y un 5,4% deja en blanco la cuestión.

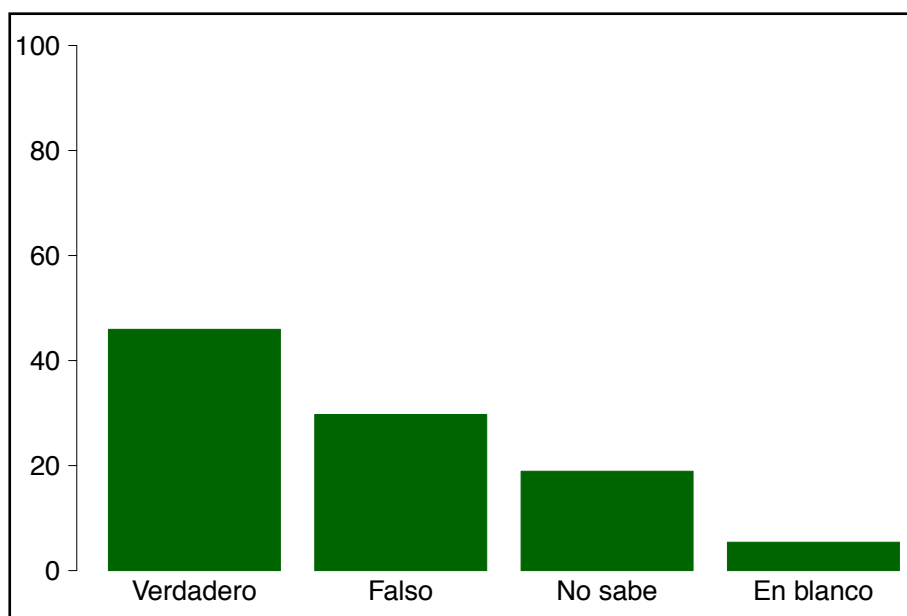


Figura 143. Distribución de porcentajes para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

A modo de resumen, se ofrece la tabla que agrupa todo el conocimiento precedente estudiado con sus correspondientes porcentajes y la asignación del tipo de presencia observado (tabla 29).

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	35,1	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	62,2	Elevada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	24,3	Moderada
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	2,7	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	32,4	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	51,4	Elevada
Sal siempre neutra	27	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	43,2	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	35,1	Moderada
5,5 es pH neutro	2,7	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	10,8	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro	24,3	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	37,8	Moderada
Los suelos son solamente neutros	13,5	Moderada
La lejía es un ácido	81,1	Máxima
La sosa cáustica es un ácido	8,1	Minoritaria
El pH final de una neutralización es siempre 7	48,6	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	21,6	Moderada
El cambio de color es a un pH único y específico	45,9	Moderada

Tabla 29. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación en el grado en Fisioterapia.

4.2. Bloque II: Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.

Se procede al examen de las preguntas incluidas en este bloque de análisis para la aplicación de los conceptos y teorías ácido-base en situaciones o fenómenos de mayor complejidad donde se requerirá su aplicación a un equilibrio en el océano, un equilibrio en la sangre de un animal pulmonado, la conducción de la electricidad y la representación gráfica de la disociación de un ácido poliprótico en agua. El estudio está dividido según los grados universitarios a los que se administró la encuesta al igual que anteriormente.

4.2.1. Grado en Ingeniería Química.

Comenzaremos con la sentencia 6a (figura 144), donde puede observarse que un 50% plantea que, al disolverse carbonato cálcico en agua de mar, la presión parcial del dióxido de carbono aumenta en la atmósfera. Un 22% entiende que dicha presión parcial disminuye. El 15,9% determina que la disolución del compuesto no afecta al equilibrio y por tanto la presión parcial se mantendrá igual, el 8,5% no sabe qué ocurre con esta variable y el 3,7% no responde.

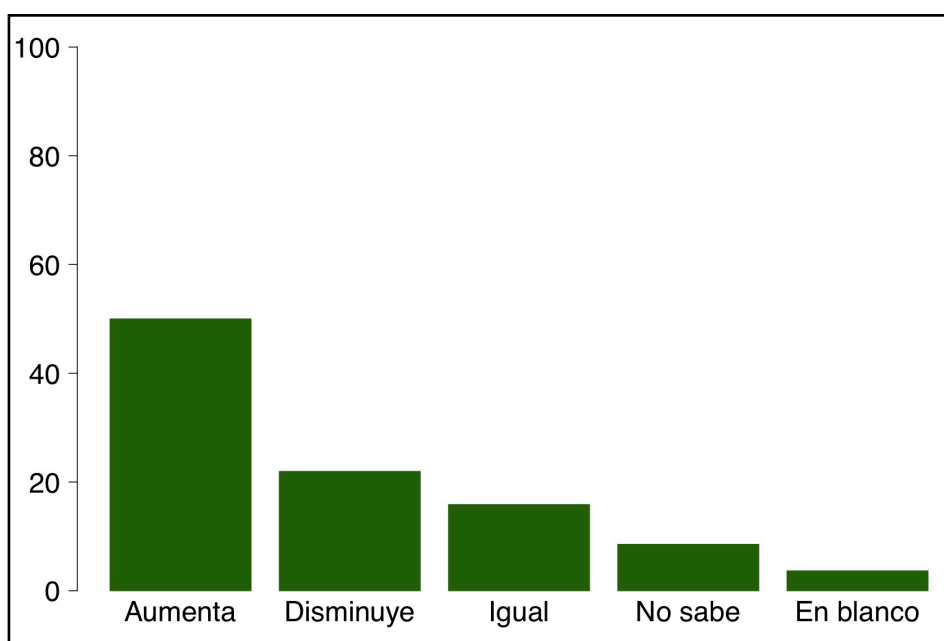


Figura 144. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

Continuamos con el mismo problema en la sentencia 6b (figura 145), donde se les plantea el proceso inverso al ocurrir la precipitación del carbonato cálcico. Un 19,5% piensa que esto aumentaría la presión parcial del dióxido de carbono en la atmósfera mientras que un 35,4% cree que la disminuiría, un 23,8% piensa que no están relacionados y por lo tanto no se verá afectada la presión parcial del gas, un 18,3% no sabe qué puede ocurrir y un 3% no marca opción.

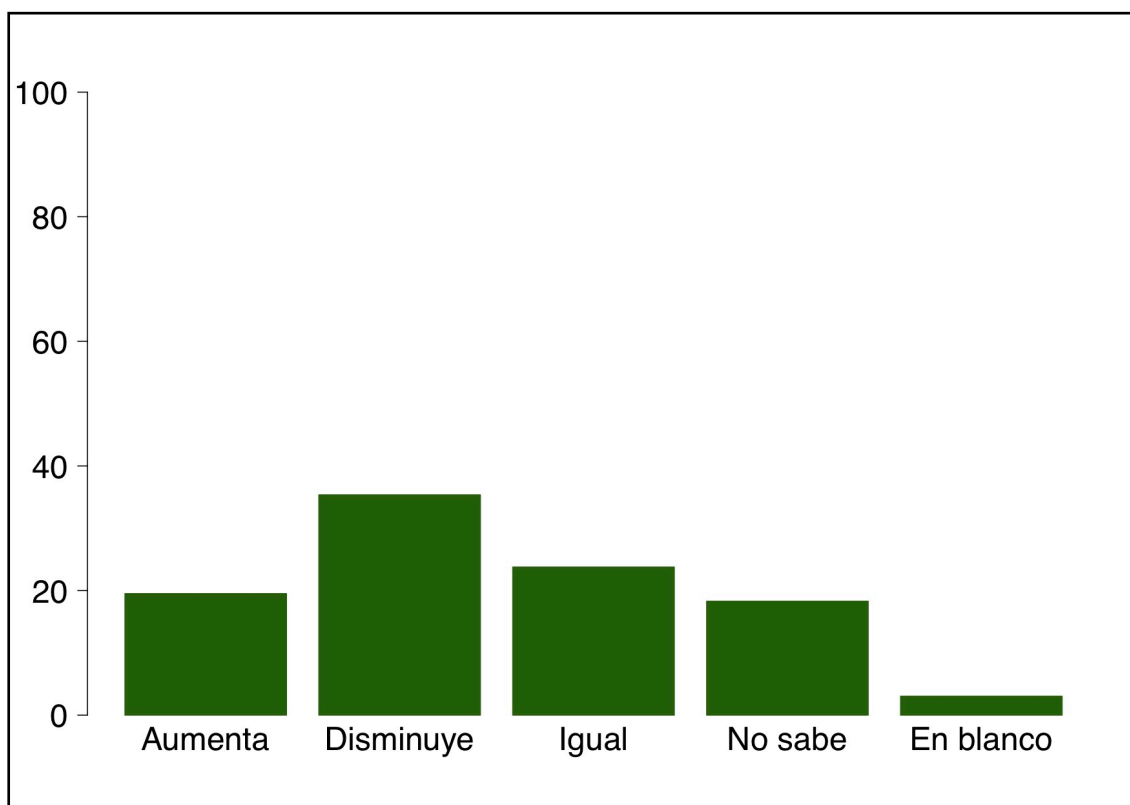


Figura 145. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Para terminar con la pregunta 6 analizamos la sentencia 6c (figura 146), que evalúa el vínculo del equilibrio del dióxido de carbono con el pH y tenemos que el 17,1% considera que si la presión parcial del dióxido de carbono aumenta el pH también aumenta lo cual nos pone sobre la pista, de forma parecida a la sentencia 1e, que existen relaciones directas entre algunas variables cuando debieran ser inversas. El 20,7% piensa que el pH debe disminuir, que es lo que realmente ocurre, ya que el océano se acidifica. El 31,7% piensa que no existe vínculo entre estas dos variables y por tanto el valor de pH se mantiene invariable, un 25,6% no sabe y un 4,9% deja en blanco la pregunta.

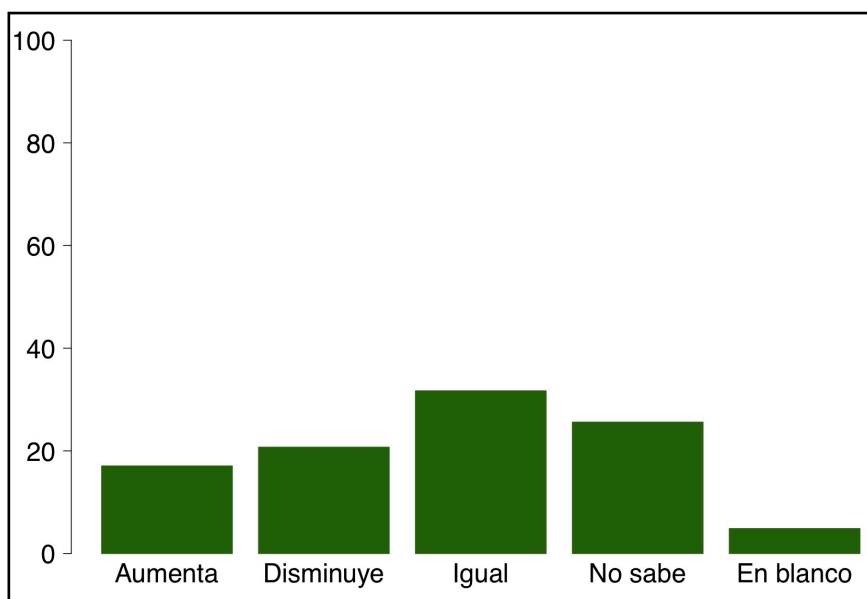


Figura 146. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

Con la sentencia 7a (figura 147), pasamos al estudio del mismo equilibrio pero en un ámbito biológico. Ocurrió que un 23,2% consideró que un aumento de la presión parcial del CO_2 desplaza el equilibrio hacia la formación del propio gas, lo cual es un absurdo, un 53% entiende correctamente que se desplaza hacia la formación del ión carbonato, un 3,7% cree que no hay influencia en el equilibrio, un 14% no sabe hacia dónde se desplaza y un 6,1% no responde.

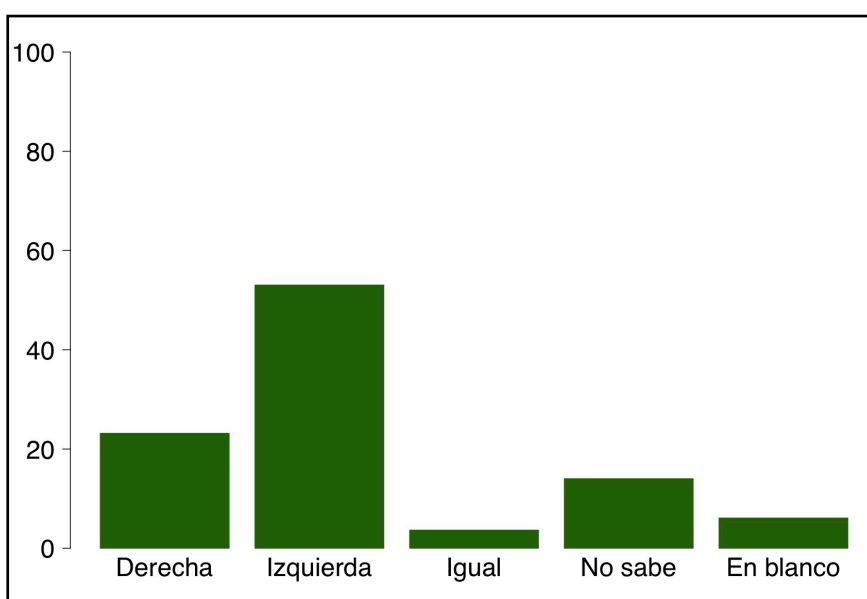


Figura 147. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

Continuamos con la sentencia 7b (figura 148), para el análisis de la segregación de ácido láctico hacia la sangre de un animal pulmonado. El 33,5% cree correctamente que cuando se vierte ácido láctico hacia la sangre procedente del metabolismo, el equilibrio se ve desplazado hacia la formación de dióxido de carbono. Al contrario, un 15,2% que considera que el equilibrio se ve perturbado hacia la formación de iones carbonato, un 11,6% piensa que no se ve afectado el equilibrio, un destacado 33,5% no sabe qué ocurre y un 6,1% lo deja en blanco.

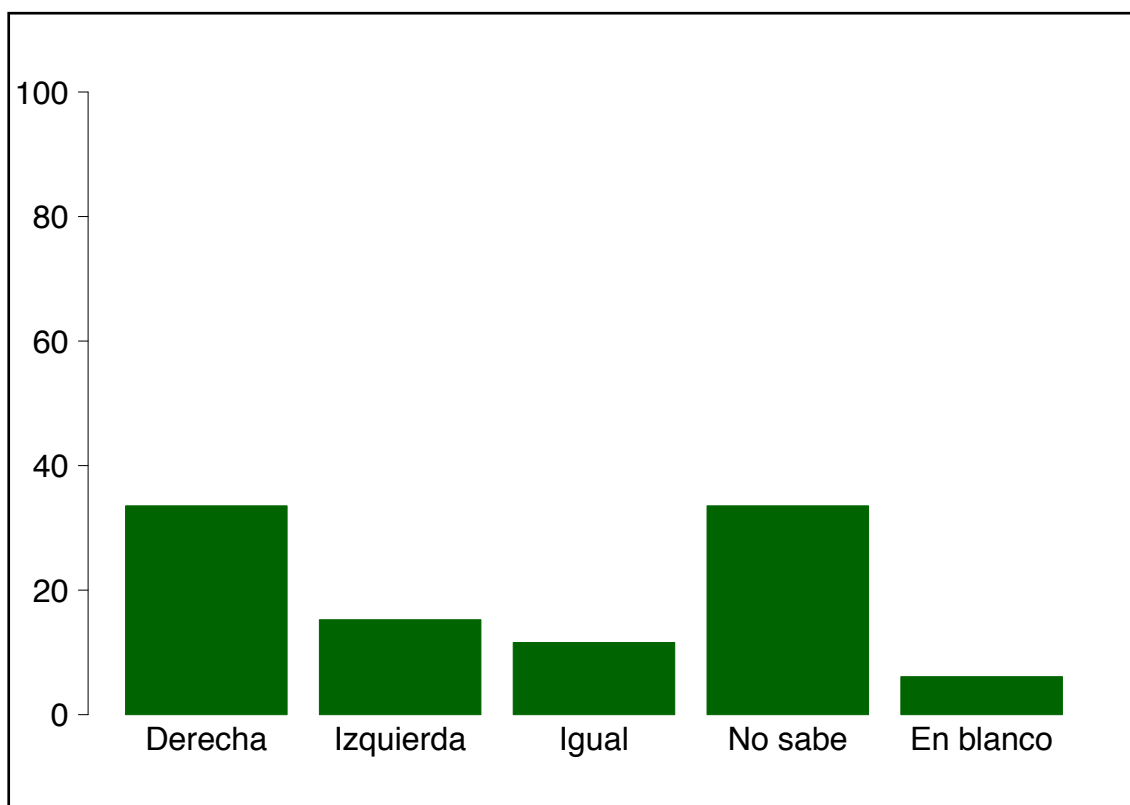


Figura 148. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Aumenta el número de personas que no sabe qué ocurre en la sentencia 7c (figura 149), sobre la segregación hacia la sangre de amoníaco durante el metabolismo, con un sorprendente 35,4%, si se añade una base a la sangre. El 13,4%, plantea que el equilibrio se ve perturbado hacia la formación de dióxido de carbono, un 22,6% que hacia la formación del ión carbonato, otro 22,6% piensa que no se ve afectado y el equilibrio permanece invariable y un 6,1% no respondió.

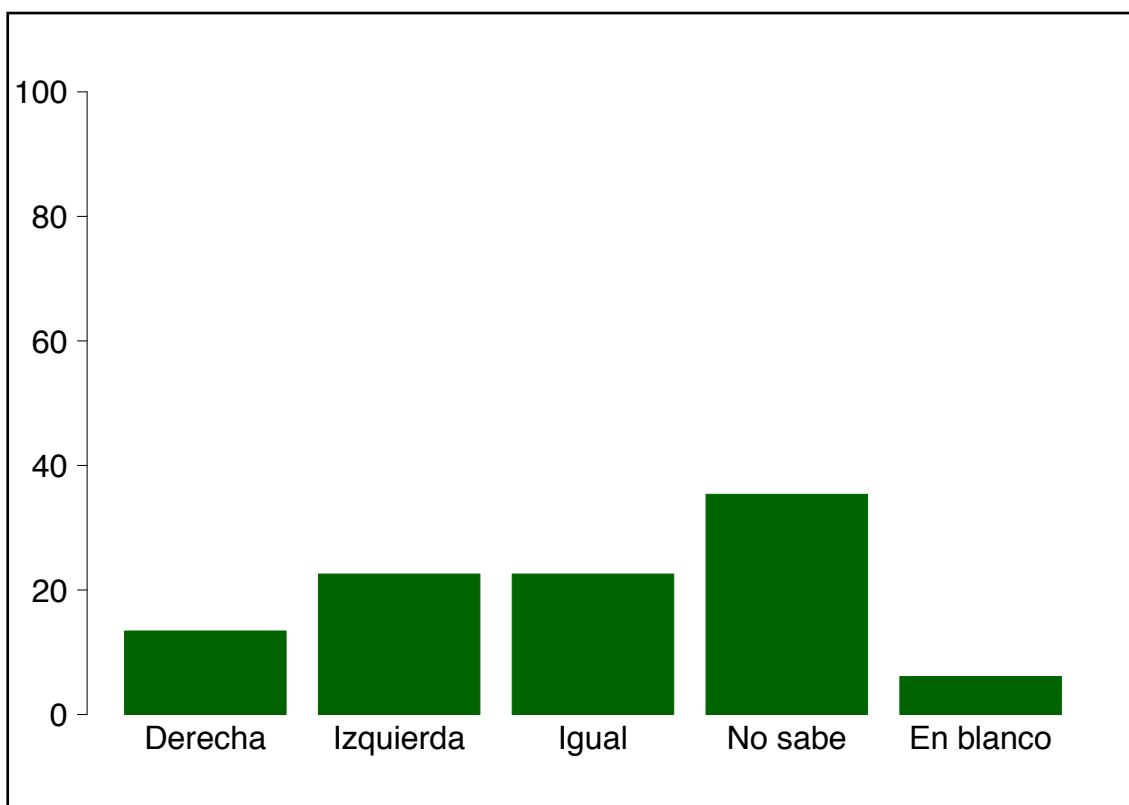


Figura 149. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Por otro lado, se explora en la sentencia 8 (figura 150), la relación que existe entre los ácidos, las bases y el fenómeno de la conducción eléctrica. En este ejercicio, se le pidió a los examinandos que decidieran qué tipo de disolución podría añadirse a un cuenco para cerrar un circuito eléctrico mostrado en la encuesta y que permitiera encender una bombilla.

Siguiendo esta pautas, un 20,1% decidió que debía añadirse a dicho cuenco una disolución ácida pues solamente los ácidos pueden conducir la electricidad. Por otra parte, un bajísimo 3% consideró que solamente una disolución básica es capaz de conducir la electricidad ya que solamente las bases son compuestos capaces de conducir la corriente eléctrica. Un 40,9% añadiría cualquiera de la dos disoluciones, pues ambas serían capaces de conducir la electricidad. Por último, un importante 23,8% no sabe qué hacer y un 12,2% deja el ítem en blanco. Estos resultados son destacados, teniendo en cuenta el contenido curricular de ingeniería química donde se estudian estos temas.

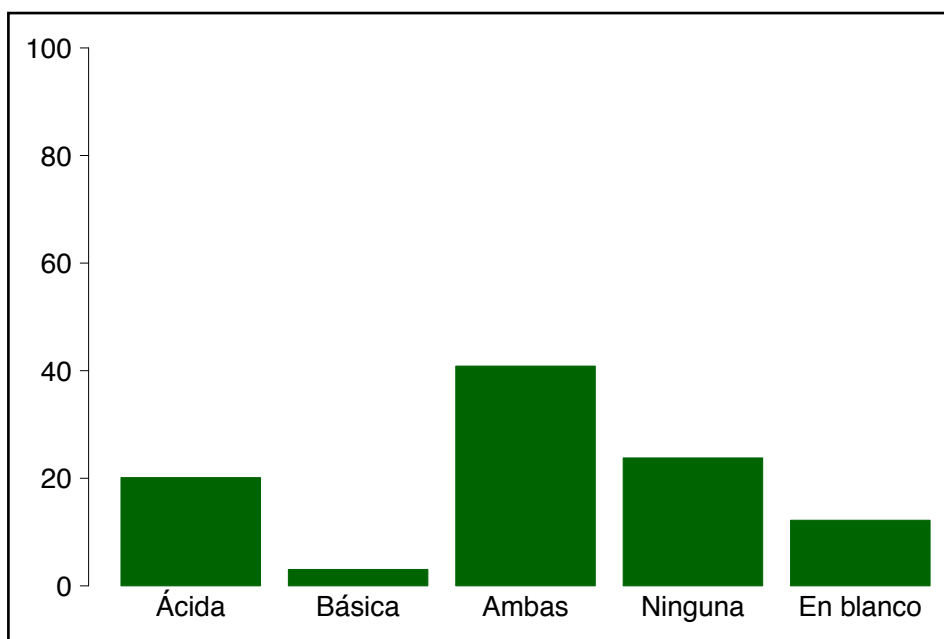


Figura 150. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

Iniciamos el estudio de esta última parte con la sentencia 9a (figura 151). Un 59,8% considera que a pH igual a cero la especie predominante es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 15,2% cree que es el $H_2PO_4^-$, un 6,7% cree que es el HPO_4^{2-} , un 8,5% cree que es el PO_4^{3-} y un 9,8% deja en blanco la pregunta.

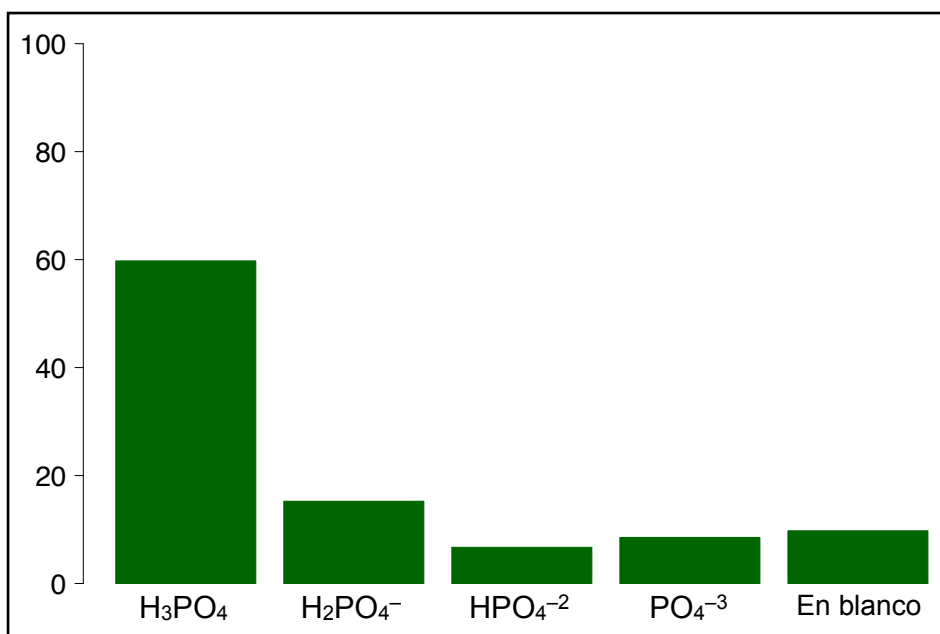


Figura 151. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

En la sentencia 9b (figura 152), el 2,4% piensa que a pH igual a 10 la especie favorecida es el H_3PO_4 , el 16,5% cree que es el H_2PO_4^- , un 58,5% que es el HPO_4^{2-} , un 12,8% que es el PO_4^{3-} y un 9,8% no responde.

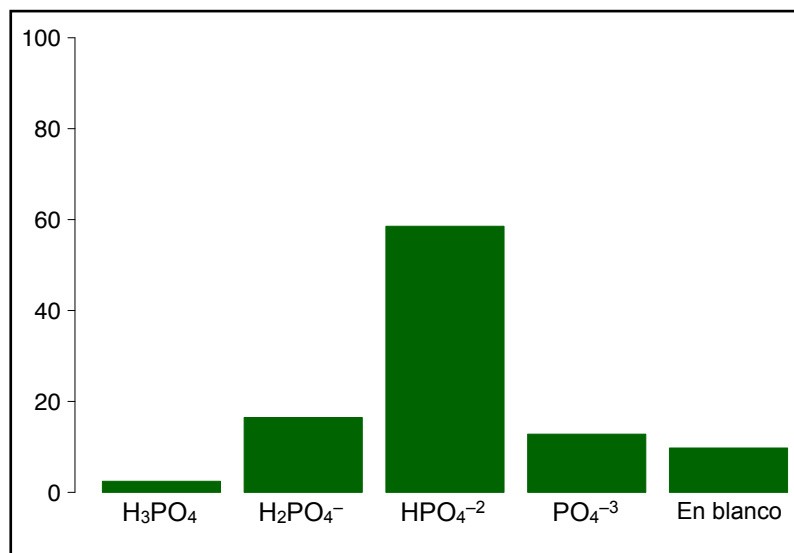


Figura 152. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Para la sentencia 9c (figura 153), un 9,8% cree que a pH igual a 14 es el H_3PO_4 la especie predominante en disolución, un 4,3% que es el H_2PO_4^- , un 11% que es el HPO_4^{2-} , un 65,9% cree acertadamente que es el PO_4^{3-} y un 9,1% no responde.

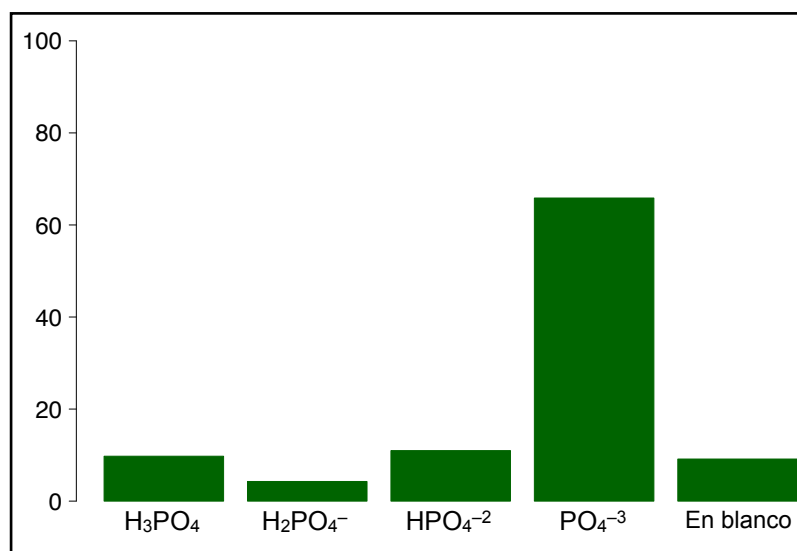


Figura 153. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Continuamos con el análisis para el grado de Ingeniería de Organización Industrial. Las respuestas a la sentencia 6a (figura 154), muestran que 33,3% considera que si se disuelve CaCO_3 en las agua marinas, la presión parcial del CO_2 se verá aumentada en la atmósfera, un 12,8% cree que disminuye, un 15,4% que no se ve afectada por esta disolución, un enorme 30,8% no sabe qué efectos tiene la disolución de este compuesto sobre el equilibrio y finalmente un 7,7% no respondió.

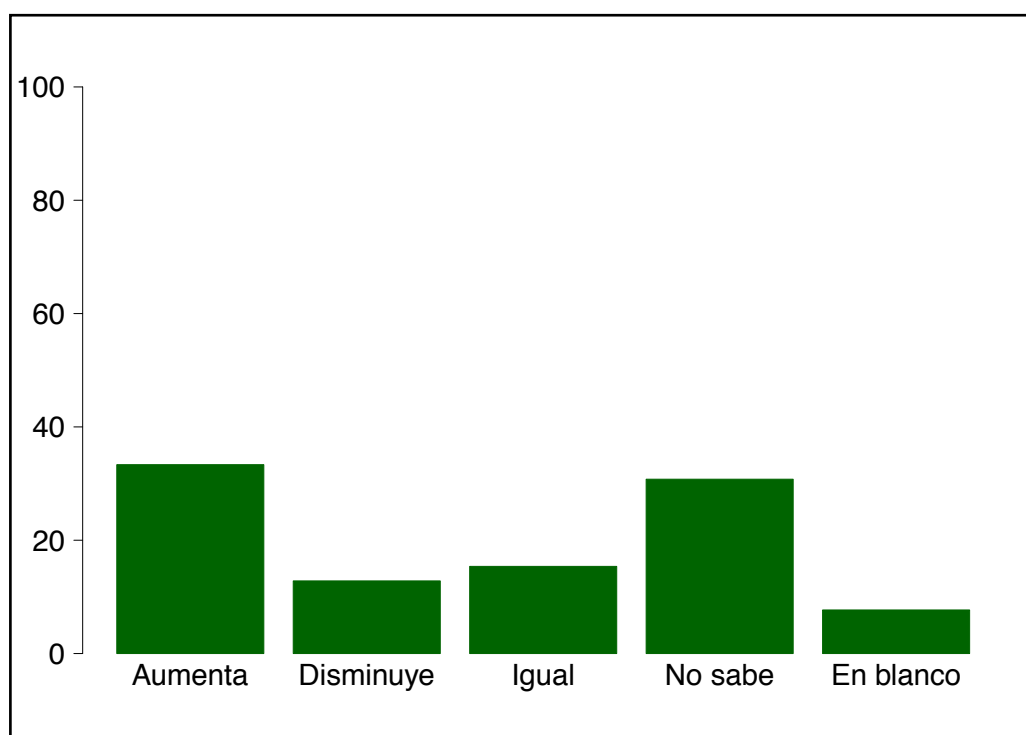


Figura 154. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a)

Por otra parte, en la sentencia 6b (figura 155), donde se pide evaluar el efecto contrario el cual sería la precipitación del carbonato de calcio sobre el equilibrio del dióxido de carbono, se observa que un 20,5% cree que en este caso la presión parcial de este gas debe aumentar tomando al contrario el desplazamiento del equilibrio, un 30,8% correctamente comprende que la presión parcial del dióxido de carbono debe disminuir, un 5,1% no ve vínculos y cree que se mantiene, un 35,9% no sabe y un 7,7% deja la pregunta en blanco.

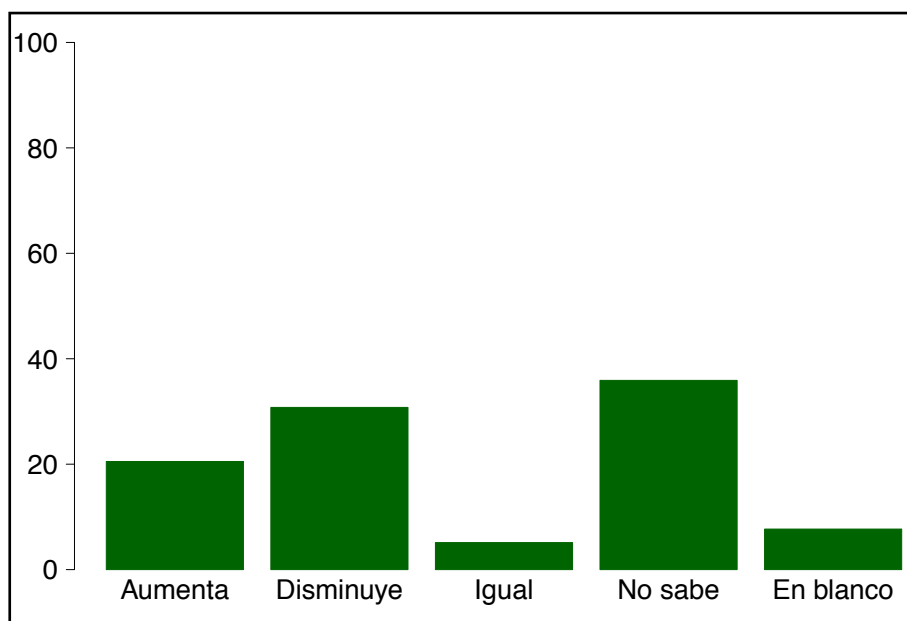


Figura 155. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Para la sentencia 6c (figura 156), un 17,9% cree que el el valor de pH debe aumentar en la escala lo que es un error. Un 17,9% optó por la respuesta correcta por la que el pH de la disolución debe disminuir, un 23,1% no ve relación entre el equilibrio y el pH, un destacado 33,3% no sabe y un 7,7% dejó la pregunta en blanco.

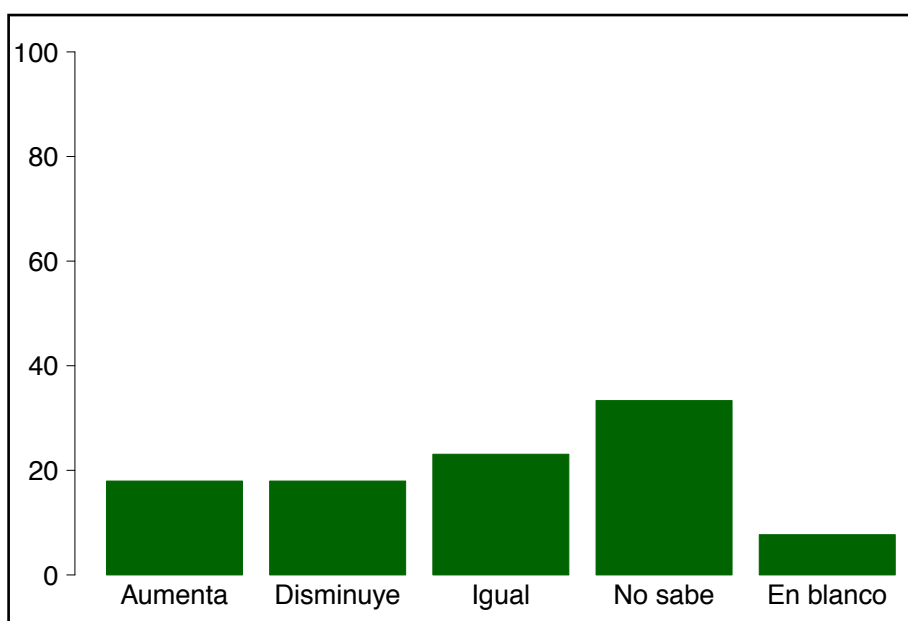


Figura 156. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

Continuamos con la sentencia 7a (figura 157), para estudiar el mismo equilibrio en entornos biológicos. Encontramos que un 23,1%, cree que al aumentar la presión parcial del dióxido de carbono, el equilibrio se desplazará hacia la formación de este gas, lo cual es una incomprensión por parte de los estudiantes de la ley de acción de masas. Un 20,5% correctamente piensa que el equilibrio se ha de desplazar hacia la formación del ión carbonato, un 7,7% cree que el equilibrio no se ve afectado y por tanto no se desplaza, un elevado 41% no sabe y un 7,7% lo deja en blanco.

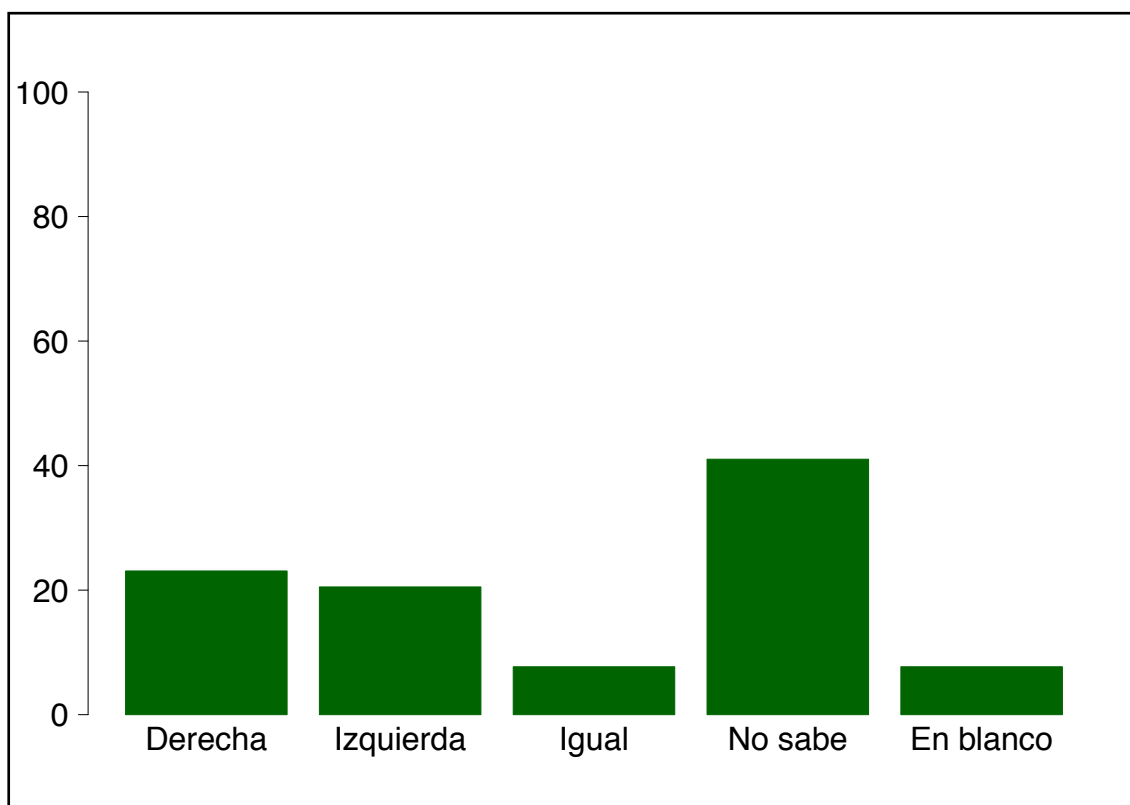


Figura 157. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

Ya en la sentencia 7b (figura 158), los resultados muestran que un escaso 7,7% marca correctamente que el equilibrio debe desplazarse hacia la formación de dióxido de carbono gaseoso. Un 35,9%, se equivoca al considerar que el equilibrio se desplaza hacia la formación del ión carbonato despreciando nuevamente una interpretación correcta, no solamente del equilibrio, sino también de la ley de acción de masas. Un 5,1% no admite un desplazamiento del equilibrio, un 43,6% no sabe qué ocurre y otro 7,7% lo deja en blanco.

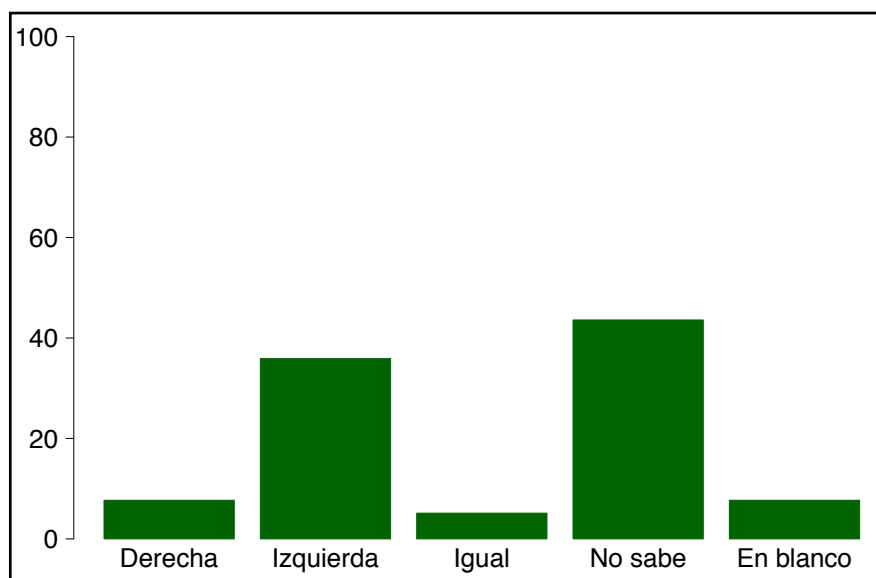


Figura 158. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Un 25,6%, en la sentencia 7c (figura 159), considera erróneamente que al verterse una base en sangre el equilibrio se ve desplazado hacia la formación de CO_2 gaseoso, un escaso 5,1% correctamente indica que el equilibrio va hacia la formación del ión carbonato ya que la base capta protones, un 10,3% cree que no hay desplazamiento, un elevado 51,3% no sabe y un 7,7% la deja en blanco.

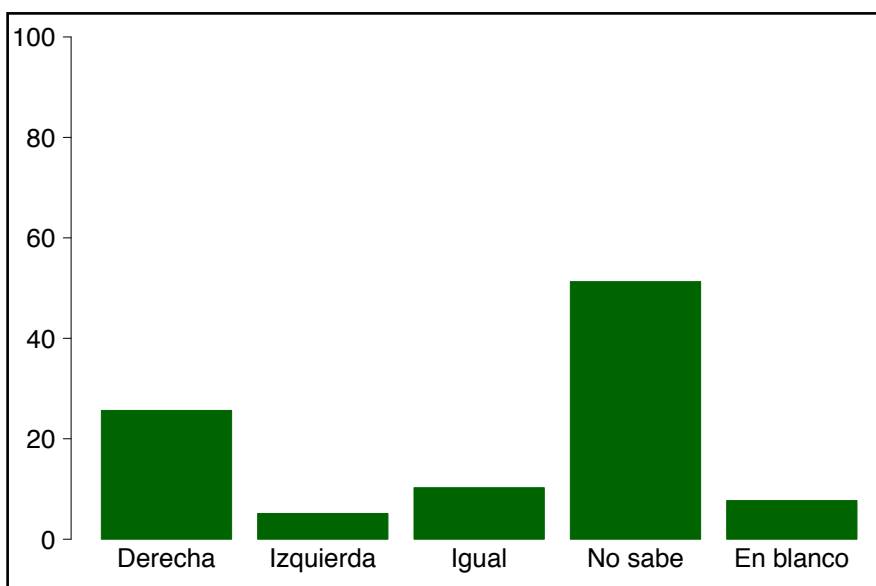


Figura 159. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Mediante la sentencia 8 (figura 160), vamos a explorar la relación entre la electricidad y los compuestos ácido-base. Se les ofreció a los alumnos una descripción de un circuito eléctrico, el cual necesitaba de la adición de una disolución para poder cerrarse y que al circular la electricidad se encendiese una bombilla. Se observó que para un 10,3% sólo una disolución ácida es capaz de conducir la electricidad. Un 17,9% piensa que la disolución sólo puede ser básica si queremos que se produzca la conducción de la electricidad, un 25,6% cree correctamente que ambas disoluciones se pueden añadir frente a otro 25,6% que cree que ninguna de las dos serviría y finalmente un 20,5% la deja en blanco.

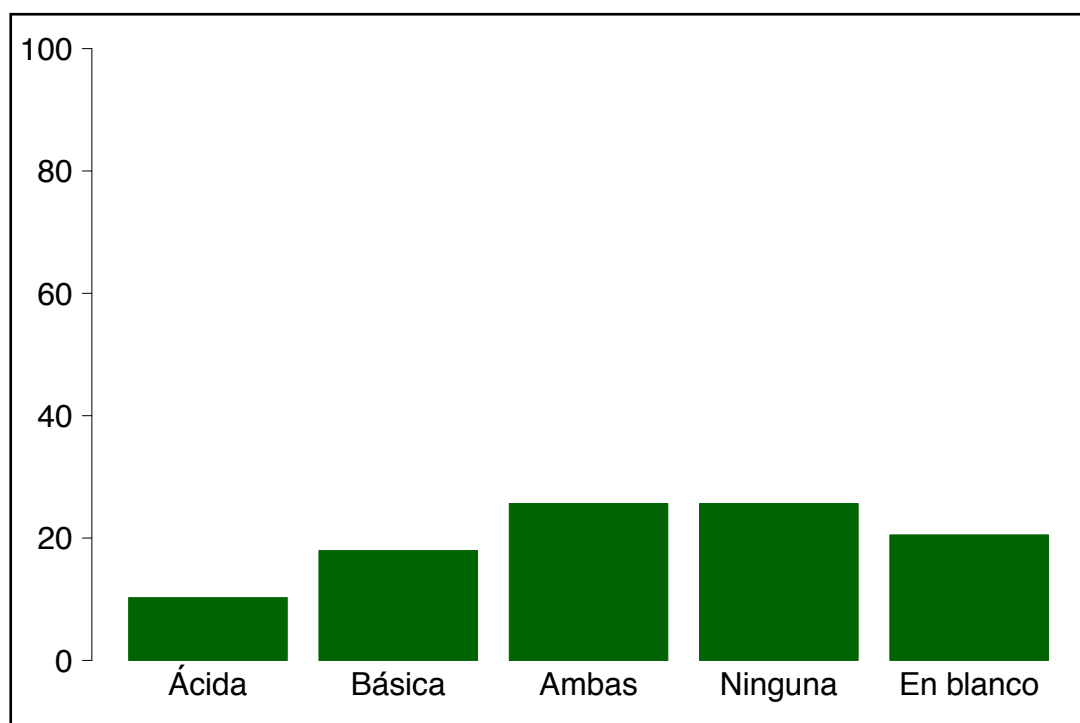


Figura 160. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

La distribución gráfica de los porcentajes en la sentencia 9a (figura 161), nos dirige hacia el examen de la disolución de un ácido poliprótico según los valores de la escala de pH de la disolución. Así, tenemos que el 35,9% considera que a pH igual a cero la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4), el 28,2% cree que la especie más estable sería el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), el 7,7% que lo es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), otro 7,7% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un elevado 20,5% deja la pregunta en blanco.

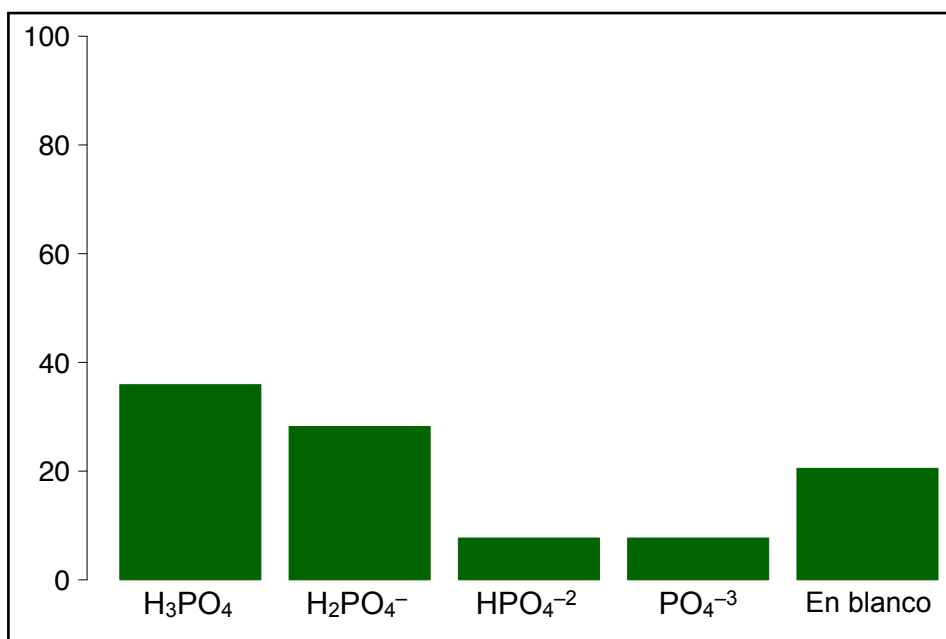


Figura 161. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

En la sentencia 9b (figura 162), para el 12,8%, la especie favorecida a pH igual 10 es el ácido fosfórico (H_3PO_4), para el 15,4%, es el dihidrógeno fosfato ($H_2PO_4^-$), para el 38,5% es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), para el 15,4% es el fosfato (PO_4^{3-}) y el 17,9% lo deja en blanco.

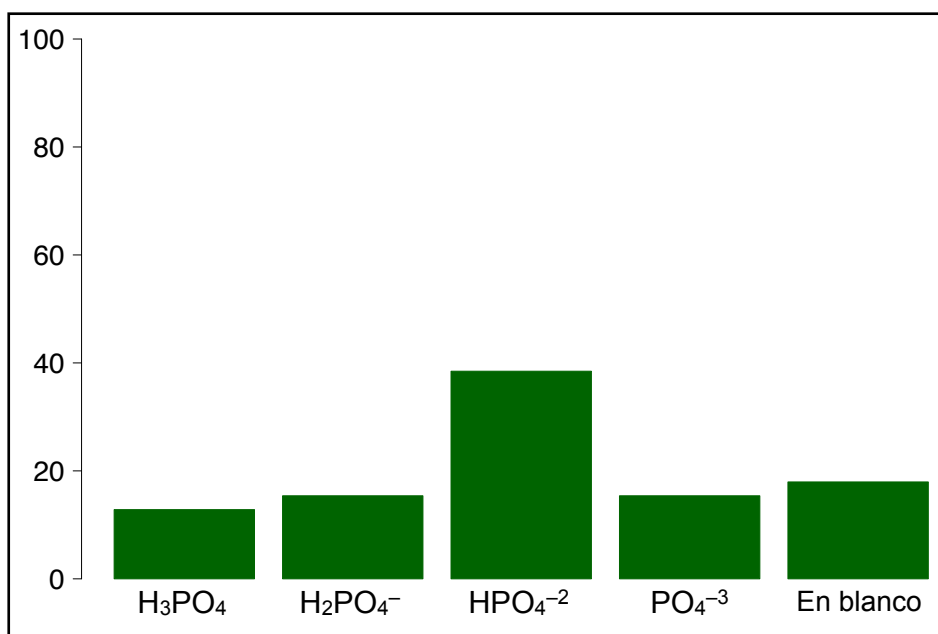


Figura 162. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Finalmente para la sentencia 9c (figura 163), se encontró que un 10,3% determina que a pH igual a 14 la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 15,4% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 17,9% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 33,3 % correctamente piensa que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 23,1% no responde.

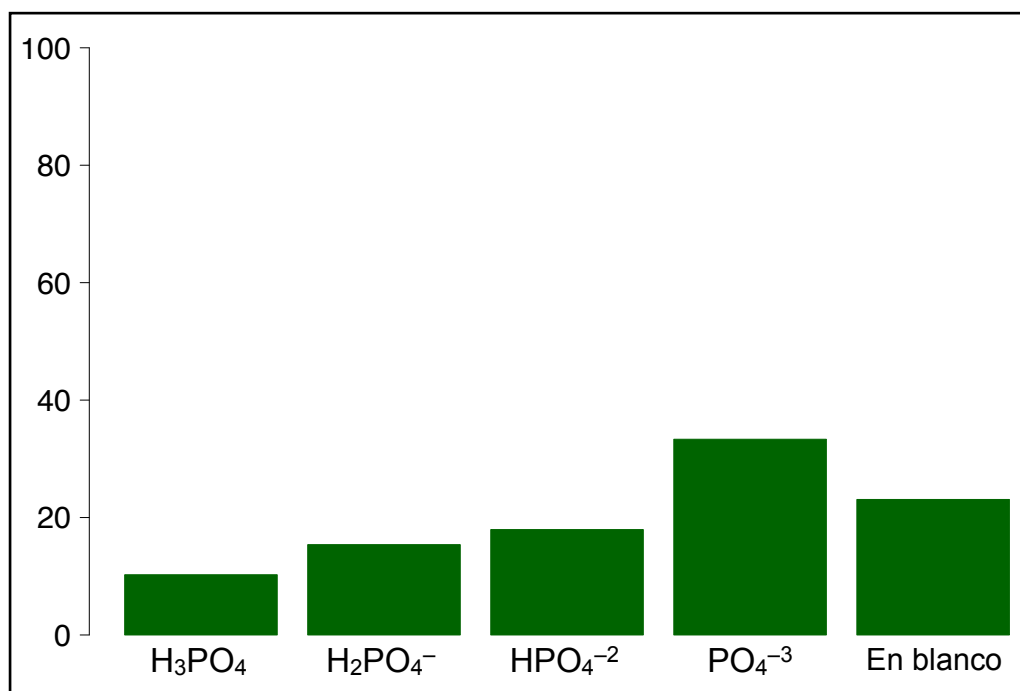


Figura 163. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.3. Grado en Ciencias del Mar.

En el grado en Ciencias del Mar fue posible administrar el cuestionario a un mayor número de estudiantes y un mayor número de cursos. Estos alumnos han estudiado muy bien el sistema del dióxido de carbono en el océano por su formación académica. Veamos si esto se refleja en los resultados. Para la sentencia 6a (figura 164), ocurre que un 44% piensa correctamente que la disolución del carbonato de calcio da lugar un aumento de la presión parcial del dióxido de carbono atmosférico, un 19% considera el efecto contrario entendiendo que la presión parcial disminuye, un 10,6% no ve vinculación entre ambos datos y cree que la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inalterable, un importante 23,6% no sabe y un 2,8% lo deja en blanco.

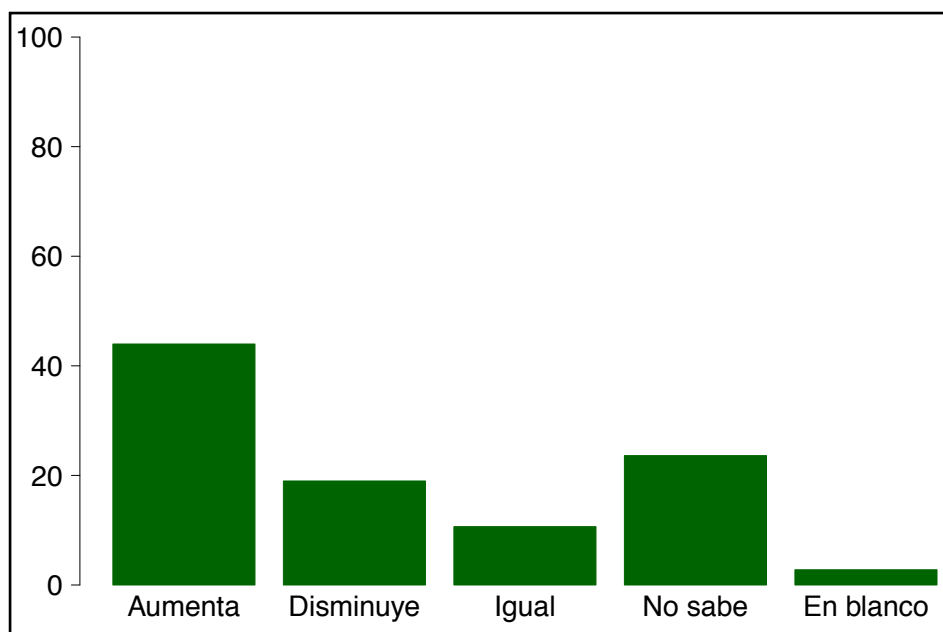


Figura 164. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

En la sentencia 6b (figura 165), tenemos que el 16,2% ante la precipitación del carbonato cálcico la presión parcial del dióxido de carbono debe aumentar, un 36,6%, sí considera correctamente que ante este evento, la presión parcial de este gas debe disminuir, un 13,4% cree que no hay efecto y se mantiene estable. Un 30,1% no sabe qué ocurre y un 3,7% no marca opción.

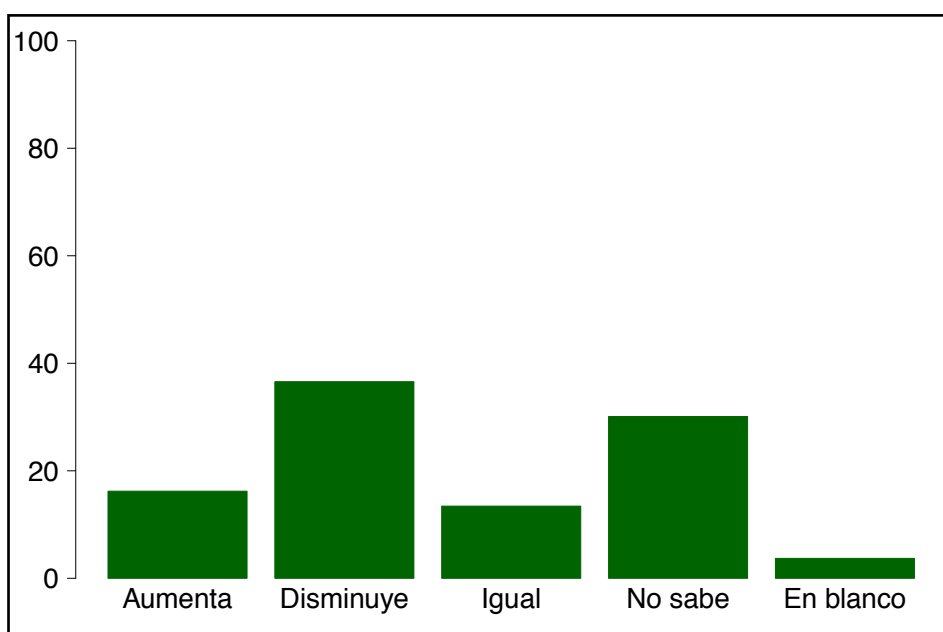


Figura 165. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

En la sentencia 6c (figura 166), se puede observar que persisten los problemas para relacionar la variable pH y la concentración atmosférica de dióxido de carbono. Así, el 18,1% cree que un aumento de la presión parcial del dióxido de carbono atmosférico aumentaría los valores de pH, haciendo más básico al océano. Un 24,5%, acierta al concluir que los valores de pH deben disminuir y hacerse más ácido, un 28,7% cree que no existe vínculo entre ambos hechos, un 24,5% no sabe qué sucedería y un 4,2% decide dejar en blanco el ítem.

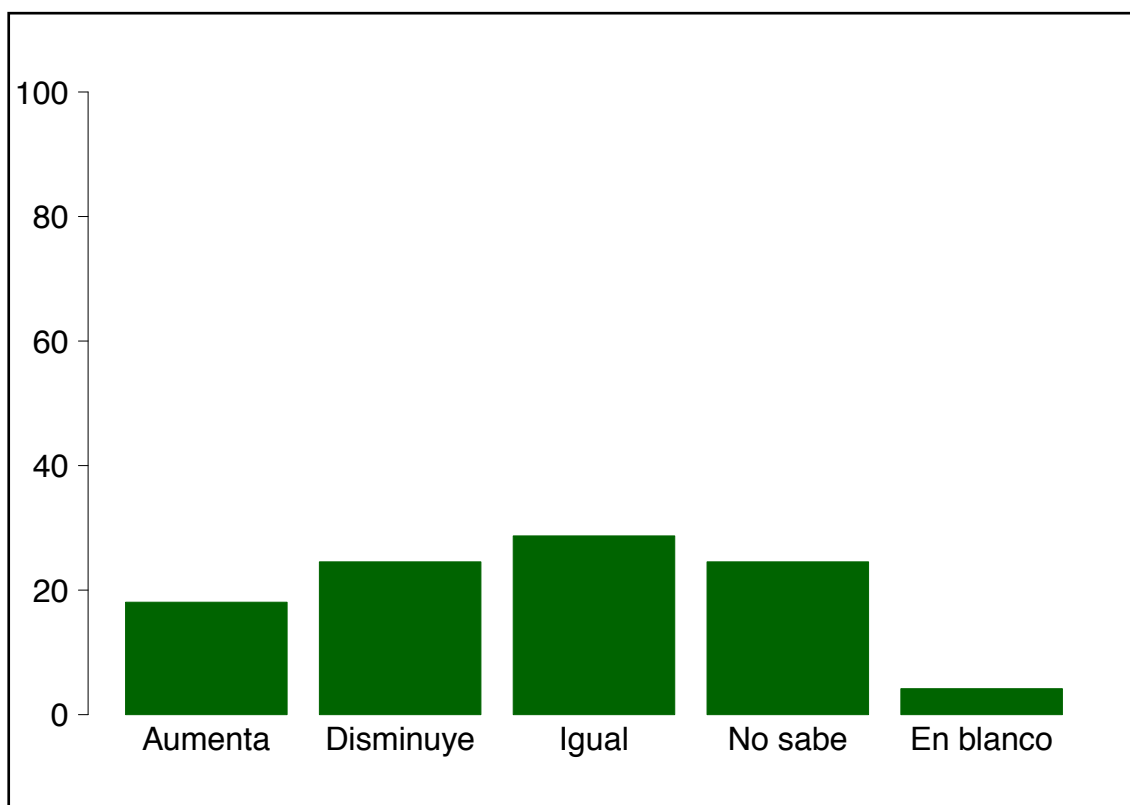


Figura 166. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c).

Pasamos al análisis de la sentencia 7a (figura 167), sobre el comportamiento del tampón carbonato en sistemas biológicos. Así, un 25,5% cree que ante el aumento de la presión parcial del dióxido de carbono gaseoso el equilibrio se desplazará hacia la formación de ese gas, lo cual es una incorrecta aplicación de la ley de acción de masas. Un 53,7% cree que el desplazamiento del equilibrio se produce en la dirección del ión carbonato, lo cual es correcto. Un 3,7% cree que el equilibrio permanece constante, un 15,7% no sabe y un 1,4% lo deja en blanco.

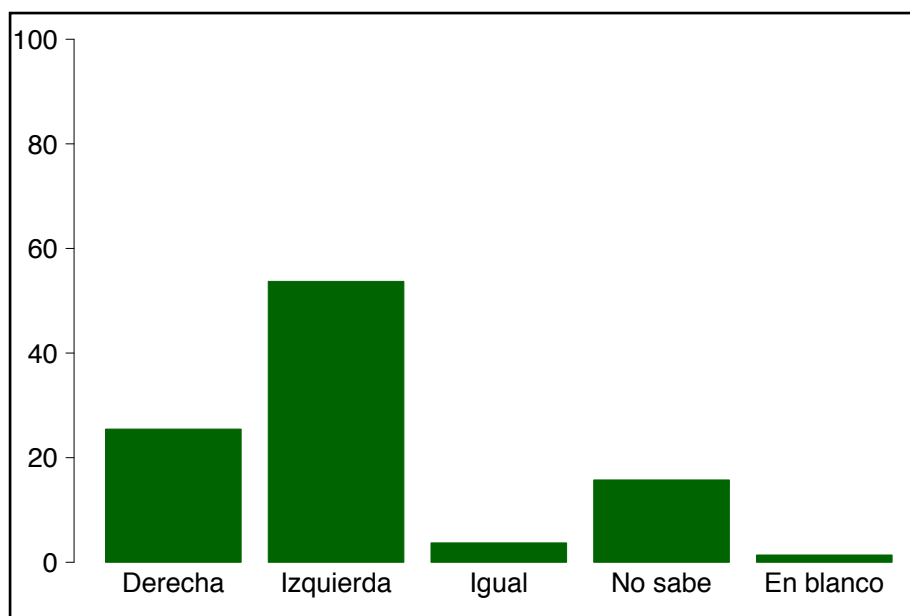


Figura 167. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

En la sentencia 7b (figura 168), ante la segregación de ácido láctico hacia la sangre, un 28,2% piensa que el equilibrio se desplaza hacia la formación de CO_2 gaseoso, un 18,1% cree que se desplaza hacia la formación de iones carbonato, un 11,6% piensa que se mantiene igual, un 38,9% no sabe qué ocurre con el problema planteado y un 3,2% lo deja en blanco.

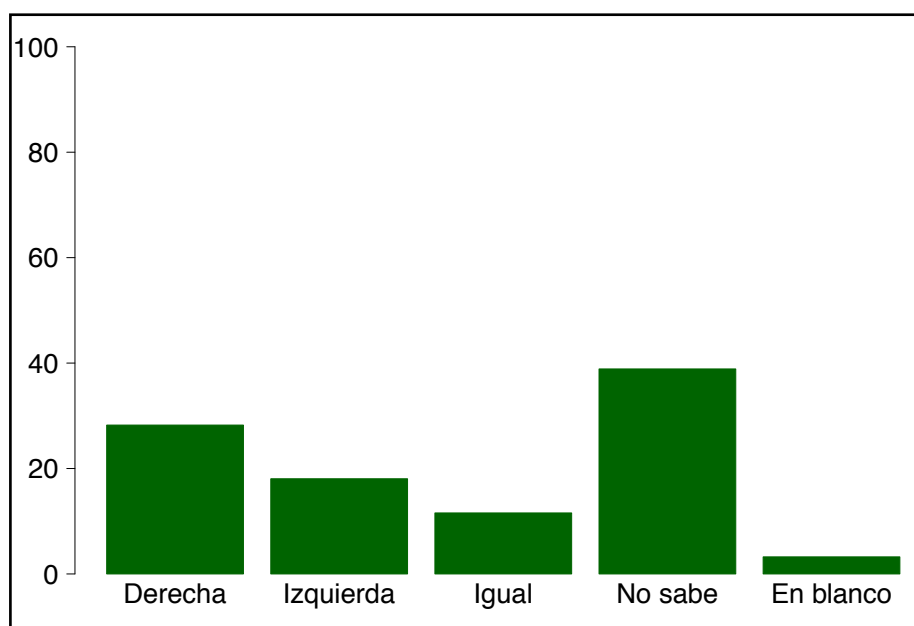


Figura 168. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

La representación gráfica de la sentencia 7c (figura 169), muestra que ante la segregación de amonio hacia la sangre, un 19,9% cree incorrectamente que el equilibrio ha de desplazarse hacia la formación de dióxido de carbono gaseoso. De forma totalmente opuesta, un 15,7% considera correctamente que el desplazamiento del equilibrio es hacia la formación de iones carbonato. Un 20,4% pondera que no hay movimiento del equilibrio, un elevado 40,3% no sabe qué debe ocurrir con el equilibrio y un 3,7% deja el ítem en blanco.

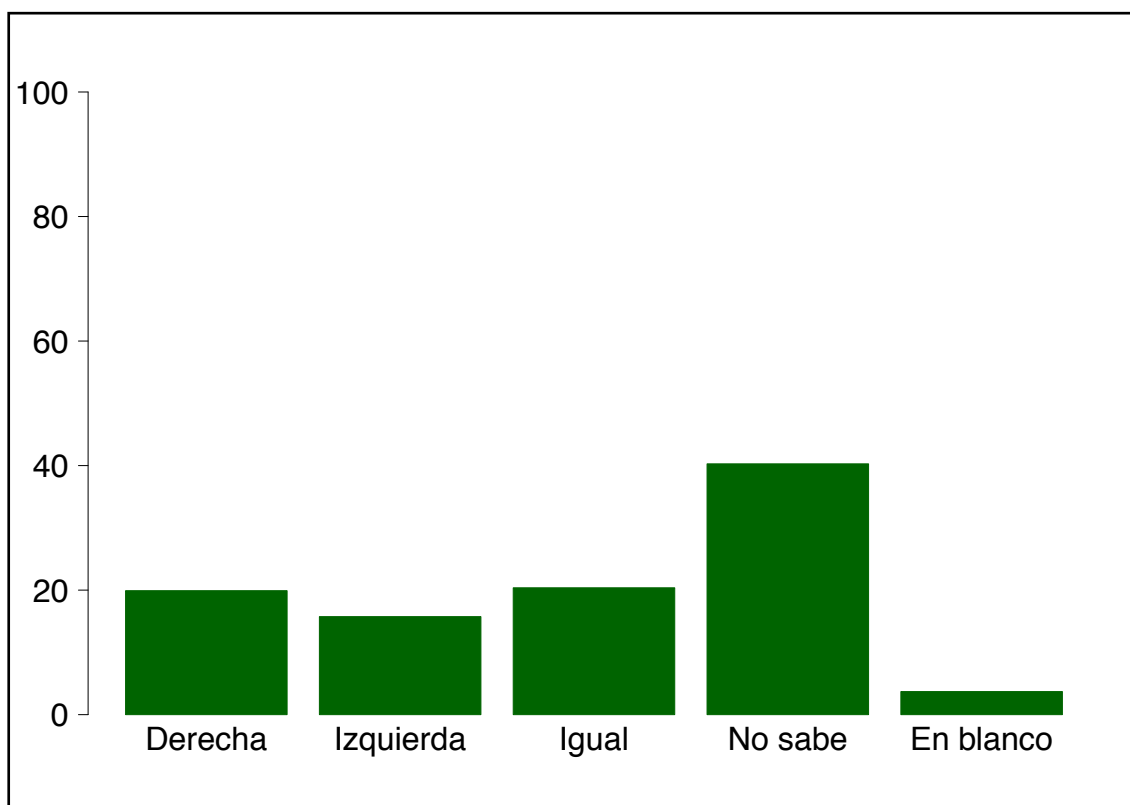


Figura 169. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Se discute la conducción de la electricidad en la sentencia 8 (figura 170), en relación con la adición de una disolución ácida, básica, ambas o ninguna. En base a las respuestas marcadas obtenemos que un 22,7% considera que sólo una disolución ácida es capaz de conducir la electricidad, un 20,8% que sólo las disoluciones básicas conducen la corriente eléctrica, un 25,9% piensa correctamente que ambas pueden conducir la electricidad, un 18,5% cree que ninguna de esas disoluciones puede conducir la corriente eléctrica y un 12% deja en blanco la cuestión.

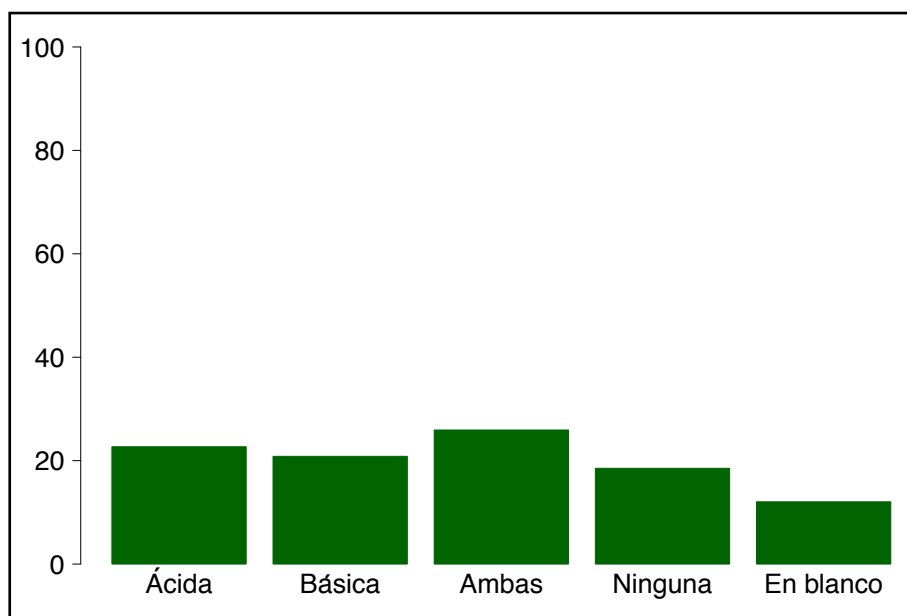


Figura 170. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

En la sentencia 9a (figura 171), podemos observar que a pH igual a cero un importante 66,7% afirma correctamente que la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 20,8% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 1,9% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 5,1% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 5,6% lo deja en blanco.

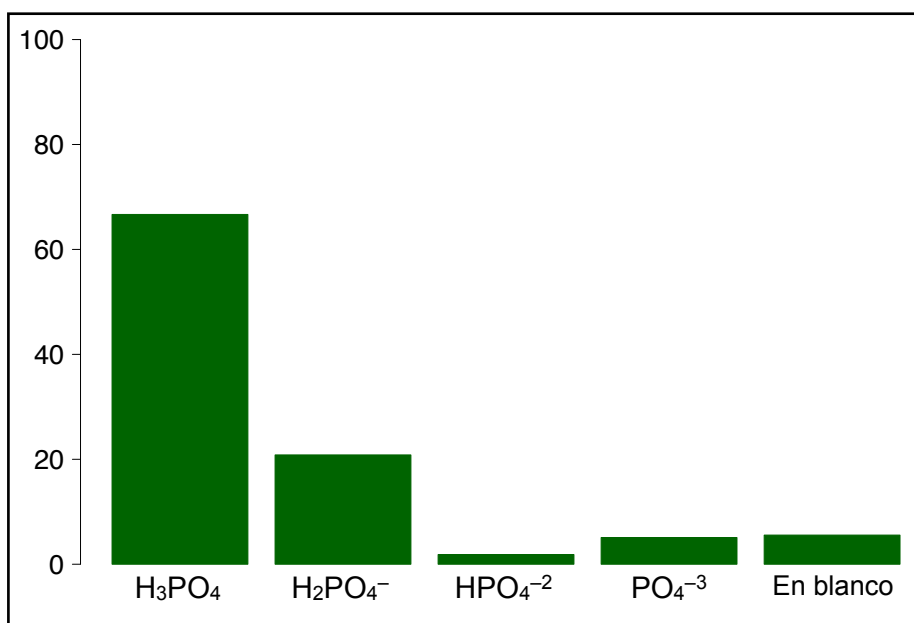


Figura 171. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

En el intermedio, se encuentra la disposición gráfica de los resultados obtenidos para la sentencia 9b (figura 172). En este caso quería conocerse qué especie química sería la favorecida si el pH de la disolución poseía un valor de diez. Con estos porcentajes en la mano, existe un 4,2% que entiende que para ese valor de pH la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4). Sin embargo, un 10,6% de los sujetos cree que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-) la especie favorecida a ese pH. Además tenemos un 61,1% que correctamente marcó al hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}) como su opción correcta frente a un 19% que pensó que era el fosfato (PO_4^{3-}). El 5,1% no marca opción alguna y deja en blanco totalmente la cuestión.

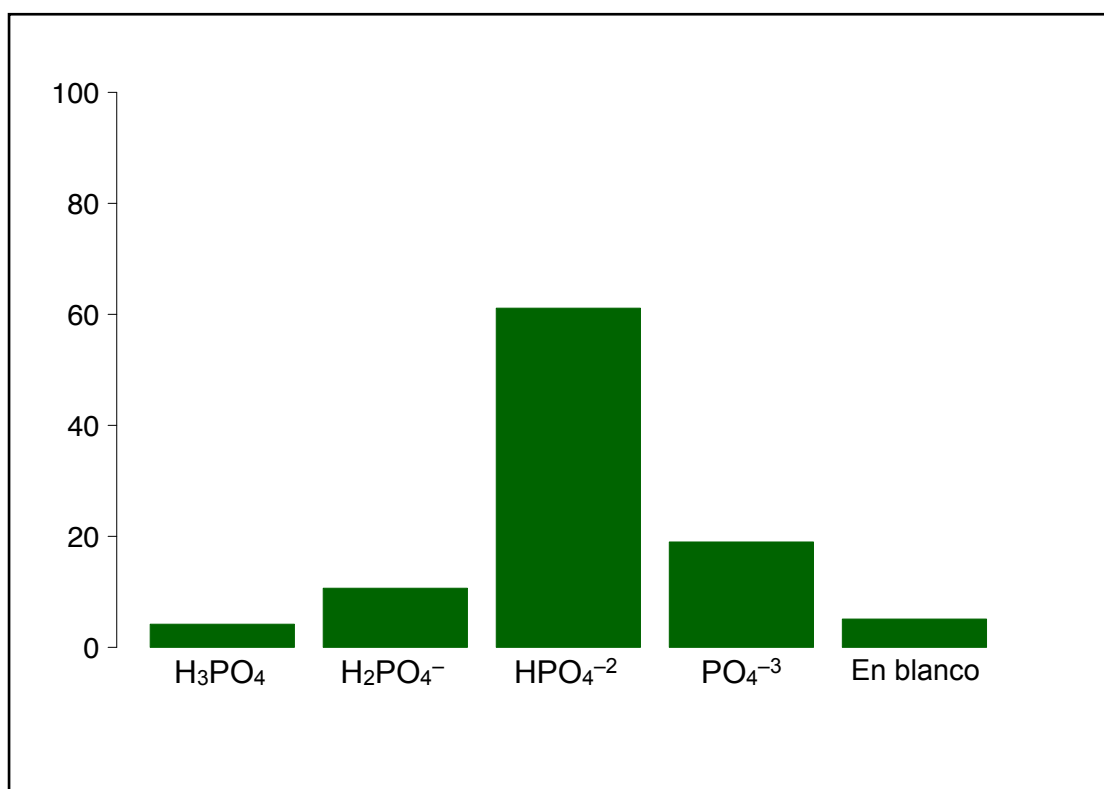


Figura 172. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Aparece por último la descripción de la gráfica para la sentencia 9c (figura 173), en la cual sucede que para el valor de pH igual a catorce, un 8,8% de los encuestados creyó que la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 3,7% que lo es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 13,4% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un importantísimo 67,6% considera correctamente que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 6,5% lo deja en blanco.

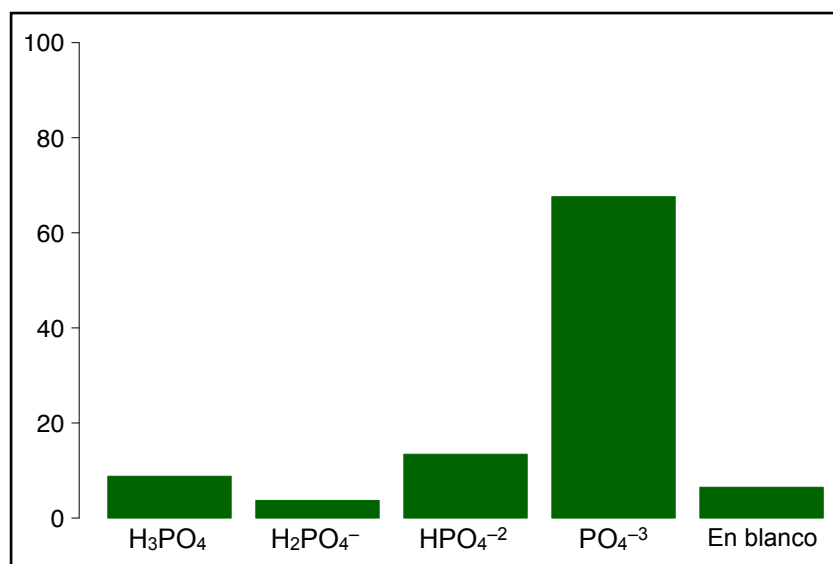


Figura 173. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.4. Grado en Medicina.

Continuamos nuestro análisis con el Grado en Medicina. Las respuestas de los estudiantes a la sentencia 6a (figura 174), muestran que un 50,6% considera que la disolución del carbonato cálcico aumenta la presión parcial del CO_2 , un 13,3% opina que la hacen disminuir, un 11,4% cree que no habrá perturbaciones, un 19,3% no sabe y un 5,4% no responde.

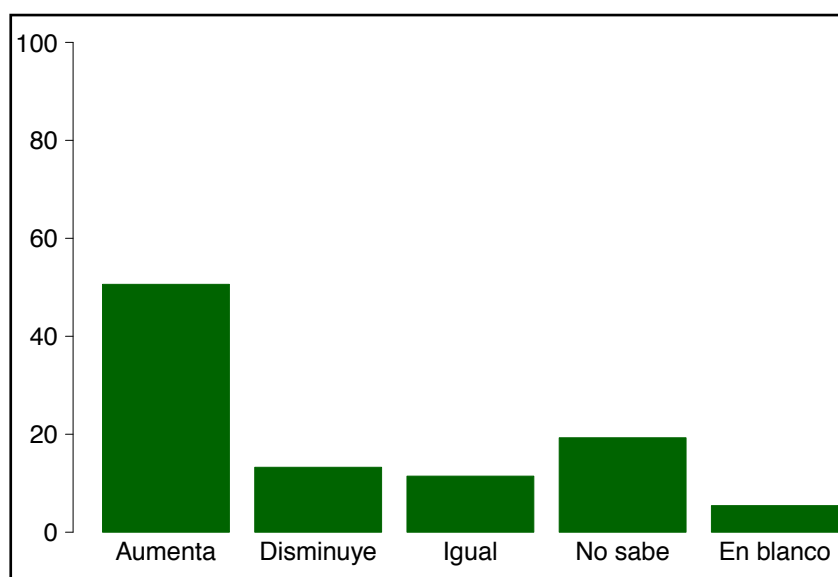


Figura 174. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve $CaCO_3$ en la disolución? (Esquema 6a).

Continuamos con los resultados gráficos y numéricos que se corresponden con la sentencia 6b (figura 175), donde el 16,3% admite que ante una precipitación de carbonato cálcico, la presión parcial del dióxido de carbono aumenta, por lo que interpretan el equilibrio de forma inversa a lo esperado mediante la aplicación de la ley de acción de masas.

Por otra parte, un 42,2% da con la clave y entiende que la presión parcial del dióxido de carbono debe disminuir al ir retirándose iones carbonato del equilibrio porque este comenzará a disolverse, un 10,2% no cree que exista vínculo entre ambos hechos y por tanto el equilibrio se mantiene igual, un elevado 23,5% no sabe qué ocurre y un 7,8% deja en blanco la pregunta.

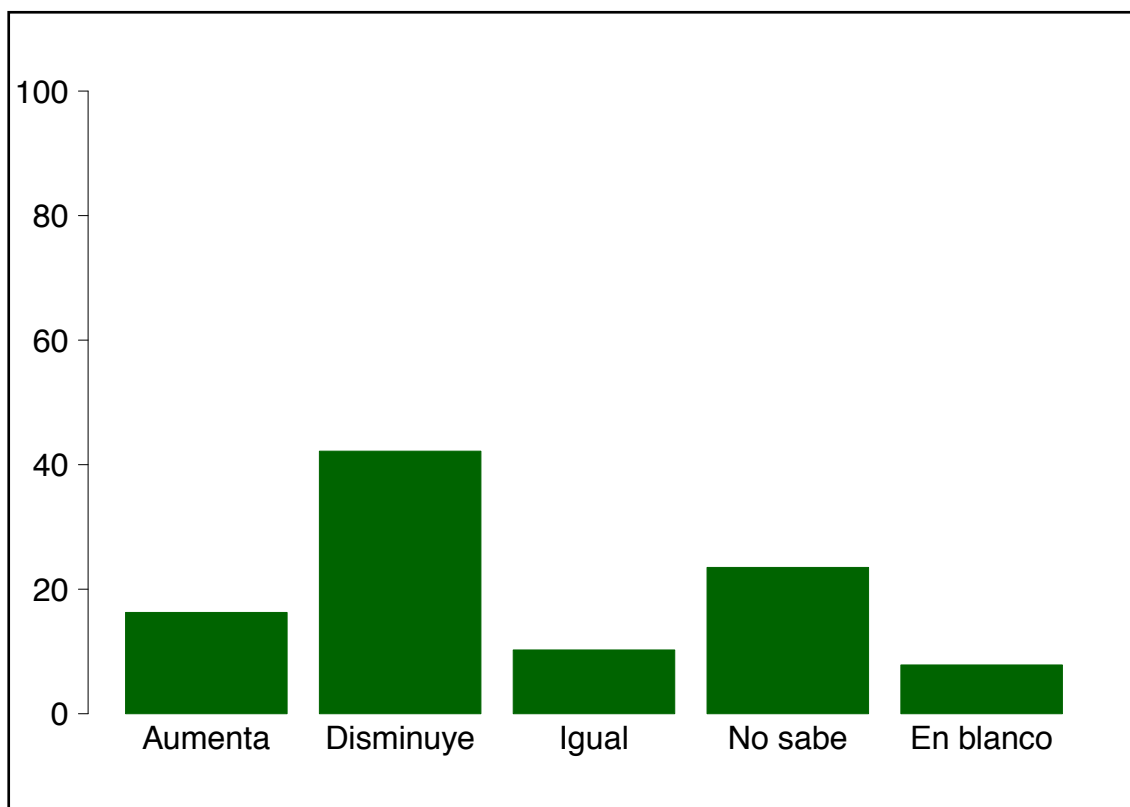


Figura 175. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Siguiendo con nuestra evaluación, tenemos que para la distribución porcentual de los resultados propios de la sentencia 6c (figura 176), se ha obtenido que el 15,7% se decanta por la relación directa entre los valores de pH y el aumento

de la presión parcial del dióxido de carbono. A su vez, un 30,1% marca la opción correcta indicando que los valores de pH deben disminuir, acidificándose más el océano (disolución).

Sin embargo, ocurre que el 21,7% de la muestra estudiada cree que no existen efectos sobre el pH, no relacionando las variables mostradas. Un importante 25,3% no sabe qué vinculación existe entre el equilibrio mostrado y el pH y ya por último un 7,2% lo deja en blanco.

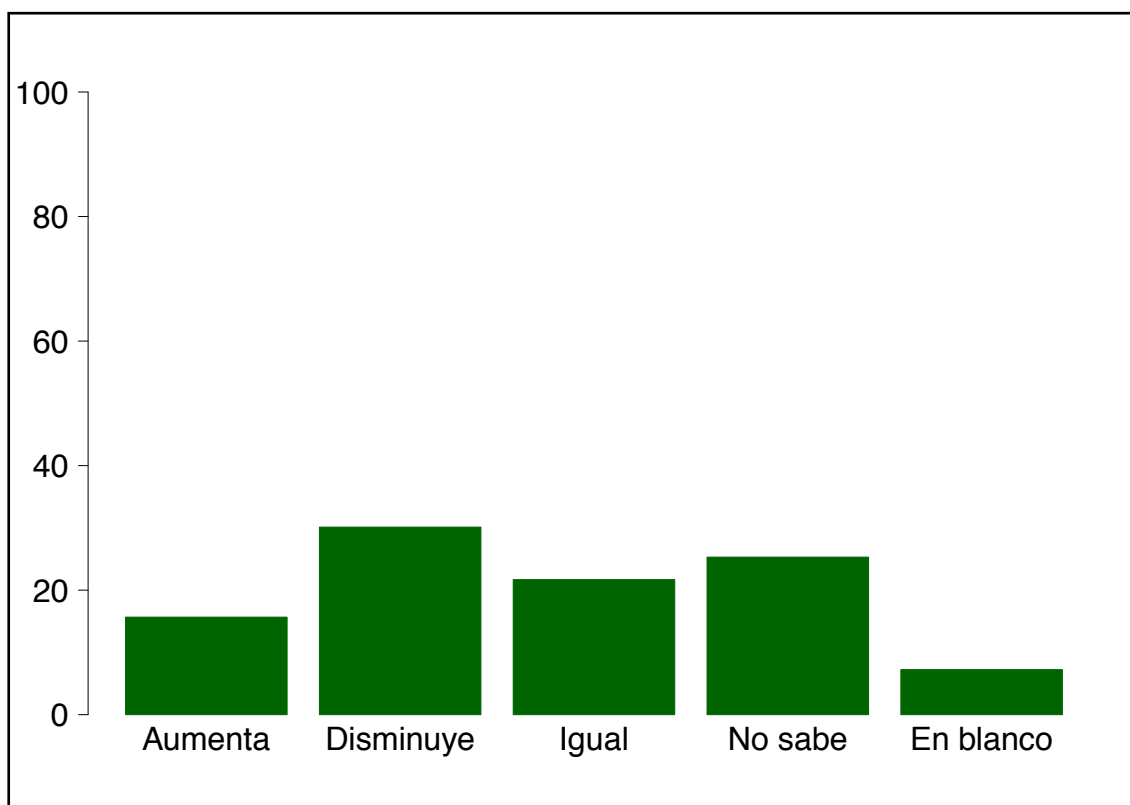


Figura 176. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

Por otra parte, en la sentencia 7a (figura 177), solamente existe un 16,9% que cree incorrectamente que el equilibrio mostrado se desplazará hacia la formación de dióxido de carbono cuando éste aumenta su propia presión parcial; este razonamiento carece de sentido. Opuestamente, un destacado 66,9% que correctamente entiende que debe desplazarse hacia la formación del ión carbonato, un 1,2% cree que debe mantenerse igual, un 10,8% no sabe y un 4,2% lo deja en blanco.

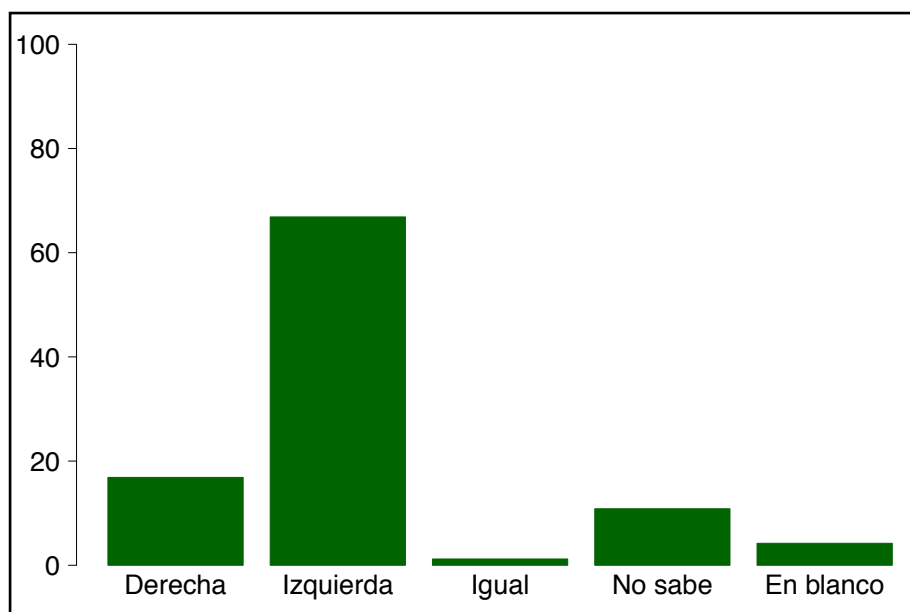


Figura 177. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

En la sentencia 7b (figura 178), solamente el 46,4% da con la respuesta correcta ya que cuando al segregarse ácido láctico en sangre, este equilibrio debe desplazarse hacia la formación de CO_2 , un 20,5% se equivoca y cree que el desplazamiento es justo al contrario, un 4,8% cree que no hay efectos sobre el equilibrio, un importante 22,3% no sabe y un 6% la deja en blanco.

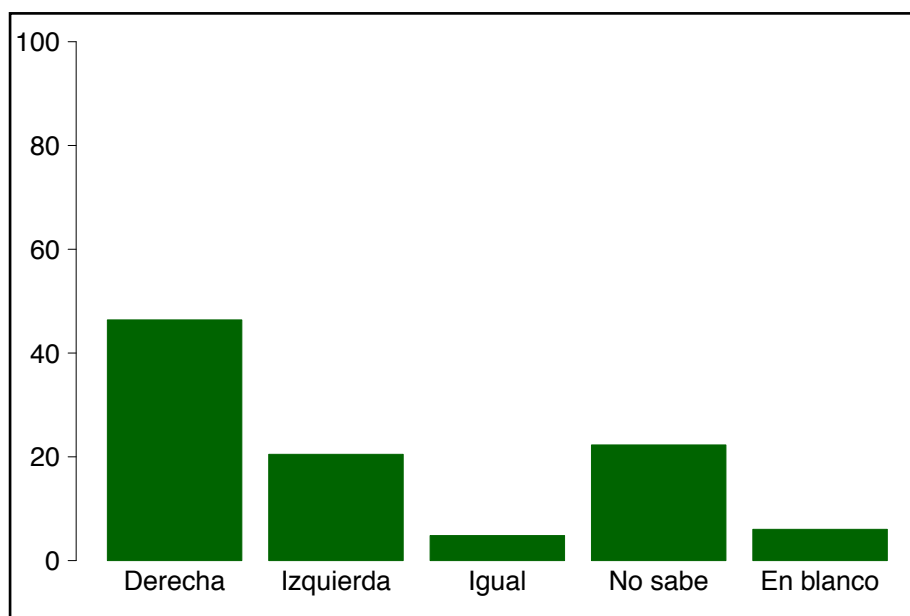


Figura 178. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Asimismo, en la sentencia 7c (figura 179), vuelven a repartirse los porcentajes de las respuestas por lo que, en cierto grado, parece existir algo de confusión en el papel que desempeñaría la segregación de una base sobre el equilibrio del tampón carbonato.

Baste observar que un 21,1% piensa que el desplazamiento del equilibrio se produce hacia la formación de dióxido de carbono, un 28,3% correctamente comprende que es hacia la formación de iones carbonato, un 25,9% consideró que no hay desplazamiento, un 18,7% no sabe y un 6% prefiere no responder.

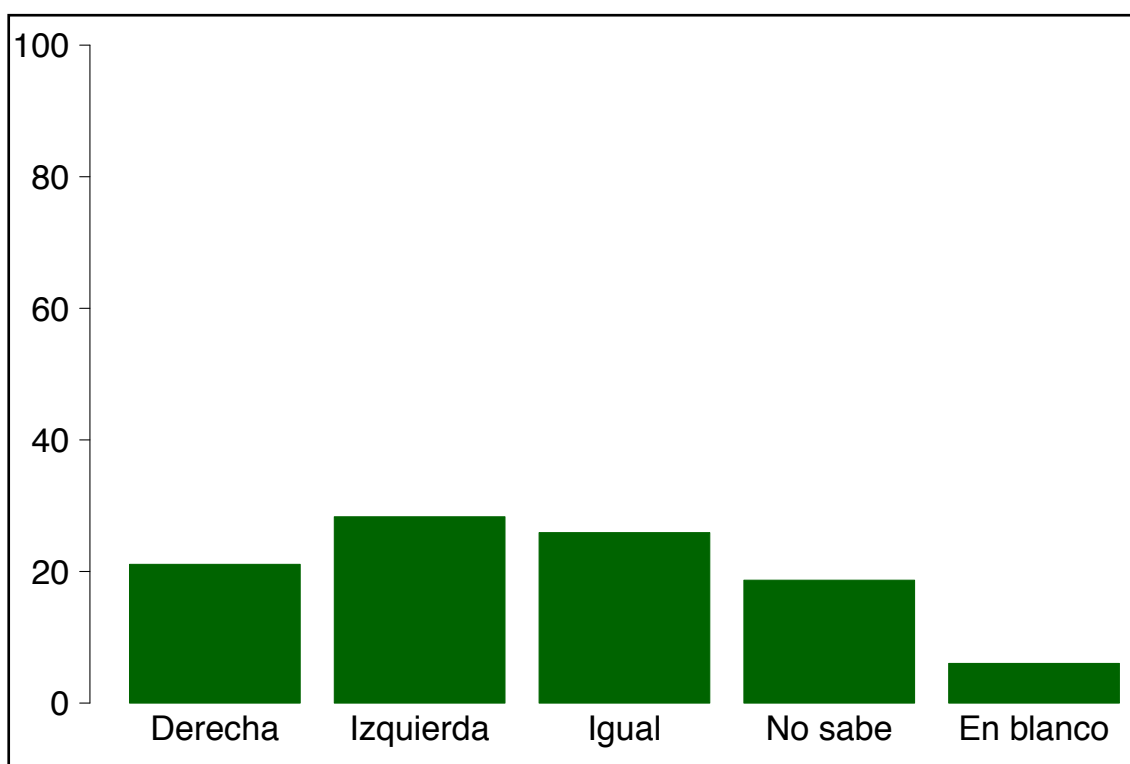


Figura 179. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Examinamos a continuación con la sentencia 8 (figura 180), donde hemos venido evaluando la relación entre la conducción de la electricidad y el papel de los ácidos y bases. A este respecto, se observó que el 18,1% admite que sólo los ácidos disueltos pueden conducir la electricidad, un 7,8% que sólo las bases son conductoras en disolución, un 44% acierta al determinar que ambas pueden conducir la electricidad, un 18,7% opina que ninguna de ellas permite el paso de la corriente y un 11,4% la deja en blanco.

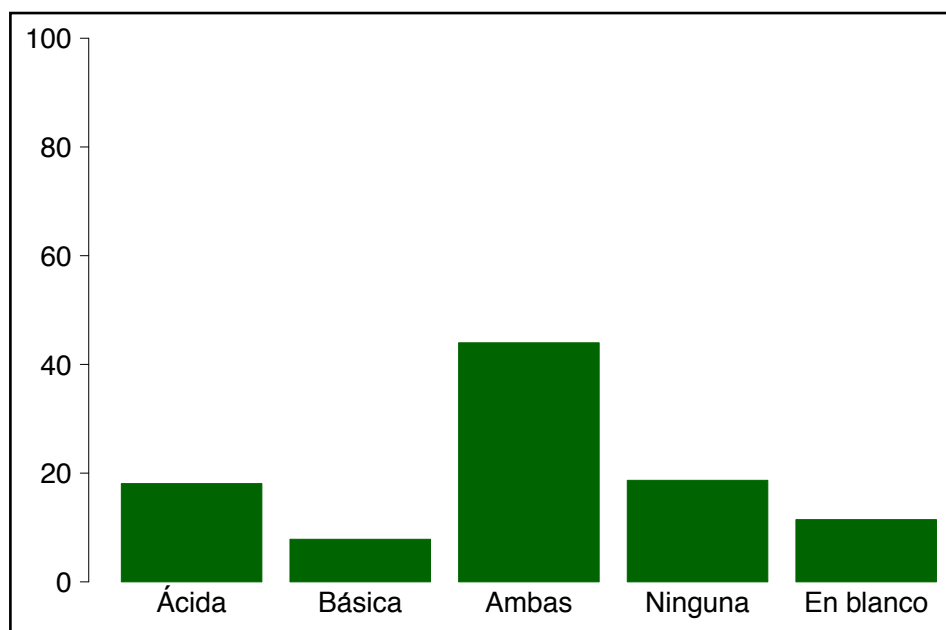


Figura 180. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

En la sentencia 9a (figura 181), se halló que un 66,9% considera que a pH igual a cero la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 16,9% que lo es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), el 2,4% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 9,6% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 4,2% lo deja en blanco.

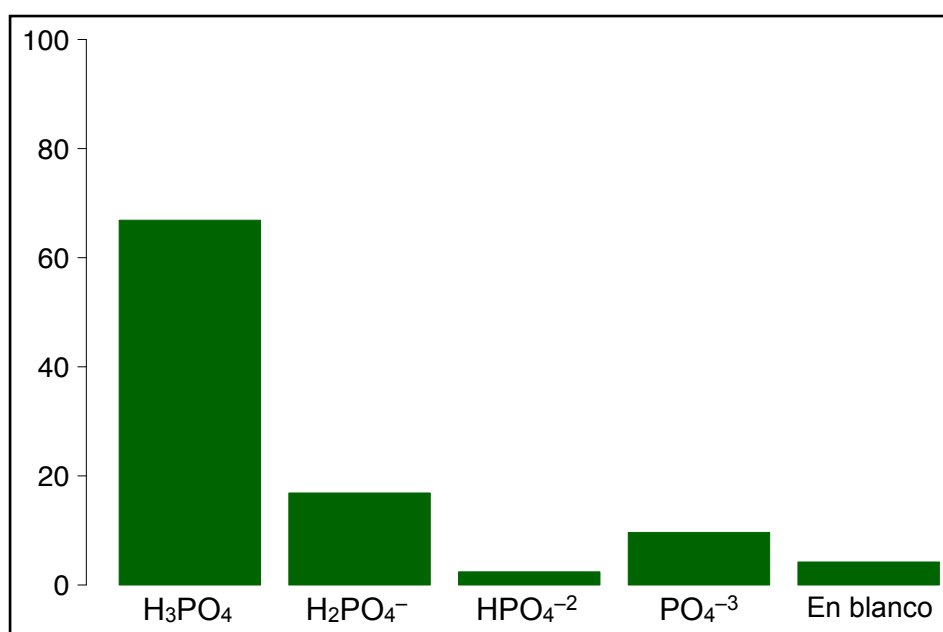


Figura 181. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

Para la sentencia 9b (figura 182), en donde continuamos con el estudio de la disociación de un ácido poliprótico, se ha hallado que un 4,8% entendió que a un valor de la escala de pH de diez, la especie predominante es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 15,7% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 66,9% acierta cuando marca la opción del hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 9% cree que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 3,6% lo deja en blanco.

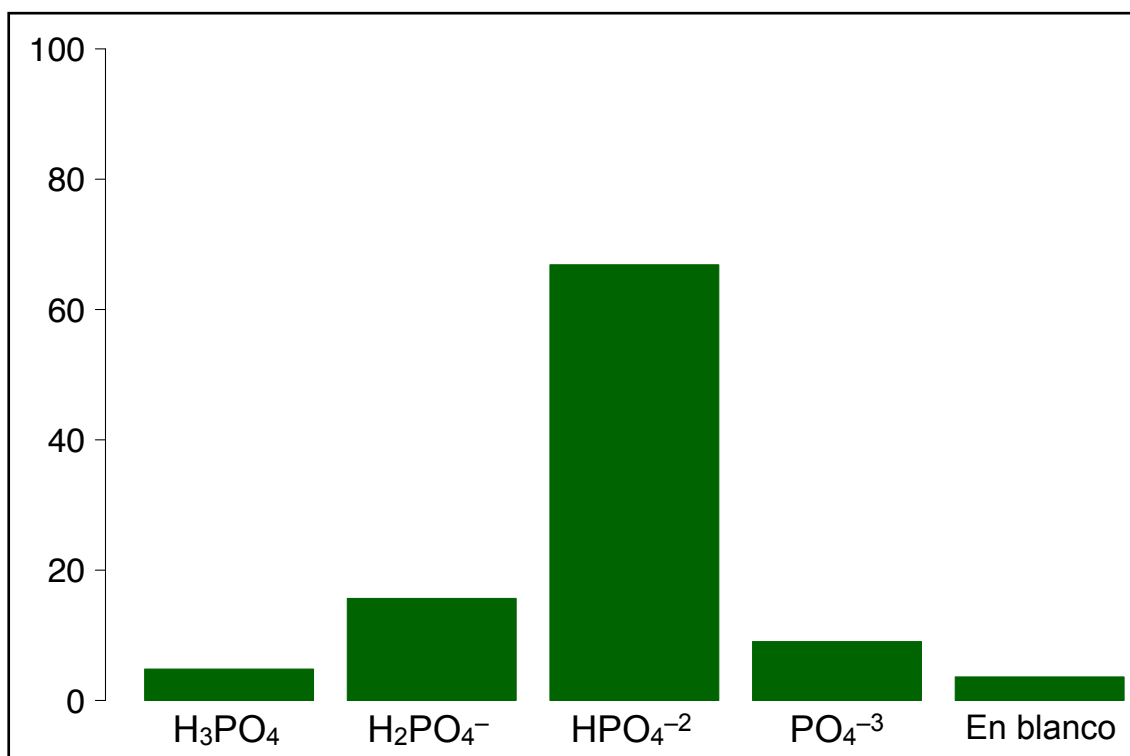


Figura 182. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Por último, en la sentencia 9c (figura 183), tenemos que el 7,8% piensa, bajo la observación de la gráfica mostrada, que la especie química favorecida cuando la escala de pH se encuentra a un valor de catorce es el ácido fosfórico (H_3PO_4).

Asimismo, un 3,6% cree que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 6% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un elevado 77,7% acierta al considerar que el fosfato (PO_4^{3-}) la especie más estable a ese valor de pH y un 4,8% deja la pregunta en blanco.

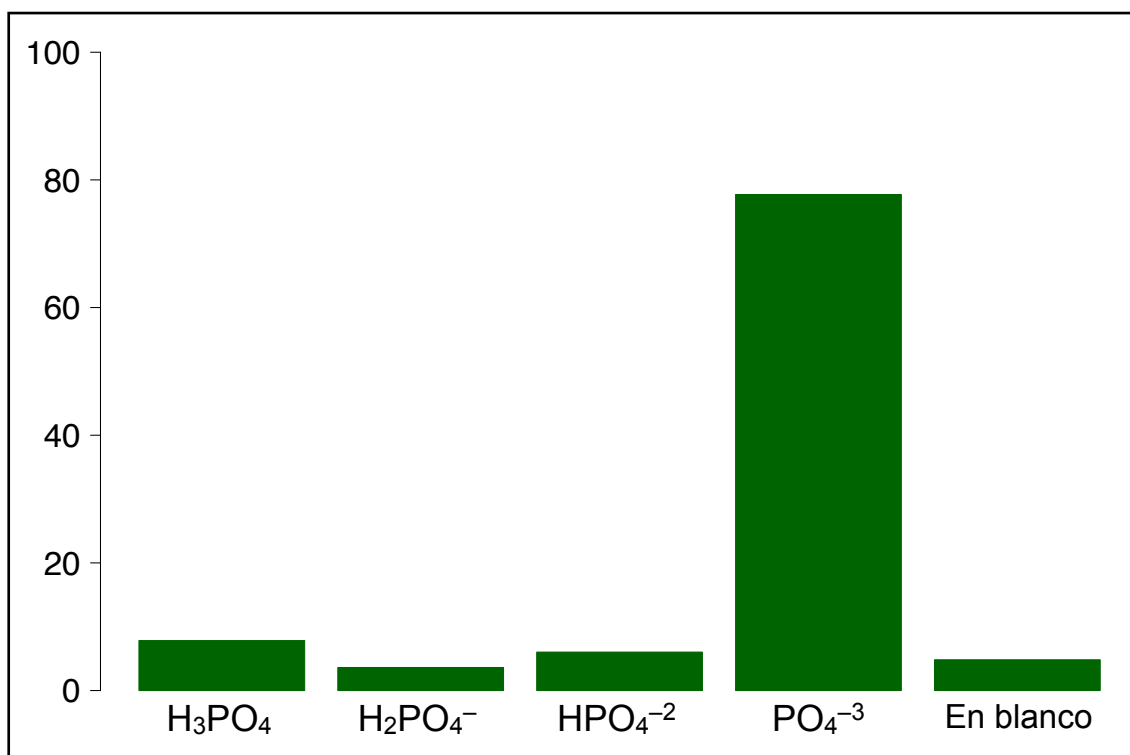


Figura 183. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.5. Grado en Veterinaria.

El grado en Veterinaria fue uno de los mejor estudiados ya que en cuanto a número de cursos cuenta con los menores sesgos, exceptuando siempre aquel debido a la mayor aportación porcentual de sujetos de los primeros cursos respecto a los postreros, además poseen un amplio conocimiento biológico y químico por lo que se esperan buenos resultados.

Aún dados estos conocimientos, ocurrió que los resultados no fueron muy satisfactorios, ya que se pudo observar que para la sentencia 6a (figura 184), sólo el 45,2% da con la respuesta correcta cuando afirma que la presión parcial del dióxido de carbono se ve aumentada al disolverse carbonato de calcio.

Un 15,4% considera que la presión parcial del dióxido de carbono debe disminuir, un 1,9% que se mantiene igual, un destacado 33,7% no sabe qué sucede y un 3,8% lo deja en blanco.

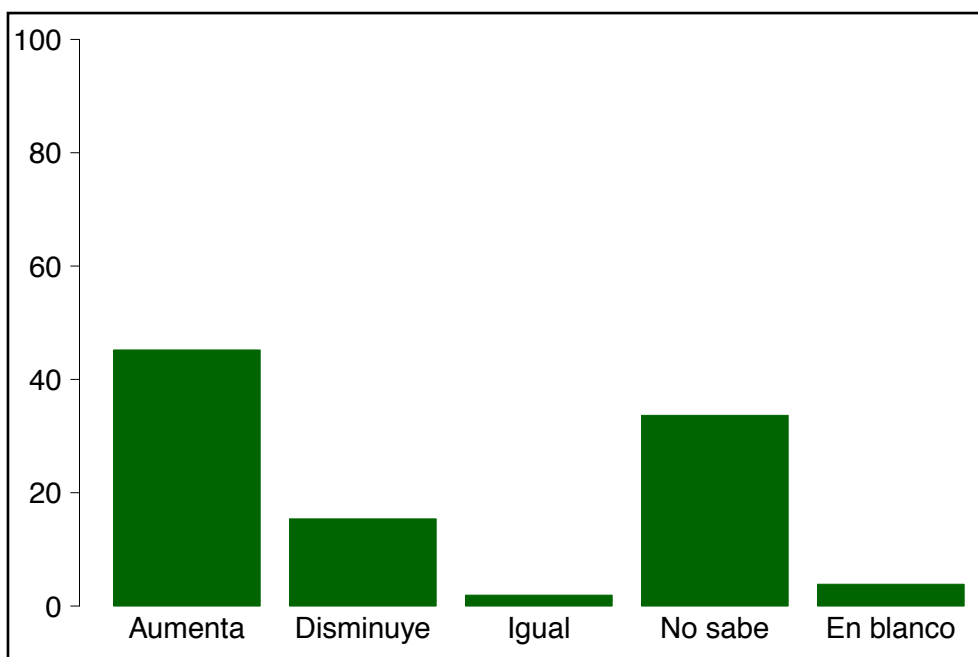


Figura 184. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

En la sentencia 6b (figura 185), el 13,5% considera que ante una precipitación del CaCO_3 , la presión parcial del CO_2 debe aumentar al contrario de un 36,5% que acierta cuando cree que debe disminuir, el 13,5% no ve vínculos y plantea que se mantiene, un importante 32,7% no sabe y un 3,8% lo deja en blanco.

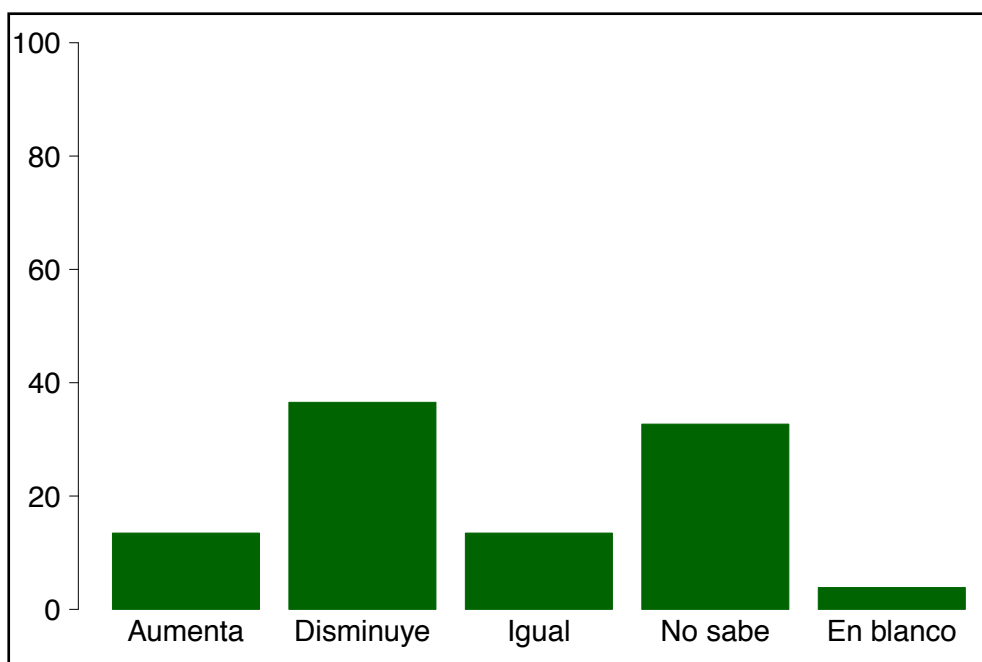


Figura 185. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Para la sentencia 6c (figura 186), se halló que el 19,2% piensa que el pH debe aumentar si la presión parcial del dióxido de carbono también se eleva, un 17,3% entiende acertadamente que los valores de pH deben disminuir, un 26,9% cree que se mantiene igual, un 35,6% no sabe y solamente un 1% dejó la pregunta en blanco.

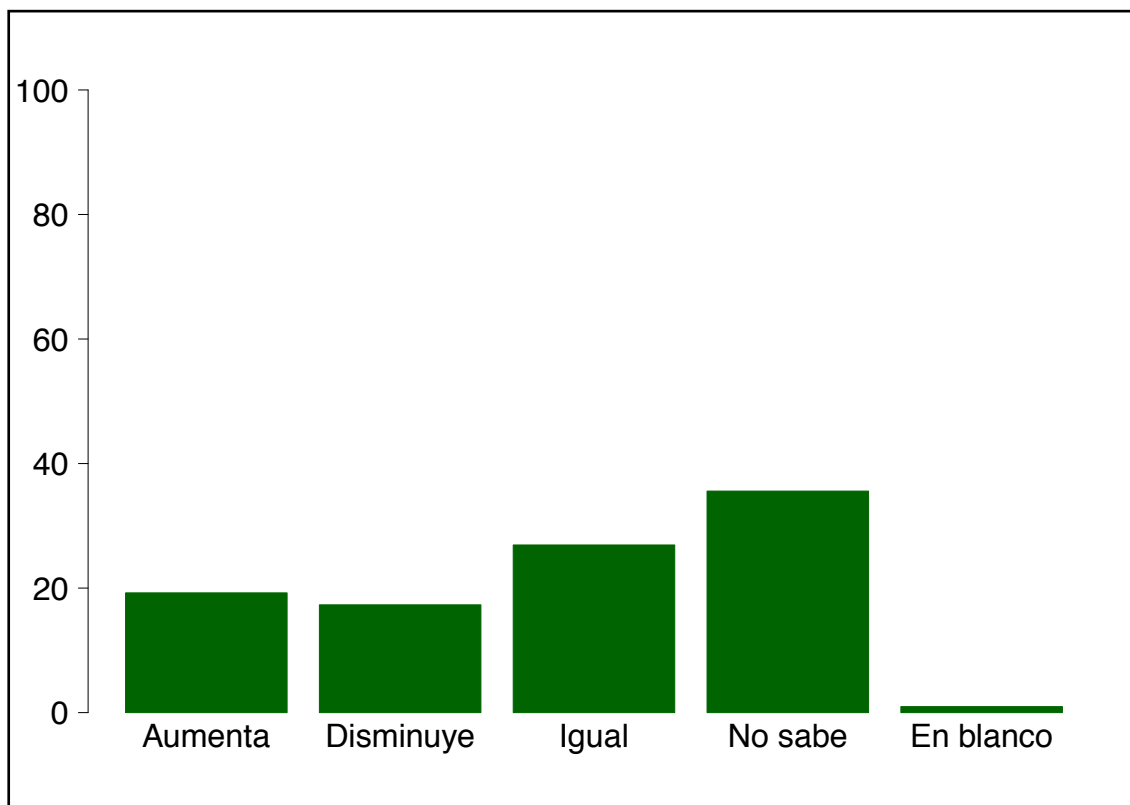


Figura 186. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

Continuamos ahora con la sentencia 7a (figura 187), donde puede observarse que el 12,5% de los sujetos considera que cuando un animal pulmonado respira un aire con una elevada presión parcial (equivalente a las concentraciones pero en disoluciones gaseosas) de dióxido de carbono el tampón carbonato se desplaza hacia la formación del propio gas, lo cual es imposible debido a la aplicación de la ley de acción de masas. Opuestamente, existe un 57,7% que considera correctamente que el desplazamiento debe ser hacia la izquierda dirigido a la formación del ión carbonato. Tenemos además que un 2,9% piensa que no hay relación entre estos hechos y el equilibrio se mantiene igual, un 26% no sabe y un 1% deja la pregunta en blanco.

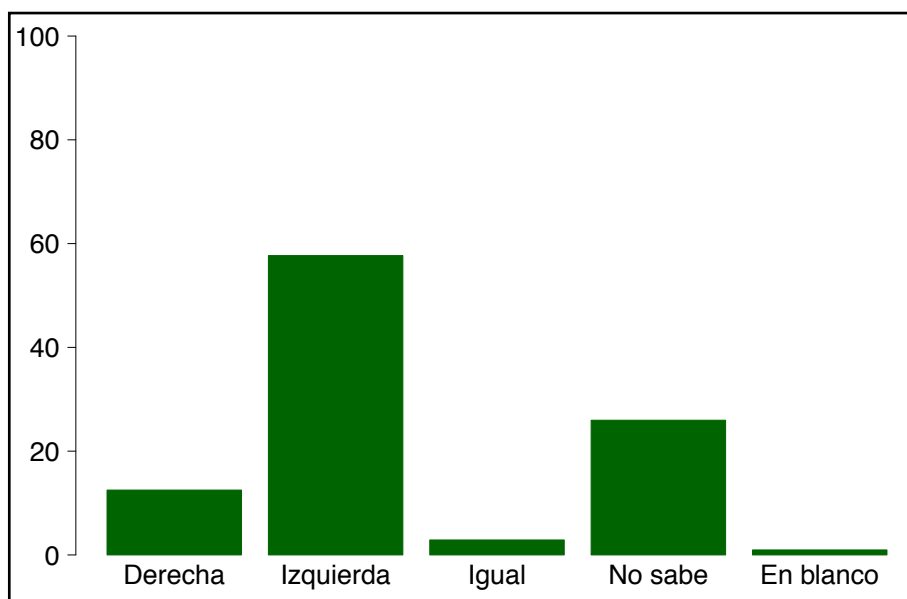


Figura 187. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO₂? (Esquema 7a).

En la sentencia 7b (figura 188), el 36,5% de los encuestados cree que cuando se segrega ácido láctico hacia la sangre el tampón carbonato se ve desplazado hacia la formación del dióxido de carbono mientras que un 14,4% opina que es al contrario, un 10,6% piensa que el equilibrio debe mantenerse invariable, un elevado 35,6% no sabe qué debe ocurrir y un 2,9% lo deja en blanco.

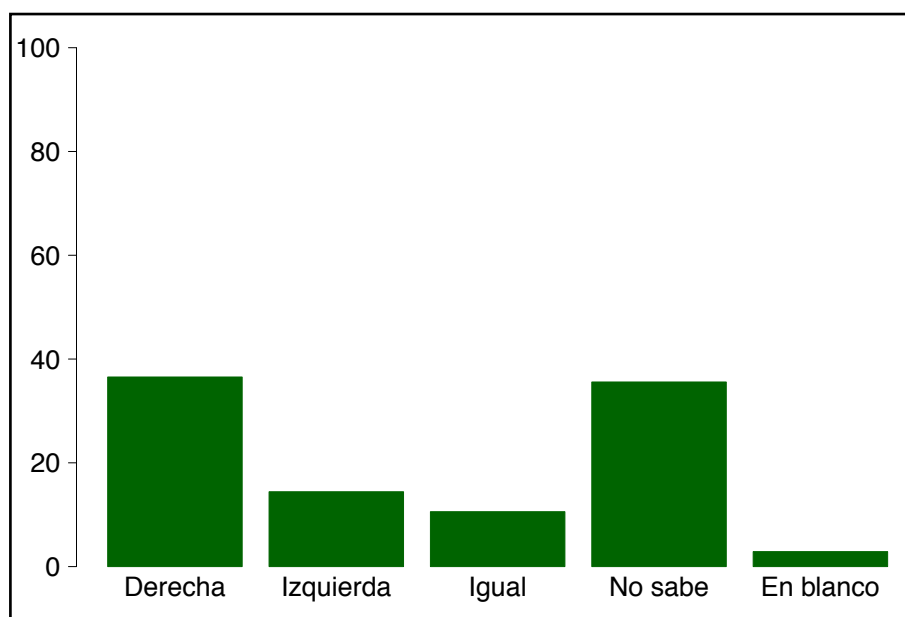


Figura 188. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Por último, en la representación gráfica obtenida para la sentencia 7c (figura 189), se encontró que un 19,2% plantea incorrectamente que al segregarse una base hacia la sangre, el equilibrio se vera desplazado hacia la formación del dióxido de carbono. Al contrario, un 12,5% que acierta al concluir que es hacia la formación del ión carbonato. El 24% cree que simplemente no hay perturbación del equilibrio cuando se segrega este compuesto, un destacado 41,3% no sabe y un 2,9% lo deja en blanco.

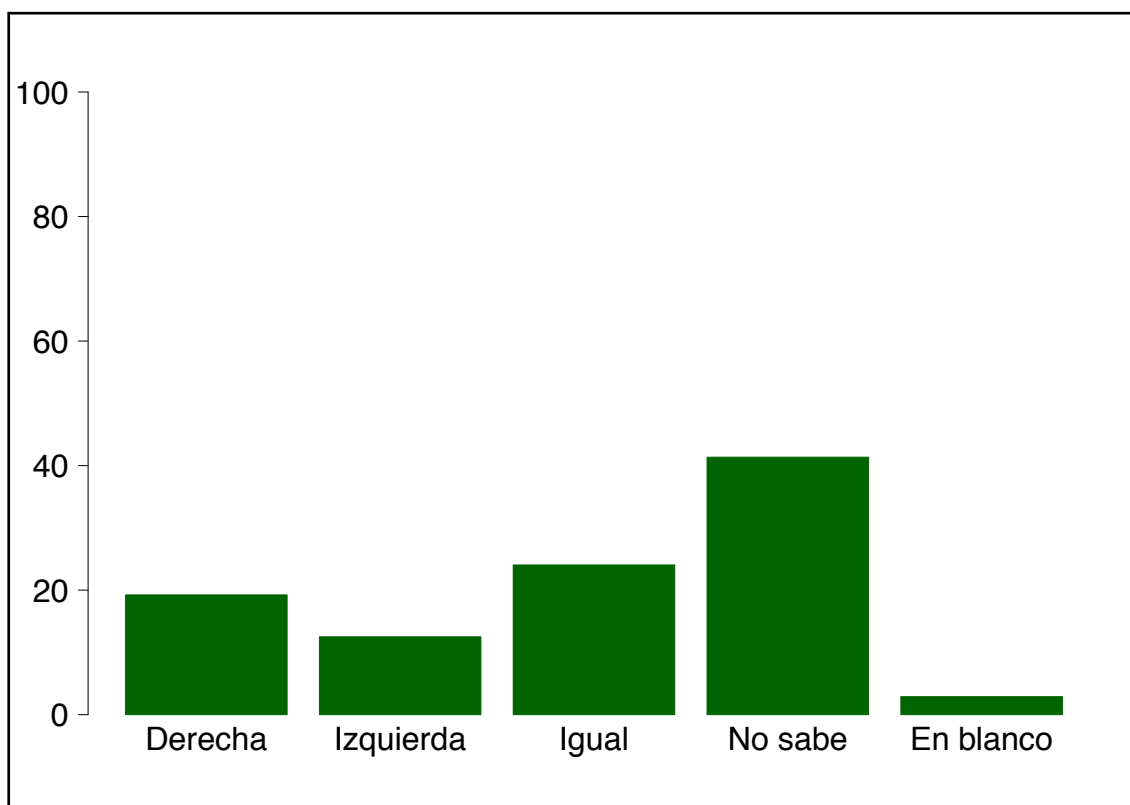


Figura 189. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

La relación existente entre la conducción eléctrica y las disoluciones ácidas y básicas se exploran en la sentencia 8 (figura 190). De la distribución de los porcentajes se obtuvo que el 15,4% de los encuestados cree que sólo una disolución de ácidos puede permitir el paso de la corriente eléctrica. Al contrario, un 11,5% piensa que sólo las disoluciones básicas lo permitirían. Justo la mitad de los sujetos, un 50%, acierta cuando marca la opción donde ambas disoluciones permiten la circulación de la electricidad, un 11,5% no sabe y otro 11,5% deja en blanco la cuestión.

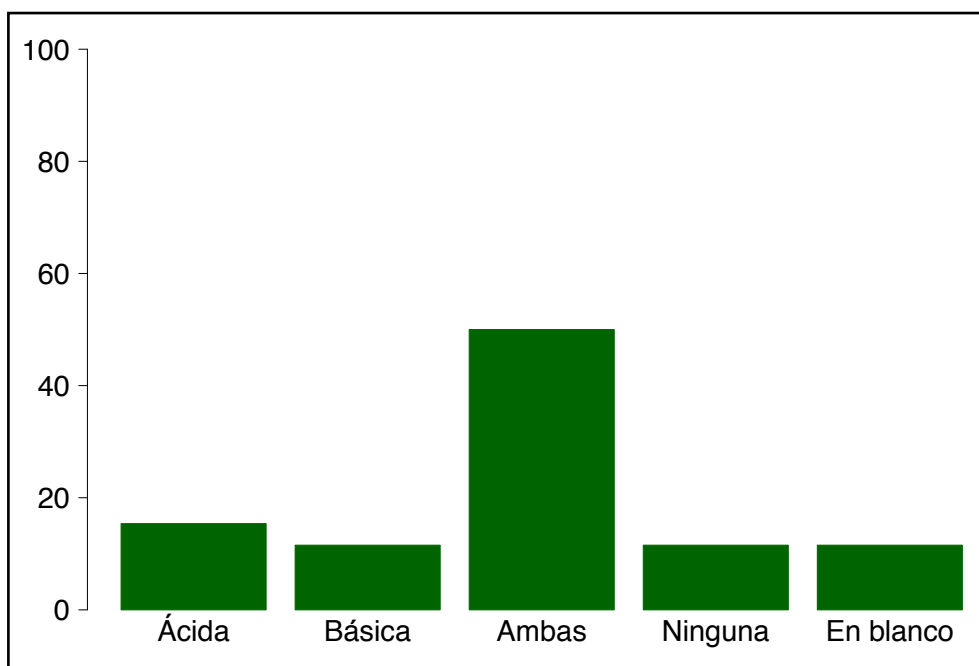


Figura 190. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

Descubrimos, en la sentencia 9a (figura 191), que un 59,6% entiende que a pH igual a cero la especie favorecida es la más protonada (H_3PO_4), un 20,2% se decanta por el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 2,9% por el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 9,6% por el fosfato (PO_4^{3-}) y un 7,7% deja en blanco la respuesta.

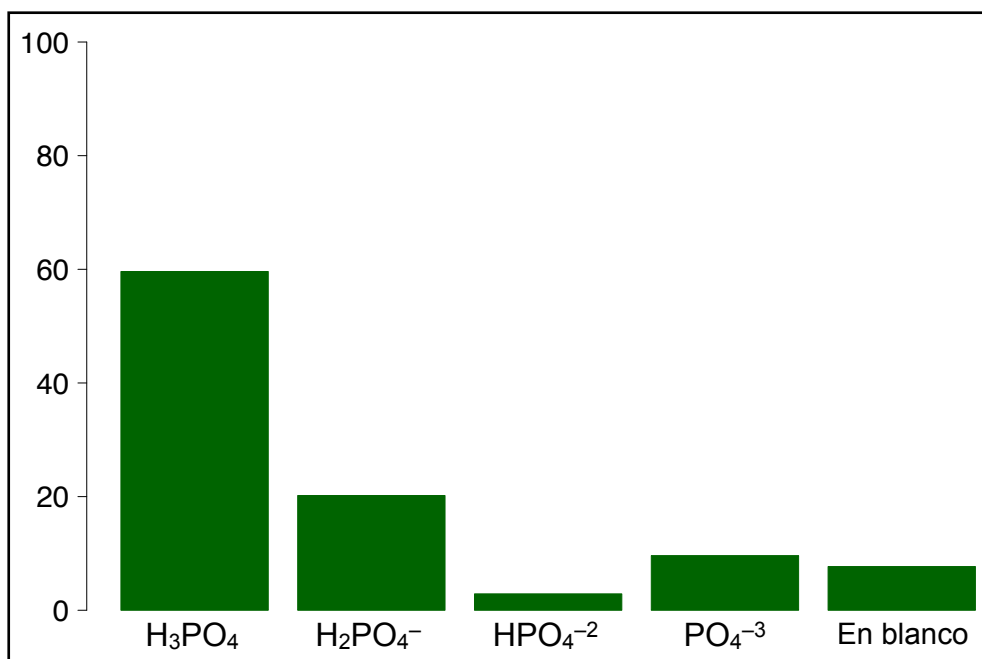


Figura 191. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

En la sentencia 9b (figura 192), es posible observar mediante la descripción gráfica de los porcentajes obtenidos de los datos, excelentes resultados respecto a la interpretación de la disociación de un ácido poliprótico en agua, con un 70,2% que se inclina por la opción correcta ya que a pH igual a diez la especie favorecida es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), luego un 3,8% cree que es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 7,7% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 11,5% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 6,7% que prefiere no marcar opción.

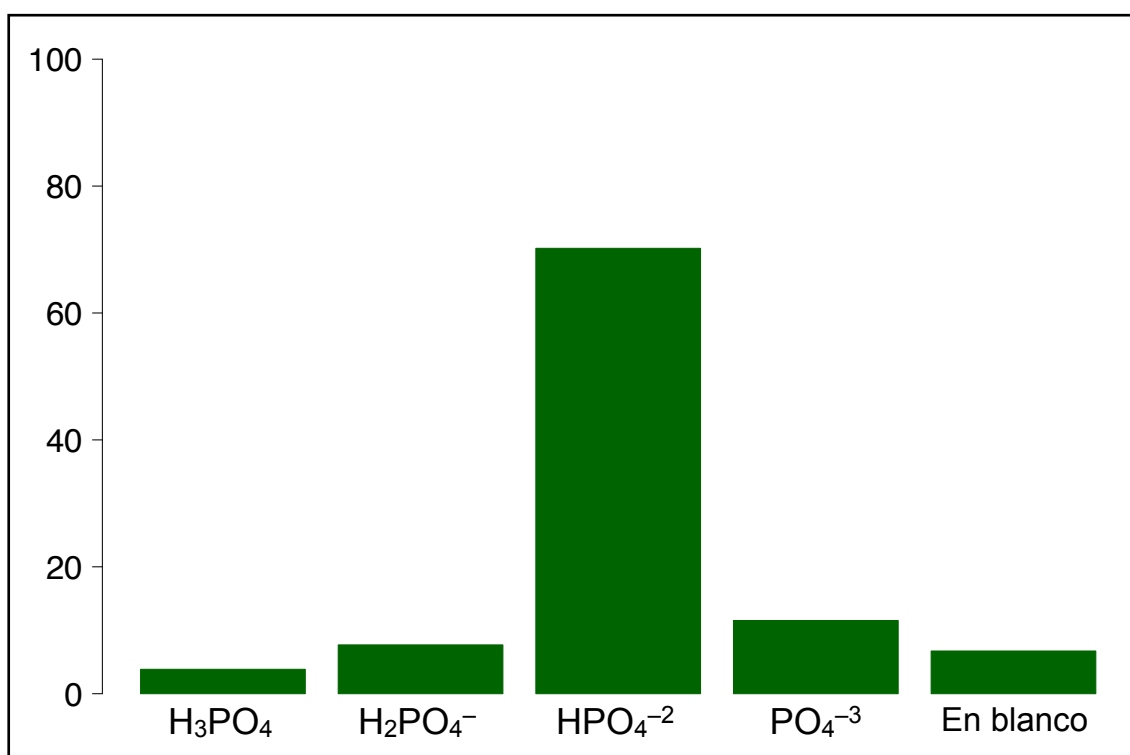


Figura 192. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Con la sentencia 9c (figura 193), se culmina la pregunta 9 y al igual que en el ítem inmediatamente superior, se obtuvieron muy buenos resultados. Tanto es así, que al evaluar la descripción gráfica de los datos obtenidos, se obtuvo que un 70,2% acabó inclinándose por la respuesta correcta en la que a un valor de pH igual a catorce la especie favorecida es el fosfato (PO_4^{2-}), un 10,6% considera que era el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 4,8% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), otro 6,7% el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}) y finalmente un 7,7% que lo dejó en blanco.

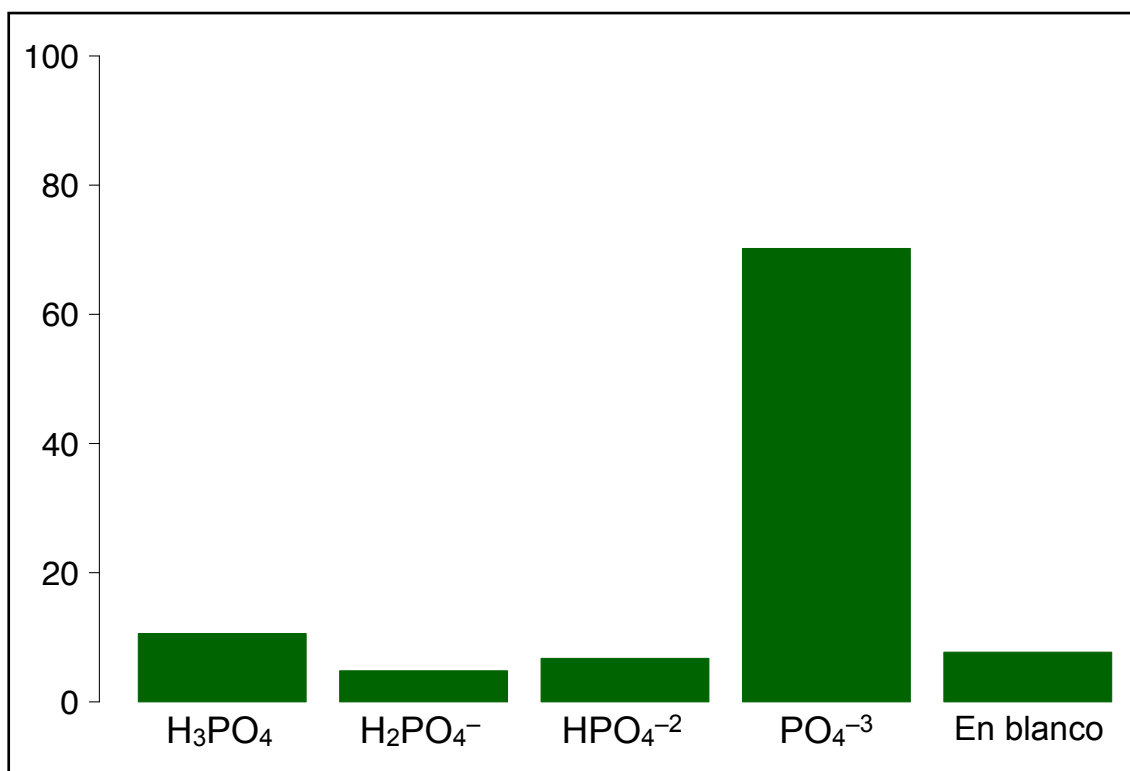


Figura 193. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.6. Grado en Enfermería.

Es momento ahora se continuar con el estudio en el grado en Enfermería. Este grado se encuentra representado por solo dos cursos: primero y tercero. Esto, evidentemente no evita el sesgo que supone conocer solamente la visión de esta muestra.

Teniendo en cuenta esta perturbación, presente en todos los grados estudiados, se obtuvo la representación gráfica de los porcentajes pertenecientes a la sentencia 6a (figura 194), donde ante la disolución de carbonato de calcio en agua de mar, un 28,9% de los alumnos consideró correctamente que la presión parcial del CO_2 aumenta de acuerdo con el desplazamiento hacia la izquierda del equilibrio mostrado, al contrario que un 13,3% que cree que disminuye. Luego, un 1,7% no ve relación entre ambas variables y plantea que la presión parcial permanece igual, un destacado 39,3% no sabe qué ocurre y finalmente un 16,8% lo deja en blanco.

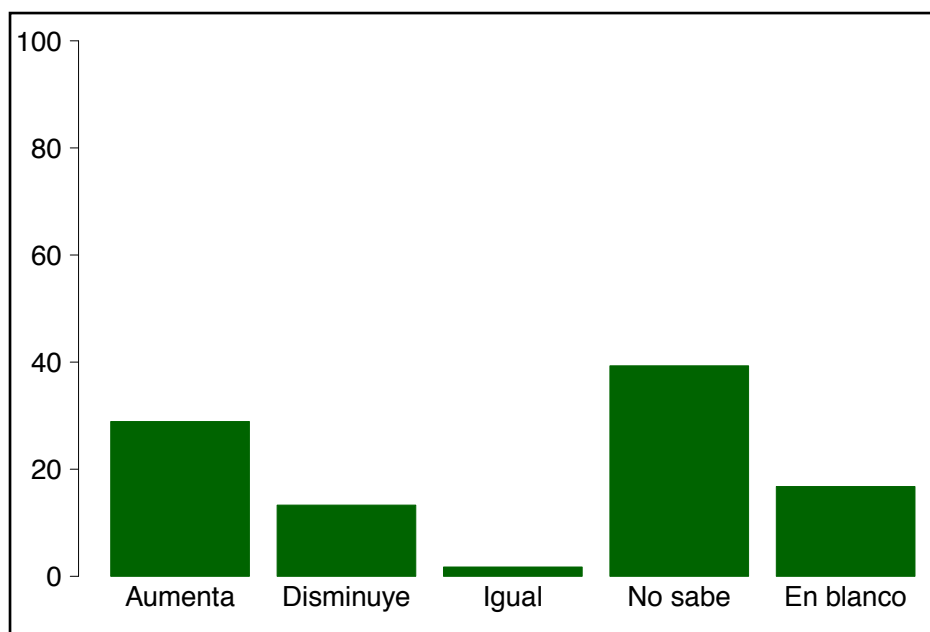


Figura 194. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

En la sentencia 6b (figura 195), un 8,1% cree que cuando se produce una precipitación de carbonato de calcio la presión parcial del CO_2 aumenta frente a un 22% que comprende correctamente el desplazamiento del equilibrio y explica que la presión parcial disminuye, un 3,5% cree que se mantiene, un elevado 48% no sabe y un 18,5% deja la pregunta sin respuesta.

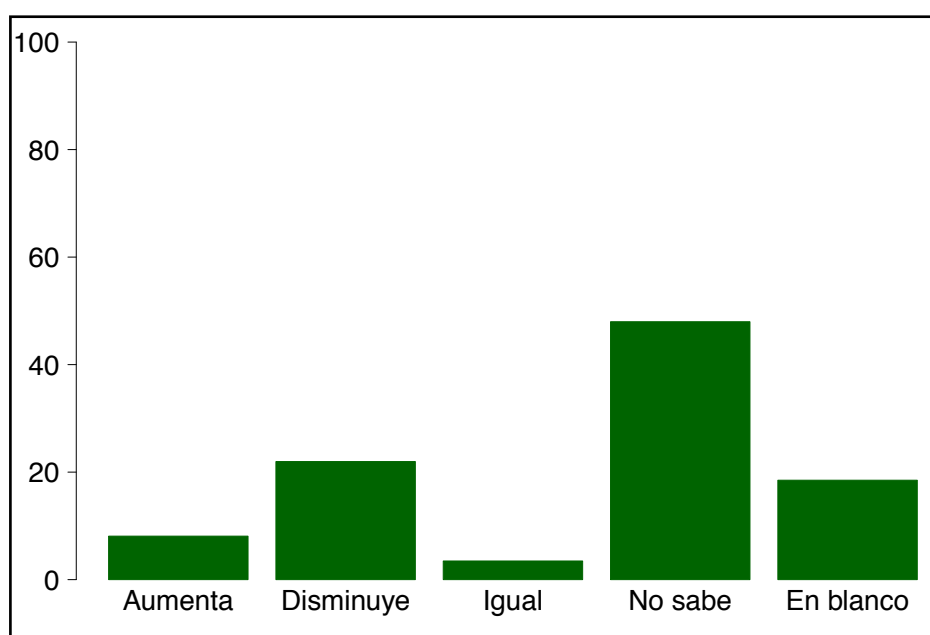


Figura 195. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Ya en el último apartado, la descripción gráfica para la sentencia 6c (figura 196), demuestra que un 14,5% cree, ante la elevación de la presión parcial del dióxido de carbono en la atmósfera, que el pH del océano aumentará poniéndonos nuevamente sobre la pista de la relación directa entre escala de pH y concentración de protones. Empero, existe un 12,1% que consideró correctamente que disminuye volviéndose ligeramente más ácido, un 12,1% cree que estas variables no se afecta y el pH se mantiene igual, un 45,1% no sabe y un 16,2% no responde.

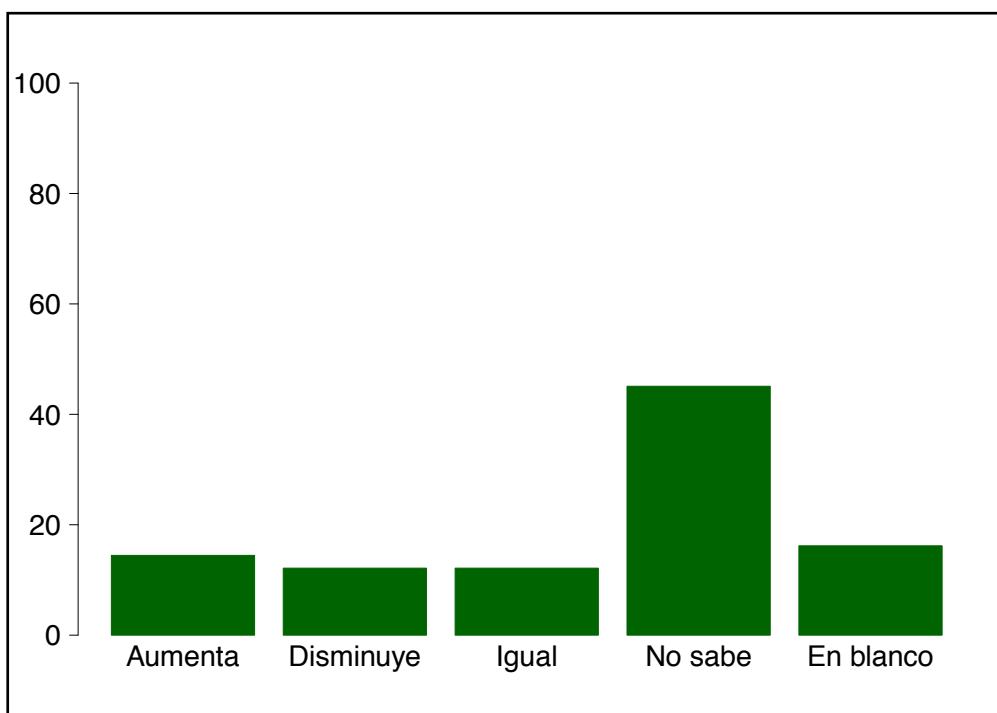


Figura 196. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

A continuación se analiza el gráfico resultante de la elaboración de los datos hallados para la sentencia 7a (figura 197). Estos análisis reflejan que un 10,4% no interpreta de manera correcta el equilibrio químico y plantea que una elevación de la presión parcial del dióxido de carbono lo desplazará hacia la formación del propio gas, por lo que además estos sujetos no han comprendido la ley de acción de masas. No obstante, un 32,9% entiende que el desplazamiento es hacia la formación del ión carbonato. Un 3,5% considera que no hay desplazamiento, un alto 34,7% no sabe y un 18,5% dejó en blanco la pregunta.

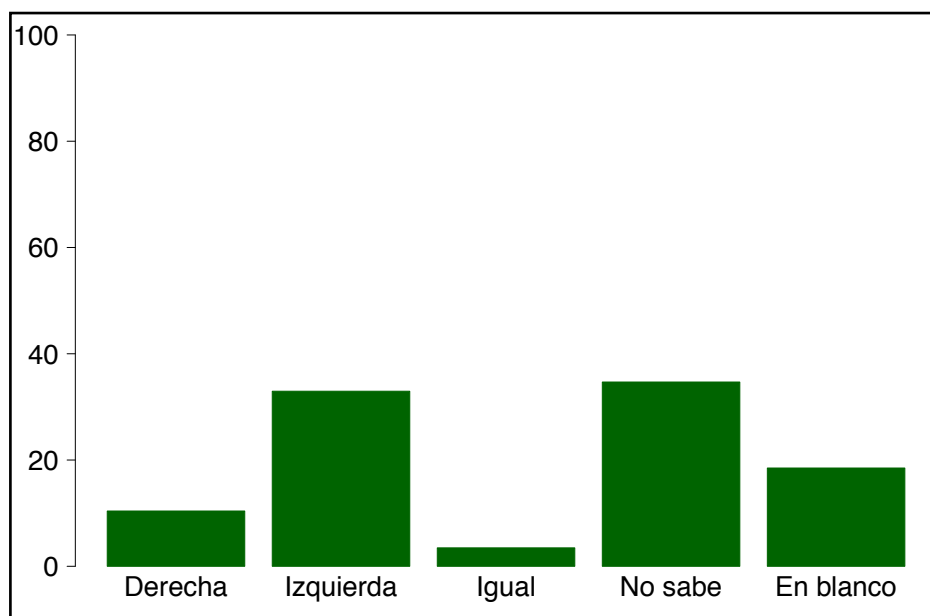


Figura 197. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

En la sentencia 7b (figura 198), tenemos que un 13,9% considera que la segregación de ácido láctico, el equilibrio se desplaza hacia la formación de CO_2 gaseoso, un 10,4% cree que debe desplazarse hacia la formación de iones carbonato, un 3,5% piensa que no hay desplazamiento, un sorprendente 50,9% no sabe qué ocurre y un elevado 21,4% dejó la pregunta en blanco.

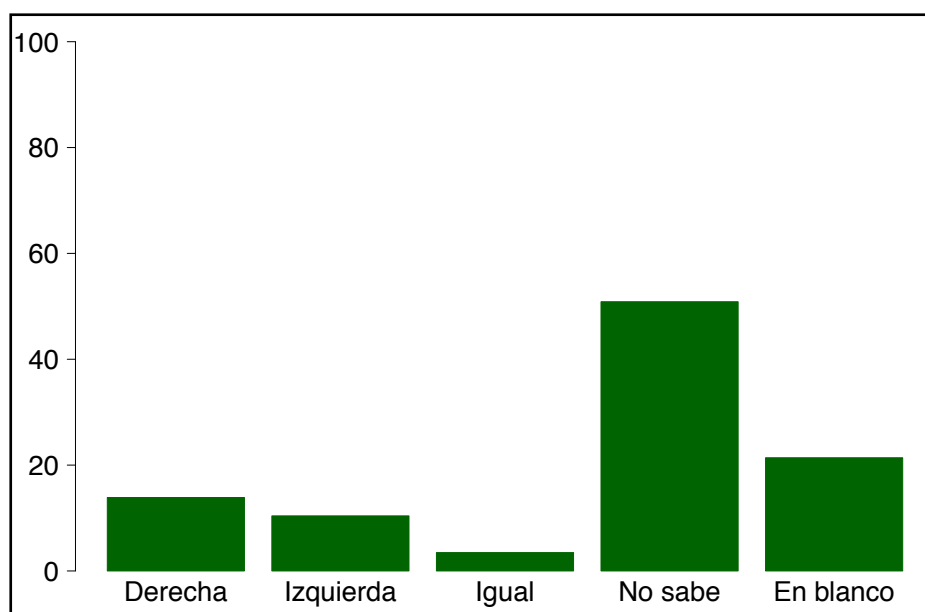


Figura 198. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Finalmente para el último ítem, la sentencia 7c (figura 199), puede extraerse del gráfico representado que un 11% entiende que el equilibrio se desplaza hacia la derecha cuando se segrega amoníaco hacia la sangre, por el contrario, un 6,9% apoya la opción por la cual el desplazamiento se produce hacia la formación de iones carbonato. El 6,9% cree que no hay desplazamiento, un 52,6% no sabe y un 22,5% dejó en blanco la pregunta.

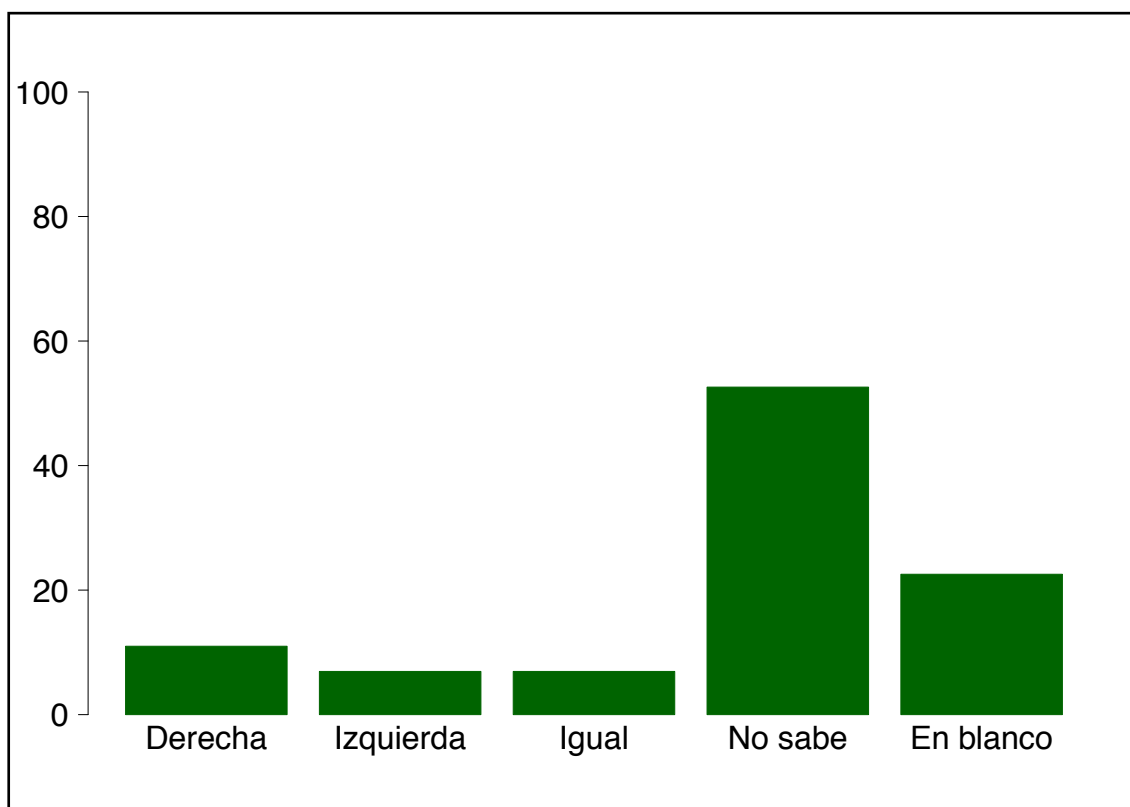


Figura 199. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Nos introducimos en la evaluación de la relación entre la conducción de la electricidad y las disoluciones de ácidos o bases en la sentencia 8 (figura 200). La distribución de porcentajes nos permite encontrar que el 8,1% sólo añadiría al cuenco de la figura una disolución ácida que sería la única responsable de conducir la electricidad, un 7,5% sólo añadiría una disolución básica ya que es la única que conduce la electricidad. El 25,4% añadiría ambas disoluciones pues a ambas se les atribuye la propiedad de conducir la corriente eléctrica, un 15,6% plantea que ninguno de esos dos tipos de disoluciones es capaz de conducir la electricidad y un 43,4% dejó en blanco la pregunta.

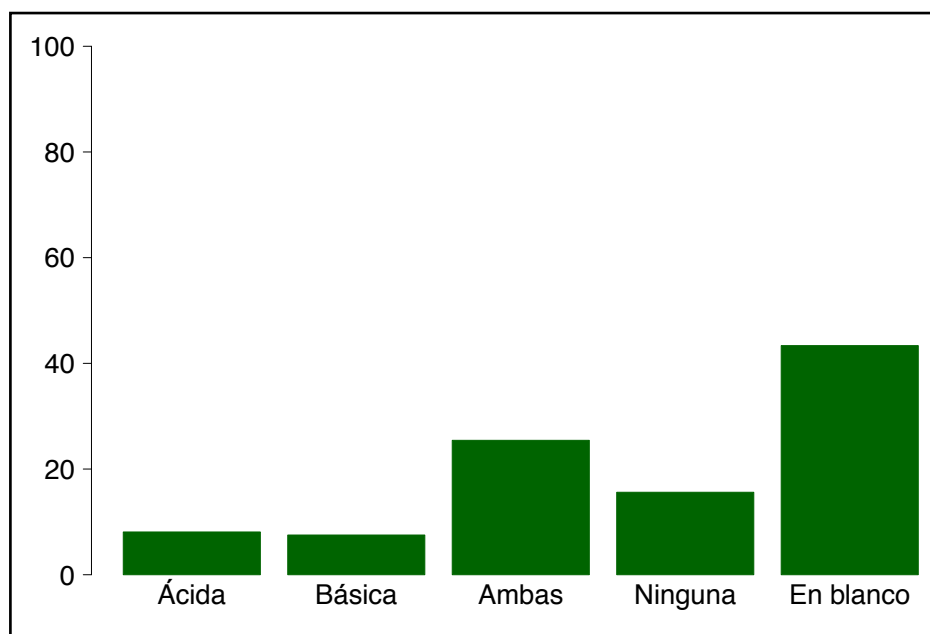


Figura 200. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

Continuamos con la sentencia 9a (figura 201), en la cual el 35,8% considera que a un valor de pH igual a cero la especie que predomina es el ácido fosfórico (H_3PO_4), el 15,6% cree que la especie favorecida es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), el 4% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), el 7,5% el fosfato (PO_4^{3-}) y el 37% no sabe.

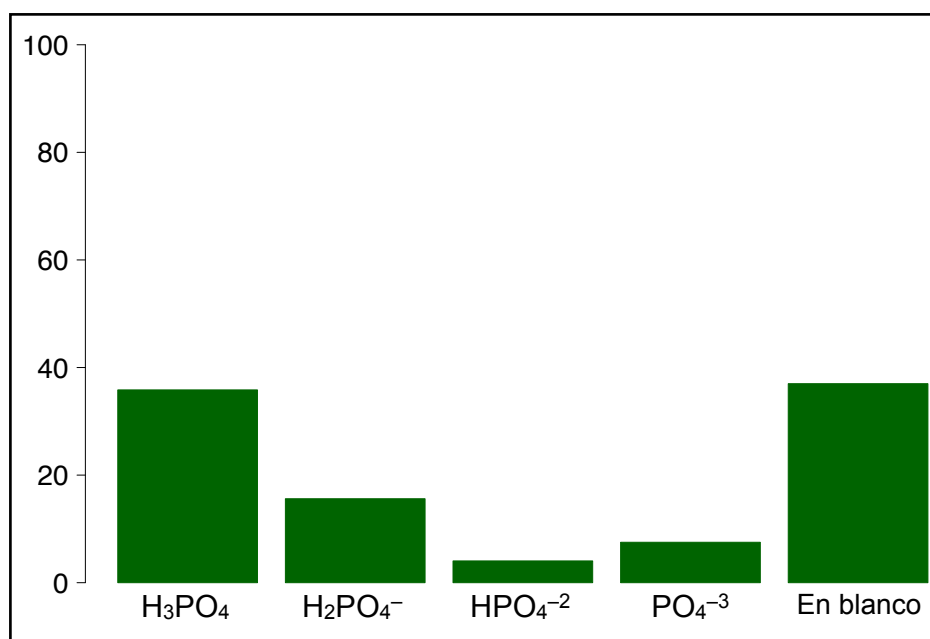


Figura 201. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

En la figura 202, se continúa con la evaluación de la disociación de un ácido poliprótico en función de los valores de la escala de pH. Así, se ha encontrado que el 6,4% cree que cuando en la escala de pH se alcanza el valor de diez la especie favorecida será el ácido fosfórico (H_3PO_4).

Sin embargo, sucede además que un 6,9% estima que la especie realmente favorecida es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-). El 32,9% entiende que se trata del hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), el 14,5% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 39,3% no sabe.

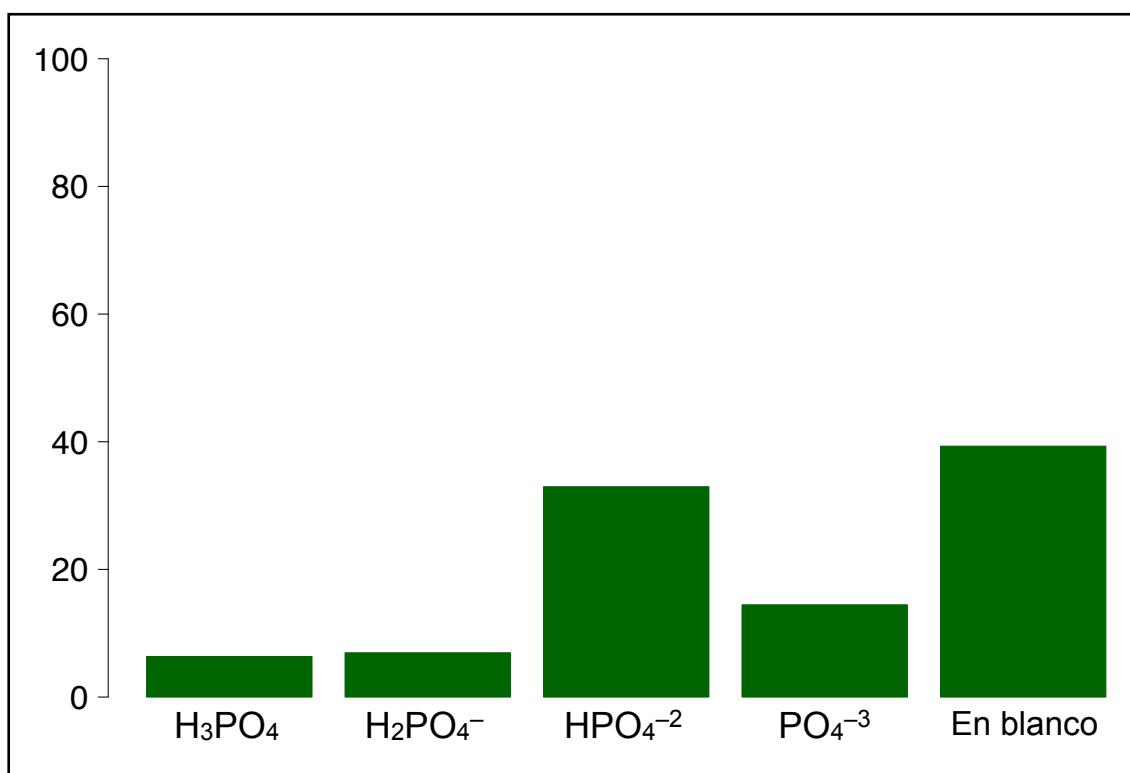


Figura 202. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Ya en última instancia, siguiendo con el análisis anterior, es posible observar (figura 203), que un 11% considera que cuando se alcanza el valor de pH correspondiente a catorce, la especie favorecida es el ácido fosfórico (H_3PO_4). Por el contrario, un 4% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), luego un 5,8% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), el 34,1% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un elevado 45,1% no sabe.

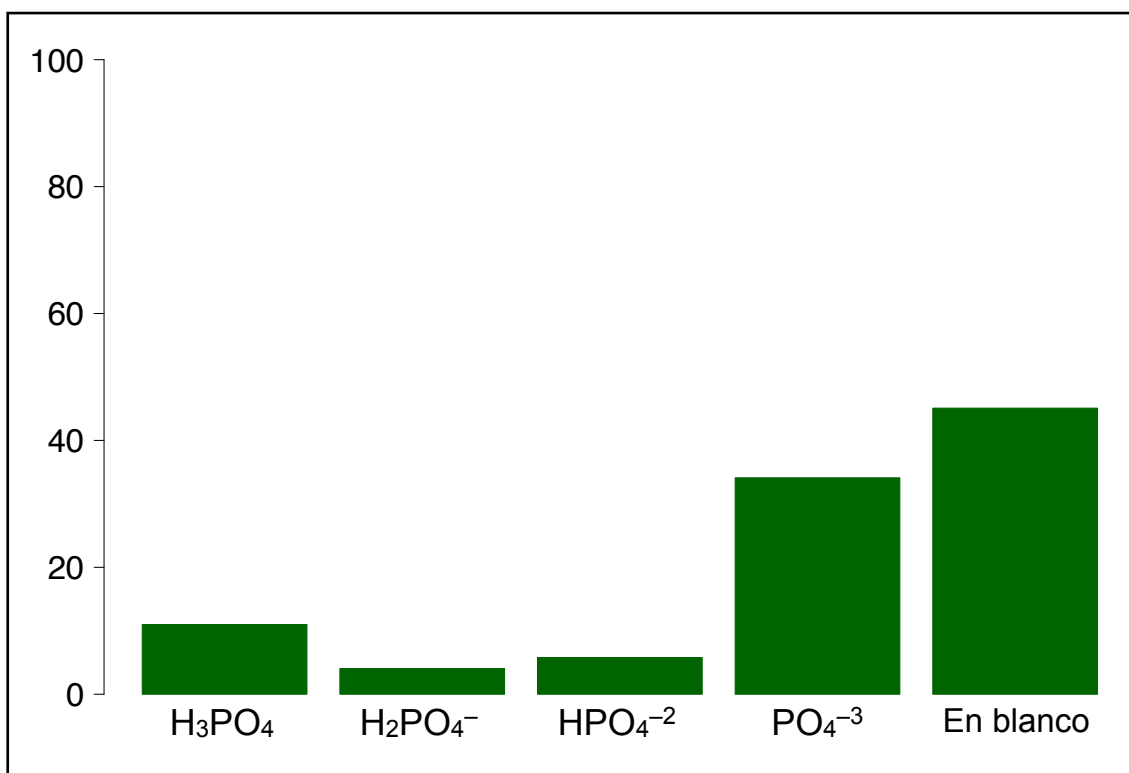


Figura 203. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.2.7. Grado en Fisioterapia.

Para culminar el estudio de este bloque objetivo estudiaremos los resultados para el grado en Fisioterapia en el cual solamente se pudo examinar el primer curso, como anteriormente quedó descrito, de los cuatro posibles. Este detalle introducirá inevitablemente un sesgo muy importante en los resultados al igual que ocurriese en el grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Con esta idea en mente, analizaremos en primer lugar los resultados obtenidos para el manejo del equilibrio del dióxido de carbono en aguas naturales, concretamente en el océano. Así, en la sentencia 6a (figura 204), puede verse que el 32,4% considera que la disolución de carbonato cálcico ($CaCO_3$) producirá un aumento de la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. Contrariamente, un 16,2% cree que dicha presión parcial tenderá a disminuir. Por otra parte, un 21,6% que se mantendrá igual, un 27% no sabe y un 2,7% deja en blanco la pregunta.

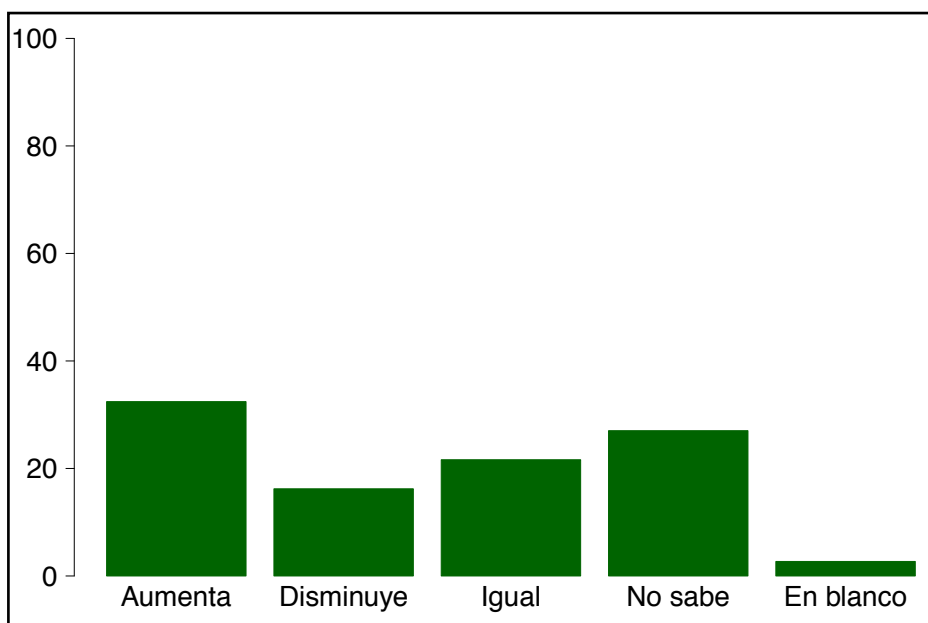


Figura 204. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

Para la sentencia 6b (figura 205), se observa que el 21,6% de los sujetos cree que aumenta la presión parcial del dióxido de carbono en el caso de que precipitase carbonato cálcico desde la disolución (océano), un 27% cree que disminuirá, un 8,1% que se mantendrá, un 40,5% no sabe qué sucede y un 2,7% deja en blanco la pregunta.

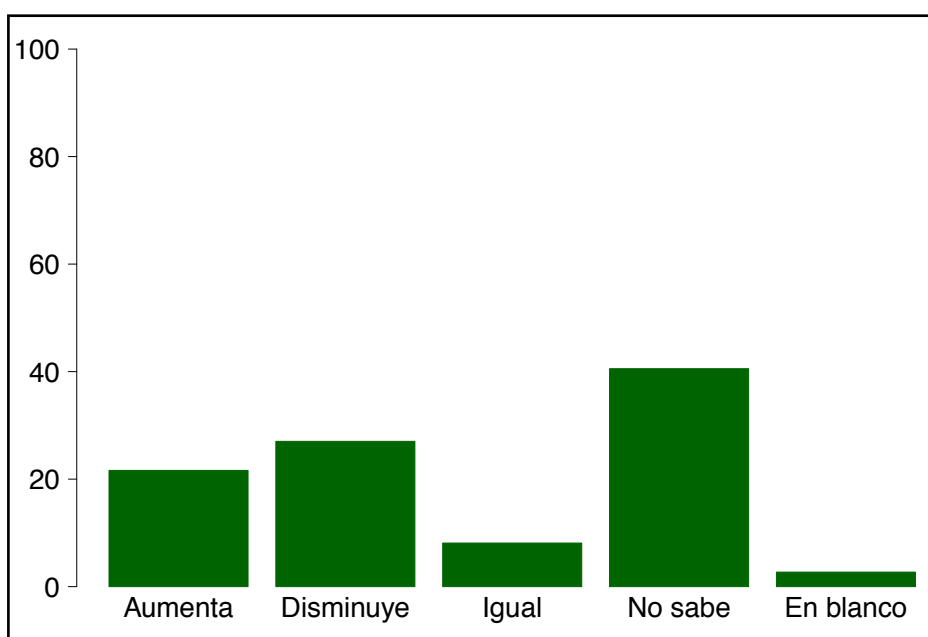


Figura 205. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

Por último, en la sentencia 6c (figura 206), tenemos que un 27% entiende que el pH debe aumentar si aumenta la presión parcial del dióxido de carbono, un 16,2% que debe disminuir, un 24,3% que se mantendrá igual, un 29,7% no sabe y un 2,7% no respondió.

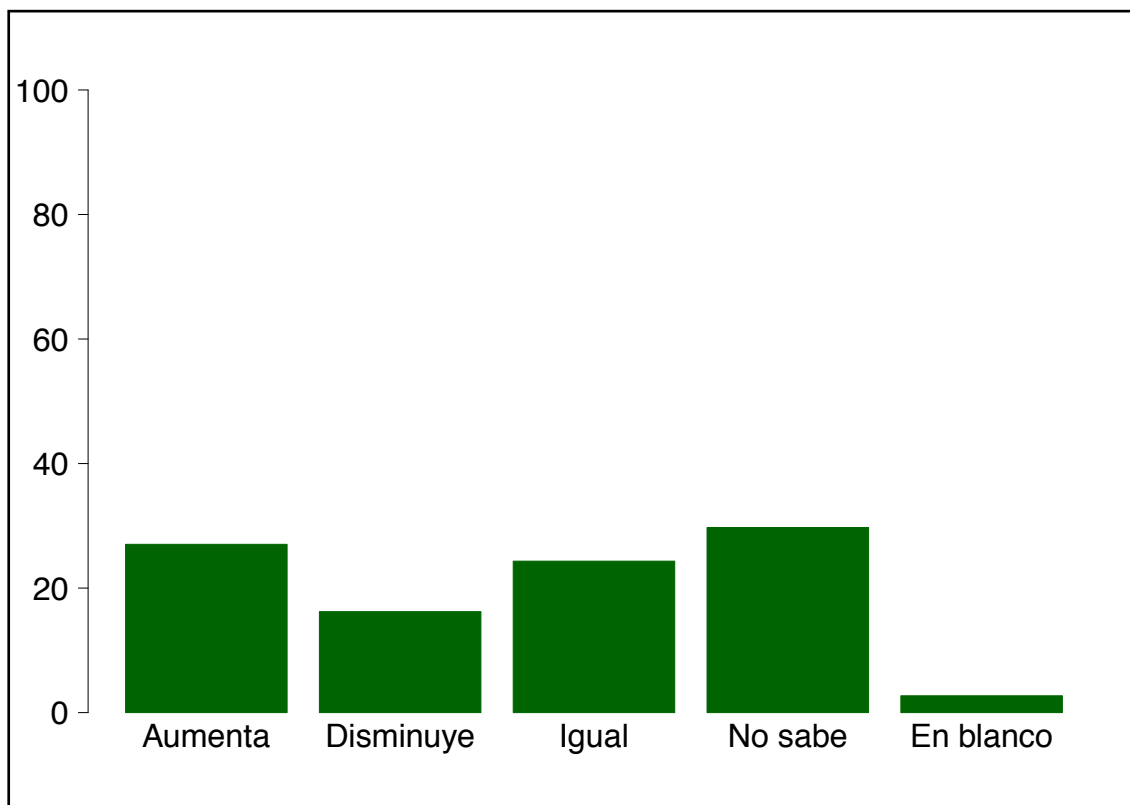


Figura 206. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO₂ gaseoso? (Esquema 6c).

Los equilibrio ácido-base en entornos biológicos, son objeto de examen durante todos los apartados del ítem siete. Iniciamos dicho examen con la sentencia 7a (figura 207). Es posible advertir que un 21,6% plantea que el tampón bicarbonato se desplazará hacia la derecha cuando aumente la presión parcial de dióxido de carbono en los pulmones.

No obstante, un 43,2% piensa lo contrario, indicando que se desplaza hacia la izquierda, es decir, hacia la formación la formación de iones carbonato. Además, un 2,7% cree que no hay desplazamiento, un 29,7% no sabe qué sucede y un 2,7% deja en blanco la pregunta.

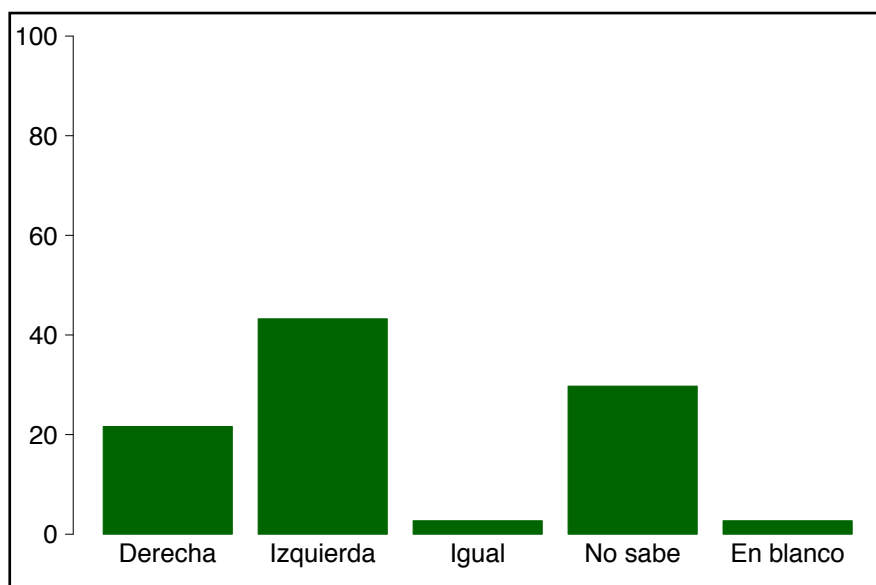


Figura 207. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

Nos mantenemos ahora en la sentencia 7b (figura 208). El 37,8% piensa que al segregarse ácido láctico hacia la sangre el equilibrio debe desplazarse hacia la formación del CO_2 gas. Justo al contrario, un 13,5% cree que el desplazamiento es hacia la formación de iones carbonato. Luego, un 5,4% cree que se mantendrá, un 37,8% no sabe qué ocurrirá y un 5,4% no respondió.

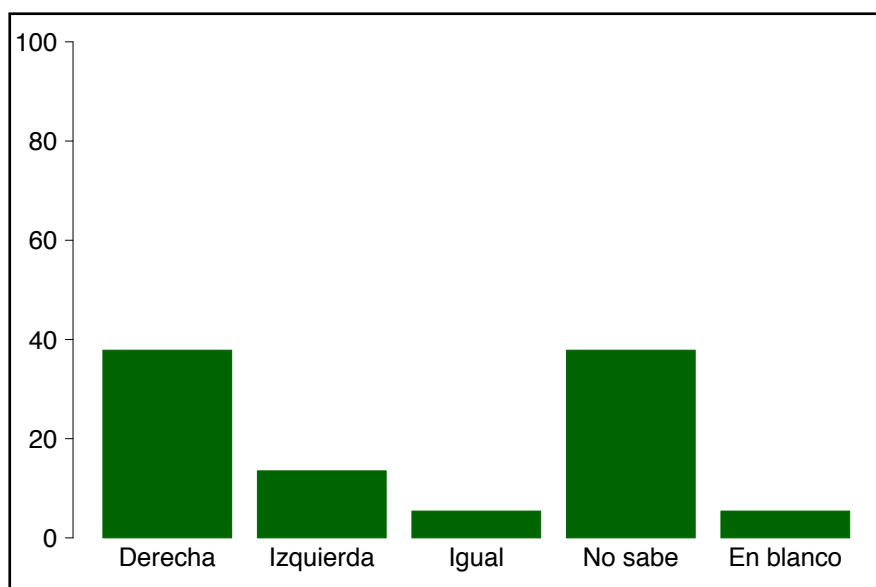


Figura 208. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Culminando esta pregunta pasamos a la sentencia 7c (figura 209), donde se encontró que el 21,6% cree que al segregarse amoniaco hacia la sangre el equilibrio se ve desplazado hacia la derecha, justo al contrario que un 18,9% que cree que es hacia la izquierda. Un 13,5% piensa que no hay desplazamiento, un elevado 43,2% no sabe y un 2,7% no marcó opción.

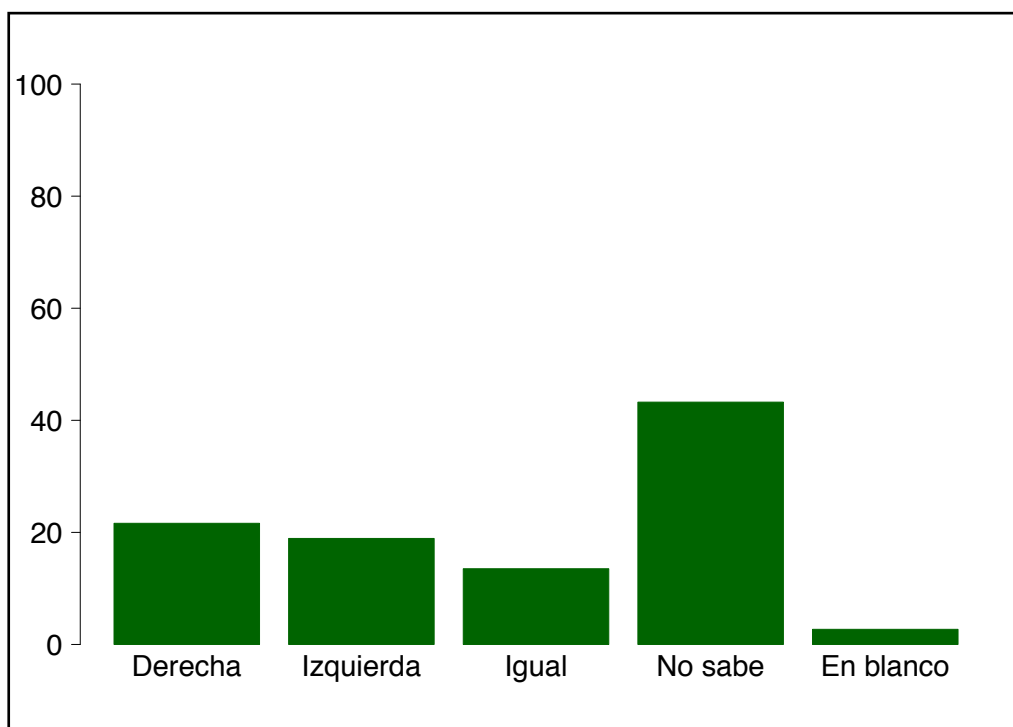


Figura 209. Distribución de porcentajes para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Como hemos venido haciendo hasta el momento, la relación entre la conducción eléctrica y la disoluciones de ácidos y bases se explora en la sentencia 8 (figura 210), mediante la resolución sobre un planteamiento hipotético siguiendo las indicaciones de una figura.

Pudo observarse que el 8,1% solamente añadiría al cuenco una disolución ácida pues es la única que para estos sujetos es capaz de conducir la electricidad, un 29,7% sólo añadiría la disolución básica pues es la única que permite el paso de la corriente eléctrica, un 21,6% añadiría ambas ya que cualquiera de ellas serviría para este propósito, un 24,3% no añade ninguna pues para estos examinandos ninguna conduce la electricidad mientras que un 16,2% lo dejó en blanco.

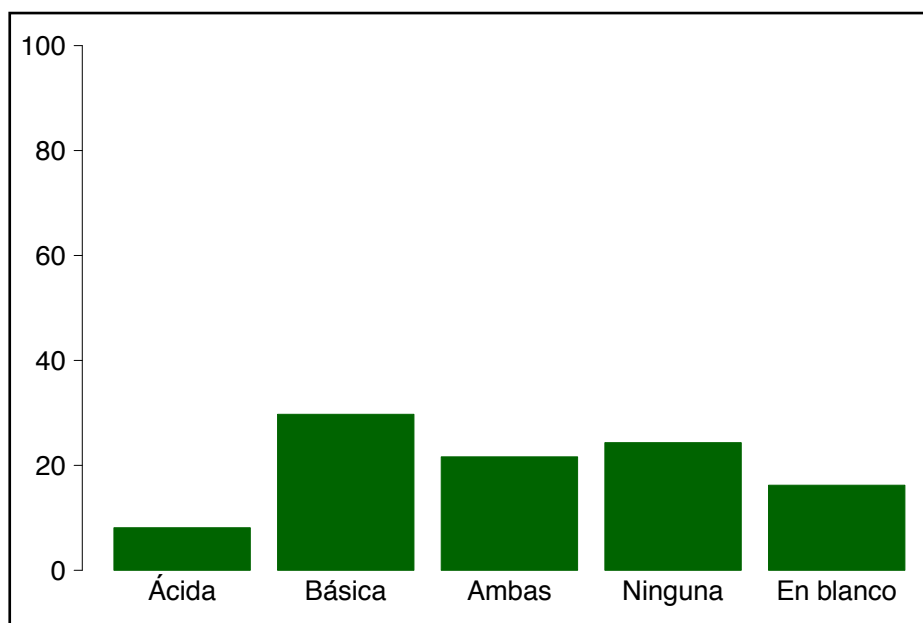


Figura 210. Distribución de porcentajes para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

Tenemos en la sentencia 9a (figura 211), que un 51,4% de los alumnos consideró que para un valor de cero del pH, la especie predominante es el ácido fosfórico (H_3PO_4), un 13,5% que es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), el 5,4% que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 21,6% que es el fosfato (PO_4^{3-}) y un 8,1% lo deja en blanco.

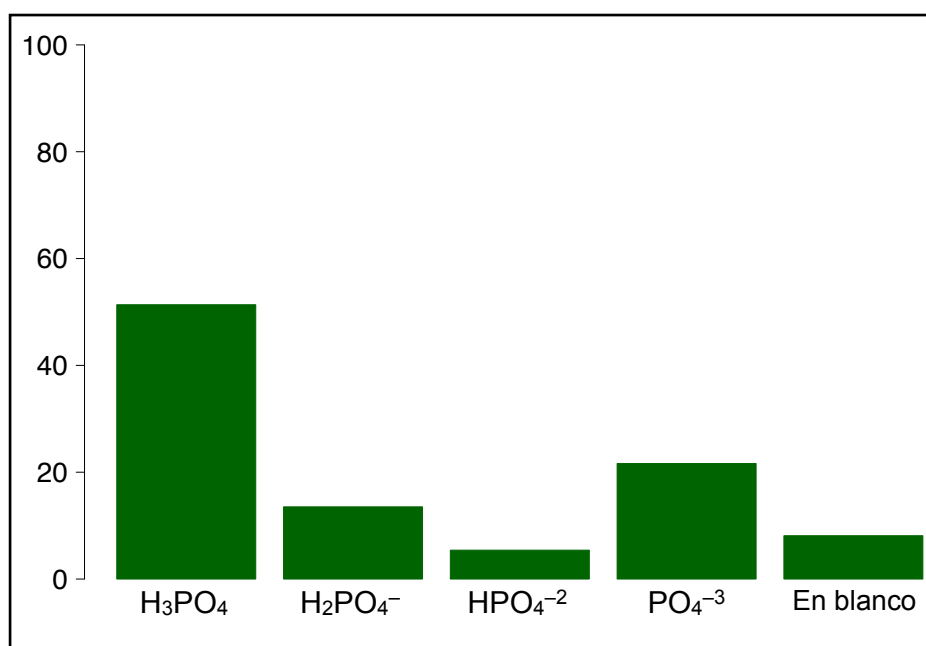


Figura 211. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

Continuamos con la evaluación de los conocimientos que poseen los estudiantes universitarios respecto de la disociación de un ácido poliprótico frente al rango de la escala de valores de pH. De esta manera, para la sentencia 9b (figura 212), se calculó que un 8,1% cree que cuando se arriba a un valor de pH de diez, la especie que predomina es el ácido fosfórico (H_3PO_4).

Sin embargo, ocurre que un 21,6% de los discentes cree que se trata del dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), un 40,5% afirma que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}) la especie favorecida, un 18,9% el fosfato (PO_4^{3-}) y un 10,8% no sabe y deja la pregunta en blanco.

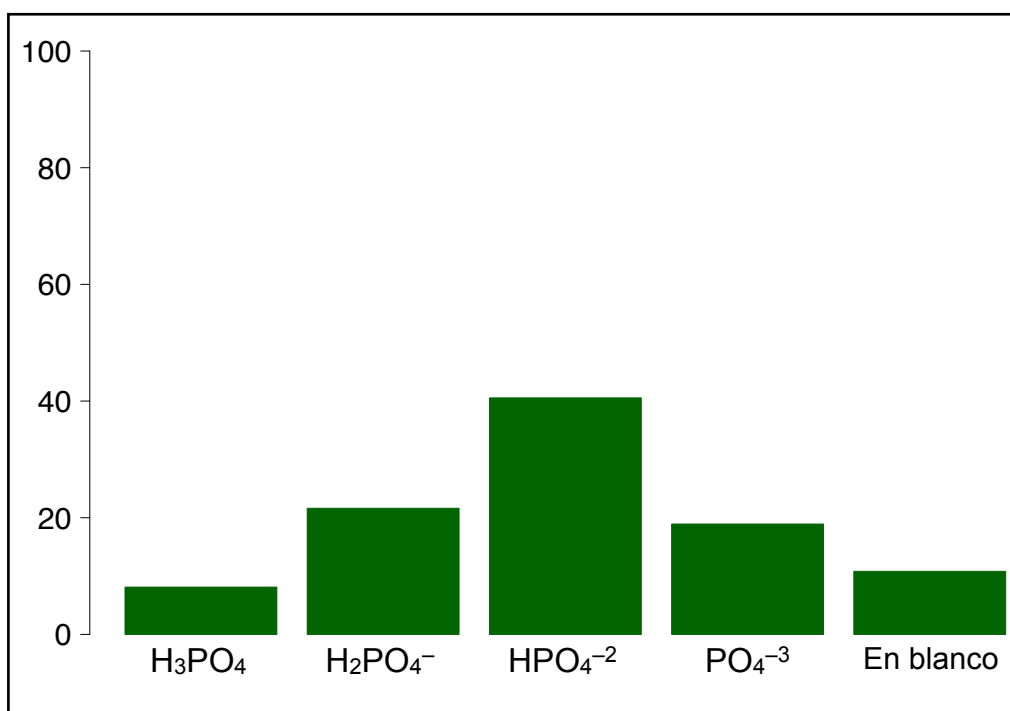


Figura 212. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Para culminar el análisis de esta pregunta, pasamos a la sentencia 9c (figura 213). En ella podemos encontrar que el 10,8% de los encuestados piensa que al especie más estable a un pH igual a catorce es el ácido fosfórico, un 5,4% que se trata del dihidrógeno fosfato, un 13,5% que es el hidrógeno fosfato, un elevado 51,4% cree correctamente que es el fosfato y un 18,9% dejó sin marcar la pregunta.

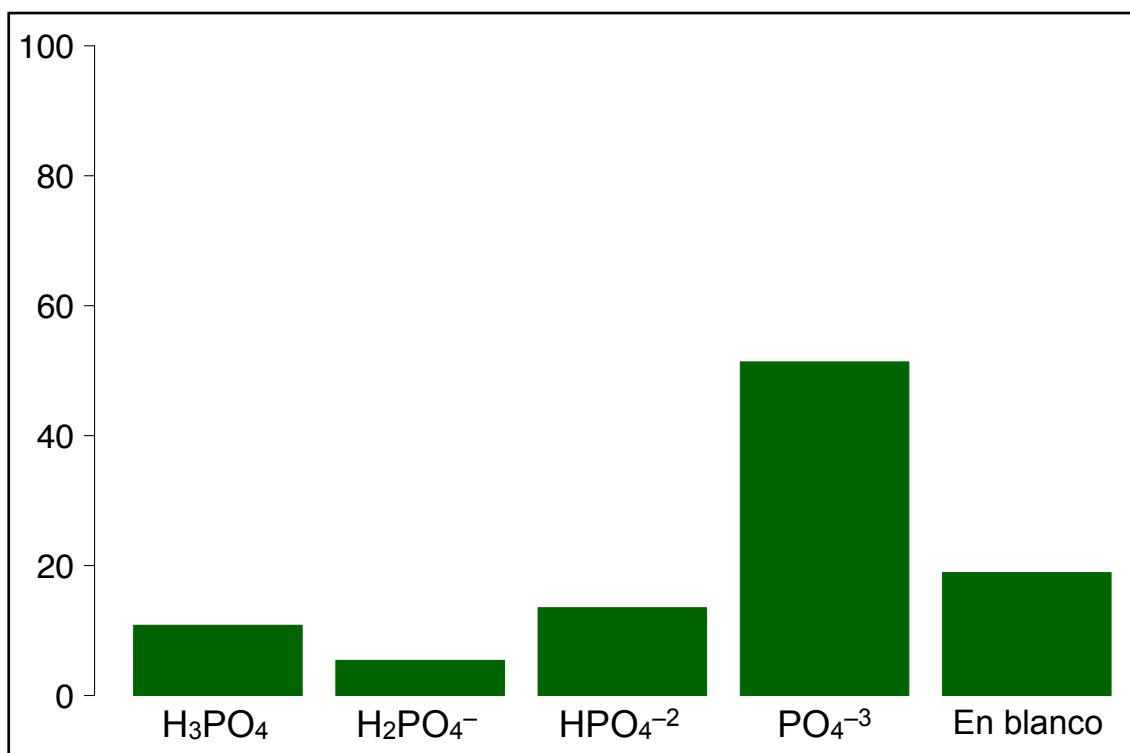


Figura 213. Distribución de porcentajes para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

4.3. Bloque III: Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

Desde el primer bloque objetivo se había explicado que en el último de ellos íbamos a examinar los resultados para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo los postulados de las tres teorías ácido-base principales, las cuales son la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, la teoría ácido-base de Arrhenius y finalmente, la teoría ácido-base de Lewis.

Los dibujos realizados por los estudiantes universitarios serán analizados en términos en el apartado donde se discutan los resultados generales, al final de esta tesis, puesto que por cada grado no fueron excesivamente numerosos y no tiene sentido desglosarlos.

Solamente trataremos aquí el porcentaje de respuesta correcta, incorrecta y aquellos que dejaron en blanco la solución.

4.3.1. Grado en Ingeniería Química.

En el caso del grado en Ingeniería Química podemos observar en la figura 214 que al interpretar la reacción de autoprotólisis del agua en sintonía con los postulados de la teoría de Brønsted-Lowry, se detectó que sólo un 7,3% fue capaz de escribir correctamente la ecuación. El 11,6% de los estudiantes realizó intentos de resolver el problema sin arribar a una solución satisfactoria. Un sorprende y elevado 81,1% no es capaz siquiera de articular una tentativa de solución y deja la pregunta en blanco.

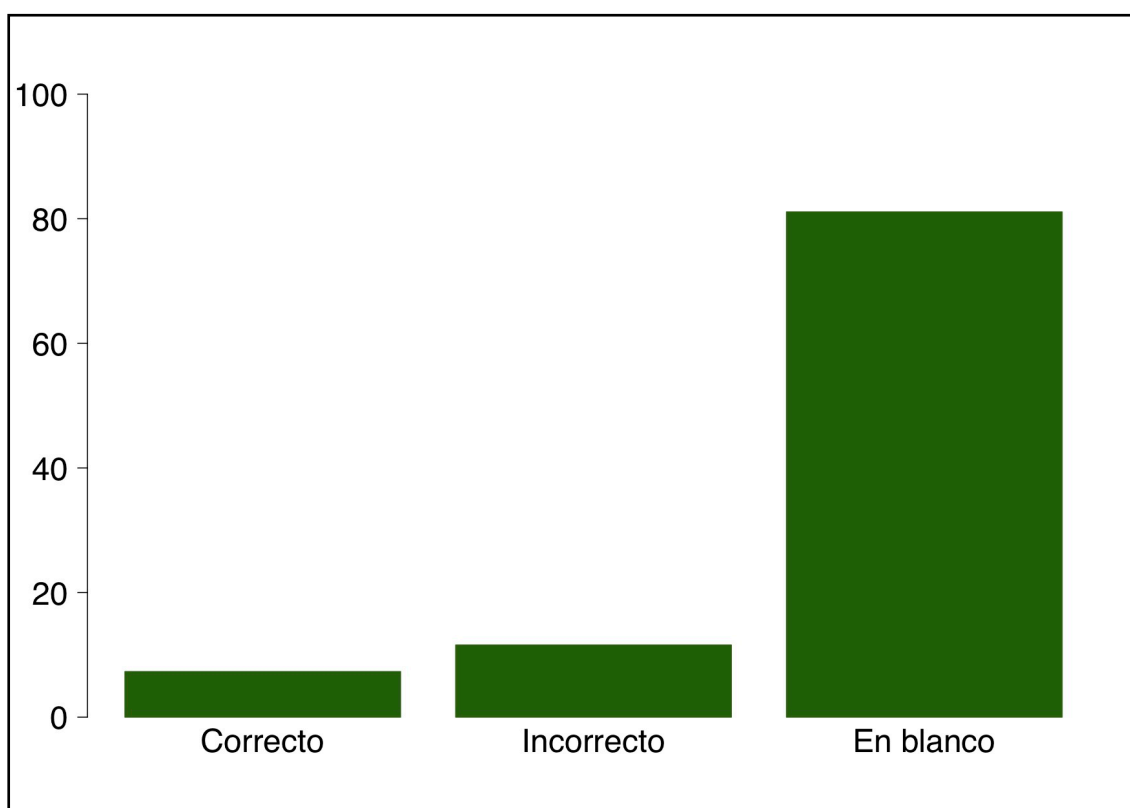


Figura 214. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Para la sentencia 2c (figura 215), se pedía la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo la teoría de Arrhenius observándose que reaparece un elevado 82,3% que dejó en blanco la cuestión implicando un elevado desconocimiento, un escaso 9,1% resolvió correctamente el problema planteado y finalmente un 8,5% realizó intentos de resolver el problema pero no llegó a una solución aceptable.

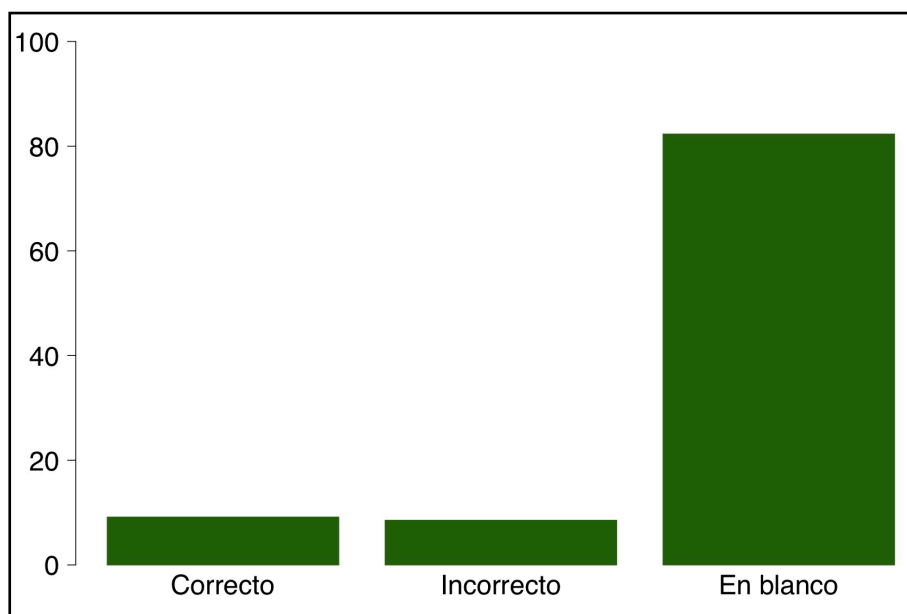


Figura 215. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Los resultados de la sentencia 2d (figura 216), no hay ningún caso correcto en la aplicación de la teoría de Lewis al interpretar la reacción de autoprotólisis del agua. No obstante la cantidad de intentos por resolver la tarea es de un 23,2% aunque realiza planteamientos incorrectos. Un 76,8% deja la pregunta en blanco.

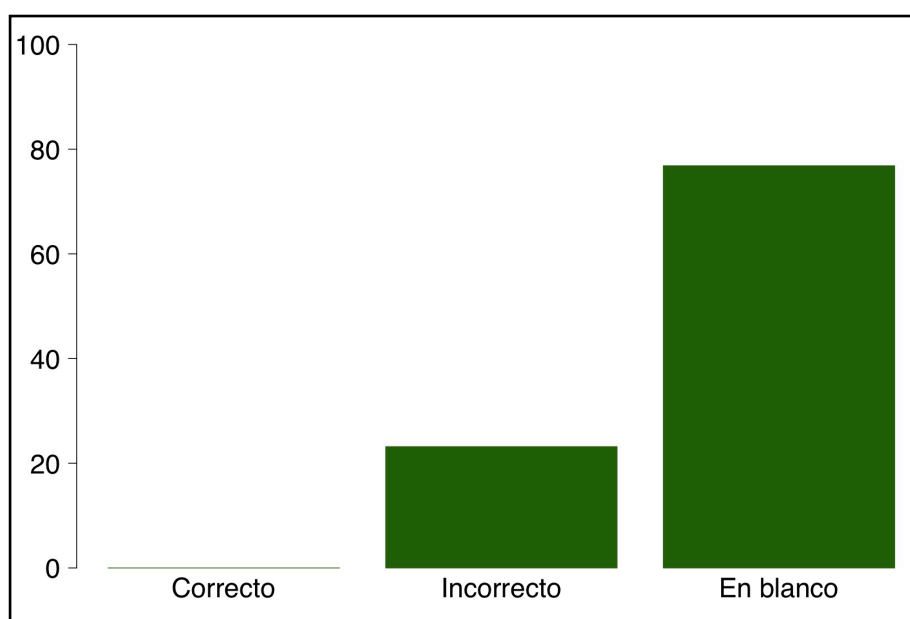


Figura 216. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.2. Grado en Ingeniería de Organización Industrial.

Continuamos dentro del ámbito de las ingenierías desplazándonos hacia el grado de Organización Industrial. Observando gráficamente los porcentajes asignados a cada una de las posibilidades de resolución de la ecuación química para la sentencia 2b (figura 217), se encuentra que para la utilización de la teoría de Brønsted-Lowry solamente un 7,7% fue capaz de formular correctamente la reacción. Al contrario arriban a una solución incorrecta el 5,1%. Un elevado 87,2% dejó la pregunta sin respuesta.

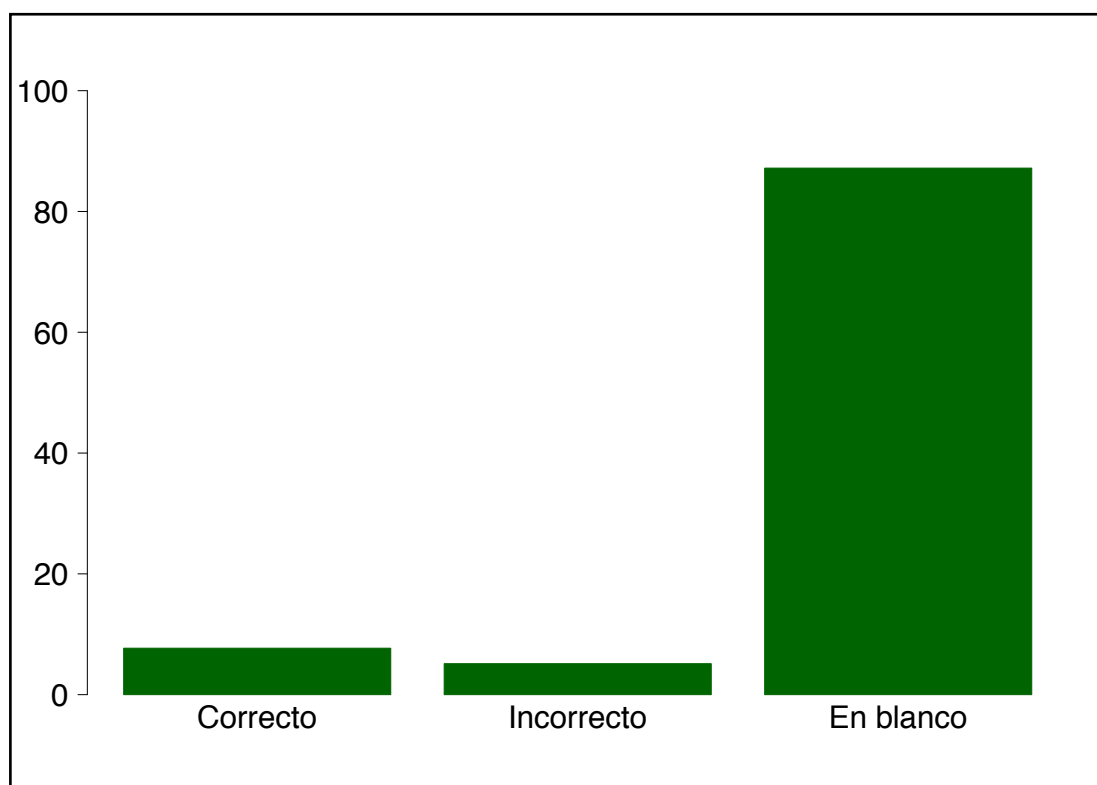


Figura 217. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

En la representación gráfica de la sentencia 2c (figura 218), escribieron correctamente la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo, los postulados de la teoría de Arrhenius, solamente un 7,7%. Existieron otras tentativas de llegar a la solución, un 5,1%, desafortunadamente de manera incorrecta. Nuevamente un destacado 87,2% no fue capaz de llegar a resolver la tarea lo que le condujo a dejar en blanco la respuesta.

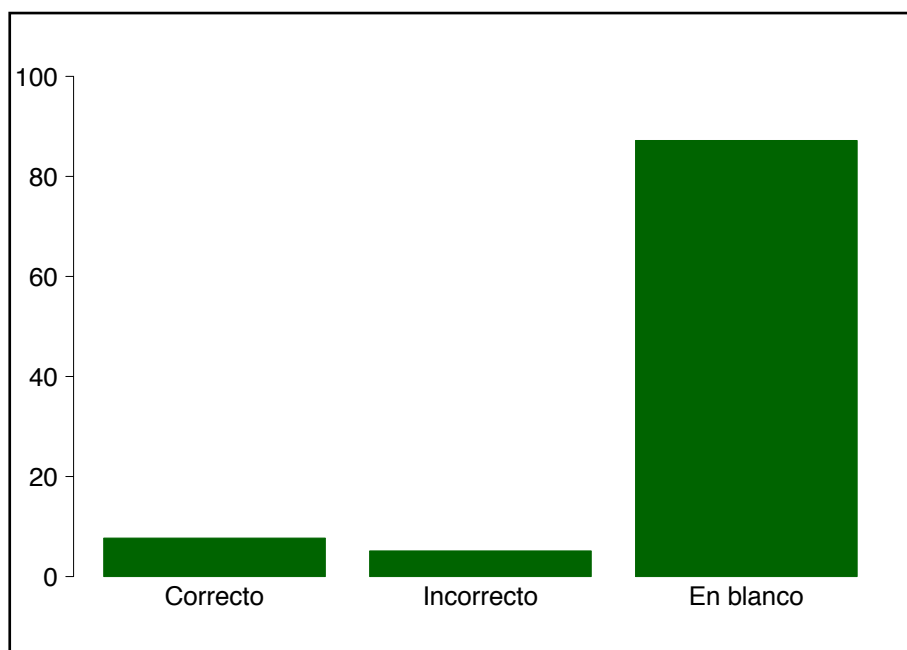


Figura 218. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Descubrimos que en la sentencia 2d (figura 219), al hacer uso de la teoría ácido-base de Lewis, que reaparece, como en la anterior ingeniería, ni un sólo caso correcto, de manera incorrecta hacen su interpretación un 7,7% y un desproporcionado 92,3% dejó la pregunta en blanco.

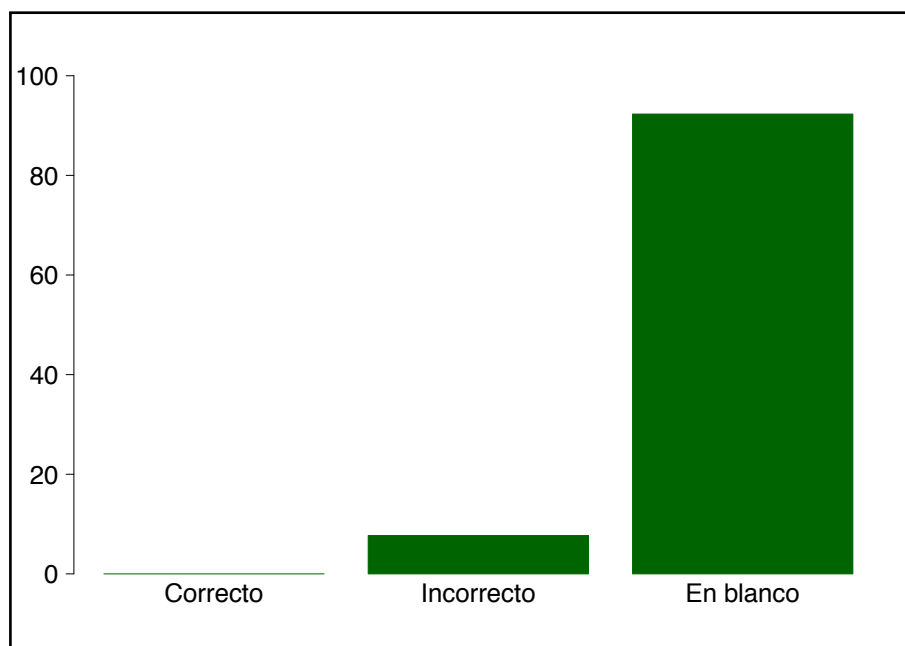


Figura 219. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.3. Grado en Ciencias del Mar.

Vamos a continuar con la disposición gráfica de los porcentajes obtenidos para la sentencia 2b (figura 220). De este gráfico se deduce que un escaso 0,9% de todos los encuestados desde primer hasta cuarto curso fue capaz de utilizar correctamente la teoría de Brønsted-Lowry para describir la reacción de autoprotólisis del agua, un bajo 6,9% intentó resolver la tarea de manera insatisfactoria y finalmente un elevado 92,1% dejó en blanco la pregunta.

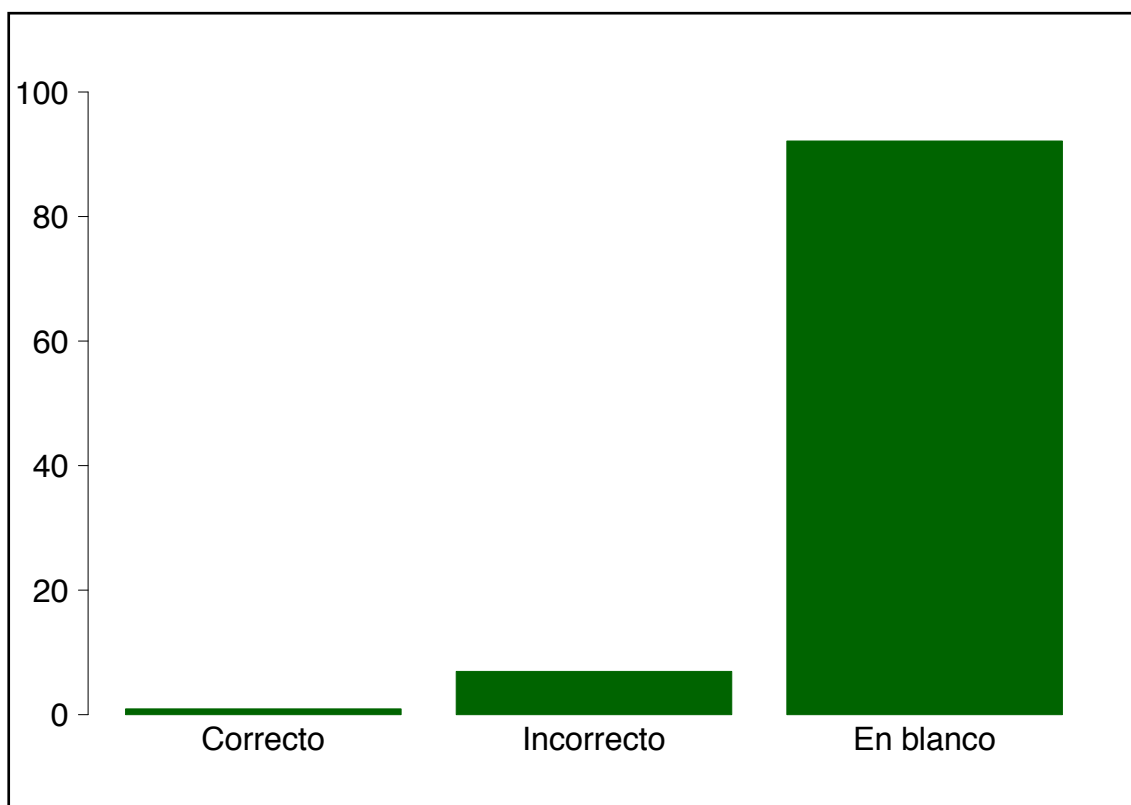


Figura 220. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Finalizamos con el análisis de las proporciones que se correspondería con los datos procesados para la sentencia 2c (figura 221). Solamente un 1,4% pudo resolver de manera correcta la tarea utilizando los postulados que caracterizan a la teoría de Arrhenius. Asimismo, un 3,7% no consiguió completar la tarea lo cual implica no sólo que no saben utilizarla sino que tampoco saben reconocerla del ejemplo que se les dio en el ítem precedente. Un importantísimo 94,9% dejó en blanco la pregunta.

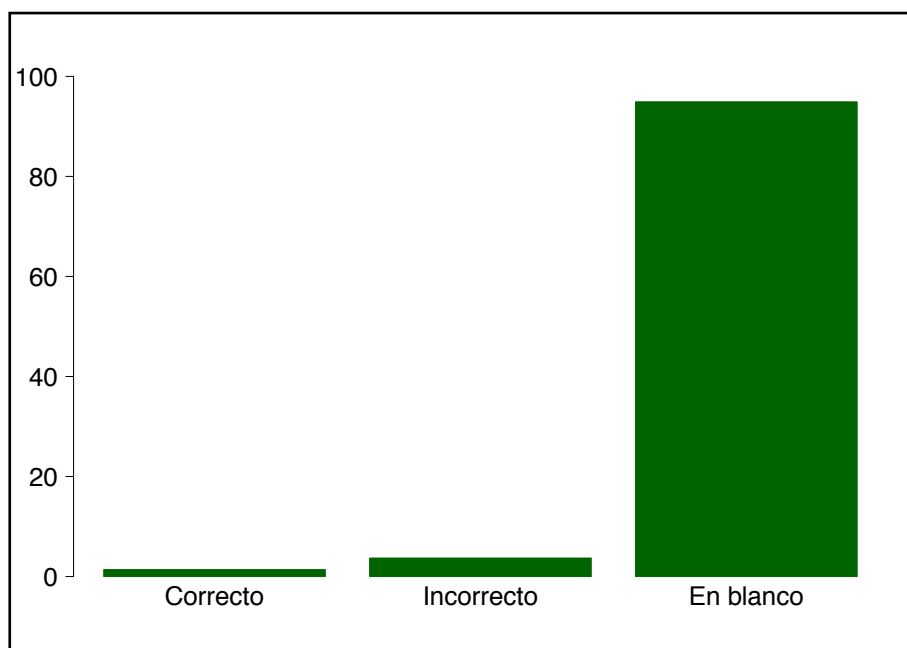


Figura 221. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Con la sentencia 2d (figura 222), se confirma la tendencia a los malos resultados en la aplicación de la teoría de Lewis con cero casos correctos, un 16,7% realiza intentos de resolver la tarea pero no alcanza un resultado aceptable y nuevamente un elevado 83,3% no responde.

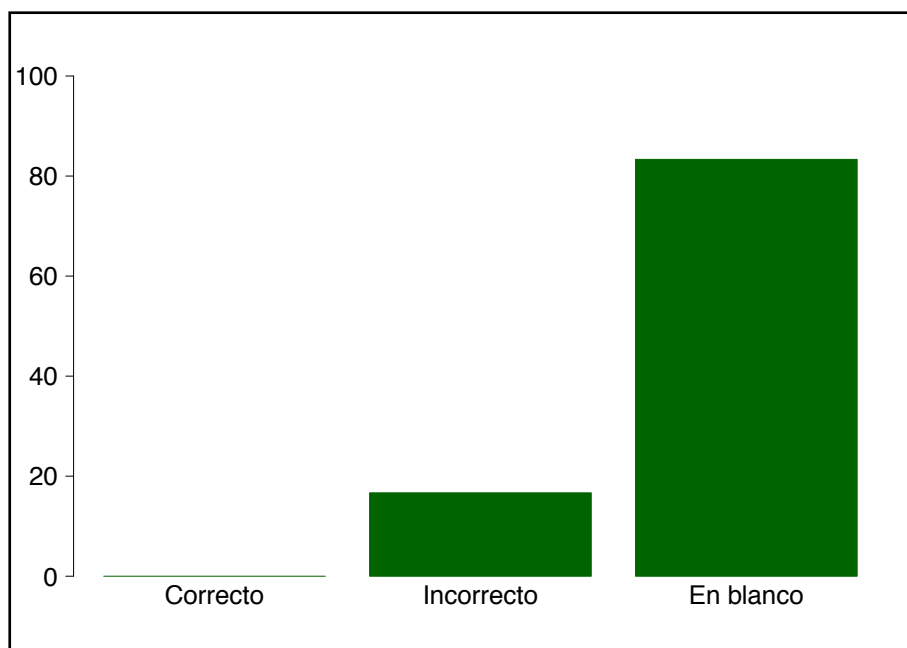


Figura 222. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.4. Grado en Medicina.

Debido a la elevada nota de corte que se debe poseer para lograr acceder al grado en Medicina, se esperaban excelentes resultados en estos examinandos. Los resultados mejoran frente a los tres grados previos. Empero, no debemos olvidar los efectos de los sesgos y de la menor cantidad de alumnos muestreados salvo en comparación con el grado de Ingeniería de Organización Industrial. Por tanto, se elevan, en la sentencia 2b (figura 223), los casos correctos para la teoría de Brønsted-Lowry con un 19,3% que casi se empareja con un 19,9% que tras los intentos no resolvió correctamente la tarea. Por último, un elevado 60,8% dejó en blanco la pregunta.

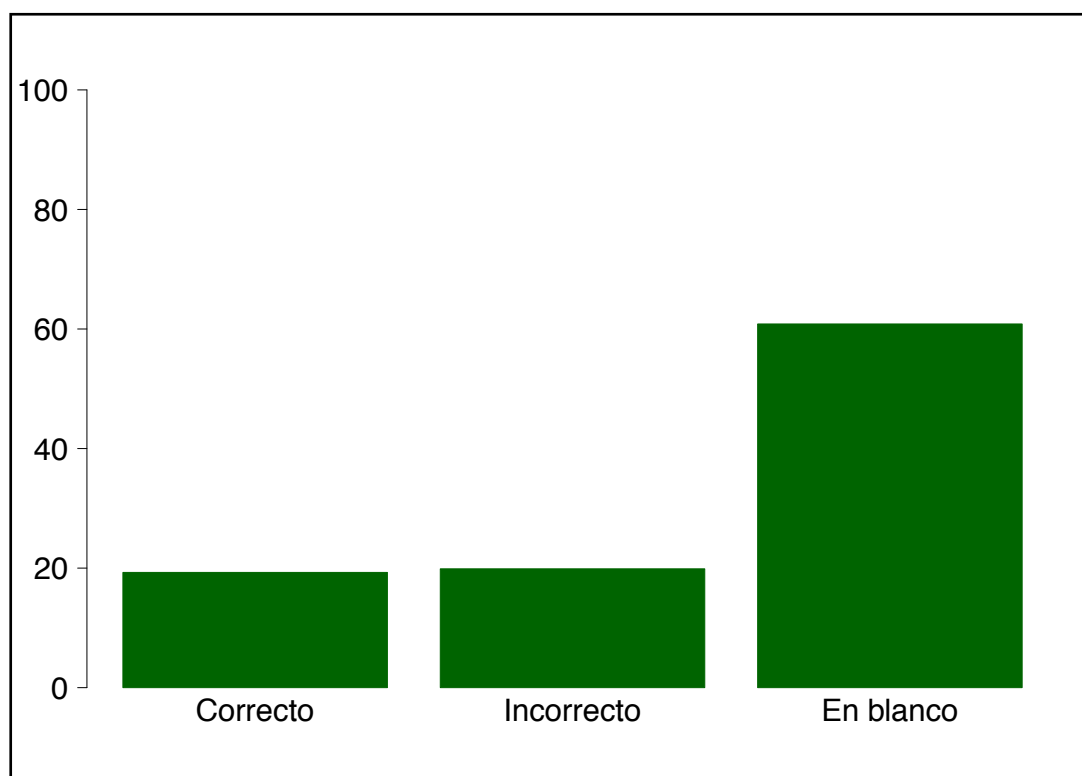


Figura 223. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Para la sentencia 2c (figura 224), donde se evaluaba la teoría de Arrhenius, de nuevo se observa que un 23,5% aplica correctamente esta teoría a la interpretación de la autoprotólisis del agua, bajan los casos incorrectos hasta un 12%, no obstante, sigue siendo elevado el número de respuesta en blanco con un 64,5%.

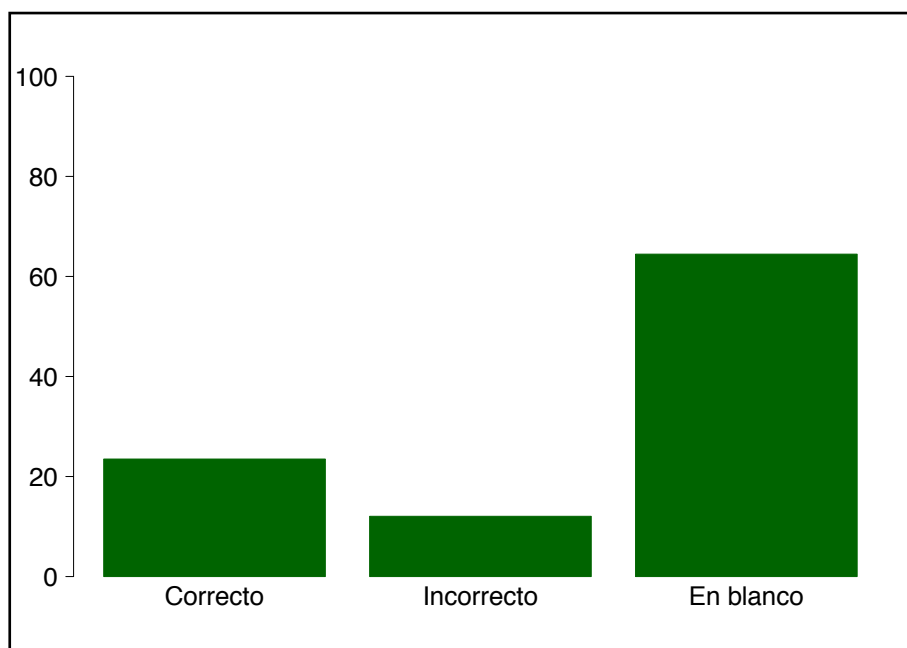


Figura 224. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Ya en la sentencia 2d (figura 225), tenemos cero casos correctos, un importante 28,3% de alumnos que intenta resolver el problema, pero sin llegar a una solución admisible y un elevado 71,7% que dejó en blanco la cuestión.

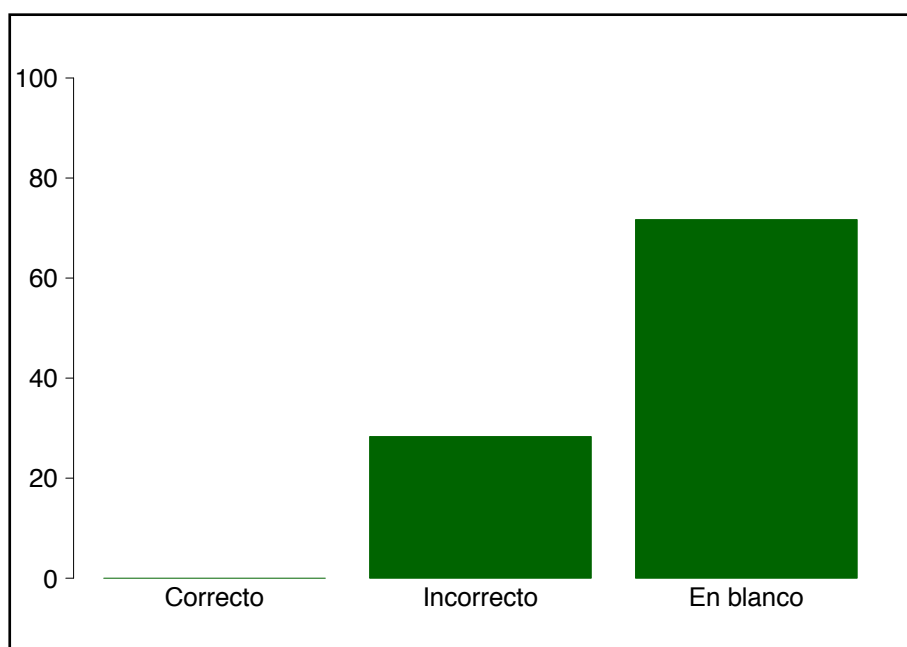


Figura 225. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.5. Grado en Veterinaria.

Nos introducimos en el estudio de los resultados correspondientes al grado en Veterinaria. Así, se deriva que para la sentencia 2b (figura 226), vuelven los peores resultados ya observados anteriormente y cuya tendencia había sido franqueada por el grado en Medicina. Dichos resultados demuestran que dejó en blanco la respuesta un 96,2% de los estudiantes y que un 3,8% intentó interpretar la reacción siguiendo los principios generales de la teoría de Brønsted-Lowry sin arribar a una solución plausible; cero fueron los casos correctos.

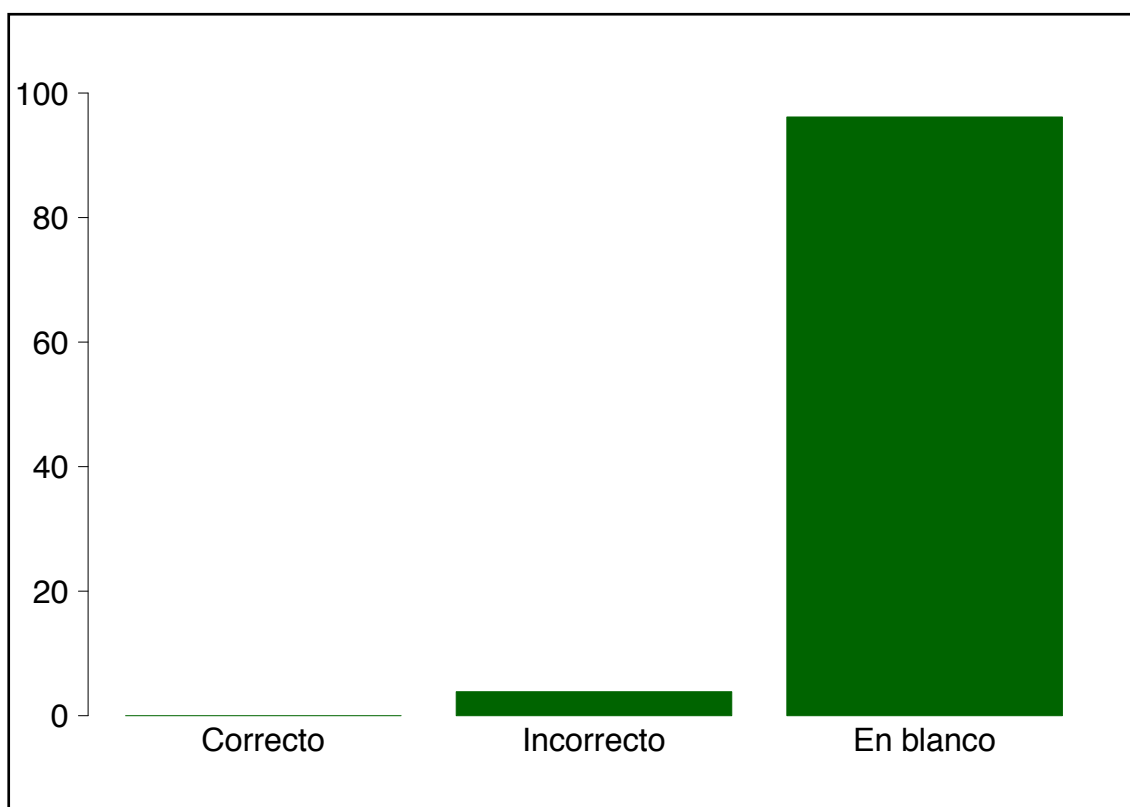


Figura 226. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Además, se puede observar gráficamente en la sentencia 2c (figura 227), que para la utilización de la teoría de Arrhenius no existen casos correctos en este caso lo cual indica no sólo que desconocen cómo utilizarla, sino que tampoco saben reconocerla. Un 3,8% intentó resolver la tarea incorrectamente mientras que un destacado 96,2% dejó en blanco la pregunta.

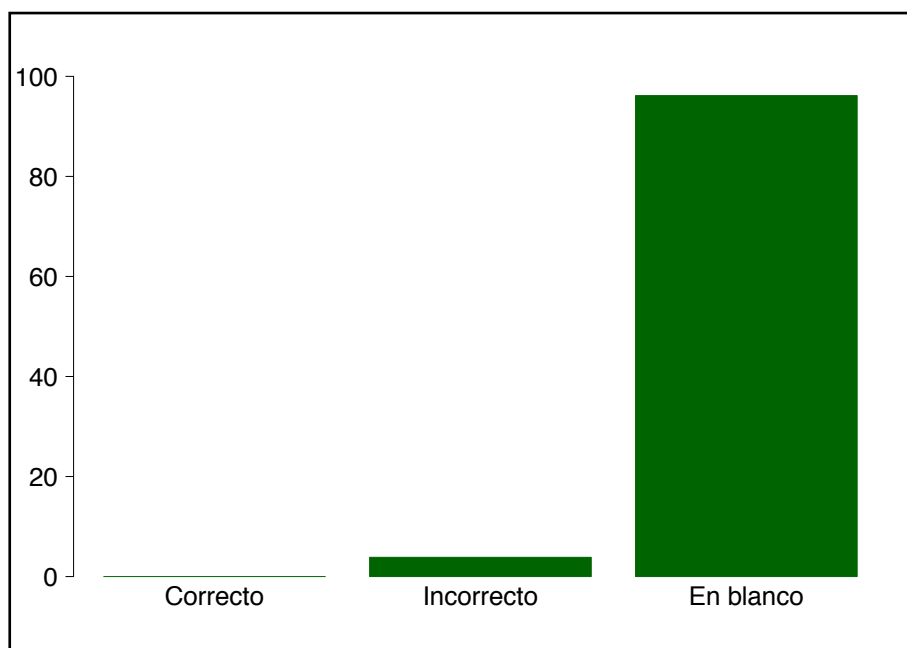


Figura 227. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Volvemos a los mismos resultados en la sentencia 2d (figura 228), donde no hay casos correctos, los incorrectos abarcan el 11,5% y un elevado 88,5% no supo interpretar la reacción siguiendo la teoría de Lewis.

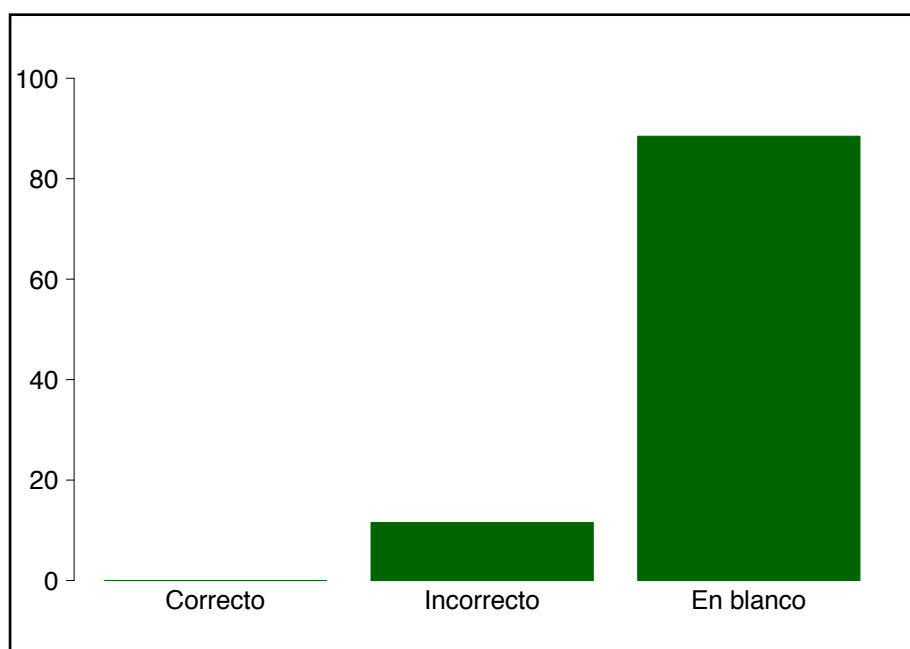


Figura 228. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.6. Grado en Enfermería.

Continuamos estudiando la tendencia observada en los alumnos del grado de Enfermería. Comenzamos, dentro de este bloque objetivo, con la representación gráfica de la distribución de los porcentajes para la sentencia 2b (figura 229), examinando la aplicación de la teoría de Brønsted-Lowry, se encontró que los casos correctos solamente ocupan un escaso 0,6%, los incorrectos un 5,2% y un importante 94,2% no sabe cómo enfrentar la tarea y la deja en blanco.

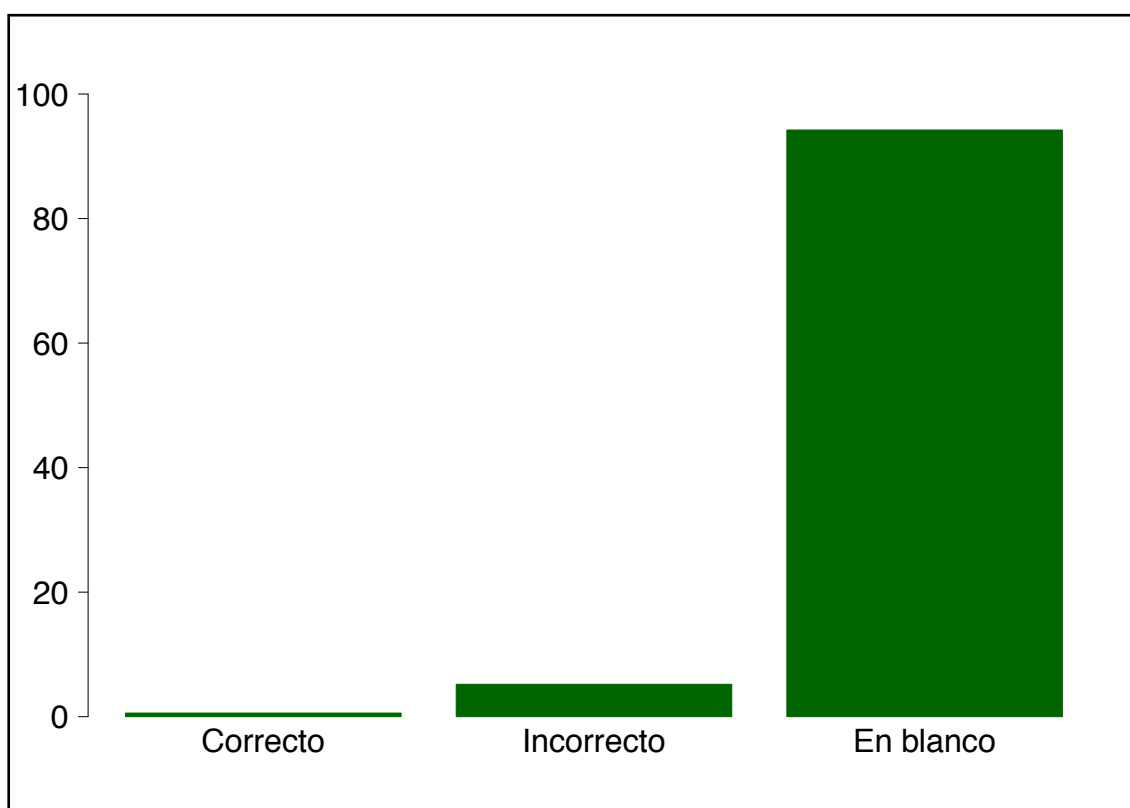


Figura 229. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Los anteriores resultados se perpetúan en la sentencia 2c (figura 230). Al aplicar la teoría de Arrhenius solamente un 1,7% de los examinandos lo hace correctamente sabiendo aplicar los postulados o reconociendo la reacción ejemplo que se les muestra en la sentencia 2a. Luego, un 1,2% de casos son incorrectos en cuanto a la solución y un destacado 97,1% no sabe realizar lo pedido y deja en blanco la cuestión.

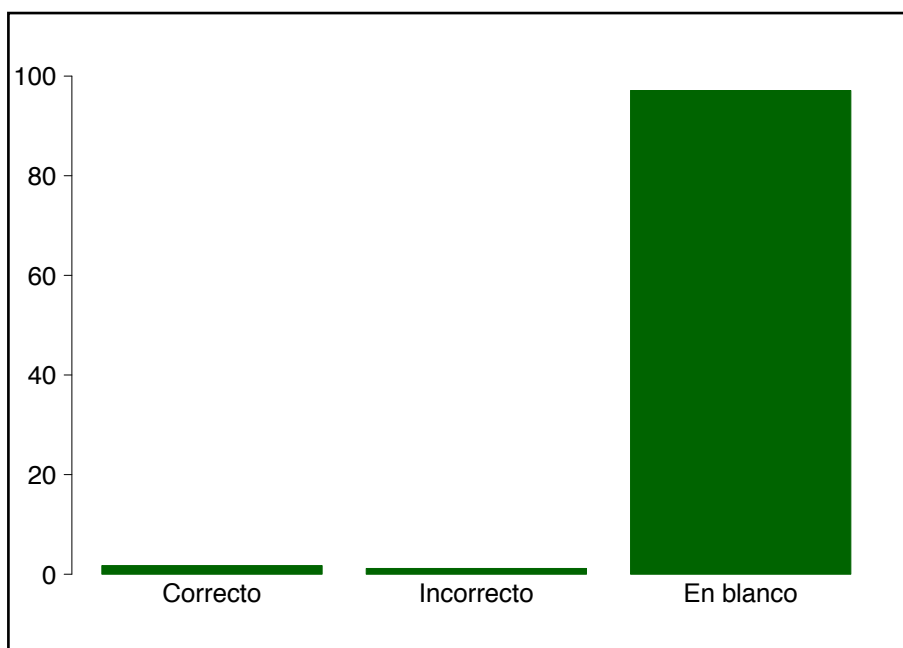


Figura 230. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Finalmente en la sentencia 2d (figura 231), donde se pedía la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua mediante los principios de la teoría ácido-base de Lewis, no existen casos correctos, los intentos de solución incorrectos ocupan un 17,9% y dejaron en blanco la tarea un 82,1%.

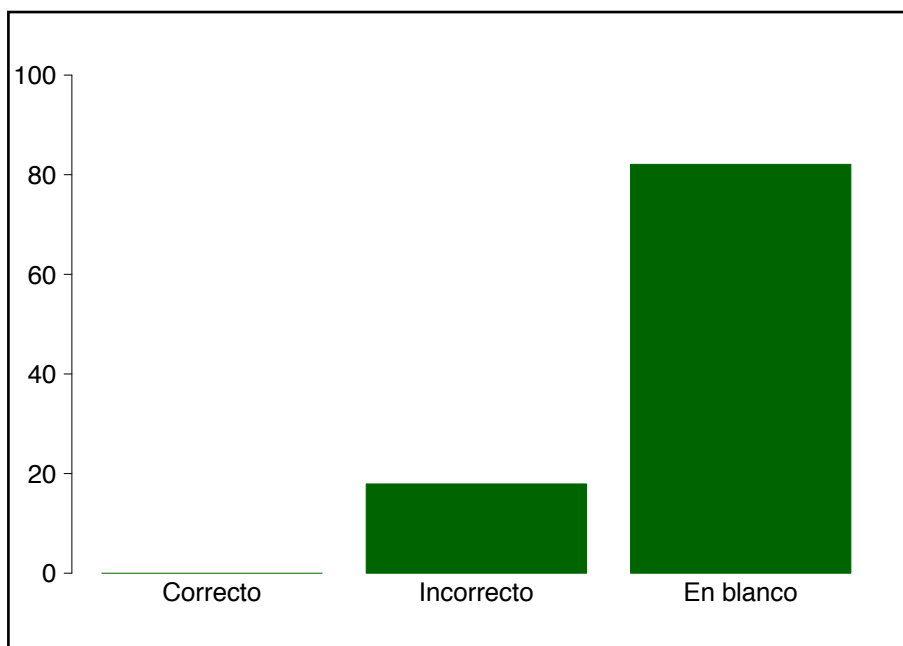


Figura 231. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

4.3.7. Grado en Fisioterapia.

Acabaremos nuestro desglose de los porcentajes de respuestas correctas e incorrectas con los resultados del grado en Fisioterapia. Este grado presenta, junto al de Ingeniería de Organización Industrial el mayor sesgo ya que sólo se examinó a los alumnos de primer curso de cuatro posibles. Ocurre, a pesar de ello, que no se apartan de la tendencia observada en los precedentes. La representación gráfica de la distribución de porcentajes obtenidos para la sentencia 2b (figura 232), permite observar que la interpretación mediante las reglas generales de la teoría de Brønsted-Lowry lleva a que no exista ningún caso correcto. Incorrectamente se interpreta la reacción un 2,7% de los discentes y en blanco la dejan un destacado 97,3%.

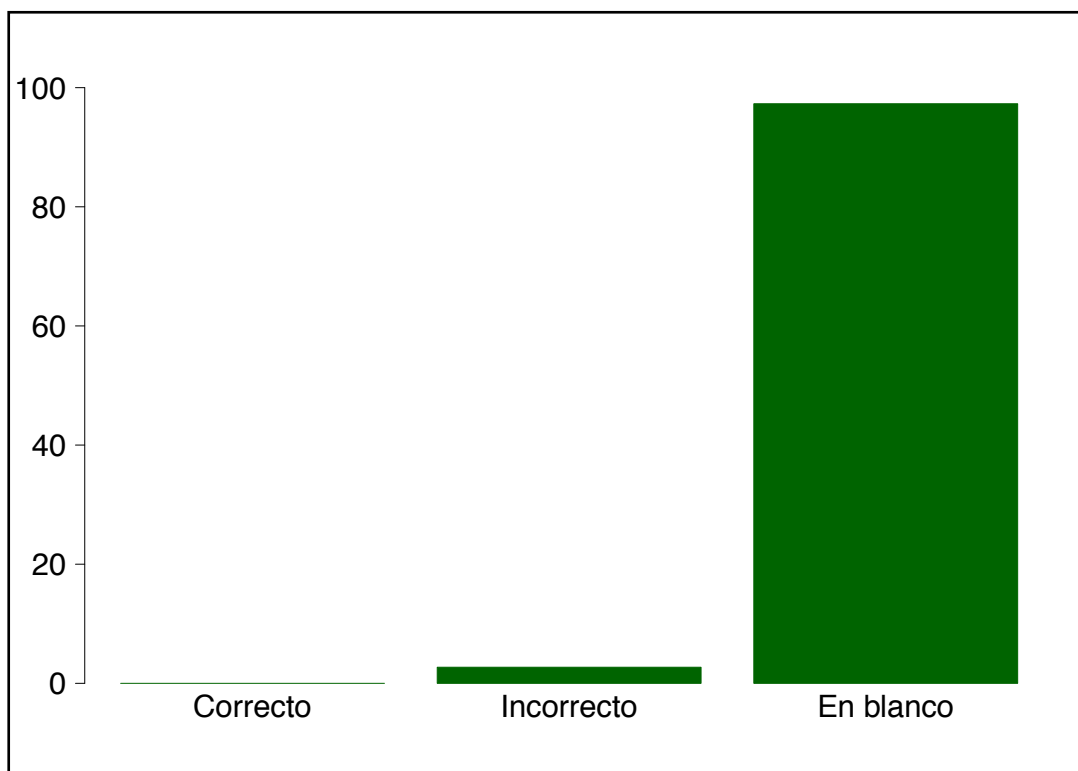


Figura 232. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

En la sentencia 2c (figura 233) tenemos que reaparecen los casos correctos para la utilización de la teoría de Arrhenius con un bajo 5,4%, los casos incorrectos se mantienen en un 2,7% y dejan en blanco la tarea un elevado 91,9% de los encuestados.

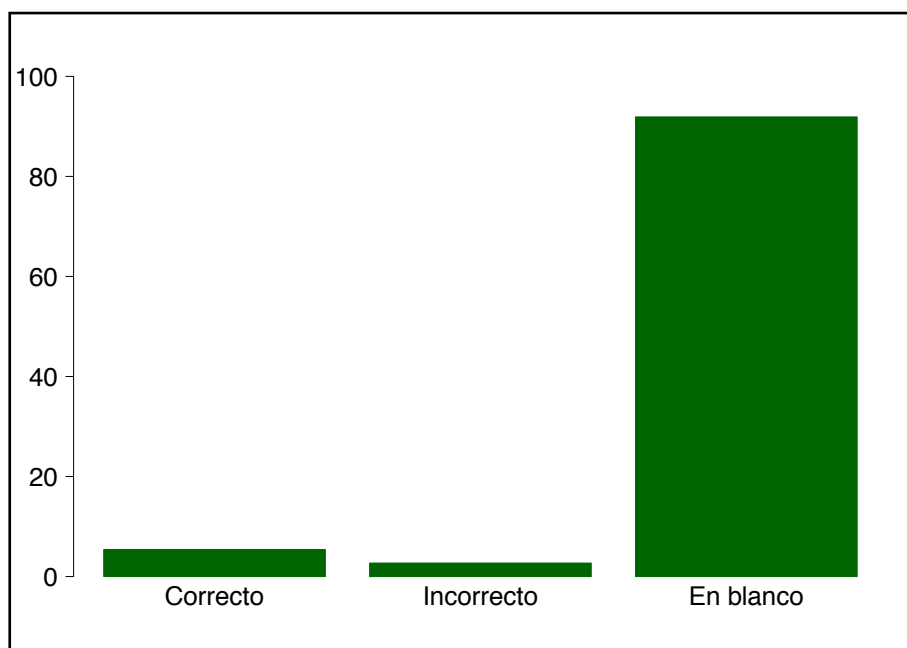


Figura 233. Distribución de porcentajes para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Observando el uso de la teoría de Lewis, en la sentencia 2d (figura 234), gráficamente tenemos que desaparecen nuevamente los casos correctos, los intentos incorrectos de resolver la tarea se elevan hasta un 8,1% y en blanco dejan la pregunta un abrumador 91,9%.

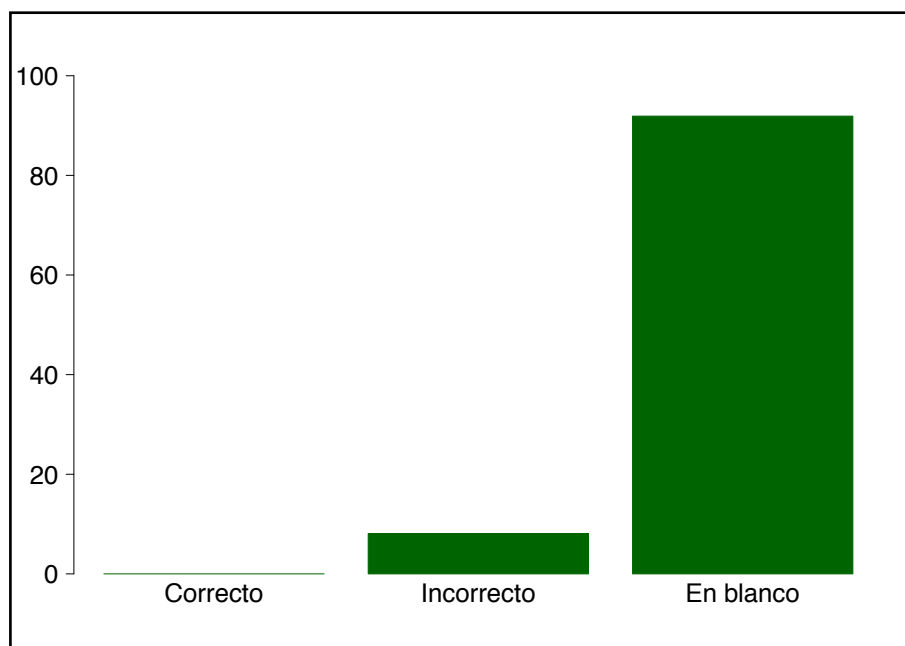


Figura 234. Distribución de porcentajes para para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

Capítulo V:
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN
DE RESULTADOS

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el capítulo anterior se discutieron los resultados obtenidos para cada uno de los *bloques objetivo* según cada grado universitario examinado, tomando la suma de los cursos de la muestra. En el análisis final, se plantea realizar el mismo procedimiento pero de manera que se realice la suma de todos los estudiantes universitarios, es decir, en términos generales sin distinguir por curso, grado, etc.

Siguiendo esta línea procedimental, es posible comprender lo estudiado desde una perspectiva holística que englobe a cada uno de los alumnos y así poder comprender sus ideas previas. Esto nos permitirá concordar con el objetivo general planteado en esta tesis el cual era conocer al estudiante universitario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria de forma global.

A partir de estos renglones, se examinan los gráficos correspondientes que se generaron tomando en cuenta todos los datos. Al principio, estudiaremos los datos correspondientes al primer bloque objetivo para luego pasar a los resultados del segundo bloque.

Se había anunciado, durante el análisis de cada grado, que para el tercer bloque objetivo, las figuras generadas para la reacción de autoprotólisis del agua mediante las tres teorías ácido-base principales serían tratadas, por su escasez, en este apartado final. Dicho esto, se adicionan las trascendentes conclusiones que se derivan del análisis de dichas figuras.

5.1. Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.

Comenzaremos este bloque objetivo con el estudio de todos los apartados de la pregunta uno que, como ya hemos visto en el capítulo dedicado a la fundamentación empírica, consta de una batería de doce sentencias nombradas alfabéticamente desde la **a** hasta la **J**. El único cambio respecto a

los análisis precedentes realizados en cada grado es que se toman los resultados de todos los sujetos en general y se procede, además, a la comparación con los estudios precedentes mencionados en la fundamentación teórica y de los que se derivó la construcción del cuestionario, en el caso de aquí sea.

Partiendo de esta idea, se muestran aquí, en forma gráfica (figura 235), los datos correspondientes dados por los alumnos para la pregunta 1a. Se trataría de la siguiente generalización: *“un ácido fuerte lo es por la cantidad de protones que posee”* o esta equivalencia *“a mayor cantidad de protones en la estructura mayor fuerza del ácido”*. La hemos evaluado por medio de la sentencia *“un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura”* y como ya vimos dando la oportunidad de señalar su falsedad, veracidad, indicar que no se sabía o dejarla en blanco. El procesamiento de los datos nos muestra que un 38,6% indica que esta sentencia es verdadera lo que nos indica que su presencia en los estudiantes de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria es moderada a pesar de ser incorrecta.

En estudiantes universitarios, no se había descrito esta idea como tal, sino que las investigaciones de varios autores (Bhattacharayya, 2006; McClary y Lowery, 2012), se centraron en la fuerza de ácidos orgánicos cuya fuerza venía determinada principalmente por la estructura de los grupos funcionales y la estabilidad de la molécula. Así, se encontraron otra clase de generalizaciones pero no las trataron de esta forma, sino como *heurísticos* para resolver tareas, los cuales también se incluirían en la anterior categoría (*las generalizaciones*).

A modo de complemento, estos datos son concordantes con los obtenidos por otros autores (Çetingül y Geban, 2005; Ross y Munby, 1991), quienes habían encontrado en estudiantes de educación secundaria que: *“los ácidos fuertes poseían más enlaces de hidrógeno que aquellos considerados de carácter débil”* pero no informaron ni de porcentaje ni de grado de presencia a considerar. En este sentido, Dermicioğlu *et al.* (2005), mejoran estos resultados al descubrir mediante un test de respuesta múltiple, que este error estaba

presente en dos grupos de estudiantes de educación secundaria en un 55% y un 59% respectivamente, sin embargo, siguen sin declarar qué nivel de importancia indican esos porcentajes. Estos datos hallados se trataron desde la posición teórica de las *ideas erróneas* y el cambio conceptual y no mediante las generalizaciones, que es la novedad presentada en este estudio

Además, en nuestros resultados, se ha podido hallar que un 42,2% considera falsa la afirmación presentada, por lo que niegan que se establezca de esa forma la relación entre la fuerza de un ácido y la cantidad de protones estructurales. Debido a la naturaleza de nuestro test, no se puede conocer qué relación propondrían los estudiantes que marcaron como falsa esta pregunta, para la ligazón existente entre la fuerza de un ácido y el número de protones presentes en una estructura química de esta clase de compuesto químico. Estos datos se complementan con un 15,1% de los sujetos que desconocen la relación existente entre estos dos rasgos propios de un ácido y con un 4,1% residual que no marcó opción y por ende se les incluye en el apartado de las respuestas en blanco.

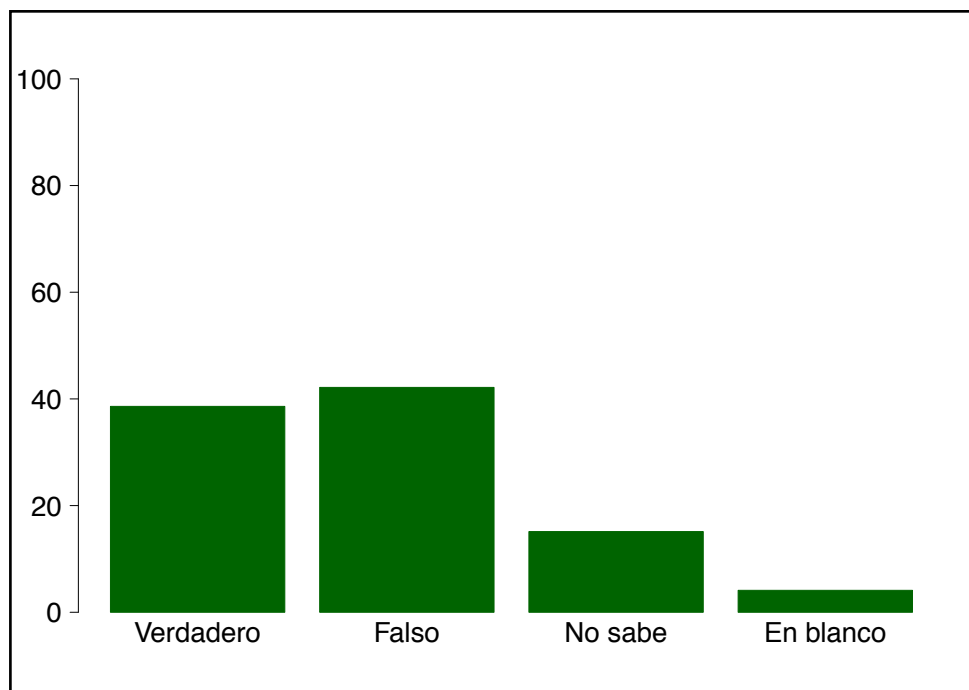


Figura 235. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura (1a).

A continuación, se procede con la evaluación del aspecto estructural de las fórmulas químicas de ácidos y bases. Así, se ha encontrado que los resultados del apartado b son muy similares a los que se derivan de la sentencia 1a. En este caso, mediante la sentencia: *“Una base es más fuerte que otra porque posee más iones hidroxilos en su estructura”*, pretendía buscar la misma generalización que se expuso para los ácidos pero en este caso para los compuestos básicos.

Esta afirmación presentada es equivalente a proposiciones de la clase: *“una base es fuerte porque posee un gran número de grupos hidroxilo”*, o bien *“a mayor cantidad de grupos hidroxilo más fuerte es una base respecto de otra”*. Todas son variantes de la misma idea sintetizadas en el enunciado ya descrito. Es posible observar mediante la representación gráfica obtenida, para la distribución de los porcentajes (figura 236), que un 40,6% decide que la sentencia presentada es veraz, haciendo radicar en la cantidad de grupos hidroxilo la fuerza de las bases en vez de la variable K_b propuesta por la teoría de Brønsted-Lowry.

No existen datos en la bibliografía precedente estudiada sobre estudiantes universitarios que presenten la relación entre la fuerza de las bases y la cantidad estructural de grupos OH, no obstante, en varios estudios sí ha quedado patente la relación entre el carácter básico de un compuesto y la presencia de grupos OH en su fórmula química (Cros *et al.*, 1984, 1986; Ouertatani *et al.*, 2006 Zoller, 1990) . En el caso de la educación secundaria, sólo Çetingül y Geban (2005), han estudiado esta sentencia pero olvidaron informaron de los porcentajes obtenidos, tampoco explicaron el nivel de importancia y trataron el tema como concepciones erróneas.

Por otro lado, un 38% marcó la opción contraria considerándola correctamente falsa. Por último, un 16,5% no sabe que relación existe entre la cantidad de grupos hidroxilos y la fuerza de una base o prefiere no decantarse entre ninguna de las dos opciones anteriores; un 4,9% decidió dejar en blanco la respuesta.

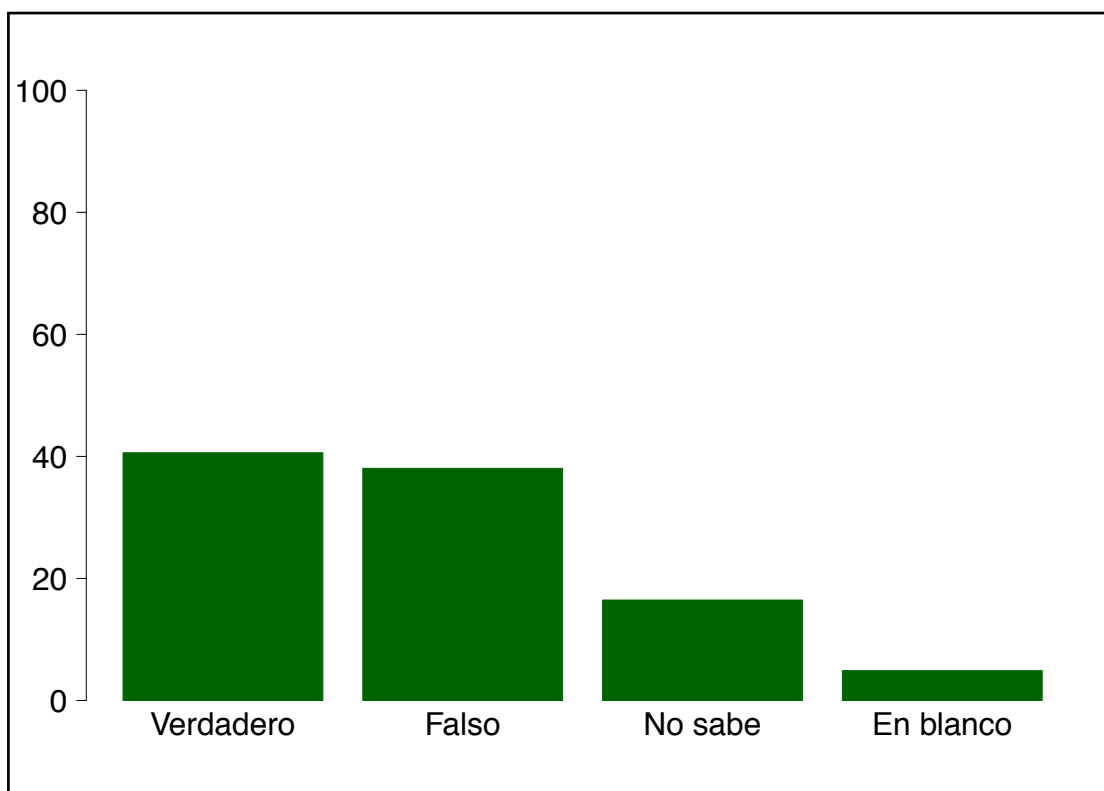


Figura 236. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una base es más fuerte que otra porque tiene más iones hidroxilo en su estructura (1b).

En el análisis bibliográfico, y en el momento de plantearse una reacción entre ácidos y bases considerados fuertes por un lado, y débiles por el otro, los sujetos tienden a mencionar la imposibilidad de dicha reacción, es decir, tienen una visión restringida de las reacciones, donde parece que sólo pueden interactuar los compuestos si poseen el mismo carácter asignado. Para ellos, los ácidos fuertes reaccionan con las bases fuertes y por el contrario, no parece permitirse la reacción si es un ácido débil con un base fuerte o viceversa.

En nuestra muestra aparece un porcentaje (figura 237), extremadamente bajo que considera la posibilidad anteriormente planteada, ese valor es de un 7,8%. En acuerdo con este resultado, Bradley y Mosimege (1998), encontraron que cerca de un 42% de los estudiantes falla al indicar que las disoluciones salinas son siempre neutras debido a que consideran la reacción solamente de una base fuerte con un ácido fuerte y viceversa. También Pinarbasi (2007), encontró que un 41% de los estudiantes de magisterio, en una reacción de

neutralización, si alguno de los compuestos era débil, la reacción no se completaría.

No obstante, en ninguno de estos estudios, se plantea la posibilidad de que no reaccionen, al contrario, existen problemas pero se acepta la interacción en acuerdo con un destacado 82,4% de nuestros sujetos que piensan que la reacción puede producirse sin importar el carácter de debilidad o fortaleza concernientes a los compuestos. Finalmente un 2,3% no toma partido dejando en blanco el ítem y un 7,5% elude la cuestión considerando que no tiene elementos de juicio para decantarse por una de la dos opciones principales propuestas.

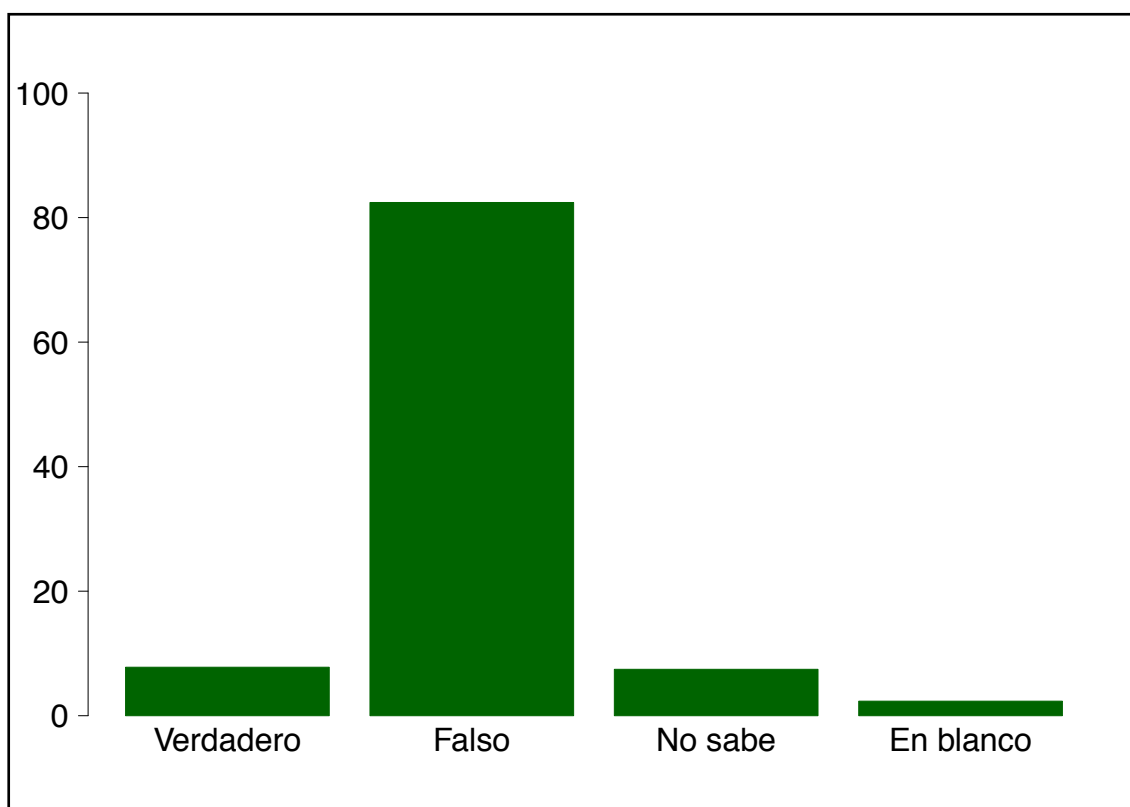


Figura 237. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: un ácido fuerte y una base débil no reaccionan (1c).

Cuando se invierte el ítem anterior, dando a los sujetos la oportunidad de expresar su consentimiento con la siguiente generalización: “una base fuerte y un ácido débil no reaccionan” ocurre que obtenemos resultados muy parecidos a los anotados en el ítem inmediatamente superior. La muestra de estudiantes

universitarios (figura 238), tiende a despreciar la veracidad de esta afirmación como lo hiciese ya previamente, contando con sólo el apoyo de un 8,5%, por otra parte, es cierto que un 78% se decanta por admitir lo inapropiado de esta idea que no coincide con los hechos científicos aceptados. Un 9,1% indica que no posee criterios para marcar una de las dos opciones principales y por ello no saben qué opinar mientras que un 4,4% ha decidido dejar la pregunta en blanco. Se observa que, tanto preguntando de una manera o bien al inverso, los discentes se inclinan por la posibilidad de que independientemente de la categoría a la que pertenezcan los ácidos y las bases pueden reaccionar entre ellos.

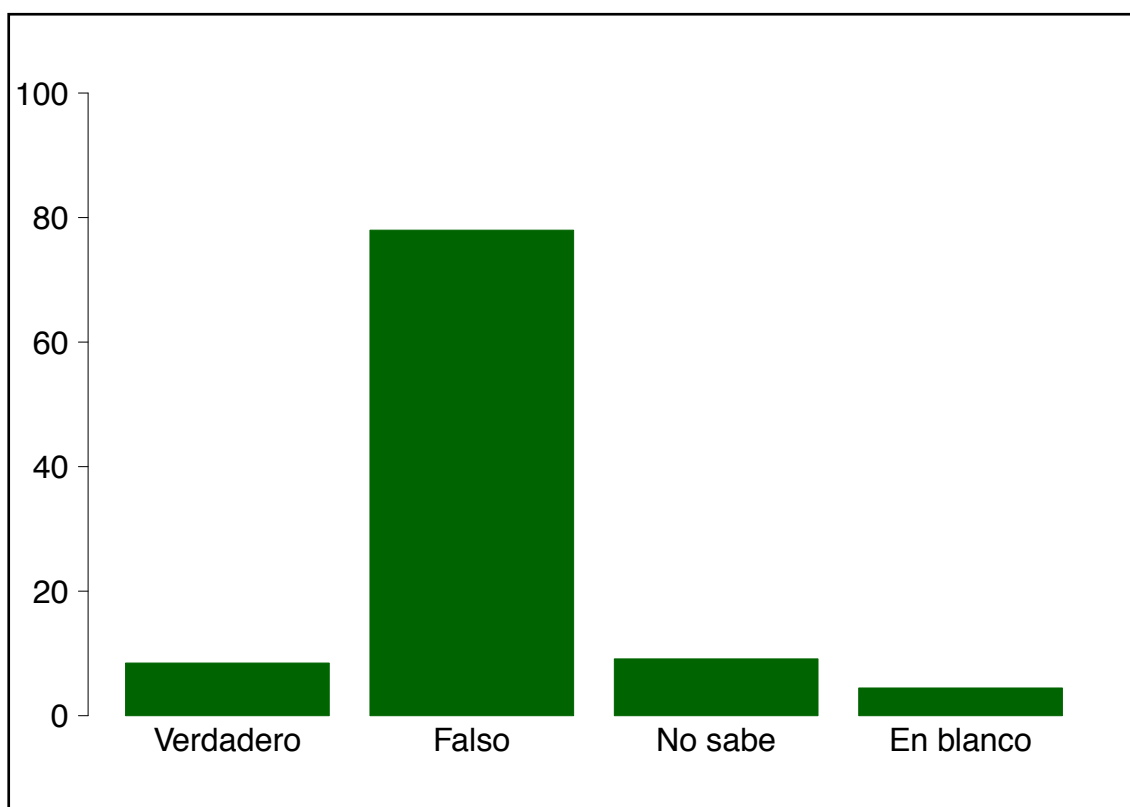


Figura 238. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una base fuerte y un ácido débil no reaccionan (1d).

Una de las consecuencias que tiene el relacionar incorrectamente la fuerza de los ácidos y las bases con el pH es confundir los valores de pH que se producirán en disolución acuosa cuando se disuelve alguna de estas sustancias. Así la consideración generalizada de que *los ácidos son fuertes porque retienen fuertemente a los protones debido a su fuerte enlace o bien*

que los débiles los ceden fácilmente por la debilidad de sus enlaces (Çetingül y Geban, 2005), puede ocasionar problemas a la hora de conocer como es la cesión de estos protones a la disolución y por tanto su posterior influencia en la comprensión y cálculo del pH que se deriva.

Por razones obvias de espacio y tiempo, no pudo evaluarse esta afirmación concreta, no obstante, se ha podido optar por observar cómo se entiende la relación entre la fortaleza-debilidad de los ácidos y su posible influencia en el valor relativo del pH. Para ello se les presentó la generalización: *“un ácido fuerte en disolución acuosa da lugar a un pH más elevado que el que se produciría si disolviésemos un ácido débil”*.

Al examinar los resultados gráficos de la distribución de los porcentajes (figura 239), ocurre que un 48,2% de los sujetos indica que esta es falsa y por tanto no estarían influidas estas dos variables de dicha forma. Desafortunadamente, no sabemos qué relación indicarían para este suceso, pero al menos podemos descartar que incurran en el error de contemplar la posibilidad de considerar la fortaleza de un ácido con valores elevados de pH en una relación claramente directa, despreciando el factor concentración y por supuesto la influencia del equilibrio químico.

En el ámbito universitario, varios autores (Cros, Chastrette y Fayol 1988, Dhindsa, 2002; Kariper, 2011; Ross y Munby, 1991; Watters y Watters, 2006), han descrito que los estudiantes tienen problemas para comprender la variable pH pero no han hecho referencia a cómo se relaciona con la fuerza de los compuestos ácido-base y los valores propios de esta escala. En el ámbito de la educación secundaria, los estudios más relevantes (Kala, Yaman y Ayas, 2013; Park y Choi, 2013), vuelven a mostrar los mismos errores.

No debemos olvidar que, para un 29,9% la afirmación anterior es verdadera y por ello incurren en un error y supone, según nuestra clasificación, una presencia moderada. Para estos sujetos, la fortaleza de un ácido se encuentra en relación directa con valores de pH, es decir, si un ácido es fuerte dará

valores altos de pH en disolución acuosa lo que nos envía a valores cercanos al catorce en esa escala y por tanto indicando que se trata de una disolución básica y no ácida como cabría esperar. Estos sujetos no han comprendido la relación inversa entre el pH y la concentración de protones que además no toman como factor principal. En esta cuestión descubrimos también que un 16,7% ha marcado que no sabría contestar a esta pregunta lo cual resulta inesperado para un nivel universitario, desconocen qué relación podría establecerse entre la fortaleza de un ácido y los valores de pH que podrían esperarse hipotéticamente y que dependen de la concentración de éstos. Para un 5,2%, la pregunta queda lejos de estar resuelta puesto que el blanco es la respuesta que otorgan.

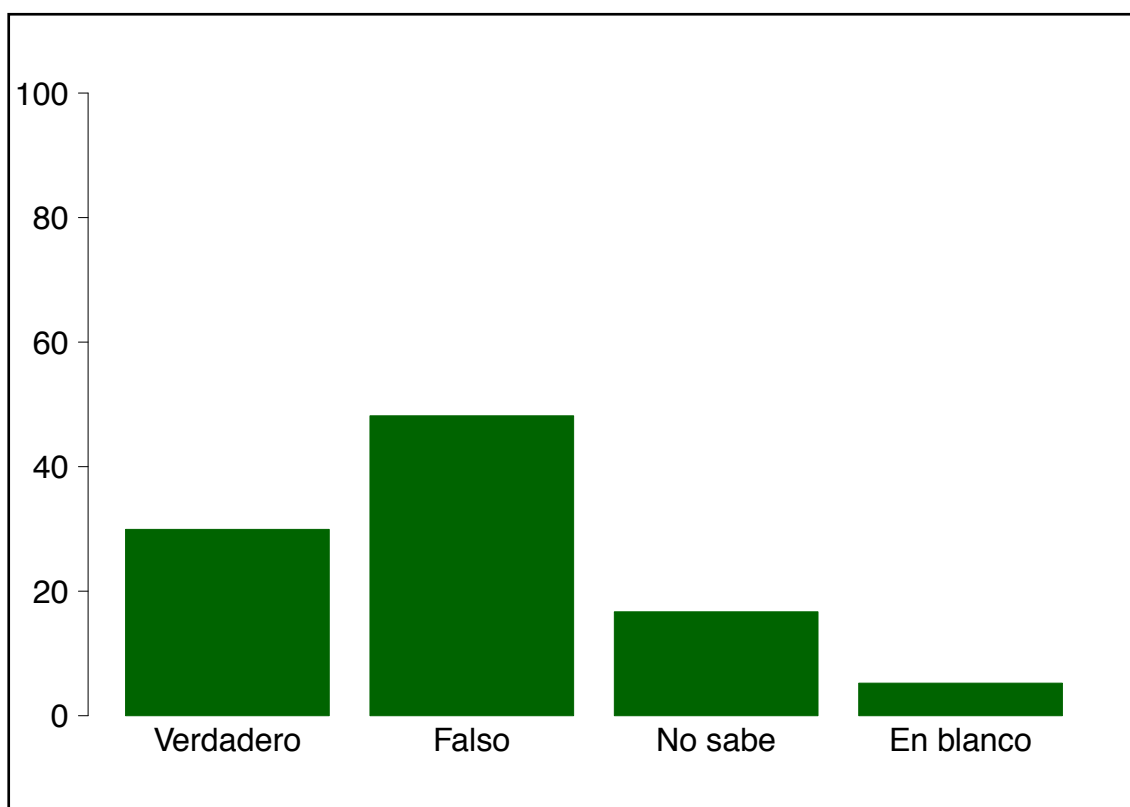


Figura 239. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles (1e).

El daño a diversas partes del cuerpo humano ha sido revisado en varias investigaciones (Bardanca *et al.*, 1993; Jiménez-Liso y De Manuel, 2000; Nahkleh y Krajcik, 1993, 1994; Toplis, 1998), en las concepciones alternativas o concepciones erróneas sobre los ácidos y las bases. A partir de diversas

influencias, los sujetos parecen haber inferido que los ácidos son peligrosos y debemos tener mucha precaución, por el contrario, las bases son vistas como antagonistas de estas acciones y por ello son frecuentemente entendidas como favorables a nuestra salud.

Así, *“los ácidos pueden quemar la piel pero las bases no”*, es la generalización utilizada para intentar descubrir si los universitarios conceden un mayor peligro a los compuestos ácidos que a los básicos. De aquí se pueden derivar algunas variantes de este sencillo postulado como que las bases son buenas, no hacen daño o sirven para neutralizar el efecto dañino que producen los ácidos.

A partir de la figura 240, un 59,1% considera que no debe ser así y es por lo que marcan como falsa la cuestión planteada, abriendo el camino a la posibilidad de aceptar que también las bases pueden crearnos un daño corporal a determinadas concentraciones como cualquier ácido y que, frente a ellas, debemos tener la mismas precauciones que con los ácidos concentrados.

No debemos tampoco ignorar que un 24,5% entiende que lo que se les ha planteado es veraz y por consiguiente una base jamás quemaría la piel mientras que un ácido sí que puede hacerlo, desmereciendo el papel que jugaría aquí el factor concentración tal y como lo hiciera en la pregunta sobre los valores posibles de pH a alcanzar según la fortaleza-debilidad de la sustancia en cuestión. En este sentido, en el ámbito universitario Jiménez-Liso y De Manuel (2002), han encontrado que un 44% de alumnos de primero hasta quinto de licenciatura en química, no ingeriría bebidas cuyo pH no estuviese comprendido entre 6 y 8, por su peligrosidad.

Vuelve a aparecer un 13,8% de los encuestados que no dispone de criterios para tomar partido por alguna de las dos opciones principales y se ven abocados a marcar la opción *“no sé”*. Finalmente, un residual 2,7%, parece que tampoco dispone de herramientas que le permitan responder a alguna de las opciones mostradas lo que les hace dejar el ítem en blanco.

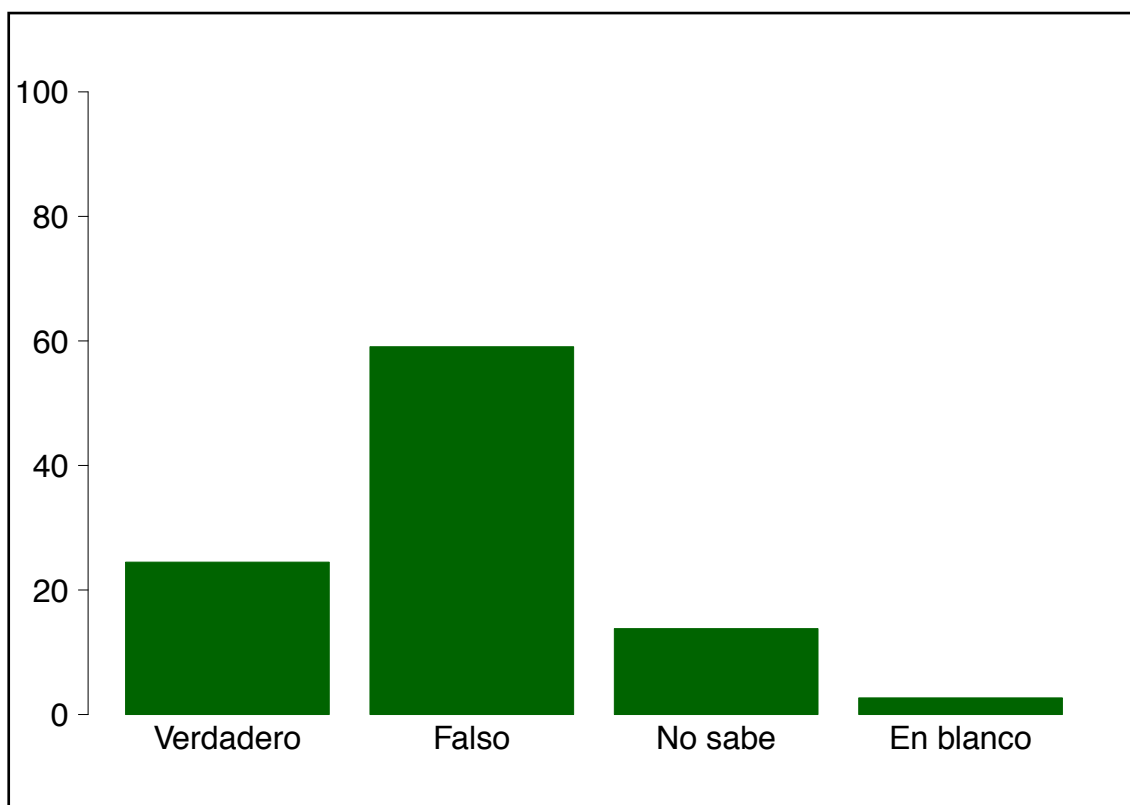


Figura 240. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: los ácidos pueden quemar la piel, las bases no (1f).

El tema de las sales en el ámbito ácido-base es controvertido, pues desde muy temprano Kolb (1979), había observado como a los alumnos de primer curso de la Licenciatura en Química les suponía un problema clasificar determinados compuestos como ácidos o como sales según si seguía la teoría de Brønsted-Lowry o bien la de Lewis.

Una explicación que se propone es el restringido dominio que poseen estos estudiantes de la teoría ácido-base de Lewis, que además es de las más generales que existen y que involucra otra serie de conceptos difíciles de comprender y dominar. A la par, se había indicado que podría tratarse de un caso de inclusión reducida (*subgeneralización*) lo que impide que el compuesto pudiera estar presente en dos categorías distintas.

Otra posible complicación resulta en que la sal sobre la que se discutía no poseía ni protones ni grupos hidroxilo en su estructura, lo que parece causar problemas de identificación, especialmente a aquellos discentes que hemos

visto que se dejar orientar por las abstracciones o rasgos de valor informativo que se encuentran en la molécula. Es variada la cantidad de aspectos con los que debemos contar como explicación a los errores encontrados, máxime cuanto más se complican los contenidos y aumentan los factores a tener en cuenta.

Debemos contentarnos aquí, por razones evidentes, con evaluar una generalización que arroje luz sobre lo que está ocurriendo en los estudiantes de la Universidad de Las palmas de Gran Canaria. De esta forma, se les propone a los sujetos que *“una sal siempre es neutra y que, por consiguiente, no participará en ninguna reacción ácido-base”*, o lo que es lo mismo, no debería tener carácter ácido-base.

Basándonos en los resultados gráficos de la distribución de los porcentajes calculados (figura 241), la idea resulta ser falsa para un 63% de los encuestados, lo que permite entender que admiten que una sal no siempre debe ser neutra desde un punto de vista ácido-base, sino que tiene características que la hacen participar de estas reacciones. No se pudo evaluar qué tipo de sales se considerarían ácidas o básicas u observar qué relación se establecería con la estructura química de estos compuestos además de la teoría bajo la que se circunscribirían.

No obstante, un 21% especifica, que es correcto lo propuesto en la encuesta lo que les lleva a clasificar el concepto de sal como algo neutro y que no participará en las reacciones de esta clase; esto restringe mucho el papel que pueden desempeñar estos compuestos en el ámbito. Por supuesto queda descartada, bajo esta visión, que influencia ejercerían sobre el pH. En esta línea, Bradley y Mosimege (1998), ya se habían percatado de que un 42% de los discentes universitarios indicaba que cualquier disolución de una sal es neutra.

Un 12,1% no encuentra argumentos que les permita escoger alguna de las dos opciones principales sino que determina no saber qué carácter le compete a las

sales: si neutro, ácido, básico o una combinación de estos. Un escaso 3,9% deja la pregunta en blanco.

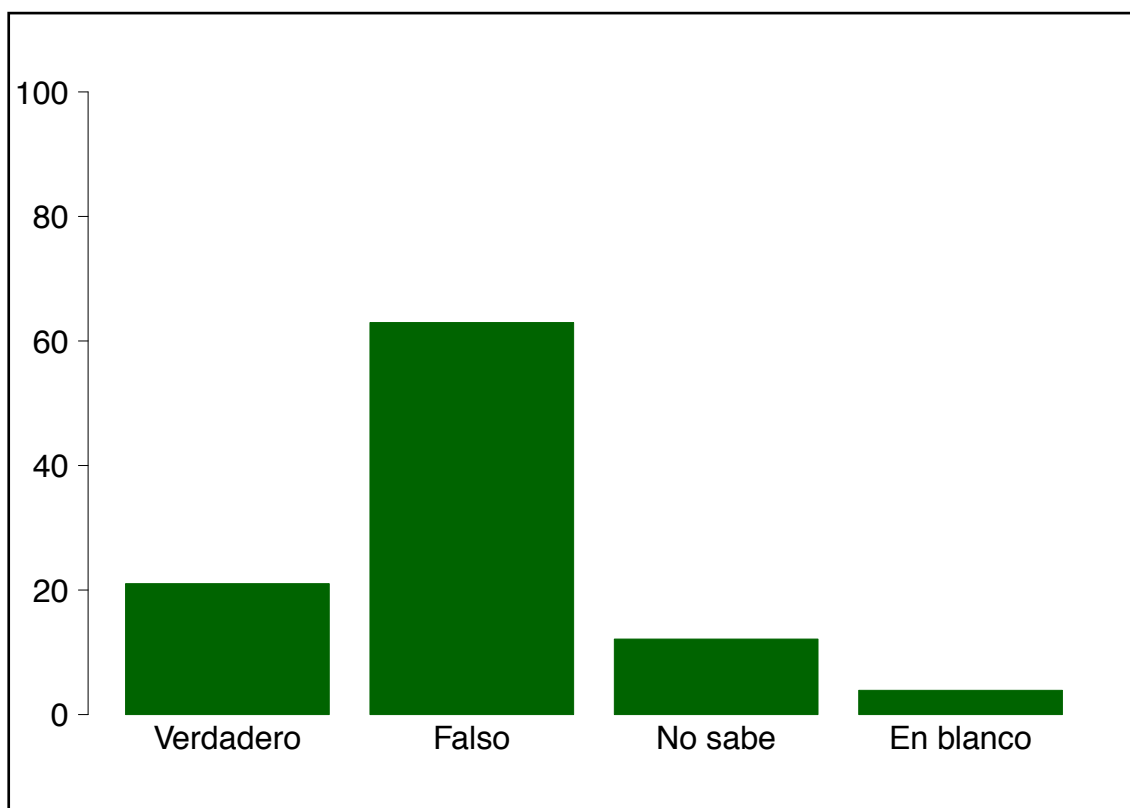


Figura 241. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido-base (1g).

En los apartados *h* e *i* se va a continuar con el estudio de la influencia de la fórmula química como rasgo de valor informativo a la hora de decidir si un compuesto es ácido o base. Por las evidencias expuestas, es el grupo terminal, bien sea el protón bien sean el grupo hidroxilo, el que determina el carácter ácido-base del compuesto.

Esto nos conduce a la influencia que ejerce sobre los alumnos la teoría de Arrhenius principalmente que, como ya vimos en la fundamentación teórica, en su núcleo teórico da un protagonismo a estos dos grupos funcionales y que fue la característica común que obtuvo este científico a la hora de agrupar y clasificar los compuestos que estudiaba. A fin de ser más específicos se le presentó a los sujetos la fórmula química del etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), que posee un grupo OH terminal pero que no es una base sino que es un alcohol de

carácter orgánico que además cuenta con carácter ácido en disolución acuosa y no básica como cabría esperar.

A partir del gráfico obtenido para los porcentajes calculados (figura 242), observamos que un 35,8% de los universitarios indica que efectivamente se está hablando de una base, además la generalización es muy explícita en ese sentido, citando que esa clasificación se hace porque este compuesto posee un grupo hidroxilo (OH).

Este resultado manifiesta que la visión de Arrhenius está fuertemente arraigada en un gran porcentaje de los sujetos y que aparentemente las limitaciones que posee no han sido trascendidas mediante la teoría de Brønsted-Lowry o Lewis que conocemos están incluidas en los currículos y que aparecen como alternativas más generales, sin embargo, se debe hacer resaltar que Arrhenius habla siempre de grupos hidroxilo lábiles y no de una presencia exclusiva de estos en la fórmula química.

Zoller (1990), destacó que los alumnos de primer año de universidad de la licenciatura en química poseían en su gran mayoría la generalización de MOH para las bases, sustituyéndose cualquier catión por la letra M, sin embargo este autor no realizó registros cuantitativos. Numerosos estudios en educación secundaria indican que esta limitación está muy presente (Çetingül y Geban, 2005; Demircioğlu et al., 2005; Lin y Chiu, 2007a, 2007b, 2010; Ouertatani et al., 2006), incluso en libros de texto (De la Guardia et al., 1985; Furió-Más et al., 2000).

Por otro lado, un 42,8%, ha entendido que la presencia exclusiva de un grupo hidroxilo terminal en un compuesto no es *conditio sine qua non* para considerar a un compuesto como base sino que existen otras posibilidades. Estos alumnos tendrían la capacidad para no restringir el concepto de base a la teoría de Arrhenius, pero nos es imposible saber si esto se produce porque han entendido la limitación de esta última teoría o simplemente han reconocido el carácter ácido del etanol u otras opciones posibles. Por lo pronto y con estos

datos solamente es posible establecer que un porcentaje importante de universitarios está anclado en visiones restringidas de las bases y que utiliza la presencia de determinados grupos terminales de las fórmulas químicas como rasgos de valor informativo exclusivo para la determinación del carácter ácido-base de un compuesto químico.

Un importante 16,2% dice no saber si la presencia de un grupo hidroxilo terminal es suficiente como para clasificar este compuesto como base lo que les obliga marcar la opción “no sé”; el 5,1% restante toma la decisión de dejar el ítem en blanco.

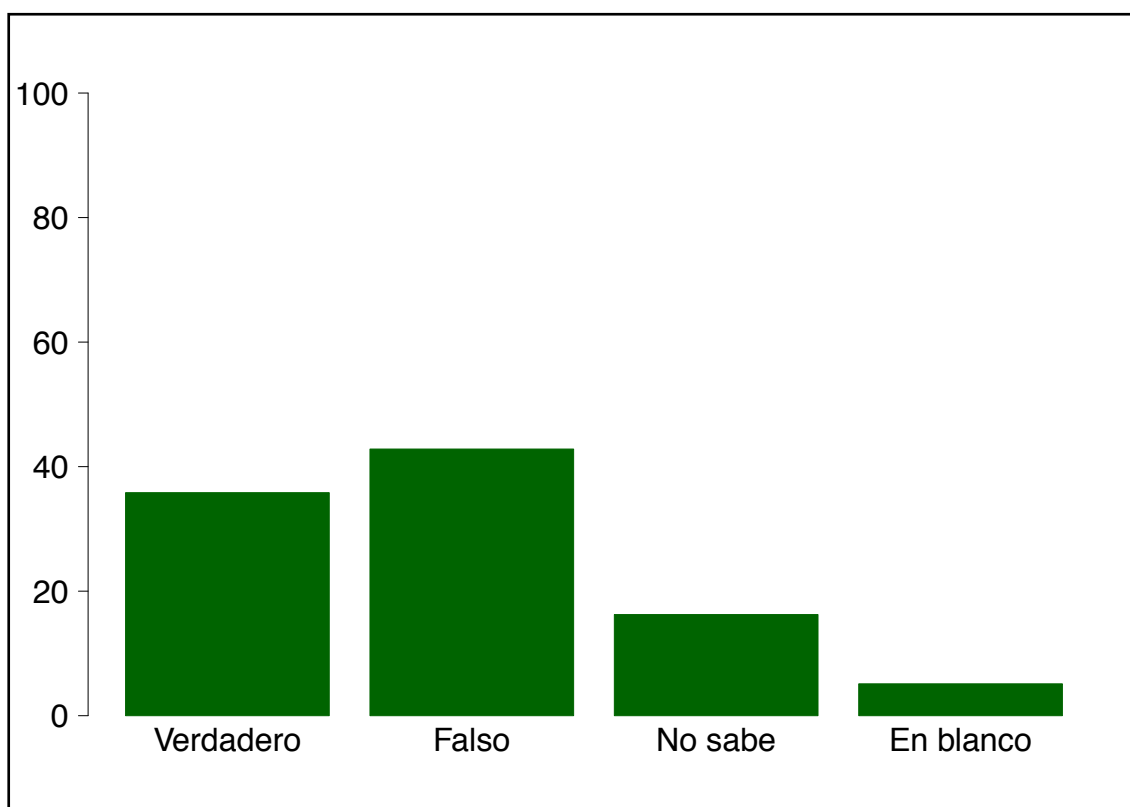


Figura 242. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH (1h).

Si en el apartado **h**, fue protagonista la posible clasificación de las bases basándonos en su fórmula química, llega la oportunidad de la generalización para los ácidos. La teoría de Arrhenius que clasifica a los ácidos como los compuestos que en disolución acuosa pueden ceder protones y que efectivamente están presentes en su fórmula escrita. La diferencia respecto al

caso anterior radica en que los protones no se escriben necesariamente de forma terminal (ejemplo: H_2SO_4), no al menos en la nomenclatura actual, pero su observación por parte de los examinandos parece hacerles inclinarse por incluirlos en el grupo de los ácidos.

Se les ofrece un ejemplo de un base que es muy conocida, el amoníaco (NH_3) y el cual, como ya se ha comentado, no es ácido sino base, sin embargo presenta la característica de ser un compuesto que en su notación química están presentes los protones terminales. Claramente se indica la presencia de protones como requisito explícito e indispensable para marcar una de las opciones propuestas.

No todos los encuestados toman como rasgo de valor informativo la presencia de protones para la clasificación y por desgracia no podemos, con los datos disponibles, saber qué conduce, observando la representación gráfica (figura 243), a un 62,7% a rechazar la afirmación y darse cuenta que otras condiciones podrían influir.

Esto no debería llevarnos a rechazar que un importantísimo 21,6% de estudiantes universitarios, se inclina por tomar como veraz la hipótesis ofrecida lo que nos conduce a que estos sujetos guardan una generalización sobre lo que es un ácido a causa de la presencia de protones en su fórmula química. Arrhenius no planteaba que la presencia de protones fuere obligatoria para ser ácido porque él se circunscribe a *protones lábiles* que es lo que no parecen entender los universitarios ya que contestan afirmativamente incluso ante lo explícito de la pregunta.

Así, nuevamente Zoller (1990), halló cualitativamente que para los universitarios de primer curso la forma general de ácido era AH donde A es un anión cualquiera, asimismo Cros, Chastrette y Fayol (1984, 1986), observaron cualitativamente que estudiantes de primer y segundo curso indicaban que un ácido era una sustancia liberadora de protones. Un 11,2% no sabe qué contestar, a la par que un 4,4% no responde y deja el ítem en blanco.

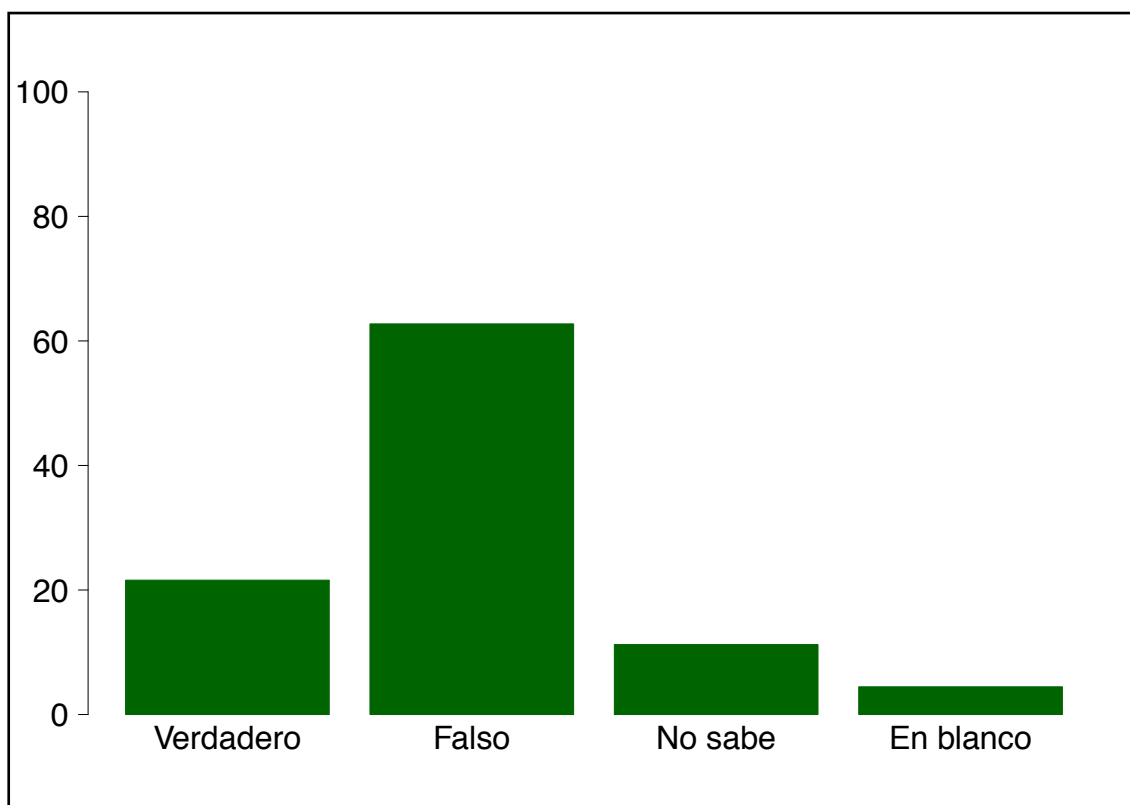


Figura 243. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones (1i).

En la investigación realizada por Jiménez-Liso *et al.* (2000), se abrió un debate sobre el valor de pH considerado neutro por estudiantes universitarios, el cual podría ser confundido con 5,5 en virtud de la posible influencia de los medios de comunicación, especialmente mediante la asociación de neutro con inocuo. Exceptuamos aquí la influencia de la temperatura sobre el equilibrio de la reacción, restringiéndonos a las denominadas condiciones normales (una atmósfera de presión y 298 grados Kelvin). Realizada esta aclaración se admite que los estudiantes encuestados tomarían como valor de pH neutro el siete.

Cuando se les ofrece a los estudiantes de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria la generalización sobre si el valor de pH neutro correspondiente a las condiciones normales es de 5,5 obtenemos (figura 244), que un 95,2% se decanta por la falsedad de esta idea, admitiendo que ese valor no se relaciona en ningún caso con el valor de la escala de pH considerado neutro. Se observa que los porcentajes para determinar esta opción como verdadera, no saber qué decisión tomar o dejarla en blanco son muy bajos y valdrían 3,4%, 1,2% y 0,1%

respectivamente. Se puede concluir que este error está presente en nuestra muestra sólo de manera insignificante.

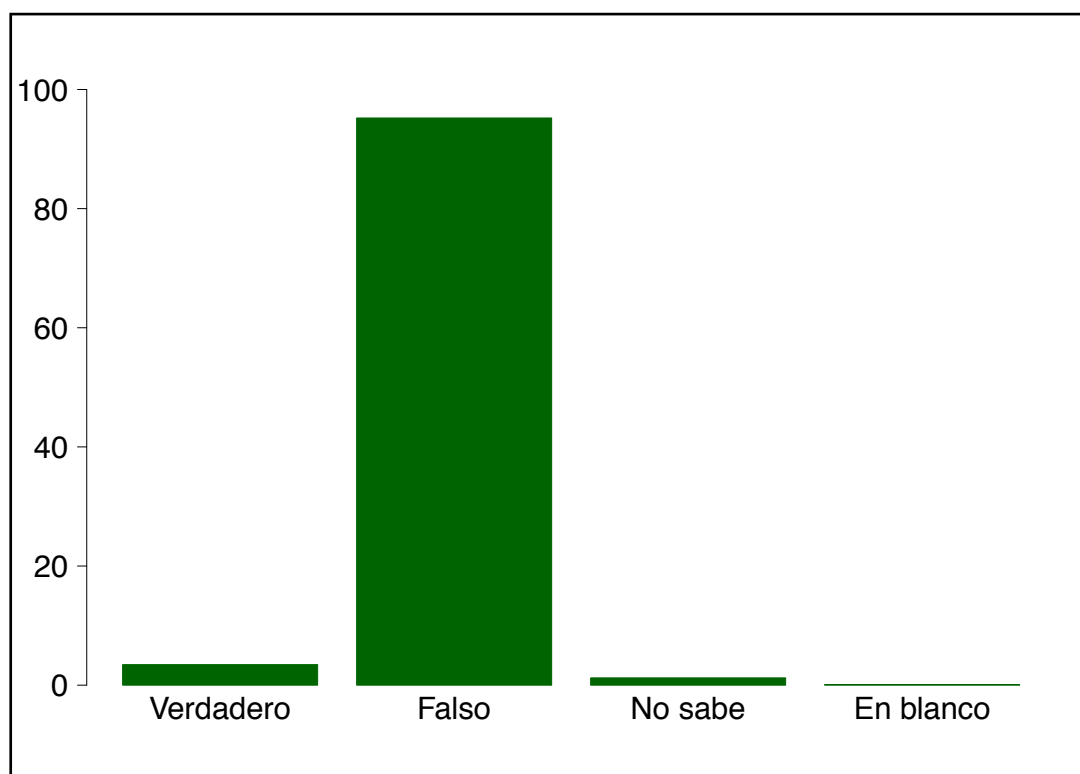


Figura 244. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el pH neutro es 5,5 (en condiciones normales) (1j).

Con respecto a la escala de pH siguen surgiendo problemas, como ya se identificara en la relación entre sus valores y la fortaleza debilidad de los ácidos. Además nos encontramos con que los límites de la escala de pH presentados usualmente (que van desde cero hasta catorce), por los libros de textos e impartidos en las clases parecen haber tomado un valor de barrera. En este caso, se pretende conocer qué ocurre cuando el pH toma el valor cero, ¿seguirán las sustancias manteniendo un carácter básico o ácido? ¿Influye el valor de pH sobre su naturaleza?

A la vista de los resultados obtenidos (figura 245), un 78,1%, marca la opción que indica como falsa la hipótesis, queda claro para un gran parte de nuestra muestra que este valor no debería influir en su carácter, o sea, no importa a qué pH nos encontremos, las sustancias no perderán su carácter de ácido o de base. No obstante, ocurre que un 10,6%, sí cree que el carácter ácido-base de

una sustancia se pierde a partir de este valor de la escala. Un 9,1% no sabe qué ocurre y un 2,2% deja la pregunta en blanco. Solamente Çetingül y Geban (2005), evaluaron cuantitativamente esta idea mediante cuestionario en la educación secundaria pero no dieron a conocer los resultados; en estudiantes universitarios no se conoce hasta la fecha que se haya averiguado por esta cuestión formando nuestro estudio un precedente en el ámbito.

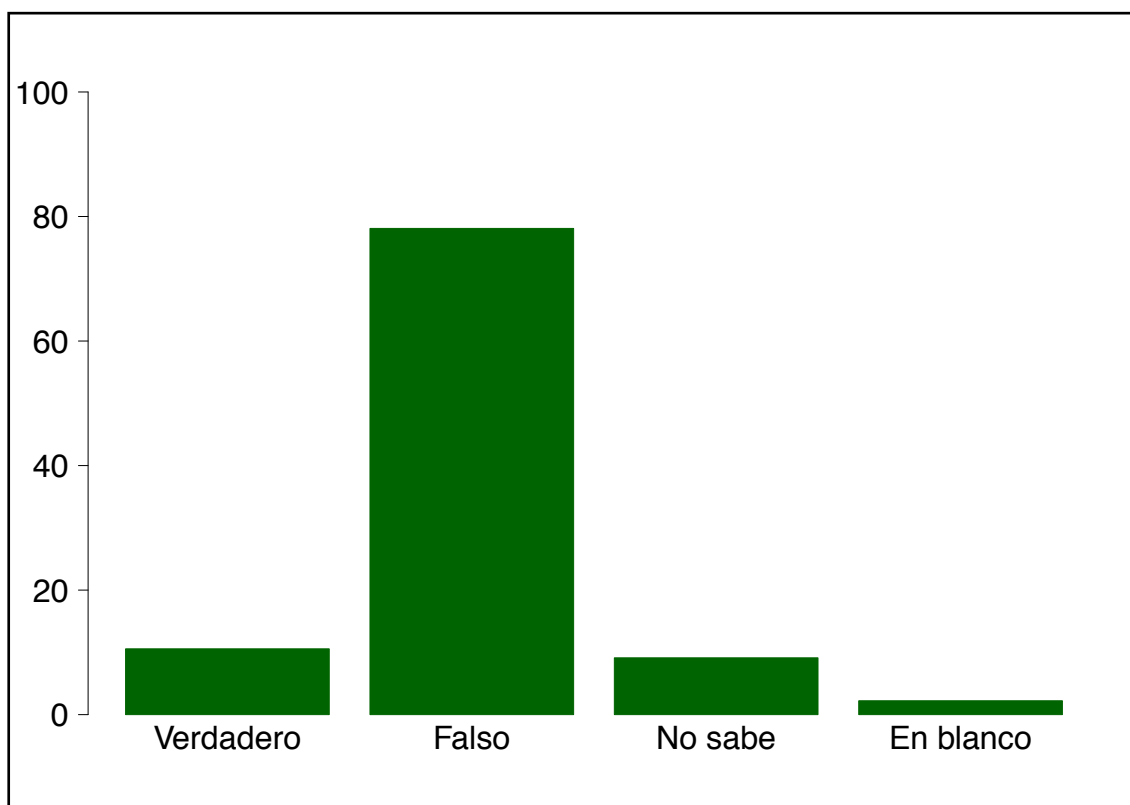


Figura 245. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: a pH = 0, las sustancias no son ni ácidos ni bases (1k).

Como se indicaba en el apartado *j*, ocurría que determinados sujetos asignan la neutralidad en términos de valores de pH a determinados objetos o fenómenos que consideran naturales o beneficiosos como la lluvia, el suelo, etc., idea preconcebida que fue descrita ya por varios autores (Banerjee, 1991; Çetingül y Geban, 2005), en la educación secundaria pero de la que no existen registros para el ámbito universitario.

Como forma de examinar también la conexión entre la ciencia aprendida en ambientes académicos y su posterior relación con los ambientes cotidianos se

les presentó a los alumnos el siguiente ítem, a modo de generalización como hemos venido haciendo hasta el momento: *“el pH de la lluvia natural es neutro”*. A diferencia de lo observado en las dos anteriores preguntas, donde estaba muy claro que los sujetos se decantaban por la opción correcta evitando la manifestación de determinados errores muy presentes en la educación preuniversitaria, en la universidad vemos que para esta cuestión los porcentajes comienzan a repartirse bastante entre las dos opciones principales y la opción del desconocimiento.

En la representación gráfica de los resultados obtenidos (figura 246), para el procesamiento de los datos de la generalización descrita, ocurre que un 28% entiende que efectivamente la lluvia natural debe poseer un pH neutro, lo que indica a causa de nuestra nomenclatura una presencia moderada en la muestra.

Desafortunadamente no podemos saber el por qué de esta respuesta ya que solamente indican que lo consideran neutro pero desconocemos la razón por la cual lo piensan. Un 46,1%, sin embargo, no admite que el pH de la lluvia natural deba poseer estrictamente ese valor de pH, es decir, siete en condiciones normales. Esto abre la puerta para conocer qué valores de pH le asignarían y qué razones aducirían para ello en estudios futuros.

Sin duda, el 22% asignado a la opción “no sé” (desconocimiento), destaca la importante cantidad de alumnos universitarios que no poseen criterios o información para determinar qué valor de pH puede tener la lluvia natural, esto demuestra que o bien desconocen el tema o no conectan en sus lecciones los fenómenos cotidianos con las tentativas teóricas de explicación de esa realidad.

Solamente un 3,9% dejó la pregunta en blanco lo que nos asegura que pudiendo haber escogido esta opción por falta de información o no haber estudiado esos contenidos muchos han decidido que tenían elementos de juicio suficientes como para marcar alguna de las restantes opciones mostradas.

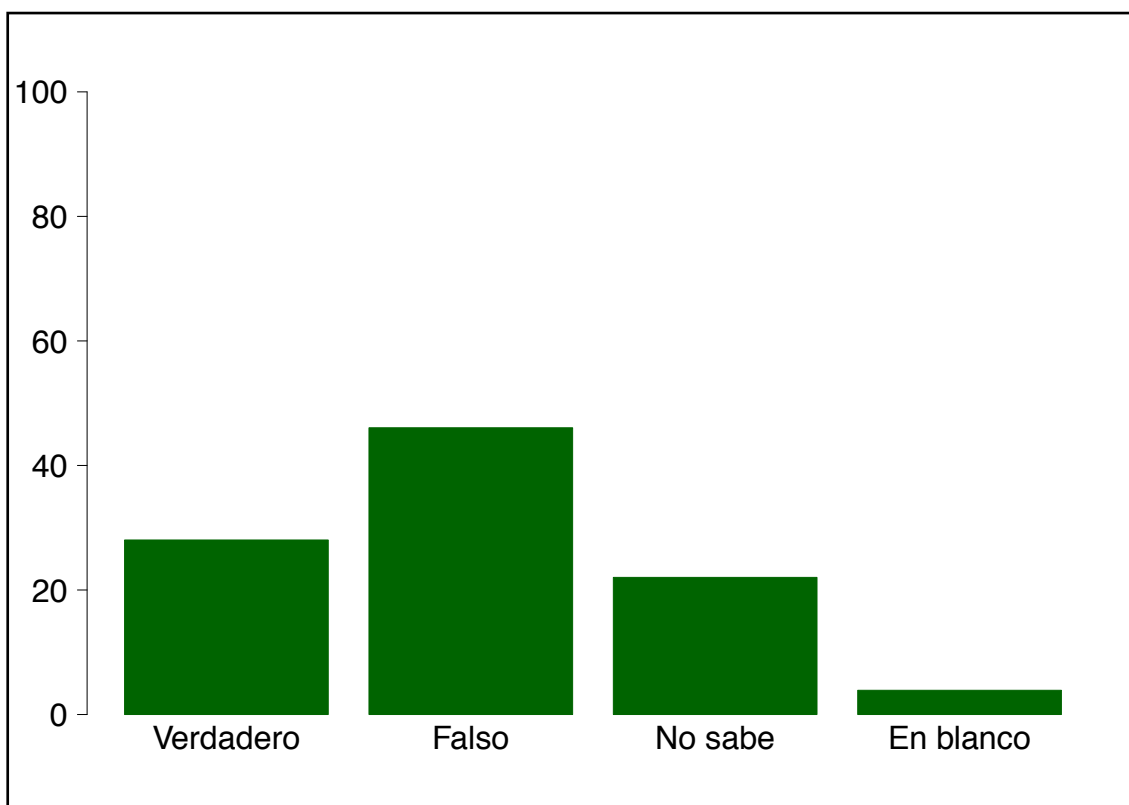


Figura 246. Distribución de porcentajes en general para el enunciado: el pH de la lluvia es neutro (1).

Los resultados de la pregunta dos, tanto su opción **a** como **b** se dirigen a ampliar nuestros conocimientos sobre el manejo de las tres teorías ácido-base principales que se estudian en los currículos de los grados de la U.L.P.G.C. El apartado **a** se centra en conocer qué carácter ácido-base es asignado al agua como sustancia primordial, que forma parte de las disoluciones de cualquier clase.

Se les expone a los alumnos cuatro posibilidades que serían pequeños enunciados provenientes de generalizaciones, toda vez mostrada la reacción de autoprotólisis del agua, siguiendo la teoría de Arrhenius. Así, “*el agua actúa sólo como base*” o bien “*el agua actúa sólo como ácido*” en su reacción de autoprotólisis, son las dos primeras opciones por las que se inclinan un escasísimo número de estudiantes.

En la representación gráfica de los porcentajes obtenidos para esta pregunta (figura 247), vemos que para la primera generalización tenemos que sólo un

2,4% de los encuestados la considera viable, marcándola, y sólo un 1,8% considera la segunda como posible; es evidente que los valores realmente importantes están distribuidos entre las dos últimas opciones.

Por tanto, la tercera opción nos indica que “*el agua es ácido y base simultáneamente*” que recalca su papel de sustancia anfotérica y que no es un actor pasivo sino activo de las reacciones que en su seno se producen. Dicha opción es marcada por un destacable 61,3% de los examinandos, lo cual evidencia que una gran cantidad de los alumnos comprende qué papel desempeña el agua en las reacciones ácido-base. Estos hallazgos, están en concordancia con el aporte del artículo de Bradley y Mosimege (1998), quienes obtuvieron que una media del 89,7% de profesores de química en formación aceptaba el carácter anfótero del agua.

No obstante (figura 247), una cantidad nada despreciable de estudiantes, concretamente un 29,3%, ha entendido que el rol del agua es contrario a la descripción previa. Ellos, han preferido considerar que el agua es un mero espectador de las reacciones que se producen no sólo en su interior sino también en la que la implica directamente.

Esta visión es profundamente incorrecta puesto que relega al disolvente, en este caso el agua, a un segundo plano que no le corresponde, puesto que cualquier reacción de estas características que en ella se produzca se verá influenciada y aún más si hablamos de la reacción que sufre el propio disolvente.

Un 5,2% de los sujetos encuestados, deja el ítem en blanco pues se encuentra sin elementos de juicio para poder decidir qué opción de las propuestas describe mejor el enunciado planteado. En el ámbito de la educación secundaria, varios autores (Drechsler y Schmidt, 2005; Ouertatani *et al.*, 2006; Schmidt y Volke, 2003), han encontrado también dificultades con el comportamiento ácido-base del agua

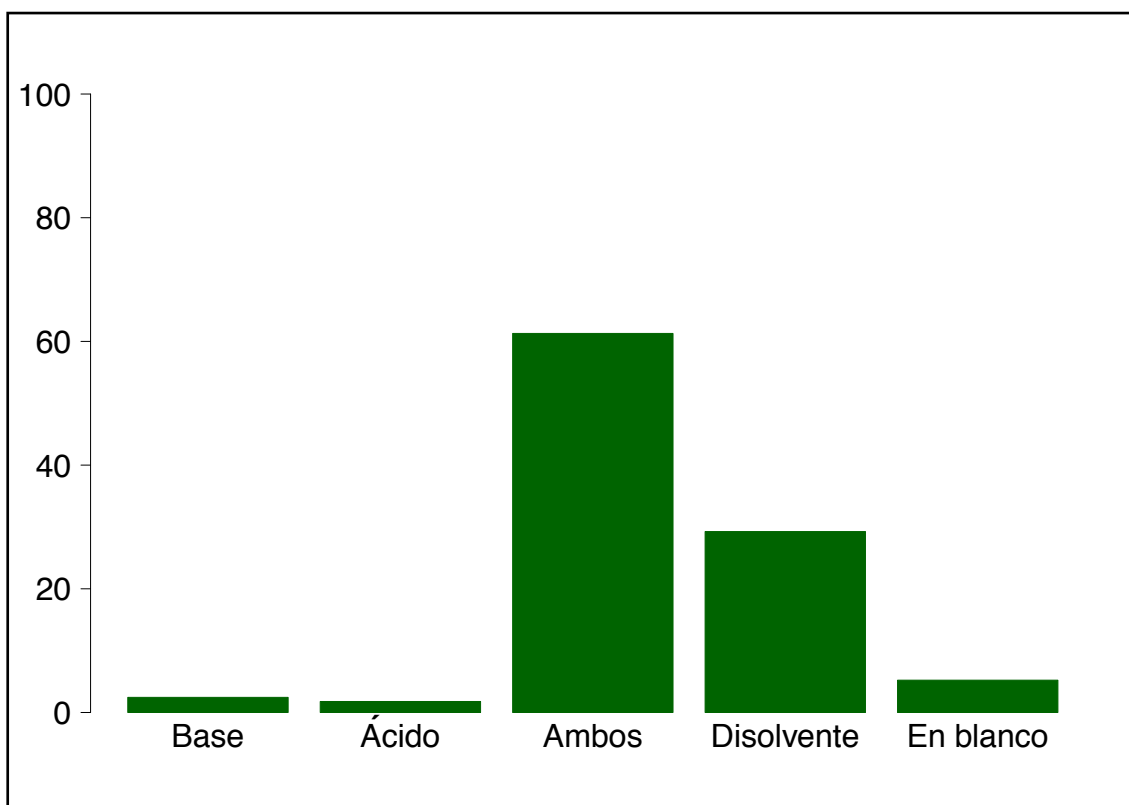


Figura 247. Distribución de porcentajes en general para la forma en la que actúa el agua en su reacción de autoprotólisis (2a).

Las opciones **b, c y d** del ítem dos, se tratan posteriormente en el tercer *bloque objetivo*, pues supone el análisis y agrupación pormenorizados de las figuras realizadas por los encuestados, en respuesta al manejo de las tres teorías ácido-base principales.

Por esta razón continuamos con la representación gráfica (figura 248), del ítem tres que conecta la edafología con los ácidos y las bases. El carácter ácido-base de los suelos no ha aparecido en ninguno de las investigaciones dirigidas a estudiantes universitarios, solamente aparecen ligeras referencias a estudiantes de secundaria (Çetingül y Geban, 2005; Salcedo y García, 1997).

Al ofrecerles cuatro generalizaciones posibles sobre el carácter ácido-base de los suelos naturales se ha podido constatar que un 2,3% piensa que los suelos no pueden ser ácidos mientras que un 2,4% indica que lo que no es posible es que sean básicos. La neutralidad es suscrita por un 9,3%, coincidiendo con el error que se buscaba. No obstante, la situación real por la que los suelos

naturales pueden ser neutros, ácidos o básicos es marcada por un 73%, lo que nos lleva a concluir que efectivamente nuestros alumnos universitarios tienen una visión bastante adecuada de la realidad del carácter ácido-base de los suelos. Por último indicar que un 12,9% deja en blanco la respuesta.

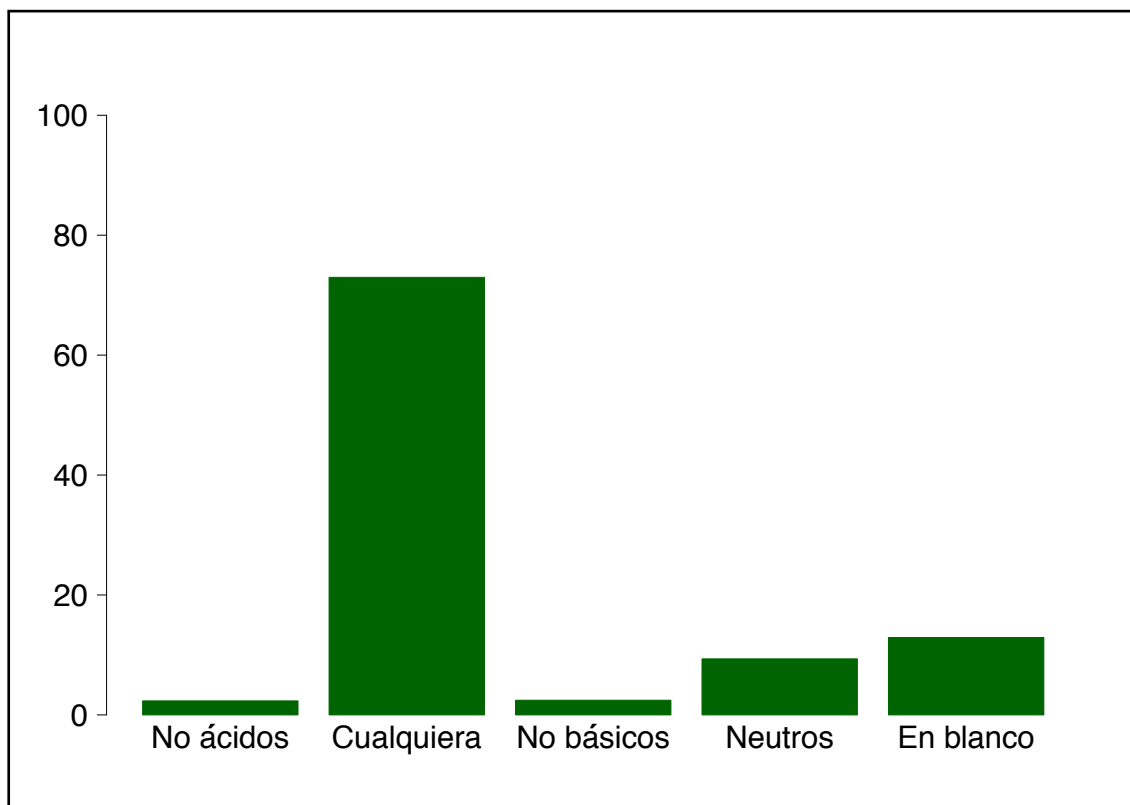


Figura 248. Distribución de porcentajes en general para el carácter ácido-base de los suelos (3).

Los objetos y fenómenos cotidianos guardan una estrecha relación con los contenidos o teorías que se imparten en la universidad. Se ha puesto en duda que realmente se establezca esa unión entre lo común y lo teórico.

Para tal fin, se les ofreció a los discentes clasificar dos compuestos muy conocidos y de amplio uso doméstico y que además suelen ser tratados en los currículos de bachillerato e incluso de la propia universidad. La lejía y la sosa cáustica son esos compuestos a los que se alude. Se admiten dos opciones principales: clasificarla como ácido o clasificarla como base; también se admite que en ausencia de criterios, no se rellene ninguna casilla, dejándose en blanco el ítem.

Se obtiene que (figura 249), un 57% considera la lejía como un ácido cuando realmente sabemos por su naturaleza química que se trata de una base. Ciertamente podríamos estar hablando de un error puntual, si este fuera el caso, se trataría de un error grandemente extendido entre la muestra estudiantil examinada. Sin embargo, un 39,2% parece conectar correctamente lo aprendido con lo común y por ello clasifica correctamente la sustancia como una base. El 3,9% ha decidido dejar el espacio en blanco y no utilizar ninguna de las opciones ofrecidas.

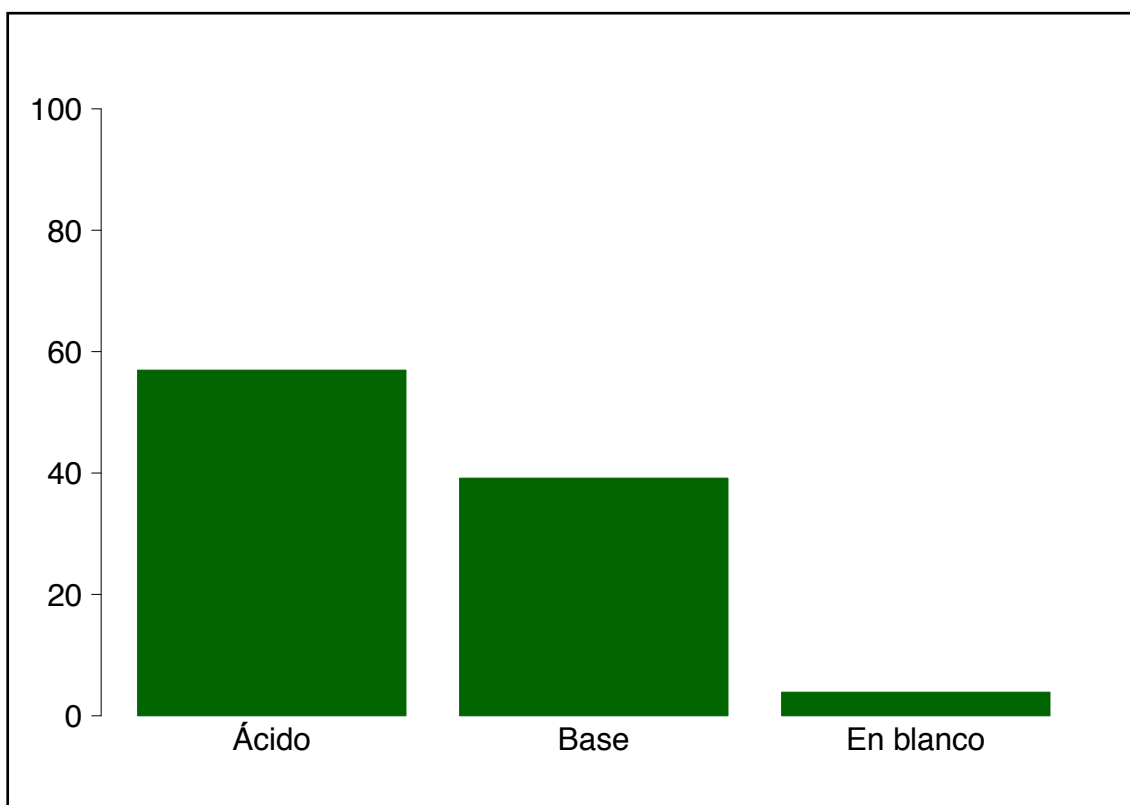


Figura 249. Distribución de porcentajes en general para la clasificación de la lejía (4a).

Ahora bien nos toca evaluar el apartado **b** de este mismo ítem en la que el objeto de estudio es la sosa cáustica. Podemos observar para este caso (figura 250), una clara tendencia hacia la clasificación como base con un 76,9% lo que vendría a demostrar que la opción correcta es la predominante en nuestros estudiantes universitarios y existe, al menos de manera descriptiva, una correcta asociación entre lo estudiado y lo común. Sería muy interesante conocer qué papel juega aquí el aprendizaje memorístico y cual el interpretativo

de los aspectos químicos correspondientes. Para un 18,1%, no obstante, la clasificación sería como ácido lo cual sabemos que no es correcto y finalmente un 5% no se decanta por ninguna de las opciones dejando las casillas es blanco.

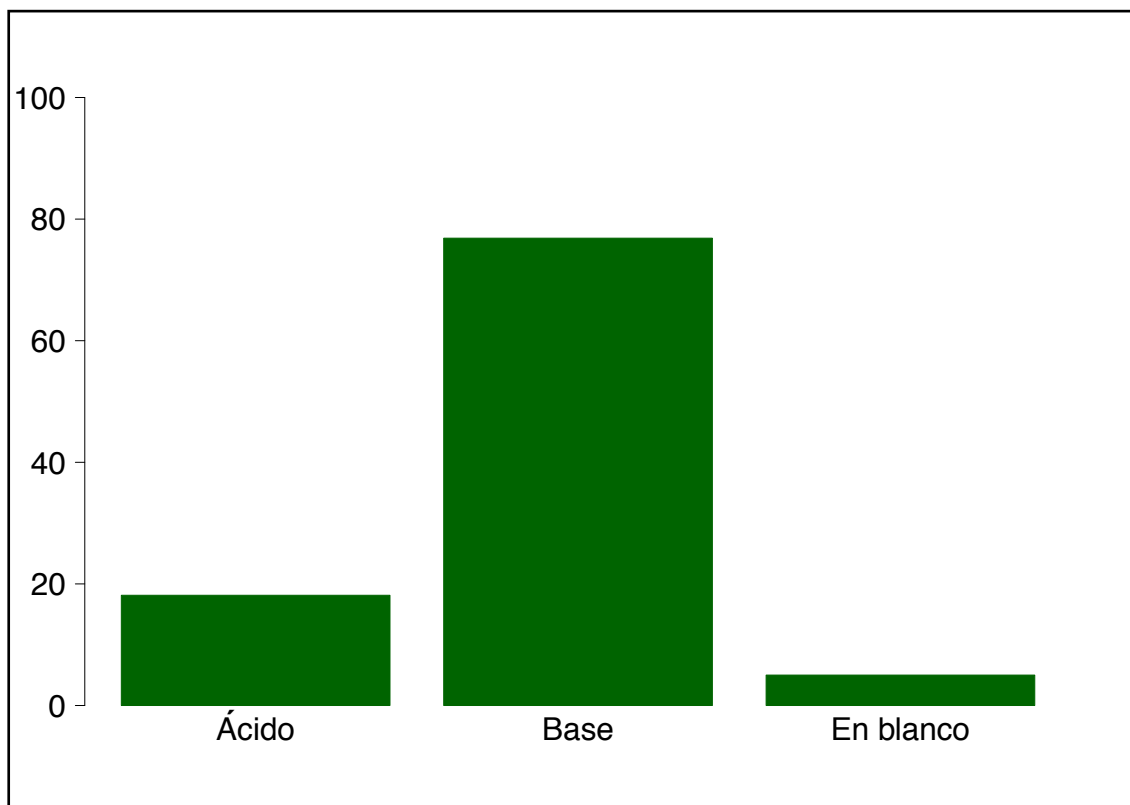


Figura 250. Distribución de porcentajes en general para la clasificación de la sosa cáustica (4b).

En estudio de las titulaciones ácido-base hasta el momento arrojan una concepción muy cerrada de estos procesos, entre ellas, que su pH final debe ser siempre siete o neutro independientemente de la naturaleza de las sustancias implicadas (Furió-Más *et al.*, 2000; Jiménez-Liso y De Manuel, 2002; Peña y Caamaño, 2002; Pinarbasi, 2007; Schmidt, 1991, 1997).

Por esta razón se han agrupado en tres sentencias las visiones más características de dicha concepción mencionada. A los examinados se les sitúa en una titulación ácido-base hipotética pero totalmente posible en la que se valora un ácido débil mediante una base fuerte, en la que se va añadiendo esta última hasta llegar al punto final cuyo pH vale aproximadamente nueve.

Así, en el inciso **a**, se expone que: “el pH final de dicha valoración ácido-base no puede ser nueve ya que al tratarse de una neutralización, su valor debe ser necesariamente siete”. En el gráfico obtenido (figura 251), se observa que un 52,7% estima incorrecta esta sentencia y da la solución correcta por la cual el valor de pH no tiene que ser siempre siete sino que puede sufrir variaciones.

La visión cerrada es marcada por un 25,3% de los sujetos en consonancia con los resultados obtenidos por Jiménez-Liso y De Manuel (2002) donde un 23% indicaba que la solución final debe ser neutra. Asimismo estos autores halaron que un 42% de opositores a profesores de química albergaban la misma idea.

Además Pinarbasi (2007), identificó que un 35% de profesores en formación cree neutro cualquier producto de una reacción ácido-base. Bradley y Mosimege (1998), sólo lograron descubrir que entre un 32% y un 70% confunde su uso. Por otra parte, la opción del desconocimiento que fue escogida por un 16,5%. Sólo un 5,6% dejó en blanco la pregunta.

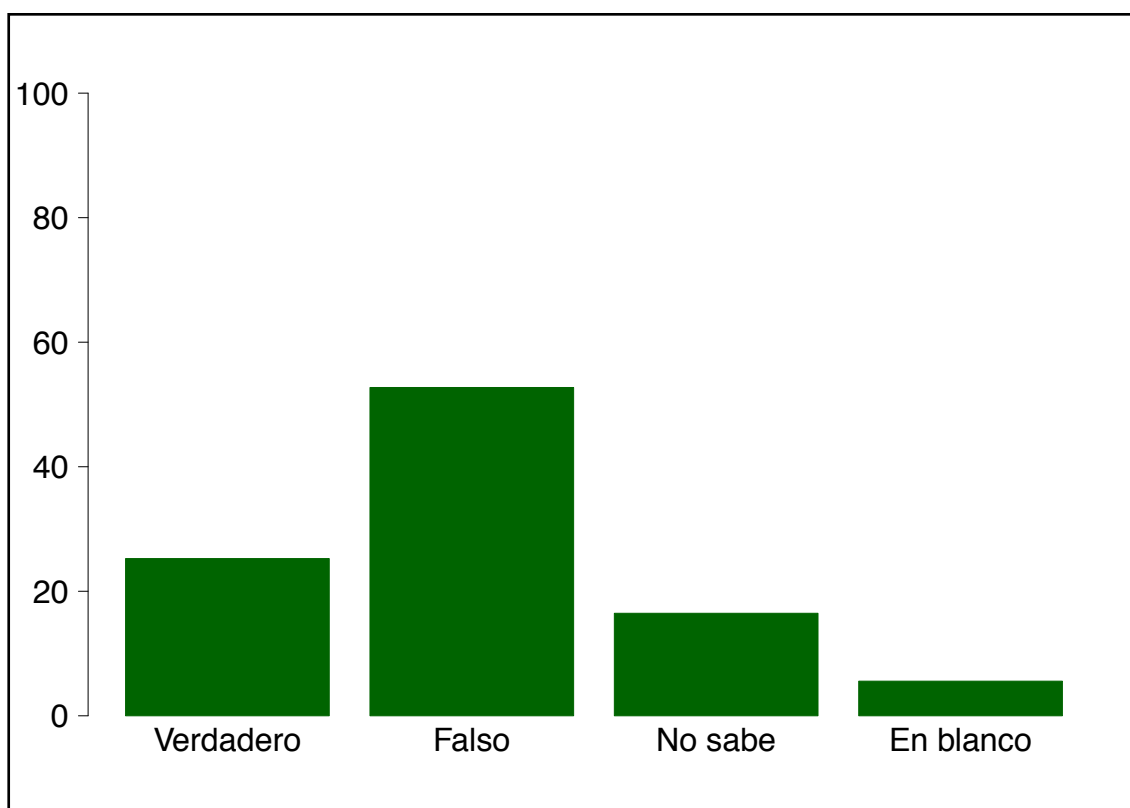


Figura 251. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el pH final de una titulación ácido-base es siempre siete (5a).

En el apartado **b**, la sentencia que los sujetos deben valorar es si el indicador quién permite que se produzca dicha reacción. Los indicadores, como su nombre correctamente sugiere, nos ayuda a indicar el momento en que todo el ácido o bien toda la base ha sido consumida o neutralizada mediante el compuesto contrario que estamos añadiendo. Este cambio se observa gracias a que los indicadores suelen ser ácidos o bases orgánicas que cambian de color y predomina uno de los dos según el pH de la disolución.

Parece que los examinandos de la U.L.P.G.C. tienen bastante claro el papel que juegan los indicadores ácido-base observándose (figura 252), que un 66,6% toma como falsa la hipótesis planteada. Empero, no deberíamos despreciar que un 9,9% considera acertada esta proposición. Súmese a esta cifra el que un importantísimo 18,6% no sabe cuál es rol de estos compuestos. Este tema forma parte de los currículos revisados por lo que resulta extraño que se ronde el 20% de alumnos manifieste un desconocimiento al respecto. Solamente un 4,9% deja el ítem en blanco.

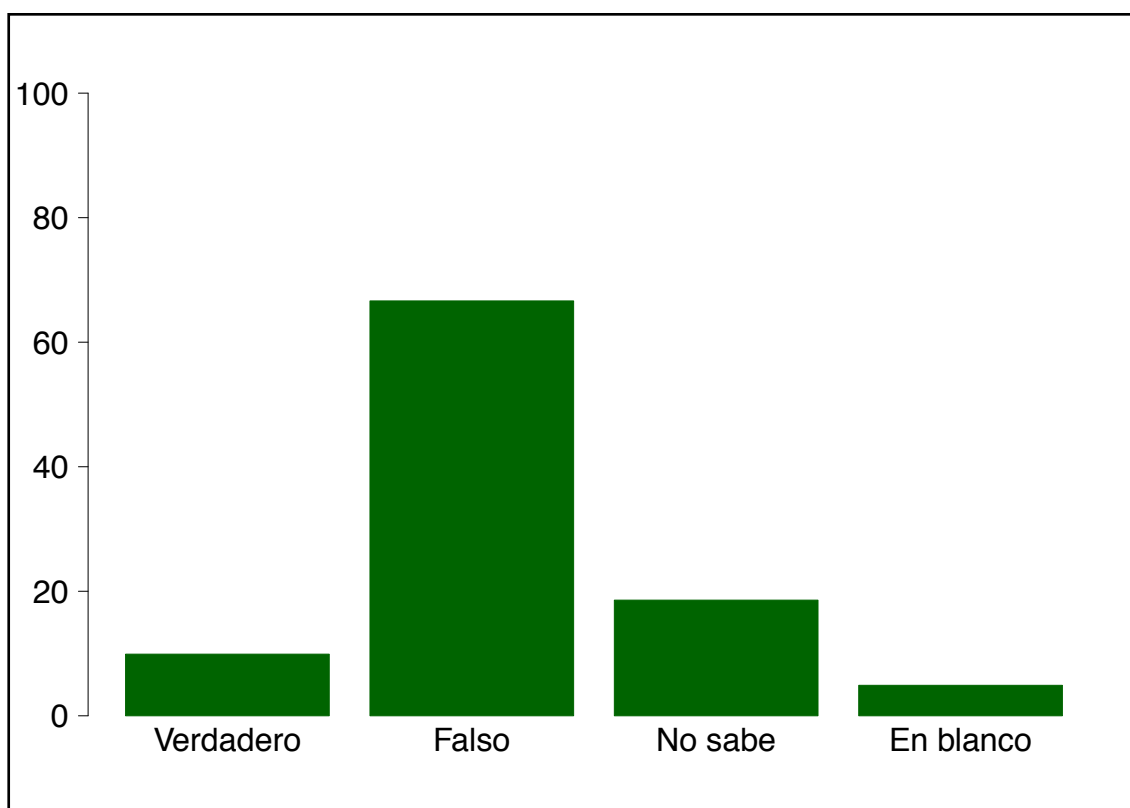


Figura 252. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el indicador se utiliza para que la reacción ácido-base se produzca (5b).

Cerramos el análisis de las valoraciones ácido-base con el análisis del cambio de color. Lo que nos compete es: ¿el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico? Según la distribución porcentual observada (figura 253), un 53,7% cree que la respuesta es verdadera, por lo que incurren en un error. El resultado concuerda con lo aportado por Bradley y Mosimege (1998), donde entre un 25% y un 44% no comprende el uso de los rangos de los indicadores.

Por el contrario, un 27,1%, parece entender el proceso real y expresa que esta posibilidad debe ser falsa. Si en el inciso anterior la balanza parecía inclinarse hacia la respuesta correcta, no ocurre lo mismo en este caso donde parece incrementarse la sentencia errónea. Aparece una ligera similitud en cuanto al elevado número de personas que vuelve a indicar que no sabe, con un destacable 15%, mientras que un 4,1% deja la casilla en blanco no decidiéndose por ninguna de las opciones anteriores.

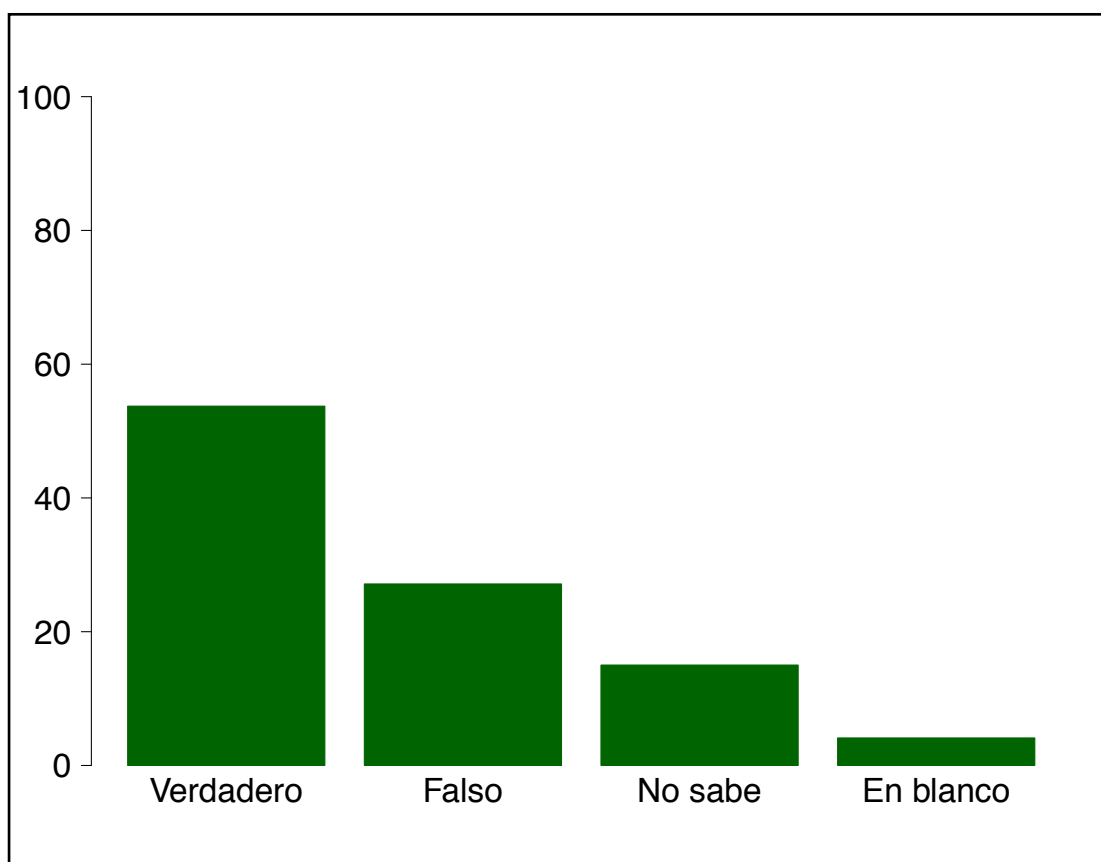


Figura 253. Distribución de porcentajes en general para la afirmación: el cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico (5c).

A continuación de muestra la tabla resumen que se ha venido tratando hasta el momento para el primer bloque objetivo y que permite clasificar la presencia del conocimiento precedente en cada grado universitario (tabla 30). Ahora bien, los porcentajes y el grado de presencia toman carácter general para todos los estudiantes de la U.L.P.G.C.

Afirmación	Porcentaje	Presencia
La fortaleza de un ácido radica en el número de protones estructurales.	38,6	Moderada
La fortaleza de una base radica en el número de grupos hidroxilo estructurales.	40,6	Moderada
Ácido fuerte y base débil no reaccionan	7,8	Minoritaria
Base fuerte y ácido débil no reaccionan	8,5	Minoritaria
Los ácidos fuertes dan lugar a un pH más alto que los débiles	29,9	Moderada
Los ácidos pueden quemar la piel, no así las bases	24,5	Moderada
Sal siempre neutra	21	Moderada
Grupo OH como criterio para ser base	35,8	Moderada
Grupo H como criterio para ser ácido	21,6	Moderada
5,5 es pH neutro	3,4	Minoritaria
A pH = 0 no hay ácidos ni bases	10,6	Moderada
El pH de la lluvia natural es neutro	28	Moderada
El agua no es ni ácido ni base, es un disolvente	29,3	Moderada
Los suelos son solamente neutros	9,3	Minoritaria
La lejía es un ácido	57	Elevada
La sosa cáustica es un ácido	18,1	Moderada
El pH final de una neutralización es siempre 7	25,3	Moderada
El indicador ácido-base produce la neutralización	9,9	Minoritaria
El cambio de color es a un pH único y específico	53,7	Elevada

Tabla 30. Resumen del conocimiento precedente ácido-base y su clasificación para el conjunto de estudiantes universitarios de la U.L.P.G.C.

5.2. Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para la aplicación a situaciones o fenómenos.

Con la pregunta seis nos iniciamos en la utilización de las teorías ácido-base y sus conceptos relacionados para la explicación de situaciones o fenómenos propuestos. En dicha pregunta se pide una interpretación sobre el equilibrio sencillo del dióxido de carbono en agua tomando como contexto la interacción entre el dióxido de carbono atmosférico y el agua presente en el océano, se descartan factores como la presión, temperatura, presencia de otros gases, etc.; es decir, estaríamos hablando de un escenario muy simplificado.

En el apartado **a**, se pregunta qué ocurriría con la presión parcial del dióxido de carbono en la atmósfera si comenzara a disolverse carbonato cálcico en el océano (disolución). En la figura 254, se contempla que la opción de un aumento de la presión parcial de este gas fue marcada por un 42,6% lo que nos revela que una cantidad importante de examinandos se ha inclinado por la idea correcta. Un 16,6% parece no comprender qué está ocurriendo con el equilibrio químico al producirse la disolución de una sustancia que aporta al equilibrio el ión carbonato ya que consideran que la presión parcial disminuye lo cual no es posible.

Para un 9,68% la disolución de esta sal no afecta al equilibrio dado que creen que la presión parcial se mantiene. La respuesta “no sé” alcanza hasta un 24,7% lo cual resulta llamativo teniendo en cuenta la importancia de los equilibrios en los estudios de química. Por último, un 6,5% decide dejar en blanco la pregunta. Estos resultados incorrectos, que en suma superan el 50%, están acordes con otros estudios en universitarios (Cros *et al.*, 1984; Huddle y Pillay, 1996; Quílez y Sanjosé, 1995; Voska y Heikkinen, 2000), en los cuales se realizó especial énfasis en el principio de Le Châtelier-Braun, aspecto que no se ha evaluado aquí pero que tienen relación.

Lo que más importa es que según esta comparativa, el conocimiento no está generalizado. Las correcciones observadas pueden ser debidas al poco

entendimiento del dinamismo del equilibrio del dióxido de carbono en disolución acuosa, su desplazamiento tras una perturbación y el efecto sobre el pH. Toda esta clase de errores está presente también en otros estudios (Berquist y Heikkinen, 1990; Cachapuz y Maskill, 1989; Camacho y Good, 1989; Furió-Más y Ortiz, 1983; Gorodetsky y Gussarsky, 1986; Hackling y Garnett, 1985; Johnstone *et al.*, 1977; Pedrosa y Dias, 2000; Van Driel *et al.*, 1998; Wheeler y Kass, 1978).

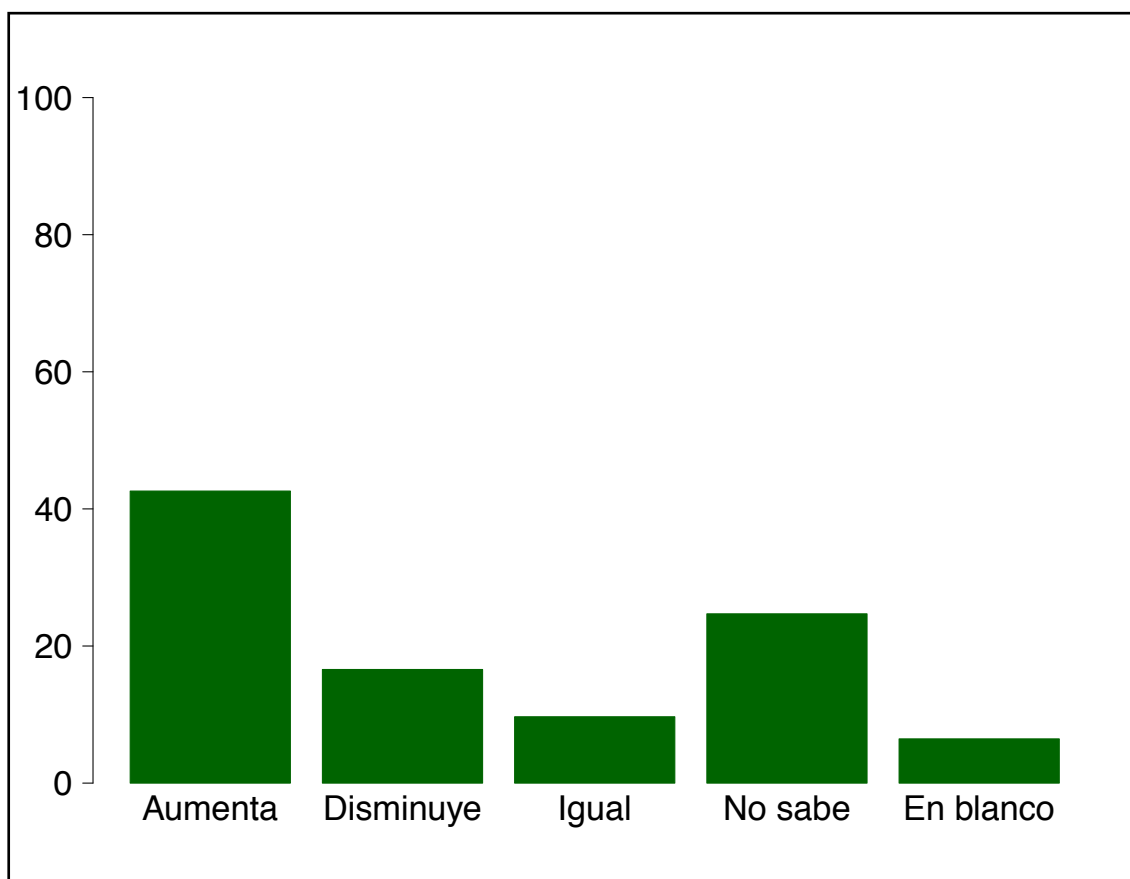


Figura 254. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve CaCO_3 en la disolución? (Esquema 6a).

En el apartado **b** se desea averiguar qué volverá a ocurrir con la presión parcial del dióxido de carbono, pero en este caso, cuando se invierte el proceso. ¿Qué ocurre con el carbonato cálcico (CaCO_3) el cual comenzaría a precipitar a partir de la disolución (océano)?

Una formación de carbonato cálcico comenzaría a retirar iones carbonato, procedentes del equilibrio químico planteado en la figura del cuestionario, lo

que obligara a éste a desplazarse por la ley de acción de masas hacia la derecha provocando una mayor disolución del gas. Este efecto provoca que disminuya la presión parcial del dióxido de carbono en la atmósfera.

La figura 255, demuestra que por la respuesta anterior se manifestó solamente un 33,9% de nuestra muestra mientras que un 15,4% percibe incorrectamente que el efecto es el contrario y decide marcar que la presión parcial aumenta. Vuelve a aparecer el elevado valor de estudiantes, un 31,1%, que no es capaz de entender el problema y por ello tiende a marcar la opción de “no sé”.

Aumentan los sujetos que se inclinan por la falta de relación entre la precipitación de esta sal y el equilibrio que se les muestra, en este caso, un 7,3% ha tomado la decisión de no marcar ninguna de las opciones disponibles y deja en blanco la casilla.

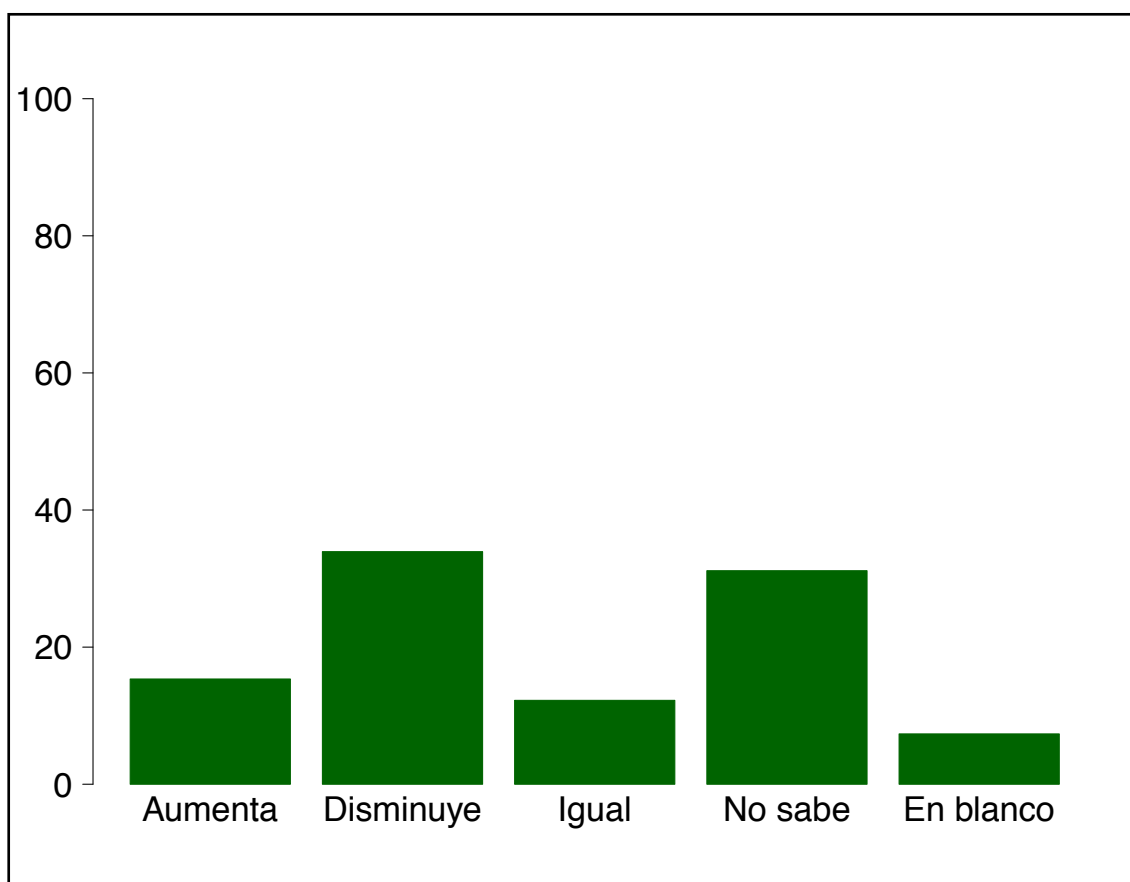


Figura 255. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurre con la presión parcial del CO_2 si precipita CaCO_3 ? (Esquema 6b).

El apartado **c** propone vincular el equilibrio químico del dióxido de carbono (CO_2) y la acidez del océano que tanta implicación medioambiental actualmente. Para esto se les propone evaluar qué ocurrirá con el pH del océano si por una razón cualquiera aumentara la presión parcial de CO_2 en la atmósfera. Un aumento de la presión parcial del CO_2 supone una mayor disolución de este gas, elevando la concentración de protones lo cual disminuye el valor de pH, volviendo más ácido al océano.

Mediante la representación gráfica (figura 256), se observa que, un 21% está de acuerdo con el análisis correcto del proceso, al contrario de un 17,2% que indica que el pH aumenta por lo que considera una relación directa entre la concentración de protones y el pH. Para un 24,1% un aumento de la presión parcial del dióxido de carbono resulta en una nula influencia sobre el pH. Un importantísimo 30,7% manifiesta no saber qué es lo que ocurre mientras que un 6,9% deja la cuestión en blanco.

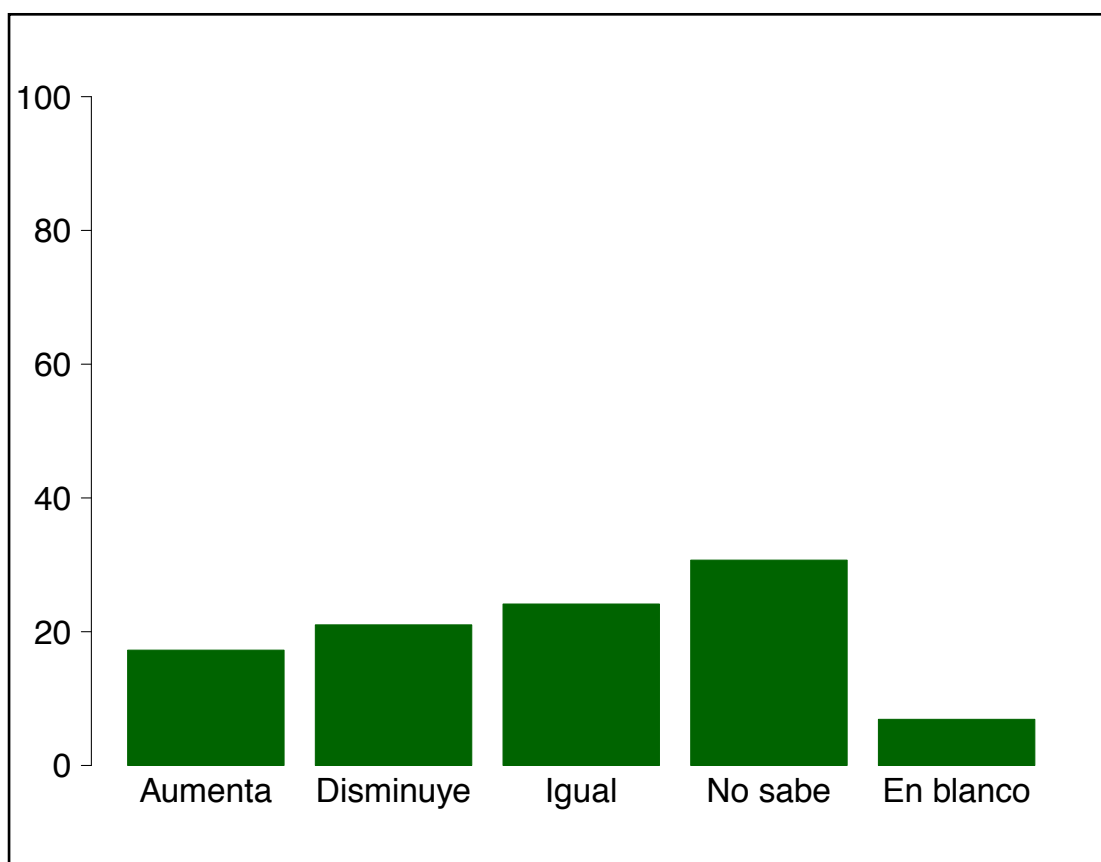


Figura 256. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso? (Esquema 6c).

Hasta la pregunta seis se ha podido conocer qué ocurre con muchos conceptos ácido-base en contextos de tipo inorgánico como el ejemplo de los océanos. En las investigaciones precedentes no se evaluaron casos de naturaleza biológica e incluso no se había examinado a estudiantes de carreras que estuviesen fuertemente ligadas a la biología como pueden ser la medicina, la veterinaria, etc., solamente se había evaluado algunas ideas alternativas en las licenciatura de farmacia y bioquímica (Watters y Watters, 2006).

Como ya se ha entendido del análisis de los currículos oficiales de la U.L.P.G.C., no sólo el grado de química y afines poseen contenidos ácido-base sino que también las que se encuentran enmarcadas en las ciencias de la salud, la biología o las ciencias marinas. Con el propósito de avanzar sobre los contextos y muestras de alumnos ya estudiados es que se ha diseñado la pregunta siete donde se ofrece a los alumnos una situación en la cual se les plantea el mismo equilibrio químico anterior salvo que el contexto donde se produce es en el interior de un animal de respiración pulmonar.

En el apartado **a**, se les cuestiona hacia dónde se desplazaría el equilibrio del tampón bicarbonato si el animal respirase aire con una elevada presión de dióxido de carbono (CO_2). Tal y como se les ha mostrado en el cuestionario, el equilibrio debe desplazarse hacia la izquierda o lo que es lo mismo hacia la disociación de la reacción de los productos de este gas con el agua, los cuales son los protones y los iones carbonato.

La anterior opción, que es la correcta, fue marcada (figura 257), por un 50,6%, sin embargo, un 18,8% considera que el equilibrio se comporta de manera inversa a lo esperado desplazándose hacia la formación de dióxido de carbono completamente en contra de la ley de acción de masas. Un bajísimo 3,2% entiende que un aumento de la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2), no afecta al equilibrio planteado y por ello piensa que no hay desplazamiento. Existe un 21% que no tiene criterios para comprender el funcionamiento de este equilibrio y por ello marca la opción “no sé”, a la par que un 6,3% no marca opción, dejando en blanco el apartado.

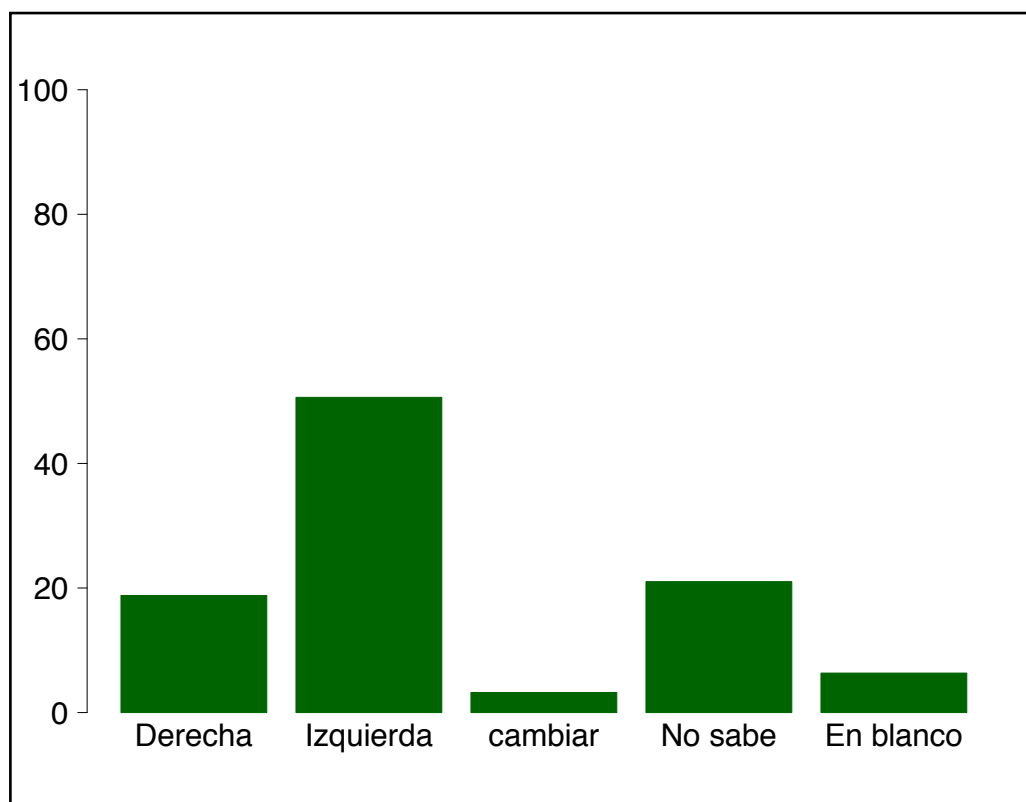


Figura 257. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando el animal respira aire con elevada presión parcial de CO_2 ? (Esquema 7a).

En el apartado **b**, se les indica a los sujetos, la posibilidad de que se segregue ácido láctico en sangre. La aparición de este compuesto provocaría, como ácido que es, la cesión de protones a la disolución y por tanto se produciría una acidificación de ésta.

Por el propio funcionamiento del equilibrio, se contrarresta este efecto lo que permite mantener el pH dentro de los valores fisiológicos no perjudiciales para el organismo, desplazándose el tampón carbonato hacia la derecha, consumiendo protones.

Con respecto al inciso anterior descendió notablemente el número de personas que escogieron la respuesta correcta (figura 258), ya que solo un 30,3% lo hizo. Por otra parte, un 16,7% le ocurre algo muy parecido a los del apartado superior, entendiendo mal equilibrio y respondiendo a la inversa de lo esperado lo cual redundaría en una mala interpretación del desplazamiento del equilibrio.

Para una minoría de un 8,1%, el equilibrio no se vería afectado por la adición de este ácido a la sangre y vuelve a destacar la opción “no sé” con un 36,9%. Solamente un 8% deja en blanco la cuestión.

Los resultados obtenidos están en consonancia con los problemas que se han encontrado en estudios precedentes (Cros *et al.*, 1984; Huddle y Pillay, 1996; Quílez y Sanjosé, 1995; Voska y Heikkinen, 2000).

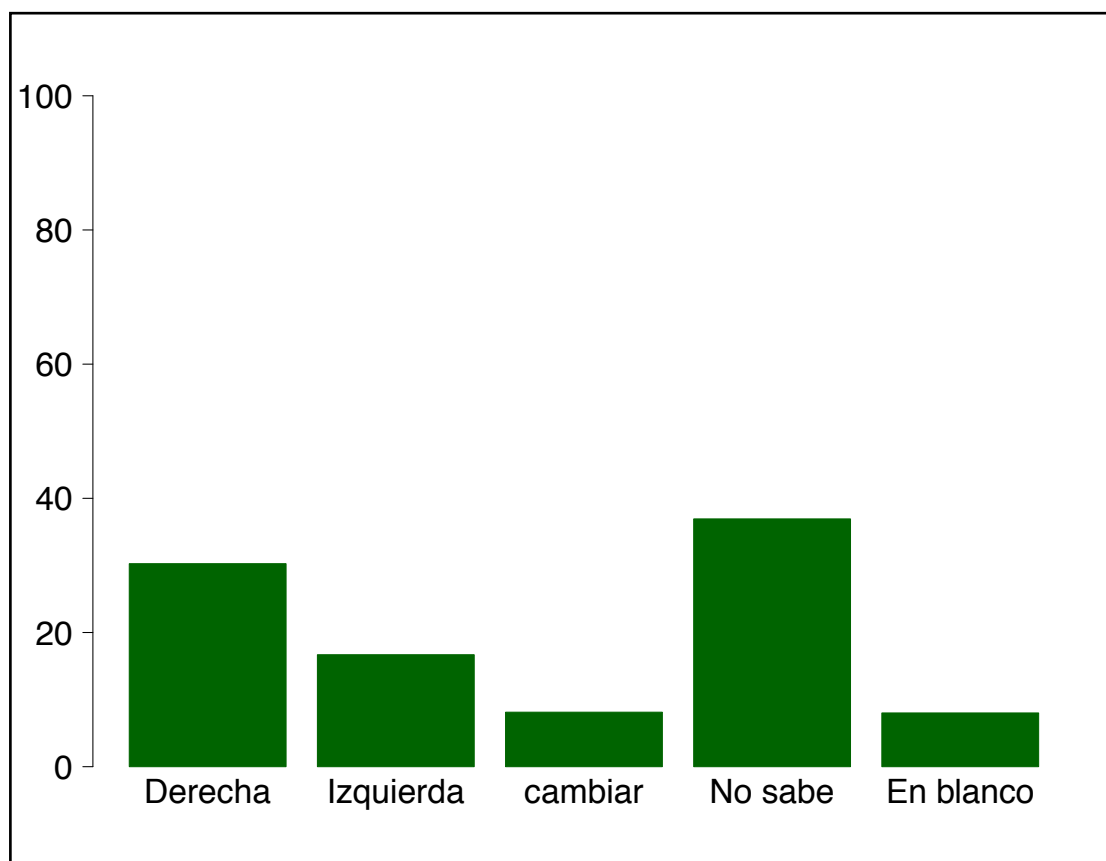


Figura 258. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato si se segrega ácido láctico procedente del músculo? (Esquema 7b).

Por último, en el apartado **c**, se pretendía evaluar el efecto de la adición de una base al equilibrio propuesto dado que en el inciso superior se comentó el efecto de un ácido. Por ello se pregunta qué podría ocurrir si al torrente sanguíneo se vertiera amoníaco procedente de procesos metabólicos.

Debe entenderse que el amoníaco, como base que es, tenderá a captar los protones libres aumentando el valor de pH, así, el equilibrio se ve desplazado

hacia la izquierda. Partiendo de la figura 259, se observa que el 16,9% marca la opción correcta interpretando correctamente el desplazamiento que le corresponde al equilibrio, no obstante, un 17,5% vuelve a entender el problema del revés creyendo que la adición de la base inclina este equilibrio hacia la derecha produciéndose formación de dióxido de carbono.

En este caso, a diferencia de los dos apartados anteriores, aumenta enormemente el número de examinandos, que es ahora de un 18,9%, que toman en consideración que el equilibrio propuesto no se ve afectado por la perturbación que supone la adición de una base. Destaca aún más el 38,5% de sujetos que indica no saber qué sucede en esta situación y un 8,2% se decanta por dejar en blanco la pregunta.

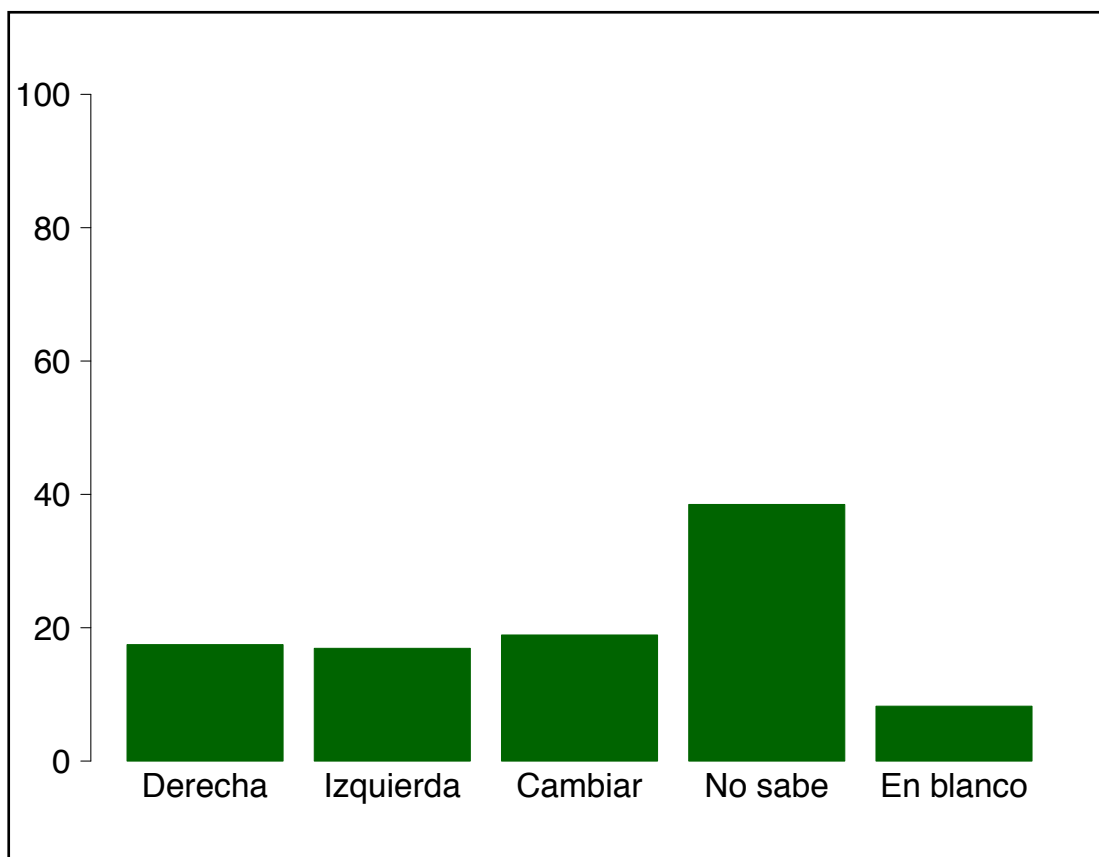


Figura 259. Distribución de porcentajes en general para la pregunta: ¿hacia dónde se desplaza el tampón carbonato cuando se segrega NH_3 hacia la sangre? (Esquema 7c).

Para llegar a la solución del problema planteado en la pregunta ocho, es preciso entender la disociación e ionización de las sustancias con carácter

ácido-base. Partiendo de la representación gráfica (figura 260), ocurre que un 16,6% de los universitarios considera que solamente deberíamos añadir a ese cuenco una disolución ácida pues únicamente los ácidos son capaces de conducir la electricidad. El papel jugado por los ácidos en la conducción de la electricidad es mayor que las bases ya que solo para el 11,8% una disolución básica podría ser añadida al cuenco puesto que únicamente las bases podrían conducir la electricidad. Estas dos respuestas son subgeneralizaciones puesto que ambas sustancias permiten el paso de la electricidad.

Así, un 34,5% de los sujetos escoge la respuesta correcta indicando que podemos añadir tanto una disolución básica como una ácida ya que cualquiera de las dos permitirían la conducción de la electricidad. Para un 18,7% la solución pasa por no añadir ninguna de las dos disoluciones anteriores puesto que ni ácidos ni bases disueltos conducen la electricidad cayendo en un grave error. Por último nos queda un 18,5% que ha dejado la pregunta en blanco lo que indica un grave desconocimiento de esta cuestión.

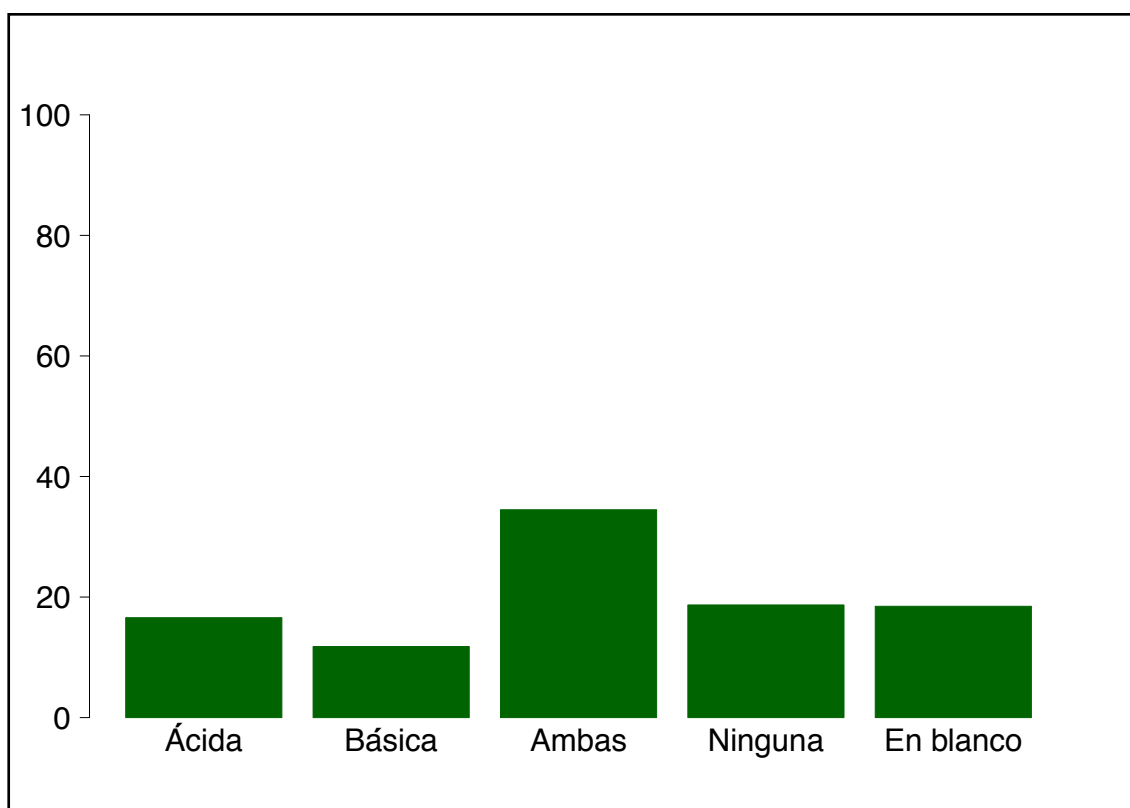


Figura 260. Distribución de porcentajes en general para el tipo de disolución que permite encender la bombilla del circuito eléctrico (Esquema 8).

En esta cuestión se pretende observar, en estudiantes universitarios, la interpretación de la especie predominante entre las presentes en un ácido poliprótico a distintos valores de pH. Con este fin se les suministró una gráfica dónde se describe la especiación del ácido fosfórico para el rango de pH de cero a catorce, indicándoles las especies presentes.

Se les cuestionó sobre la especie que predomina a un pH de valor cero. Los resultados (figura 261), indican que un 56,7% se inclina por la opción correcta comprendiendo que a valores de pH tan bajos la forma favorecida es la más protonada, en este caso el ácido fosfórico (H_3PO_4). Un 18% sin embargo, considera que la especie mayoritaria es el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-). El hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}), es la especie mayoritaria para un 3,8% y el ión fosfato (PO_4^{3-}) lo es para un 8,3%. Ambas son incorrectas por hallarse muy alejadas su porcentaje de formación en la gráfica del valor de pH que se indicó en la pregunta. Un 13,1% no es capaz de interpretar correctamente la gráfica por lo que deja el inciso en blanco.

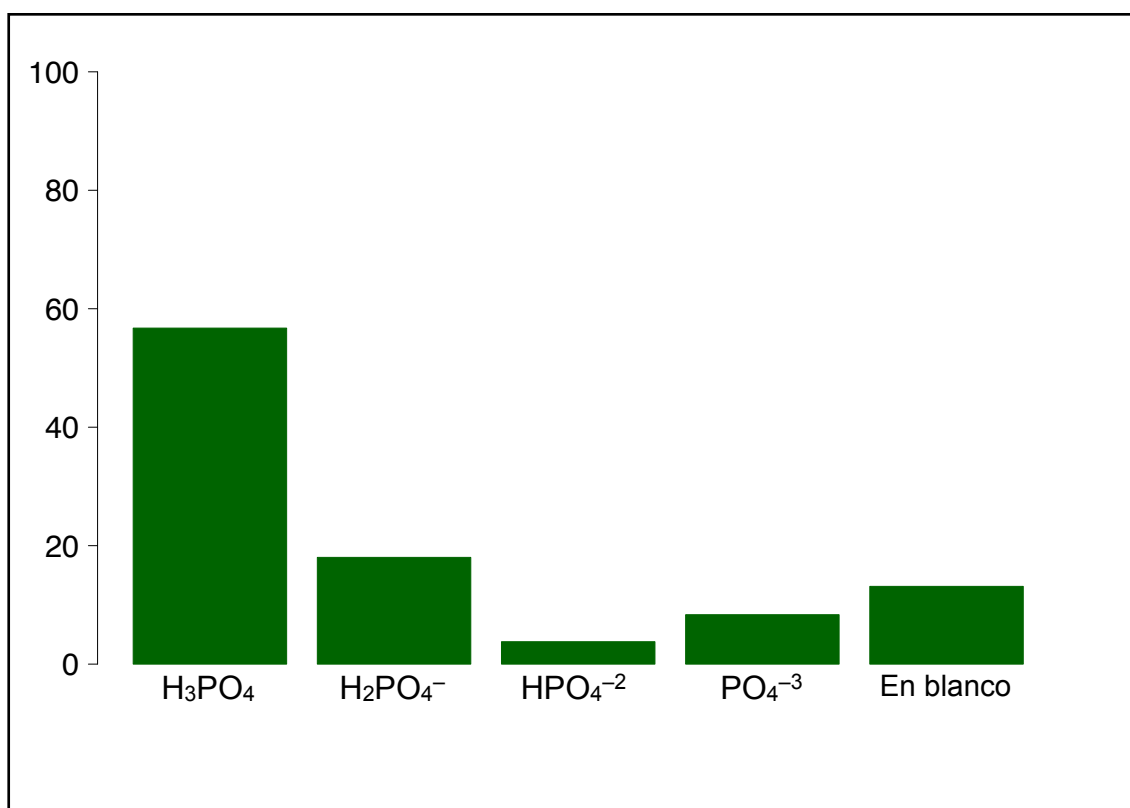


Figura 261. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a cero (Esquema 9a).

El siguiente valor de pH para el cual se pide determinar la especie mayoritaria es diez. Al valor indicado, si observamos la gráfica suministrada, ocurre que es el hidrógeno fosfato (HPO_4^{2-}) la especie que mayor porcentaje de formación presenta. Siguiendo los resultados (figura 262), un 55,5% marca la opción correcta, mediante la gráfica que la especie que predomina en la disolución es la mencionada anteriormente. Un 14,1% indica, que la menos protonada (PO_4^{3-}), es la favorecida cuando esto no es posible a estos valores de pH, dado que solamente a partir de diez es que comienza a aumentar.

Para el 12,2% la especie favorecida sería el dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), el cual se encuentra en valores mínimos junto al fosfato a valores de pH de diez, por lo que estamos ante una malinterpretación de las observaciones en la gráfica junto al 4,9% que se declina por la especie más protonada que es el ácido fosfórico (H_3PO_4), que no puede a esos valores encontrarse como la más favorecida. Un 13,2% no posee criterios para indicar qué especie debería estar mayoritariamente presente la disolución propuesta.

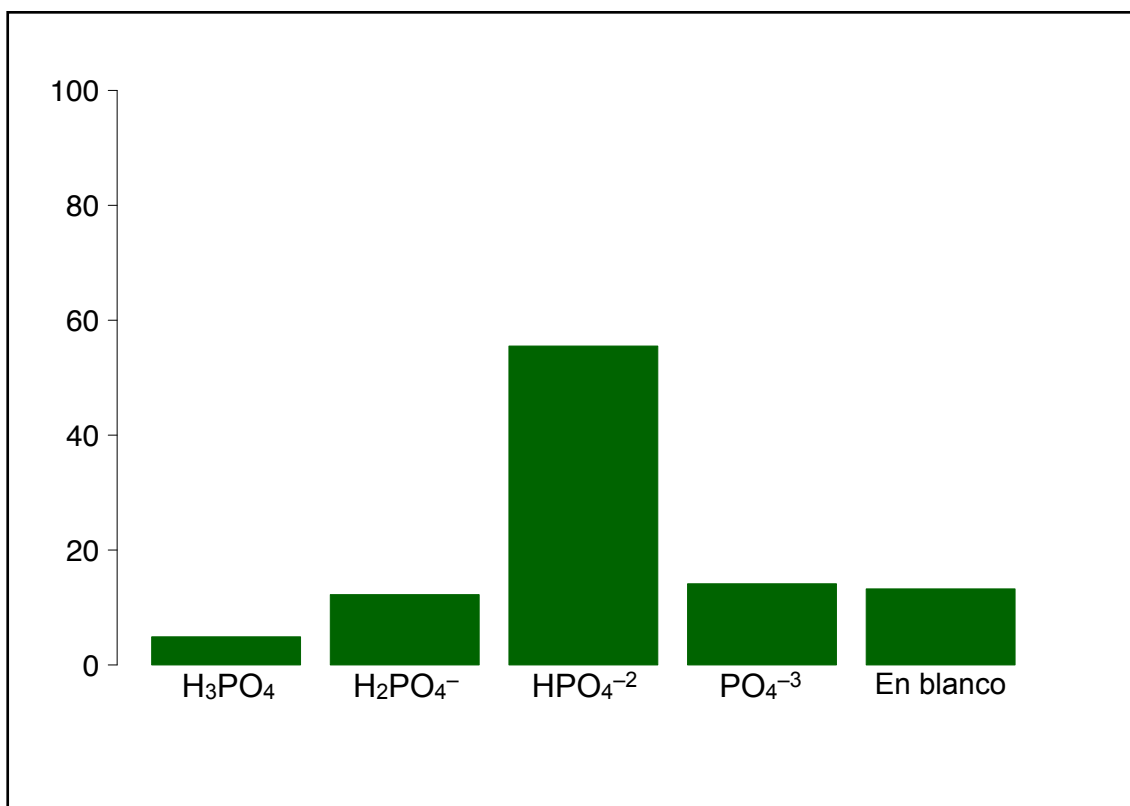


Figura 262. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a diez (Esquema 9b).

Para culminar la cuestión nueve, el apartado **c**, plantea qué especie de las ya estudiadas estará presente en mayor porcentaje a un valor de pH de valor catorce. En estos extremos, las condiciones de la disolución son muy básicas de manera que siempre se verá favorecida la especie desprotonada, que en el caso que nos ocupa, se refiere al ión fosfato (PO_4^{3-}) ya que el compuesto en el equilibrio tenderá a donar el máximo posible de protones a la disolución.

Bajo la observación de la representación gráfica (figura 263), se describe que un 60,8% ha comprendido claramente el equilibrio y por ello marca la opción correcta al indicar que el fosfato (PO_4^{3-}) es la especie favorecida. Al contrario, un 9,6% expresa que es el hidrogeno fosfato (HPO_4^{2-}), un 4,6% que se trataría del dihidrógeno fosfato (H_2PO_4^-), que está en concentraciones muy bajas y finalmente un 9,6% que es el ácido fosfórico (H_3PO_4), que es es la especie más protonada y no podría encontrarse a esos valores de pH más que en concentraciones muy bajas. Un 15,5% desconoce qué compuesto de los que se describen se encontraría favorecido y deja el apartado en blanco.

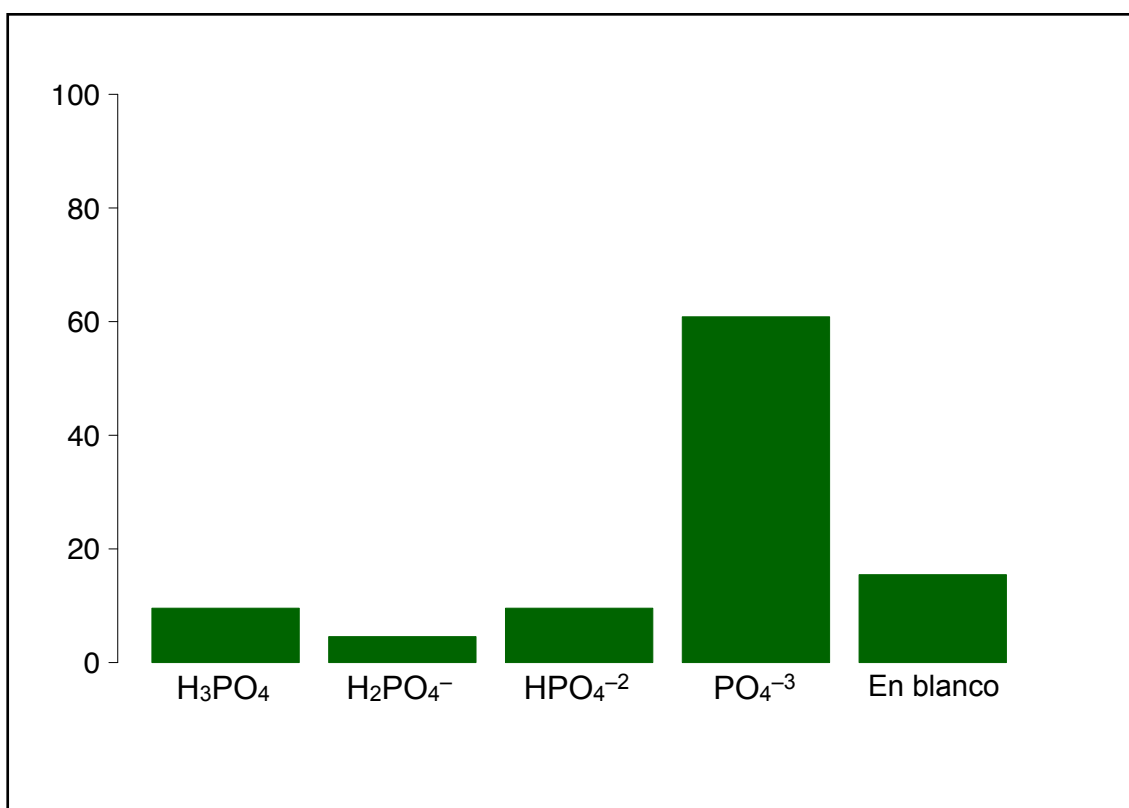


Figura 263. Distribución de porcentajes en general para la especie química favorecida a pH igual a catorce (Esquema 9c).

5.3. Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

En este bloque objetivo se analizan las figuras realizadas por los estudiantes universitarios donde intentan interpretar la reacción de autoprotólisis del agua mediante las tres teorías ácido-base principales propuestas en el cuestionario y de las que hemos venido tratando a lo largo de esta tesis doctoral. A continuación, se expresa un agrupamiento de estas respuestas basándonos en el enfoque de las generalizaciones, es decir, lo observado parte del conocimiento generalizado que los sujetos poseen en su mente y que deciden particularizar o aplicar para la tarea que se les indica resolver.

El agrupamiento principal se debe a las tres teorías mencionadas, posteriormente se procede a una subdivisión en cada una de ellas siguiendo la observación de los casos resueltos, es por ello que tras estudiarlos y clasificarlos, se halló un patrón en las soluciones correspondientes a las tres teorías ácido-base. Ese patrón se corresponde con una serie de **casos correctos** que se ajustan a la resolución adecuada de la tarea pedida, si bien no se pudo determinar si proceden de la memoria o de generalizaciones. Están también los casos **incorrectos**, los cuales se deben a que, o bien confundieron e hibridaron teorías o se equivocaron en la resolución. Finalmente, aparecen una serie escasa de casos tentativos que no se pueden considerar correctos desde el punto de vista de los postulados de las teorías ácido-base, sin embargo, no son del todo incorrectos sino que se observa una mezcla y una gradación entre las generalización y la particularización de ésta.

Posteriormente dentro de cada una de estas tres subdivisiones se han encontrado patrones comunes en ciertas respuestas, especialmente las tentativas lo que permite realizar otras nuevas divisiones según ciertos patrones descritos en los dibujos. Es interesante recalcar, nuevamente, la importancia de los casos tentativos y también de los erróneos ya que funcionan como los genes defectuosos para la genética, pues permiten identificar qué función tiene, dónde se está produciendo el problema y más importante aún los

mecanismos y generalizaciones de las que disponen estos alumnos para realizar las aproximaciones a la solución de la tarea.

5.3.1. Teoría de Brønsted-Lowry.

La primera teoría ácido-base que necesitaban conocer los alumnos para poder escribir la reacción de autoprotólisis del agua, utilizando los postulados característicos, es la de Brønsted-Lowry; de las tres escogidas es la que históricamente vino a sustituir las limitaciones de la propuesta por Arrhenius pero se tratará en primer lugar para respetar el orden seguido en el cuestionario. A continuación, trataremos los resultados obtenidos para la distribución de porcentajes de los casos incorrectamente resueltos, correctamente resueltos y los casos en que se dejaron en blanco las respuestas.

A partir de esta representación gráfica de los porcentajes calculados (figura 264), se observa un elevado desconocimiento en la aplicación de la teoría, lo que viene a confirmarse con un 85,2% de los sujetos que deja el espacio adjudicado para la respuesta en blanco.

Lo que debían entender en este caso los sujetos, era que las reacciones ácido-base para Brønsted y Lowry suponían una transferencia de protones desde el ácido hacia la base y que por tanto se daban pares de ácido-base conjugados a ambos lados de la igualdad de la reacción, esa es la generalización esperada que luego debe aplicarse a los casos concretos.

La peculiaridad consistía en tomar dos moléculas de agua que actuarían, como corresponde a una sustancia anfotérica, una como base y otra como ácido dando como resultado un grupo hidroxilo (OH^-) y un ión hidronio (H_3O^+) que serían la base y el ácido conjugados respectivamente. Se admitía también el colocar la molécula de agua en el lado izquierdo de la ecuación precedido de un dos, para evidenciar la dualidad de la reacción de las moléculas de agua.

Esta visión ajustada a los postulados teóricos solamente fue comprendida por un escasísimo 5,6%, mientras que 9,2%, no consiguió describir la reacción adecuadamente (figura 264). Empero, una mirada atenta a ese 9,2% de soluciones incorrectas, nos demuestra que no son nada homogéneos y no deben ser tratados como simples errores desajustados de los preceptos de la teoría ácido-base en cuestión.

En su interior, existen, tanto las soluciones tentativas como las hibridaciones y las confusiones. No obstante, en el análisis de los dibujos generados este gran grupo de soluciones se desdoblará en dos: los *casos tentativos* y los *casos incorrectos*. Los porcentajes previamente descritos se corresponde cuando se toma el total de encuestados, sin embargo, para el análisis de los dibujos generados será más interesante si tomamos solamente el conjunto de aquellos que realizaron alguna figura. Así, para esta teoría ácido-base solamente realizaron dibujos un total de 133 sujetos. A partir de aquí calcularemos los nuevos porcentajes para las subdivisiones del diagrama (figura 270).

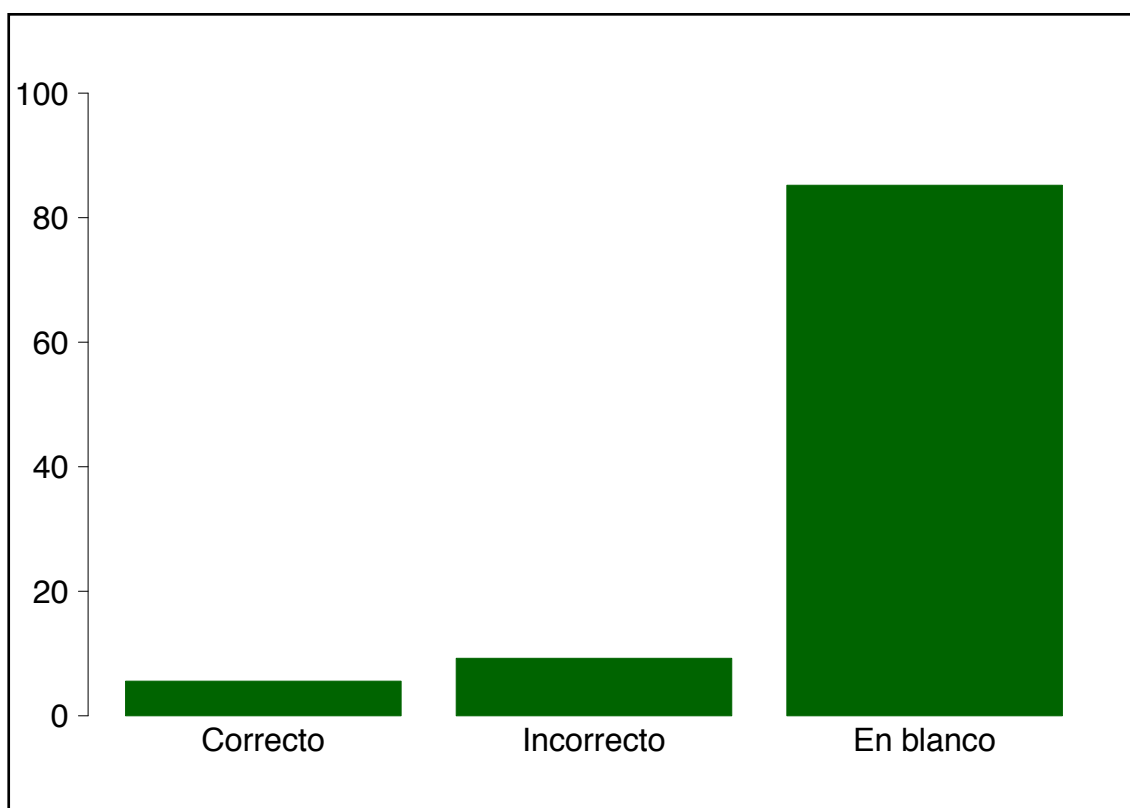


Figura 264. Distribución de porcentajes en general para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (2b).

Pasemos primero al análisis de los **casos correctos** (figura 265), sobre la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo la teoría de Brønsted-Lowry. Las figuras realizadas por los examinandos comprendieron el planteamiento correcto de la reacción química como de la clase de transferencia de iones, en este caso del protón, recurriendo a la simbología química de los compuestos implicados (H_2O , H_3O^+ y OH^-). Los casos correctos, cincuenta en total, suponen el 37,6%, según el nuevo cálculo teniendo solamente en cuenta aquellos 133 examinandos que respondieron.

Los estudiantes han sabido utilizar correctamente la generalización de reacción química, colocando los productos y reactivos además de utilizar la doble flecha indicadora del equilibrio químico cuya generalización también es correcta, aunque no se pedía. Finalmente los postulados principales de la teoría de Brønsted-Lowry están intactos y se aplican correctamente al tener en cuenta la presencia de un compuesto que cede protones, el cual sería una de las moléculas de agua actuando como ácido y otro que capta ese protón cedido, el cual se corresponde igualmente con otra molécula de agua que actúa como base. En los productos se puede observar al ión hidronio (H_3O^+) que procede de la captura de un protón por una molécula de agua (H_2O) más un ión hidroxilo (OH^-) procedente de la molécula de agua que cedió uno de sus dos protones.

En algunos casos, en vez de escribirse dos moléculas de agua separadas se escribe una sola de ellas precedida de un dos, idea totalmente válida, como anteriormente se mencionó. Las ecuaciones comentadas están balanceadas correctamente tanto en el número de cargas como en los coeficientes estequiométricos. La siguiente figura es un ejemplo de todos los casos hallados.

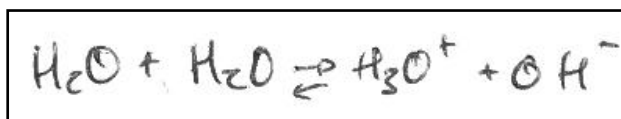


Figura 265. Ejemplo de solución correcta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

Continuamos con los **casos tentativos**, en los cuales las soluciones escritas se van a adjudicar a tres grupos: **generales**, **mixtos** y **particulares**. Los casos tentativos, once en global, solamente suponen el 8,3% del total. Como anteriormente se había descrito, una mirada más cercana de las supuestas soluciones incorrectas demostraba que existe algo más tras ellas.

Así, los casos denominados **generales** (figura 266), se caracterizan porque todos hablan sobre lo que es una base o un ácido siguiendo la teoría de Brønsted-Lowry, pero ninguna utiliza fórmulas simbólicas generales como, por ejemplo una B para indicar una base genérica o AH para indicar un ácido monoprótico genérico. La solución es puramente teórica, aunque pueda incluir símbolos, y se produce en un 4,5% de los casos, siendo, desafortunadamente, muy minoritario.

Handwritten text in a box: "Ácido cede H⁺" and "Base capta H⁺".

Figura 266. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

Esta idea de una B para indicar una base genérica y un AH para indicar un ácido monoprótico genérico se ve reflejada en la siguiente clase que se denominó mixta porque mezcla el caso particular que se pide resolver con esquemas generales, es una especie de particularización no finalizada. Se esperaba, desde la teoría de las generalizaciones, que poseyendo una generalización para las reacciones ácido-base mediante la teoría de Brønsted-Lowry se aplicara al caso concreto, sin embargo, eso no se produce correctamente.

Efectivamente esa generalización existe, pero no se sustituye por el caso concreto sino que se hibrida con él formando un caso **mixto** (figura 267). Por desgracia, se registró un solo caso para este apartado, lo que supone solamente un 0,8%, comprometiéndose seriamente su representatividad, no

obstante, debemos recordar que este análisis pretende estudiar qué sucede con los procesos tentativos de resolver la tarea, a pesar de su escaso número.

Además, se observa que para la definición de ácido se recurre a una fórmula general de lo que sería la reacción de un ácido cualquiera (HA) y se le suma el caso concreto del agua (H₂O), para llegar a la aparición de los productos. Luego, en dichos productos aparece el ácido concreto (H₃O⁺) y una base conjugada general (A⁻).

En la segunda parte, se escribe entonces cómo sería la reacción entre una base genérica (B), sumándole la molécula del agua (H₂O) del caso concreto dando como resultado una base conjugada concreta (OH⁻) y un ácido conjugado monoprótico general (BH⁺). Por lo tanto, en la tentativa de solucionar el problema se encuentra un punto intermedio donde se entremezclan generalidad y particularidad. Por otra parte, los balances de carga y estequiometría son completamente correctos.

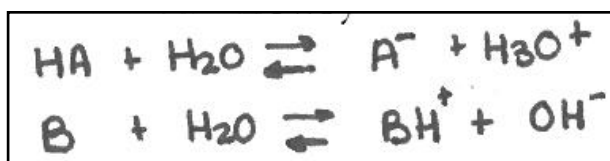


Figura 267. Único ejemplo de solución tentativa de tipo mixto de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

Ahora llega el turno de analizar las soluciones tentativas **particulares**, que equivale a un escaso 3%. A pesar de la escasez de los casos, solamente cuatro, se puede observar que todos tienen en común en que la solución es particular, desapareciendo cualquier referencia simbólica general como las precedentes. Uno de los ejemplos muestra al lado izquierdo de la ecuación la reacción como en la teoría de Brønsted-Lowry (figura 268), no obstante, se recurre a la disociación iónica en el lado derecho y no a una captación-cesión de protones como correspondería. También puede ocurrir que se mezclen conceptos propios como “base conjugada” en ecuaciones de disociación tipo Arrhenius. En otros casos se intenta comenzar sumando dos compuestos pero

incorrectamente, lo que conlleva a que en el lado derecho de la ecuación aparezca un sólo compuesto en vez de dos.

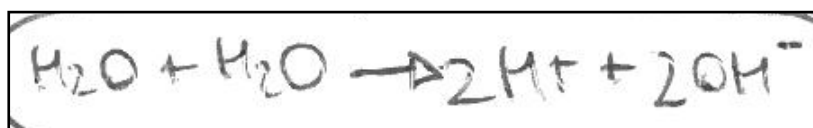


Figura 268. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

Para culminar este análisis tenemos los **casos incorrectos**, que ocupan en global un 54,1% de las respuestas. Se dividieron en tres grupos, tenemos casos dónde la solución se realiza escribiendo la ecuación de Arrhenius para la disociación del agua (41,4%), el intento de solución mediante la aplicación de la teoría de Lewis (5,3%) o simples errores (7,4%). Muchas de las soluciones escritas son correctas desde el punto de vista de la teoría de Arrhenius pero suponen una confusión entre los nombres y postulados de dos teorías tal y como anunciara Carr (1984), quien no pudo demostrar su afirmación ya que los datos eran referidos solamente a libros de texto; estos resultados permiten dar ahora la razón a dicho autor. Por otra parte, otros sujetos se inclinan por la utilización de las estructuras de Lewis sin mecanismos de reacción para aproximarse a la solución de la tarea pedida, lo cual vuelve a señalar la falta de límites entre unas teorías y otras, desviando al sujeto de la resolución correcta de la tarea. En la figura 269, podemos observar que se mezclan postulados de las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry recurriendo a una incorrecta disociación del agua.

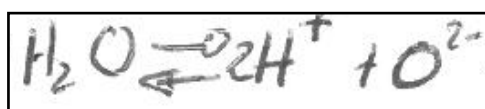


Figura 269. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

A continuación se ofrece un esquema (figura 270), que indica las divisiones en categorías clasificatorias de las soluciones halladas al ejercicio de aplicación de la teoría de Brønsted-Lowry a la reacción de autoprotólisis del agua.

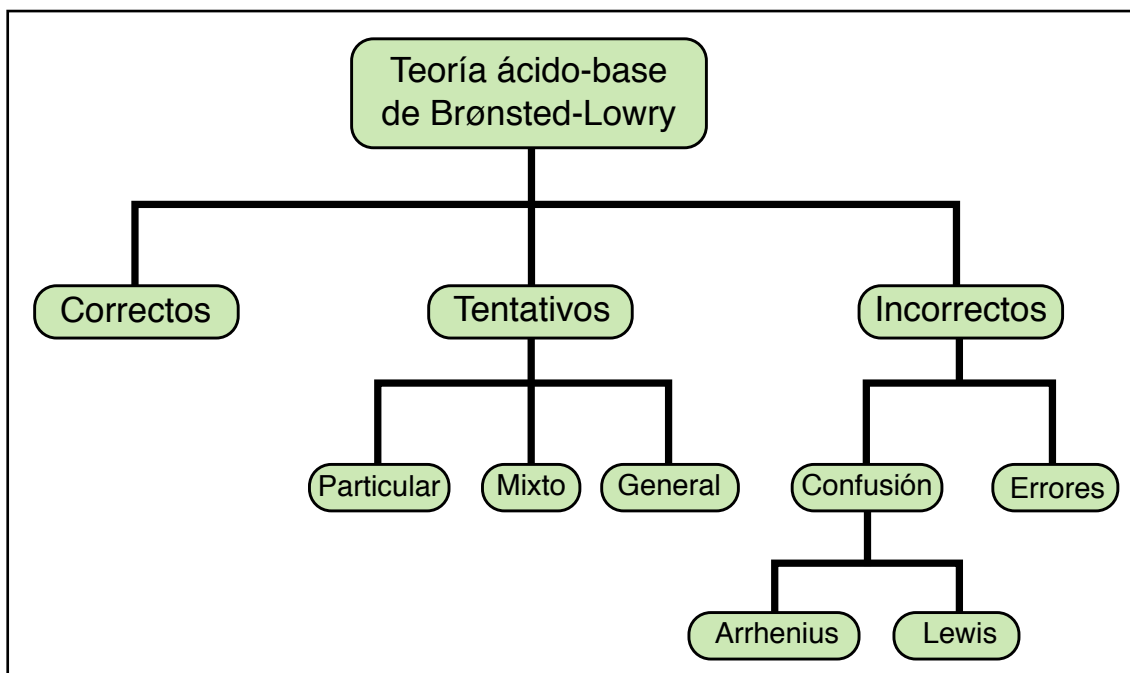


Figura 270. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Brønsted-Lowry.

5.3.2. Teoría de Arrhenius.

La segunda teoría ácido-base a examinar fue la propuesta de Arrhenius. Se exigía lo mismo que para la primera teoría, la de Brønsted-Lowry, interpretar la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo los postulados característicos de esta postura teórica de la química. A continuación, se muestra gráficamente los resultados obtenidos (figura 271), para la primera clasificación propia del cuestionario. Esta prueba suministrada a los examinandos es de reconocimiento básicamente, puesto que la reacción que se describió para el apartado anterior ya estaba escrita siguiendo las premisas de la teoría de Arrhenius, prácticamente comportaba el copiar la reacción en la casilla correcta, algo que podemos observar que no sucedió al tener un elevado porcentaje de respuestas en blanco.

De esta manera, al procesar los datos, un 87,1% de los estudiantes efectivamente dejó la pregunta en blanco lo que parece indicar que existe un grave desconocimiento de esta teoría. Solamente un 7,2% fue capaz de colocar correctamente la reacción en el espacio reservado para ello y además

comprendieron perfectamente los postulados principales que permiten la interpretación de cualquier reacción. Finalmente un 5,7% en varios intentos por alcanzar una solución termina por equivocarse. Estos resultados son realmente inesperados, debido a la difusión que tiene la teoría de Arrhenius en todos los libros donde exista temática ácido-base y la presencia en los currículos universitarios que nos incumben. Retomando la idea de tener en cuenta solo los sujetos que resolvieron la tarea, debemos mencionar que para el caso de la teoría ácido-base de Arrhenius fue un total de 116.

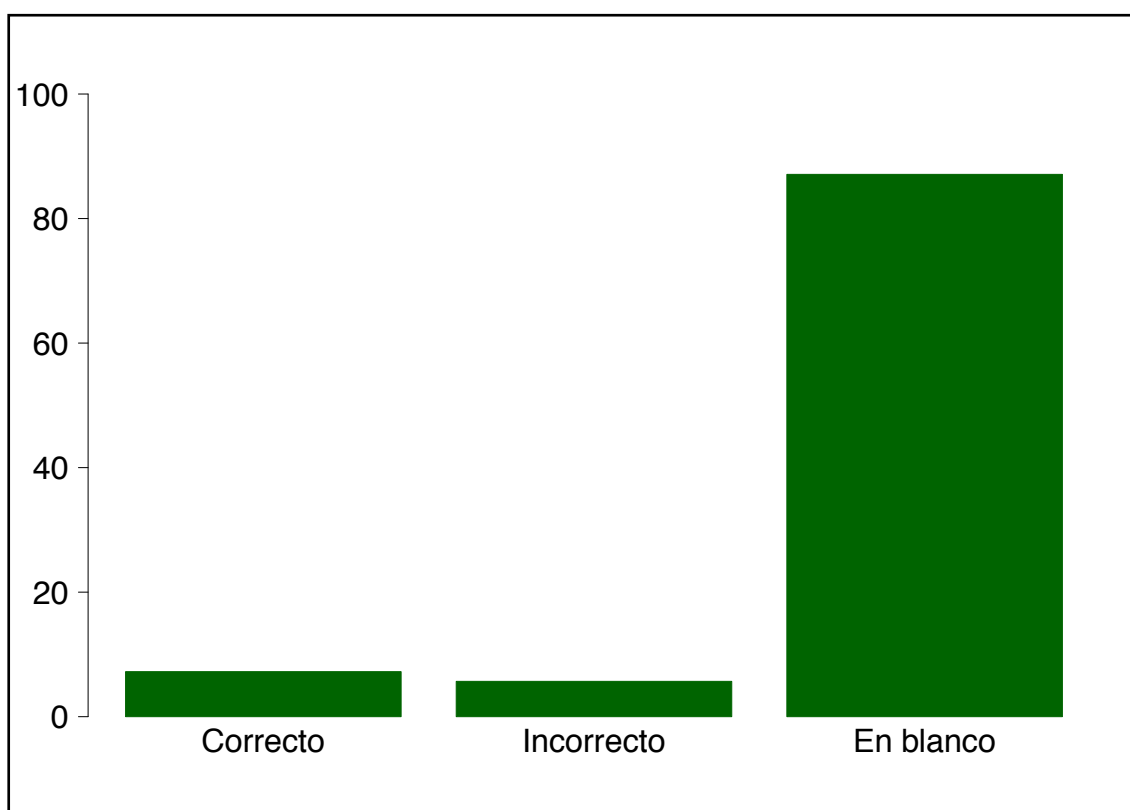


Figura 271. Distribución de porcentajes en general para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría ácido-base de Arrhenius (2c).

Para atender a las explicaciones de las figuras generadas por los estudiantes sobre la teoría de Arrhenius, nos fijaremos en primer lugar en los **casos correctos**, como ya lo hiciésemos en el anterior apartado. Estos casos correctos, son mayoría de las tres teorías ácido-base examinadas, lo que refleja que existe un conocimiento bastante aceptable de esta teoría y suponen un elevado 61,2%. Tenemos, para estos ejemplos (figura 272), que se aplica

correctamente la generalización de reacción química de disociación y equilibrio químico además de que están correctamente ajustadas las cargas y los coeficientes estequiométricos.

Se aplica además el esquema general al caso concreto de la disociación de la molécula de agua que es lo que se pide por lo que es la correcta solución particular. Al controlar los postulados de la teoría, los sujetos colocan la molécula de agua a la izquierda que es la que se va a disociar, y a la derecha el protón y el grupo hidroxilo que son los iones procedentes de la disociación.

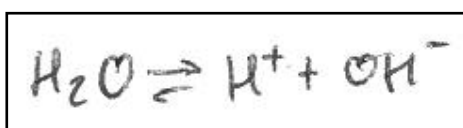


Figura 272. Ejemplo de solución correcta para la reacción de autoprotólisis del agua siguiendo la teoría de Arrhenius.

Se sigue con las soluciones más importantes desde el punto de vista psicológico y didáctico ya que expresan procesos, correctos o no, pero de una gran importancia y que suponen en término globales el 14,7%.

Por ello, si observamos detenidamente las respuestas en los **casos tentativos**, dadas por los examinandos podemos clasificarlas de igual manera que sucediese con el ejemplo de la teoría de Brønsted-Lowry, ya que las soluciones escritas se pueden adjudicar nuevamente a tres grupos: *generales*, *mixtos* y *particulares*.

Esta clasificación resulta interesante, en tanto en cuanto parece que independientemente de la teoría que estudiemos existe un patrón similar a la hora de solucionar la tarea encomendada. Los tipos de tentativas **generales**, que suponen un bajísimo 2,6%, es una especie de intento teórico y además es la que más próxima está a los casos incorrectos puesto que a pesar de poseer una generalización válida, ésta no se sabe aplicar a los casos concretos, por lo que se puede especular que el camino inverso a la generalización funciona incorrectamente.

En la figura 273, vemos que los casos tentativos generales hallados para la teoría de Brønsted-Lowry ya que utiliza una base genérica (BOH) y un ácido genérico monoprótico (AH), ambos de la clase Arrhenius. Empero, supone un avance hacia la solución del problema ya que se identifica correctamente la generalización a aplicar, excluyendo la utilización de postulados de otras teorías y se plantea esquemáticamente la reacción química que además cumple con las pautas de la teoría de Arrhenius observándose mecanismos de disociación iónica y de equilibrio químico.

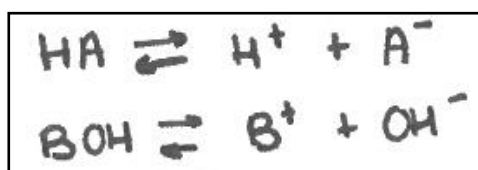


Figura 273. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.

Habiendo revisado los casos generales pasamos a los de tipo *mixto* donde se produce un ligero avance más hacia la respuesta particular. Estos casos son solamente dos y representan el 1,7%.

Están, entre estas tentativas de solución, la inclusión en un mismo esquema de la molécula de agua y las especies químicas de su disociación, dentro de un esquema general de símbolos abstractos variables como letras que deberían ser sustituidos por las especies químicas concretas (figura 274).

Cuando los sujetos deberían sustituir las letras genéricas por los casos concretos (la molécula de agua o H_2O), pero sucede que mezclan los símbolos sin sustituir con el compuesto químico concreto, lo que conlleva que aparezcan entremezclados ambos, sin llegar a una solución satisfactoria desde el punto de vista químico y por supuesto psicológico-didáctico de la solución planteada.

No obstante se demuestra una generalización aceptable de reacción química, los postulados propuestos por Arrhenius de disociación iónica aparecen sin ser del todo correctos y la presencia del equilibrio químico.

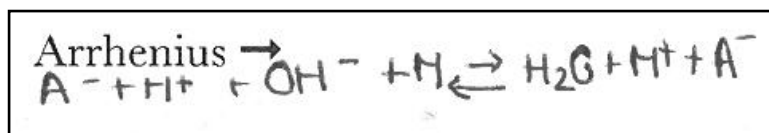


Figura 274. Ejemplo de solución tentativa de tipo mixto de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.

Finalizando con los casos tentativos, analizamos a continuación los de clase **particular**, que suponen el 10,3%. Las soluciones planteadas son totalmente concretas ajustadas a la reacción pedida. Se observa (figura 275), la correcta aplicación, en algunos casos, de la ecuación de Arrhenius para la autoprotólisis de la molécula de agua salvo que aparecen errores, como considerar que las especies resultantes no son iones, lo que violaría la idea de la disociación iónica, indicándonos que la generalización de esta teoría es incompleta o bien que se desconoce cómo realizar una disociación; éste último aspecto ha sido observado por Furió *et al.* (2000, 2007a, 2007b), con anterioridad en el contexto ácido-base en cursos de enseñanza media. Además, aparecen disociaciones no balanceadas a ambos lados de la ecuación química o especies reactivas del oxígeno imposibles de obtener en las condiciones propuestas.

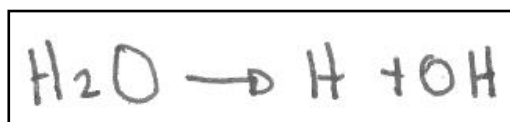


Figura 275. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.

Tras concluir los casos tentativos nos dirigimos hacia el examen de los **casos incorrectos**, cuya representación global es de un 24,1%. Las respuestas dadas tomadas como errores presentan una peculiaridad y es el elevado número de estudiantes que intenta resolver la tarea mediante la aplicación de la teoría de Brønsted-Lowry o fusionándola con postulados propios de la de Arrhenius. Estos son casos claros de dos conceptos que no se han diferenciado teniendo muy difusos sus límites (Fleshner, 1958), por lo que los alumnos tienden a utilizar pautas de una y de otra para la resolución de la tarea.

Ya Carr (1984), apuntaba sobre esta confusión entre teorías ácido-base con poco éxito ya que no contaba con datos fehacientes en alumnos sino simplemente con un análisis escueto de libros de texto que no proceden de una muestra representativa. Gracias a estos datos podemos confirmar que en alumnos universitarios de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria existen confusiones entre las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry, como dicho autor apuntó. Resulta interesante ver como muchos llegan al caso concreto partiendo de una generalización incorrecta híbrida.

En la figura 276, parece que el mecanismo de lo general a lo concreto puede estar intacto, el problema aquí radica en que aparecen especies propias de lo propuesto por Brønsted y Lowry o balances incorrectos de los átomos en ambos lados de la ecuación. Se observa un esquema bien aplicado de reacción química, de equilibrio químico y de disociación iónica. Dichos casos de confusión con la teoría precedente suponen el 16,4%. El resto son errores sin más que equivalen al 6,9%, exceptuando el único caso que confundió la teoría de Arrhenius con la teoría de Lewis que representa un 0,8%.

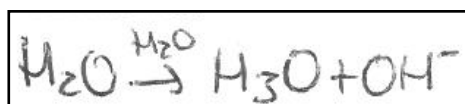


Figura 276. Ejemplo de solución errónea o incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la hibridación de la teoría de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry.

A pesar de la clasificación de los resultados precedentes, no debemos quedarnos en la superficie de sino intentar, gracias a la teoría de las generalizaciones indagar sobre la estructura que subyace a lo observado. Basándonos en esto, se infiere que la generalización para la reacción de autoprotólisis de la molécula de agua podría ser de la clase MOH, donde M es sustituido por el hidrógeno (H) y nos queda la molécula de agua que se disociaría en un protón (H^+) y un ión hidroxilo (OH^-). También cabe la posibilidad de que los sujetos partan de la clase AH, donde A sería sustituido por el grupo OH y se disociaría en un grupo hidroxilo (OH^-) y un protón (H^+). Al ser la molécula de agua anfótera, puede ser tratada desde ambas

aproximaciones generales, que posteriormente pueden aplicarse a multitud de compuestos ácido-base.

Estas dos explicaciones, podemos considerarlas como generalizaciones ambivalentes. Ahora bien, podríamos ser más sencillos e inferir que en los alumnos existe la generalización simplificada MA o AM, que sería un modelo de molécula iónica bivalente que en el caso del agua, A podría ser el grupo (OH^-) y M el protón (H^+) o viceversa; lo cual empieza a conectarnos con la esencia de la asignatura de química. No podemos descartar también las soluciones por memorización mecánica que no proceden más que de la memoria. Estos resultados son concordantes con lo hallado por otros autores sobre las bases y los ácidos, que no sobre la reacción de disociación de la molécula de agua, en el ámbito universitario (Cros *et al.*, 1984, 1986, 1988; Zoller, 1990). A continuación se presenta el esquema al que ha dado lugar la clasificación de los dibujos generados por los sujetos (figura 277).

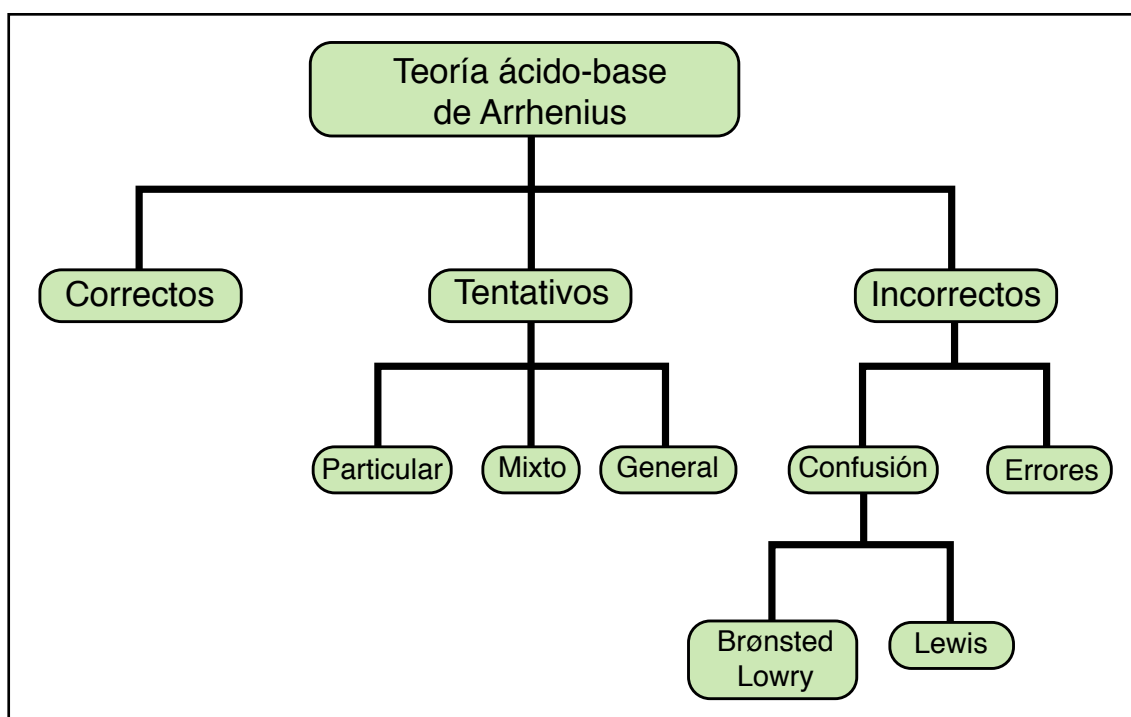


Figura 277. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Arrhenius.

5.3.3. Teoría de Lewis.

La teoría ácido-base de Lewis fue propuesta por el mismo año que la de Brønsted-Lowry pero no alcanzó amplia difusión hasta mucho más tarde. Fue la que más errores sufrió al momento de su aplicación por parte de los discentes, esto queda patente en la representación gráfica (figura 278), que se muestra en párrafos inferiores.

En este ítem pretendía evaluarse en el tercer inciso **d** de la pregunta dos. Es la última de las teorías propuestas en el cuestionario para que los examinandos aplicasen sus postulados a la descripción de reacción de autoprotólisis del agua. Se trataba aquí de utilizar las estructuras de Lewis pero aún más de comenzar a utilizar dos conceptos que han sido problemáticos para los estudiantes cuando deben aprender dicha teoría, que son el de *nucleófilo* y el de *electrófilo*.

Como la reacción es de autoprotólisis, una de las moléculas de agua actúa como nucleófilo, gracias a un par de electrones libres que se localizan sobre el átomo de oxígeno mientras que otra de las moléculas actúa como electrófilo al poseer un desequilibrio de sus cargas orientado hacia el polo negativo localizado sobre el átomo de oxígeno y dejando más descubierto el átomo de hidrógeno; todo esto es a causa del carácter polar de la molécula de agua.

Ocurre, por tanto, que aquella molécula que actúa como nucleófilo abstrae un protón de la otra que actúa como electrófilo. Se esperaba que los examinandos pudiesen dibujar, aunque fuere de manera muy esquemática, la descripción antes expuesta. No obstante, nos encontramos en los resultados que un 81,1% deja la pregunta en blanco y no realiza ninguna clase de tentativa de intentar solucionar el problema.

Si en sus currículos, tanto de Bachillerato como de Universidad que es el caso inmediato que nos ocupa, aparece la teoría de Lewis, resulta que sólo un 18,9% realice tentativas de describir la reacción propuesta que

desafortunadamente no llegaron a escribir una solución satisfactoria y han sido agrupados en las respuestas incorrectas.

Ninguna de las personas que participaron en este estudio pudo demostrar capacidad para resolverlo por lo que no se han admitido ninguno como **casos correctos** como en las anteriores teorías; esto no debería sorprendernos sabiendo que ya en estudiantes de bachillerato. Salcedo y García (1997), encontraron que ningún pupilo aplicó la teoría ácido-base de Lewis para explicar fenómenos y existían errores en su caracterización. De todos los examinados, solamente 169 de ellos respondió a la pregunta requerida.

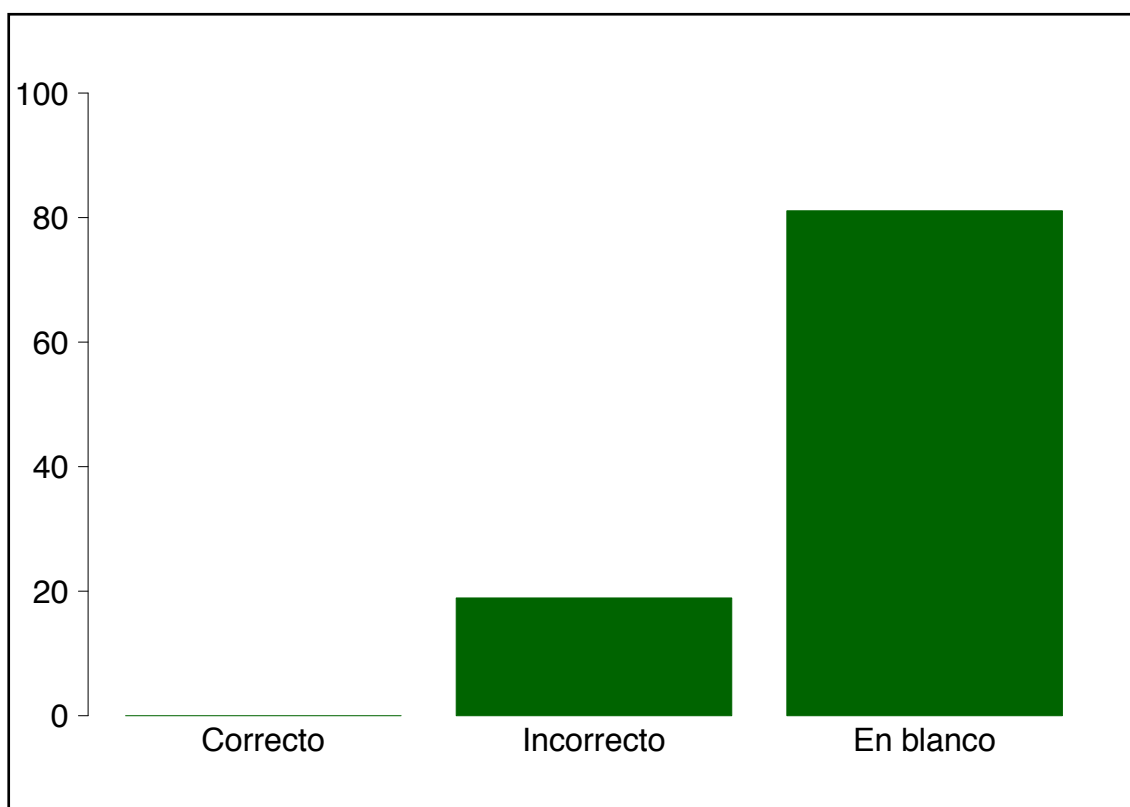


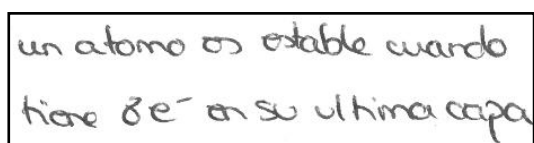
Figura 278. Distribución de porcentajes en general para la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua según la teoría de Lewis (2d).

Empero, el análisis de las figuras generadas es realmente interesante y que veremos en los casos tentativos, siendo estos el 89,9% en términos globales. Así, lo primero que podemos advertir al revisar las respuestas engendradas por los alumnos universitarios para la teoría de Lewis es la *ausencia de casos*

mixtos, que de por sí, eran realmente escasos en las teorías de Arrhenius y de Brønsted-Lowry.

Asimismo los planteamientos **generales**, sólo un 1,2%, como solución del problema (figura 279), también son muy escasos y están vinculados a la regla del octeto, pues los sujetos tienden a considerar que deben haber ocho electrones en la capa de valencia para que el átomo sea estable, sin embargo, no explican el proceder particular de esta regla sobre el caso que se está pidiendo interpretar.

Esta regla del octeto proviene de considerar la teoría de electrónica de Lewis en solitario como método para dibujar las fórmulas químicas de los compuestos que tiene su mayor expresión en la química orgánica. Es importante también puntualizar que, efectivamente, existe un vínculo entre la regla del octeto y la teoría electrónica para ácidos y bases de Lewis coincidiendo con lo expuesto por Babor e Ibarz (1962: 421), en que los ácidos deben tener incompleto su octeto de electrones, mientras que las bases deben poseer al menos un par de electrones libres o solitarios.



un atomo es estable cuando
tiene 8e⁻ en su ultima capa

Figura 279. Ejemplo de solución tentativa de tipo general de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.

De esta forma mostrada, es difícil predecir una reacción química salvo que se aproxime a partir de otra generalización o bien utilizando los mecanismos de reacción identificando correctamente el nucleófilo y el electrófilo que son fundamentales aquí. Sin embargo, no ocurre lo último sino que se produce una aproximación estructuralista.

La generalización, que posee el 67,5% de los discentes, se debe a la utilización primordial de la teoría electrónica de Lewis para dibujar estructuras de compuestos químicos (figura 280), y eso es lo que hacen los examinandos al

interpretar la reacción simplemente dibujando la estructura de enlaces químicos de la molécula de agua (*tipo estructural-puro*).

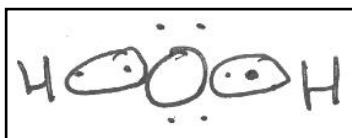


Figura 280. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular estructural-puro de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.

Ante la imposibilidad de resolver correctamente la tarea debido a la ausencia de generalización para la interpretación de reacciones ácido-base mediante la teoría electrónica de Lewis, el 21,3% de los sujetos, recurre a una hibridación de generalizaciones como el planteamiento de la reacción química siguiendo los postulados de la teoría de Arrhenius de la disociación iónica y dotando a los compuestos que intervienen de la estructura química representativa de Lewis (figura 281), en algunos casos de forma incorrecta (*tipo estructural-reacción*).

En este tipo de soluciones tentativas, se debe ser científicamente honesto en cuanto a los resultados observados. Al igual que se reconoció que muchos de los resultados correctos sobre la teoría de Arrhenius podrían deberse a que la reacción ya estaba escrita en el cuestionario y sólo debía identificarse, también pudo ocurrir aquí que al pedírsele a los alumnos que interpretaran la reacción de autoprotólisis del agua escrita como una disociación mediante la teoría ácido-base de Lewis, los discentes se confundiesen y simplemente pensarán que debían escribir dicha reacción mediante la estructura electrónica de Lewis. Se les dio la oportunidad de resolver, durante la realización del cuestionario, toda clase de dudas, no obstante, esto no es óbice para que se confundiesen.

A pesar de todo esto, no se pueden tomar estos resultados como correctos ya que la reacción de autoprotólisis del agua no es una disociación sino una autoionización donde una de las muchas moléculas extrae a otra un protón, proceso que puede ocurrir repetidamente dando lugar a lo que conocemos como el “salto del protón” (Nelson y Cox, 2006:60), pero sin una visión tan lineal y de Brønsted-Lowry como indican estos autores sino más de clase

Lewis, donde participarían toda la disolución en sus tres dimensiones. Por ello, debemos tomar siempre los resultados con cierta cautela, especialmente siendo estudiados por primera vez. Resulta inesperado que en ningún caso se utilizara la generalización de clase Brønsted-Lowry para plantear la ecuación y posteriormente se le aplicaran estructuras de Lewis a los compuestos.

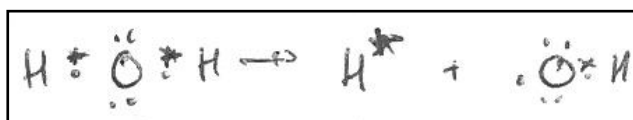


Figura 281. Ejemplo de solución tentativa de tipo particular estructural-reacción de la autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.

Terminando con nuestro examen a las soluciones de la tarea aparecen los **casos incorrectos**, equivalentes a un 10,1%. Esto no quiere decir que los casos tentativos sean correctos sino que existe un boceto de explicación más que errores flagrantes que no pueden ser tomados como ninguna clase de solución. A pesar de estos errores, entre los casos incorrectos aparecen situaciones muy interesantes.

Algunas de esas situaciones engloban el resto de soluciones observadas dentro de los casos incorrectos y se divide en dos opciones. La primera opción (figura 282), es la confusión que se produce con la teoría de Arrhenius (4,1%) cuando los sujetos escriben la reacción como si estuviésemos en ese caso.

De hecho, muchas de las interpretaciones son totalmente correctas desde ese punto de vista. Los ajustes de carga son correctos, el balance de la ecuación también, así como el planteamiento de la reacción siguiendo las reglas pertinentes.

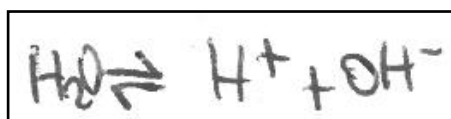


Figura 282. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis, confundida con la teoría de Arrhenius.

De la misma manera, sucede con un 2,4% en la segunda opción, salvo que la confusión es ahora con los postulados de la teoría de Brønsted-Lowry.

Pueden observarse también (figura 283), muchos casos en los que, desde la perspectiva de esta última teoría las reacciones son completamente correctas, respetándose los balances de carga y masa así como sus pautas propias.

Estos resultados parecen avalar la idea por la cual los alumnos al intentar resolver la tarea presentada buscan activamente un esquema generalizado que aplicar pero ocurre, como en las dos teorías precedente, los límites de cada una de ellas no están definidos y empiezan a mezclar unas con otras o bien aplicar una donde debería ir otra. El 3,6% restante se debe a simples equivocaciones.



Figura 283. Ejemplo de solución incorrecta de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis, confundida con la teoría de Brønsted-Lowry.

Dados los resultados, nos enfrentamos a una confusión de generalizaciones, en la cual se interpretan las reacciones químicas escribiendo las estructuras de Lewis de los enlaces de los compuestos participantes pero no saben hacer uso de la teoría ácido-base, de este mismo autor, correctamente. No obstante, los discentes se encuentran en la dirección correcta para asimilar dicha teoría, puesto que están estrechamente vinculadas.

A continuación se muestra el esquema general (figura 284), para la clasificación de las soluciones observadas en el caso de la teoría de Lewis.

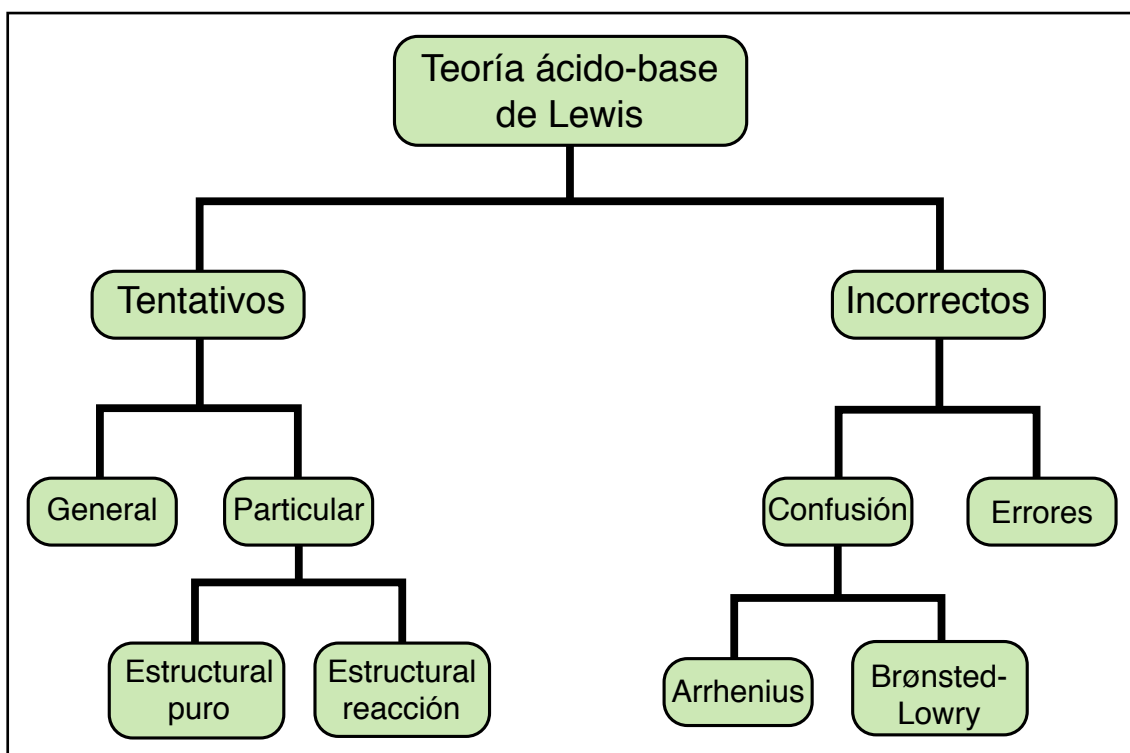


Figura 284. Diagrama de categorías para la resolución de la reacción de autoprotólisis del agua mediante la teoría de Lewis.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Las conclusiones se detallan de acuerdo a nuestros tres *bloques objetivo* y sus respectivas preguntas de investigación:

1. Nociones fundamentales generales sobre las teorías ácido-base y conceptos relacionados.

- 1.1. Aproximadamente, un 40% de los estudiantes considera que la fortaleza de un ácido y una base radica en el número de protones o en el número de grupos hidroxilo respectivamente que posea la fórmula química del compuesto, lo cual indica que existe, en estos sujetos, la idea de que la fuerza de un ácido o de una base, viene determinada por el número de protones o de grupos hidroxilo presentes en la fórmula química.
- 1.2. Una representación minoritaria de la muestra, en torno a un 8%, considera que el carácter débil o fuerte de una base o un ácido, puede ser un impedimento para que se produzca una reacción química entre ellos cuando son de diferente carácter, por tanto, dichos estudiantes comprenden incorrectamente que un ácido o una base de diferente tipo no pueden reaccionar.
- 1.3. Se detecta que un 30% de los encuestados plantea que los ácidos fuertes dan lugar a un pH más elevado que los débiles. Este dato, permite pensar en la posibilidad de que los sujetos contemplen la variable pH en relación directa con la concentración de protones y la fortaleza de un ácido, ignorando el equilibrio químico y el factor concentración.
- 1.4. Se aprecia que un 24,5% de los sujetos considera que los ácidos pueden quemar la piel pero las bases no, lo cual indica que se

siguen percibiendo a las sustancias ácidas como más peligrosas que las básicas.

- 1.5. Un 21% de los encuestados asigna a las sales un papel neutro en las reacciones ácido-base, es decir, no participan en éstas. Se trata de una visión muy estrecha del papel de estos compuestos en las reacciones ácido-base.
- 1.6. El 30% de los sujetos admite que el criterio de presencia de los grupos OH y H en los compuestos químicos es indicador de una base y de un ácido respectivamente. Las bases son más propensas a ser reconocidas químicamente bajo este criterio, con un 35,8%, mientras que el reconocimiento de los ácidos, es menor bajo dicho criterio con un 21,6%.
- 1.7. Se producen confusiones para la comprensión del anfoterismo ácido-base del agua, ya que un 29,3% la define como un disolvente que no participa en estas reacciones.
- 1.8. En la clasificación de sustancias cotidianas, se encuentra que un 37% de los estudiantes desconoce que tanto la sosa cáustica como la lejía son bases y la clasifican como ácidos, especialmente la lejía. Este tipo de error también se aprecia en el carácter ácido-base de sustancias como el suelo y la lluvia que un 19% considera estrictamente neutros.
- 1.9. Se observa que el 27% de los sujetos alberga ideas inadecuadas sobre las valoraciones ácido-base. Dichas ideas admiten que: el pH final de una valoración ácido-base es siempre siete, el indicador ácido base produce la reacción o el cambio de color del indicador se produce a un pH único y específico.

2. Utilización de los conceptos y teorías ácido-base para su aplicación a situaciones o fenómenos.

- 2.1. Existen deficiencias en la interpretación de los equilibrios químicos, aplicándose erróneamente la ley de acción de masas y la ley de Henry, en un entorno no biológico. De esta manera, para el equilibrio heterogéneo de la disolución del dióxido de carbono en agua, se observa que sólo un 32,5% pudo llevar a término satisfactoriamente la solución del comportamiento del equilibrio ácido-base de dicho equilibrio en el océano. Asimismo, sólo un escaso 32,6%, entendió el funcionamiento del mismo equilibrio en un entorno biológico, lo cual indica que desconocen cómo se comporta éste frente a las perturbaciones introducidas en el sistema.
- 2.2. Respecto al papel de las disoluciones ácidas y básicas en la conducción de la electricidad, sólo un 34,5% comprendió que ambas clases de disoluciones permiten el paso de ésta debido a que están constituidas por iones disueltos. Dichos resultados nos conducen a observar que existen graves deficiencias para establecer la relación entre la conducción de la electricidad y las disoluciones de ácidos y bases.
- 2.3. Solamente un promedio del 57,7% de los estudiantes fue capaz de comprender correctamente la especie predominante de un ácido poliprótico (H_3PO_4) en disolución acuosa para un valor específico de pH. Por tanto, existen problemas para decidir en una representación gráfica de dicha disociación qué especie química de dicho ácido poliprótico es más estable a un determinado valor de pH.

3. Interpretación de una reacción aplicando las tres teorías ácido-base principales.

- 3.1. Se encuentra que un elevado número de estudiantes de la U.L.P.G.C. desconoce la aplicación de las tres teorías ácido-base, puesto que un 85,2% deja en blanco el ítem de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, un 87,1% deja en blanco el ítem de la teoría ácido-base de Arrhenius y un 81,1% deja en blanco el ítem de la teoría ácido-base de Lewis.
- 3.2. Se puede apreciar que existe una confusión entre las tres teorías ácido-base principales en el momento de aplicarlas a la interpretación de la reacción de autoprotólisis del agua, puesto que un promedio del 23,5% confunde los postulados de las teorías.
- 3.3. Se observa que para la utilización de las teorías ácido-base principales, la más utilizada es la de Lewis con 169 respuestas; sin embargo, ninguna de las soluciones dadas es correcta. Le sigue la teoría de Brønsted-Lowry, con 133 respuestas, de las cuales el 36,7% son correctas y por último la teoría de Arrhenius con 116 respuestas, de las que un 61,2% son correctas. De estos resultados, se desprende que la teoría de Arrhenius es la mejor comprendida, le sigue la teoría de Brønsted-Lowry y por último la de Lewis.
- 3.4. La teoría ácido-base de Lewis es la peor comprendida de todas, debido a que los estudiantes no saben utilizar los principios que la gobiernan, por ello, ninguno de los sujetos llegó a una solución satisfactoria. Esto se debe a que confunden la interpretación de la reacción con el mero hecho de dibujar la estructura electrónica de la molécula. Por ende, la idea que tienen presente no es la propia

teoría ácido-base, sino sólo uno de sus aspectos, el cual es la teoría electrónica de Lewis.

4. Síntesis de las conclusiones.

Dados los resultados generales, se observa que las nociones fundamentales sobre ácidos, bases y sus conceptos relacionados están basadas en características no esenciales de dichos conceptos, lo que produce una incorrecta comprensión de éstos. Por otro lado, se aprecia que la utilización de las teorías ácido-base no se ajusta a sus postulados correspondientes, lo que conlleva que los sujetos incurran en errores que les impide comprender el comportamiento de los fenómenos naturales o hipotéticos. Se encuentra además que el aprendizaje ha sido fundamentalmente memorístico y no significativo. Las deficiencias descritas no sólo están presentes, sino que además, se mantienen a lo largo de los diferentes cursos en los grados de las titulaciones estudiadas de la U.L.P.G.C. Todo ello requiere un enfoque didáctico y unas estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas que atiendan a las dificultades halladas y que logren una correcta comprensión del tópico ácido-base.

FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.

En estudios posteriores debería evaluarse:

1. La determinación de las causas o factores a nivel didáctico, que podrían estar provocando un aprendizaje inadecuado de los conceptos ácido-base; especialmente en las tres teorías ácido-base principales.
2. Qué estrategias de enseñanza-aprendizaje están utilizando los profesores de los grados examinados de la U.L.P.G.C. para enseñar el tópico ácido-base.

3. Diseñar materiales didácticos que favorezcan la comprensión de la esencia de las tres teorías ácido-base principales, así como sus conceptos relacionados, permitiendo que se conozca cómo utilizarlas adecuadamente para la interpretación de situaciones o fenómenos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abbeg, R. (1904). Die Valenz und das periodische System. Versuch einer Theorie der Molekularverbindungen [Las valencias y el sistema periódico. Aproximación a una teoría de los compuestos moleculares.]. *Zeitschrift für Anorganische Chemie*, 39 (19), 330-380. DOI: 10.1002/zaac.19040390125. [En alemán]
- Abimbola, I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72 (2), 175 - 184.
- Abrahamsen, G., Stuanes, A. O., y Tveite, B. (1983). Effects of long range transported air pollutants in Scandinavia. *Water Quality Bulletin*, 8, 89-95.
- Adcock, J. L. (2001). Teaching Brønsted-Lowry Acid-Base Theory in a Direct Comprehensive Way. *Journal of Chemical Education*, 78 (11), 1495 - 1496.
- Adey, P. S. (1987). A response to "Towards a lakatosian analysis of piagetian and alternative conceptions research programs". *Science Education*, 71, 5-7.
- Aikenhead, G. (2000). Renegotiating the culture of school science. En R. Millar, J. Leach y J. Osborne. *Improving Science Education: the Contribution of Research*. Buckingham: Open University Press.
- Aksela, M. K. (2011). Engaging students for meaningful chemistry learning through Microcomputer-based Laboratory (MBL) inquiry. *Educació Química*, 9, 30 - 37.
- Alsop, S. (2005). *Beyond Cartesian dualisms-encountering affect in the teaching and learning of Science*. Dordrecht: Springer.
- Alsop, S., y Watts, M. (2003). Science education and affect. *International Journal of Science Education*, 25, 1043 -1047.
- Andrade, J. (2001). *Working Memory in Perspective*. Nueva York: Taylor & Francis, Inc.
- Anojin, P. K. (1968). *Biología y neurofisiología del reflejo condicionado*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú.

- Anojin, P. K. (1975). *Ensayo sobre la fisiología de los sistemas funcionales*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú.
- Arrhenius, S. (1884). Untersuchung über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte [Estudio de la conductividad galvánica de los electrolitos]. En O. Sackur (Ed.), *Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften* [Clásico de las Ciencias Exactas de Ostwald] (nº. 160). Leipzig (1907): Engelman. [En alemán]
- Arrhenius, S. (1887). Ueber die Dissoziation der im Wasser gelösten Stoffe [Acerca de la disociación de los solutos disueltos en agua]. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 1, 631 - 648. [En alemán]
- Arrizabalaga, M. (2014). Ha habido un malentendido. No se acaba con la escritura a mano en Finlandia. *ABC*. Consultado el 20 de Enero de 2017. Recuperado de: <http://www.abc.es/sociedad/20141203/abc-finlandia-educacion-escritura-mano-201412030753.html>.
- Artdej, R., Ratanaroutai, T., Coll, R. K., y Thongpanchang, T. (2010). Thai Grade 11 students' alternative conceptions for acid-base chemistry. *Research in Science and Technological Education*, 28 (2), 167 - 183.
- Ashcraft, M. H. (2006). *Cognition* (4ª ed.). Nueva Jersey: Prentice-Hall.
- Asimov, I. (2010). *Breve historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Atkins, P. (1999). *Química Física* (6ª ed.). Barcelona: Omega Ediciones, S.A.
- Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. En K. W. Spence y J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89 - 195). San Diego: Academic Press.
- Atran, S. (1989). Ordinary Constraints on the Semantic of Living Kinds: A Common Sense Alternative to Recent Treatments of Natural-Objects Terms. *Mind and Language*, 3, 27-63.
- Ault, A. (1999). Do pH in your head. *Journal of Chemical Education*, 76 (7), 936-938.
- Ault, A. (2010). Telling It Like It Is: Teaching Mechanism in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 87, 937 - 941.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart y Winston, Inc.

- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México, D. F.: Editorial Trillas, S. A.
- Ausubel, D. P. (1977). The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. *Educational Psychologist*, 12, 162-178.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México D. F.: Editorial Trillas, S.A.
- Babor, J. A., Ibarz, J. (1962). *Química General Moderna (7ª ed.)*. Barcelona: Editorial Marín, S.A.
- Bachelard, G. (1935). *Les intuitions atomistiques*. París: Boivin.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1998). *Memoria Humana: teoría y práctica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56, 851 - 864.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought and action*. Nueva York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. (1974). Working memory. En G. H. Bower (ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47 - 90). San Diego: Academic Press.
- Baeten, A., Tafazoli, M., Kirsch-Volders, M., y Geerlings, P. (1999). Use of the HSAB principle in quantitative structure-activity relationships in toxicological research: Application to the genotoxicity of chlorinated hydrocarbons. *Journal of Quantum Chemistry*, 74 (3), 351-355. DOI: 10.1002/(SICI)1097-461X(1999)74:3<351::AID-QUA8>3.0.CO;2-U
- Banerjee, A. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13, 355-362.
- Bárcenas, S., Catalayud, M. L., y Furió, C. (1997). Dificultades en el aprendizaje y en la enseñanza de las reacciones ácido - base. *Enseñanza de las Ciencias, núm. extra*, 167 - 168.
- Bardanca, M., Nieto, M., y Rodríguez, M. C. (1993). Evolución de los conceptos ácido-base a lo largo de la enseñanza media. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 125 - 129.

- Barker, V. (2000). *Beyond appearances: Student's Misconceptions about Basic Chemical Ideas*. Londres: Royal Society of Chemistry.
- Barnes, D. (1976). *From Communication to Curriculum*. Harmondsworth: Penguin Books.
- Batista, A. A., y Justi, R. (2000). Modelos no ensino de ligações iônicas. Comunicación presentada en el *X Encontro Nacional de Ensino de Química*. Porto Alegre: Universidade Federal da Bahia. [En portugués]
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11 (Special Issue), 502 - 513.
- Beard, R. (1974). *Pedagogía y didáctica de la enseñanza universitaria*. Barcelona: Oikos-Tau.
- Berger, C. F., Pintrich, P., y Stemmer, P. (1987). Cognitive consequences of student estimation on linear and logarithmic scales. *Journal for Research in Mathematics Education*, 24, 437 - 450.
- Berger, K. (2006). *The developing person through childhood and adolescence* (7ª ed.). Nueva York: Worth Publishers.
- Bergquist, W., y Heikkinen, H. (1990). Student Ideas Regarding Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67 (12), 1000-1003.
- Bernshtein, N. A. (1963). *Problemas filosóficos de la fisiología de la actividad nerviosa superior y de la psicología*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Bernshtein, N. A. (1967). *Ensayo sobre la fisiología del movimiento y la actividad*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Berry, D. C. (ed.). (1997). *How implicit is implicit learning?* Oxford: Oxford University Press.
- Bhattacharyya, G. (2006). Practitioner development in organic chemistry: how graduate students conceptualize organics acids. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (4), 240 - 247.
- Bhattacharyya, G., y Bodner, G. M. (2005). "It gets me to the product": how students propose organic mechanisms. *Journal of Chemical Education*, 82, 1402 - 1407.

- Bliss, J., Morrison, I., y Ogborn, J. (1988). A longitudinal study of dynamic concepts. *International Journal of Science Education*, 10 (1), 99 - 110.
- Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63 (10), 873 - 878.
- Bogoslovsky, V. V. (1954). Comprensión de la causalidad histórica por los alumnos de la IV a la VII clase. *Uchenie Zapiski LGPI im. A. I. Gertsena (Apuntes científicos del Instituto pedagógico estatal de Leningrado A. I. Herzen)*, 94.[En Ruso]
- Bogoyavlensky, D. N. (1957). *Psicología del aprendizaje del silabeo*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Bogoyavlensky, D. N., y Memchinskaya, N. A. (1960). La psicología del aprendizaje desde 1900 a 1960. *Ciencia psicológica en la U.R.S.S.*, 2, 286 - 336.
- Bolin, E., Degens, E. T., Kempe, E., y Ketner, P. (eds.). (1979). *The Global Carbon Cycle*. Nueva York: Wiley & Sons.
- Borisova, M. N. (1956). Investigaciones sobre el fenómeno del dominio relativo del primero y segundo sistema de señales en condiciones de evocación de recuerdos visuales. En B. M. Teplov (ed.), *Características tipológicas del sistema nervioso superior*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú.[En ruso]
- Borsese, A. (1992). Fuerza de los ácidos y de las bases y criterios de cálculo del pH. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 86 - 88.
- Boyle, R. (1680). *Experimenta et considerationes de coloribus*. Ginebra: Apud Samuelem de Tournes. [En latín]
- Bradley, J. D., y Mosimege, M. D. (1998). Misconceptions in acids and bases: a comparative study of student teachers with different chemistry backgrounds. *South African Journal of Chemistry*, 51, 137-155.
- Brady, J. E., y Humiston, G. E. (1982). *General Chemistry, Principles and Structure*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Braine, M. D. S. (1978). On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic. *Psychological Review*, 85, 1-21.

- Braine, M. D. S. (1990). The "natural logic" approach to reasoning. En W. F. Overton, *Reasoning, necessity and logic: developmental perspectives*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- Braine, M. D. S., y O'Brian, D. P. (1991). A theory of it: a lexical entry reasoning program and pragmatical principles. *Psychological Review*, 98, 182-203.
- Braine, M. D. S., y O'Brian, D. P. (eds.). (1998). *Mental logic*. Mahwah, Nueva Jersey: Erlbaum.
- Breedlove, C. H. (1973). The Chemistry of Toilet Bowl Cleaners. *Journal of Chemical Education*, 46 (10), 31-32.
- Briscoe, H. T. (1940). Teaching the New Concepts of Acids and Bases in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 17 (3), 128-130.
- Brown, T. L., Lemay, H. E. Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., y Woodward, P. M. (2012). *Chemistry: The Central Science*. Boston: Prentice Hall.
- Bruner, J. S. (1974). From communication to language: A psychological perspective. *Cognition*, 3, 255 - 287.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., y Austin, G. A. (1966). *A Study of Thinking*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Bruning, R. H., Schraw, G. J., y Norby, M. M. (2012). *Psicología cognitiva y de la instrucción* (5ª ed.). Madrid: Pearson Educación, S. A.
- Bunge, M. (1963). *The Myth of Simplicity: Problems of Scientific Philosophy*. New York: Englewood Cliffs.
- Bunge, M. (2007). *A la caza de la realidad*. Barcelona: Gedisa.
- Burns, J. R. (1982). An evaluation of 6th and 7th Form Chemistry in Terms of the Needs of the Students and the Community. En *Report to the Department of Education* (pp. 96 - 100). Wellington: Department of Education of New Zealand.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En M. P. Jiménez-Aleixandre (coord.), *Enseñar Ciencias* (pp. 203 - 228). Barcelona: Graó.
- Caamaño, A. (coord.). (2011). *Didáctica de la Física y la Química*. Barcelona: Editorial GRAÓ.

- Caamaño, A., Llopis, R., y Martín, M. J. (1999). Proyecto Química Salters. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 68-72.
- Cachapuz, A. F. C., y Maskill, R. (1989). Using word association in formative classroom test: following the learning of Le Chatelier's Principle. *International Journal of Science Education*, 21 (2), 235-246.
- Camacho, J. P., Jara, N., Morales, C., Rubio, N., Muñoz, T., y Rodríguez, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. Fundamentos y líneas de trabajo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9 (2), 196-212.
- Camacho, M., y Good, R. (1989). Problem Solving and Chemical Equilibrium: Successful versus Unsuccessful Performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (3), 251-272.
- Cañas, J. J., Bajo, M. T., y Gonzalvo, P. (1994). Mental models and computer programming. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 795 - 811.
- Caravita, S., y Hallden, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89-111.
- Cardellini, L. (1996a). Calculating $[H^+]$. *Education in Chemistry*, 33, 161 - 164.
- Cardellini, L. (2000). Ionic equilibrium calculations: a problem solving approach. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (1), 151 - 160.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Carey, S. (1988). Reorganization of knowledge in the course of acquisition. En S. Strauss (ed.), *Ontogeny and phylogeny, and historical development* (pp. 1-27). Norwood, Nueva Jersey: Ablex.
- Carey, S. (1991). Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change? En S. Carey y R. Gelman (eds.), *The Epigenesis of Mind: Essays on Biology and Cognition* (pp. 257-292). Londres: LEA.
- Carey, S., y Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. En L. A. Hirschfeld y S. A. Gelman (eds.), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture* (pp. 169 - 200). Nueva York: Cambridge University Press.

- Carmody, W. R. (1961). An Easily Prepared Wide Range Buffer Series. *Journal of Chemical Education*, 38 (11), 559 - 560.
- Carr, M. (1984). Model confusion in chemistry. *Research in Science Education*, 14, 97 - 103.
- Carretero, M. (coord.). (1996). Construir y Enseñar Ciencias: Las Ciencias Experimentales. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, S.A.
- Cartrette, D. P., y Mayo, P. M. (2011). Students' understanding of acids/bases in organic chemistry contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 29 - 39.
- Carvalho, N. B., y Justi, R. (2005). Papel da analogia do "mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (número extra). [En portugués]
- Castka, J. F. (1975). Demonstrations for High School Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 52 (6), 394 - 395.
- Castleman, A. W., Wei, S., y Shi, Z. J. (1991). Mixed Cluster Ions As a Structure Probe: Experimental Evidence for Clathrate Structure of $(\text{H}_2\text{O})_{20} \cdot \text{H}^+$ and $(\text{H}_2\text{O})_{21} \cdot \text{H}^+$. *Journal of Chemical Physics*, 94, 3268 - 3270.
- Ceacero, J., y González, M. J. (2011). El razonamiento analógico como proceso de aprendizaje. En M. P. González (coord.), *Introducción a la psicología del pensamiento* (pp. 455-486). Madrid: Editorial Trotta, S.A.
- Cecchini, M. (comp.). (1986). *Psicología y Pedagogía*. Madrid: Ediciones Akal S.A.
- Çetingül, P. I., y Geban, O. (2005). Understanding of acid-base concept by using conceptual change approach. *H. U. Journal of Education*, 29, 69 - 74.
- Champagne, A., Klopfer, E. L., y Gunstone, R. F. (1981). Cognitive research and the design of science instruction. En *Proceedings of the International Workshop on Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge*. Luisburgo: Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.
- Chandra, A. K., y Nguyen, M. T. (1998). Approach to regiochemistry using local softness in 1,3-dipolar cycloadditions. *Journal of Computational*

- Chemistry*, 19, 195-202. DOI: 10.1002/(SICI)1096-987X(19980130)19:2<195::AID-JCC12>3.0.CO;2-H.
- Chang, R. (1984). *Chemistry*. Nueva York: Random House.
- Chang, R. (1994). *Chemistry* (5th ed.). U.S.A.: McGraw-Hill.
- Chase, M. W., Davies, C. A., Downey, J. R., Frurip, D. J., McDonald, R. A., y Syverud, A. N. (1986). *JANAF Thermochemical Tables* (3^a ed). Washington, D. C.: American Chemical Society.
- Chattaraj, P. K. (2001). Chemical Reactivity and Selectivity: Local HSAB Principle versus Frontier Orbital Theory. *The Journal of Physical Chemistry A*, 105 (2), 511-513.
- Chattaraj, P. K., y Schleyer, P. v. R. (1994). An *ab initio* study resulting in a greater understanding of the HSAB principle. *Journal of the American Chemical Society*, 116 (3), 1067-1071.
- Chattaraj, P. K., y Sengupta, S. (1996). Popular Electronic Structure Principles in a Dynamical Context. *The Journal of Physical Chemistry*, 100 (40), 16126-16130.
- Cheng, M. F., y Brown, D. (2010). Conceptual resources in self-developed explanatory models: The importance of integrating conscious and intuitive knowledge. *International Journal of Science Education*, 32, 2367 - 2392.
- Chi, M. T. H. (1992). *Conceptual change within across ontological categories: examples from learning and discovery in science*. En R. Giere (ed.), *Cognitive models of science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (1997). Creativity: shifting across ontological categories flexibly. En T. B. Ward, S. M. Smith y J. Vaid (eds.), *Creative thought: an investigation of conceptual structures and processes* (pp. 209-234). Washington: American Psychological Association.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., y Farr, M. J. (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., y de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27 - 43.

- Christen, H. R. (1986). *Fundamentos de la Química General e Inorgánica*. Barcelona: Editorial Reverté, S. A.
- Claxton, G. (1984). *Live and learn*. Londres: Harper & Row.
- Claxton, G. (1993). Minitheories: a preliminary model for learning science. En P. J. Black y A. M. Lucas (coord.), *Children's Informal Ideas in Science* (pp. 45 - 61). London: Routledge.
- Clever, H. L. (1963). The hydrated hydronium ion. *Journal of Chemical Education*, 40 , 637 - 641.
- CLIS (Children's Learning in Science Project) (1987). *CLIS in The Classroom Approaches to Teaching*. Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, Universidad de Leeds.
- Cokelez, A. (2010). A comparative study of french and turkish students' ideas on acid-base reactions. *Journal of Chemical Education*, 87 (1), 102 - 106.
- Coll, C., Martín, E., Mauri, T., Miras, M., Onrubia, J., Solé, I., y Zabala, A. (2011). *El constructivismo en el aula*. Barcelona: Editorial GRAÓ.
- Coll, R. K., y Treagust, D. F. (2002). Exploring tertiary students' understanding of covalent bonding. *Research in Science and Technological Education*, 20, 241 - 267.
- Collis, K. F., Jones, B. L., Sprod, T., Watson, J. M., y Fraser, S. P. (1998). Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, 20, 45-66.
- Corcoran, F., y Akona, K. A. (1977). The pH of Hair Shampoos: A Topical High School Experiment. *Journal of Chemical Education*, 54 (9), 553 - 554.
- Cosgrove, M., y Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. En R. Osborne y P. Freyberg (eds.), *Learning in Science*. Hong Kong: Heinemann.
- Coutinho, F. A., El-Hani, C. N., y Mortimer, E. F. (2007). Construcción de un perfil conceptual de vida. En J. I. Pozo y F. Flores (coords.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia* (pp. 139-154). Madrid: Antonio Machado Libros.
- Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Crawford, A., Saul, E. W., Mathews, S., y Makinster, J. (2005). *Teaching and Learning Strategies for the Thinking Classroom*. Nueva York: The International Debate Education Association.
- Cros, D., Fayol, M. F., Maurin, M., Chastrette, M., Amouroux, R., y Leber, J. (1984). Atome, acides.bases, équilibre. Quelles idées s'en font les étudiants arrivant à l'université. *Revue Française de Pédagogie*, 68, 49-60. [En francés]
- Cros, D., Chastrette, M., y Fayol, M. F. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamentals notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10 (3), 331-336.
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J., y Fayol, M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 305 - 313.
- Crossley, A., Sheppard, J., Parrington, J. F., Harvey, J., y Neil, J. Effects of simulated acid mist on a *sitka spruce* forest approaching canopy nitrogen input. *Water, Air, & Soil Pollution*, 130, 953-958.
- Cunningham, J., y Karplus, R. (1962). Free Fall Demonstration Experiment. *American Journal of Physics*, 30 (9), 656.
- Dai, Z., Lice, Y., Wang, X., y Zhao, D. (1998). Changes in pH, CEC and exchangeable acidity of some forest soils in southern China during the last 32-35 years. *Water, Air, & Soil Pollution*, 108, 377-390.
- Damasio, A. (1999). *The Feeling of What Happens. Body and Emotion in the Making of Consciousness*. Nueva York: Harcourt Barce & Company.
- Damasio, A. (2005). *En busca de Spinoza: neurobiología de la emoción y los sentimientos*. Barcelona: Crítica.
- Damasio, A. (2006). *El error de Descartes: la emoción, la razón y el cerebro humano*. Barcelona: Crítica.
- Damasio, A. (2012). *Y el cerebro creó al hombre*. Barcelona: Destino.
- Davydov, V. V. (1978). *Tipos de generalización en la enseñanza*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

- De Bustamante, M. (1978). El desarrollo psicológico del niño según la psicología soviética. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 10 (3), 411-422.
- Deffeyes, K. S. (1965). Carbonate Equilibria: A Graphic and Algebraic Approach. *Limnology and Oceanography*, 10 (3), 412-426. DOI: 10.4319/lo.1965.10.3.0412
- De la Guardia, M., Salvador, A., López, J., y Carrión, J. L. (1985). Errores conceptuales en la concepción de los equilibrios ácido-base. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 61.
- Delchev, Y. I., Kuleff, A. I., Maruani, J., Mineva, T., y Zahariev, F. (2006). Strutinsky's Shell-Correction Method in the Extended Kohn-Sham Scheme: Application to the Ionization Potential, Electron Affinity, Electronegativity and Chemical Hardness of Atoms. En Julien, J-P., Maruani, J., Mayou, D., Wilson, S., y Delgado Barrio, G. (eds.), *Theory of Chemical and Physical System. Proceedings of the 9th European Workshop on Quantum System in Chemistry and Physics* (pp. 159 - 177), Les Houches: Springer.
- De Manuel, E., Jiménez, M. R., y Salinas, F. (1999a). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel macroscópico: evolución histórica e ideas de los alumnos. En Martínez Losada, C. y García Barros, S. (coords.), *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales* (pp. 359 - 368), La Coruña: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña.
- De Manuel, E., Jiménez, M. R., y Salinas, F. (1999b). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel teórico y molecular: evolución histórica e ideas de los alumnos. En Martínez Losada, C. y García Barros, S. (coords.), *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales* (pp. 369 - 388), La Coruña: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña.
- Demerouti, M., Kousathana, M., y Tsaparlis, G. (2004a). Acid-Base equilibria, Part I. Upper secondary students misconceptions and difficulties. *The Chemical Educator*, 9, 122 - 131.

- Demerouti, M., Kousathana, M., y Tsaparlis, G. (2004b). Acid-Base equilibria, Part II. Effect of developmental level and disembedding ability on students. Conceptual understanding and problem-solving ability. *The Chemical Educator*, 9, 132 - 137.
- Demircioğlu, G., Alipaşa, A., y Demircioğlu, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice*, 6 (1), 36 - 51.
- De Voss, W., y Pilot, A. (2001). Acids and Bases in Layers: The Stratal Structure of an Ancient Topic. *Journal of Chemical Education*, 78 (4), 494 - 499.
- Dhindsa, H. S. (2002). Preservice science teachers' conceptions of pH. *Australian Journal of Education in Chemistry*, 60, 19 - 23.
- diSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. En D. Gentner y A. Stevens (eds.), *Mental Models* (pp. 15-33). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. En Forman, G.; Pufall, P. (eds.), *Constructivism in the Computer Age* (pp. 49- 70), Hillsdale: Erlbaum.
- diSessa, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3): 105-225, doi:10.1207/s1532690xci1002&3_2
- diSessa, A., Levin, M., y Brown, N. J. S. (2016). *Knowledge and Interaction: A Synthetic Agenda for the Learning Sciences*. Nueva York: Routledge.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., y Kleypas, A. (2009). Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192. DOI: 10.1146/annurev.marine.010908.163834. Consultado el 3 de Octubre de 2016. Recuperado de: <http://www.annualreviews.org/eprint/QwPqRGcRzQM5ffhPjAdT/full/10.1146/annurev.marine.010908.163834?ref=driverlayer.com>.
- Drechsler, M., y Schmidt, H. J. (2005). Upper Secondary School Students' Understanding of Models Used in Chemistry to Define Acids and Bases. *Science Education International*, 16 (1), 39 - 53.
- Driscoll, C., Lawrence, G., Bulger, A., Butter, T., Cronan, C., Eager, C., Falcon, K., Likens, G., Stoddard, J. L., y Weathers, K. (2001). Acidic deposition in the north eastern U.S. sources and inputs ecosystem and management strategies. *BioScience*, 51, 180-198.

- Driver, R. (1981). Pupils' Alternative Frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, 3 (1), 93 - 101.
- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist?* Buckingham: Open University Press.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de la Ciencias*, 4 (1), 3 - 15.
- Driver, R., y Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review*, 443-445.
- Driver, R., y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61 - 84.
- Driver, R., y Erickson, G. (1983). Theories in action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37 - 60.
- Driver, R., Guesne, E., y Tiberghien, A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Buckingham: Open University Press.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., y Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham: Open University Press.
- Driver, R., y Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105 - 122.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., y Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. Nueva York: Routledge.
- Dumbrill, D., y Birley, G. (1987). Secondary school pupils' understanding of some key physics concepts. *Research in Education*, 37, 47 - 59.
- Duschl, R. A. (1994). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.
- Engels, F. (1981). *Introducción a la dialéctica de la naturaleza y El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre*. Madrid: Ayuso.
- Ericsson, K. A., y Smith, J. (eds.) (1991). *Towards a general theory of expertise*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Escoriza, J. (1998). *Conocimiento psicológico y conceptualización de las dificultades de aprendizaje*. Barcelona: Edicions de la Universitat de Barcelona.

- Estes, W. K. (1994). *Classification and Cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Fedoseev, P. N., Rodríguez, M., Ruzavin, G. I., Aróstegui, J. M., Sánchez, A., Cherniak, V. G., Guerásimov, I. G., Mateo, J. S., Montagne, G., Nikíforov, A. L., Ogurtsov, A. P., Rodríguez, M., Sadovsky, V., y Shviriev, V. S. (1978). *Metodología del conocimiento científico*. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, Instituto Cubano del Libro.
- Fernández, E. (1979). *Estructura y Didáctica de las Ciencias*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación.
- Fine, L. W., Beall, H. (1990). *Chemistry: for engineers and scientists* (International Edition). U.S.A.: Saunders College Publishing.
- Fleshner, E. A. (1958). Psicología del aprendizaje y de la aplicación de algunos conceptos de física. En M. Cecchini (comp.), *Psicología y Pedagogía* (pp. 213-231). Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- Flood, H., y Förllan, T. (1947). The Acidic and Basic Properties of Oxides. *Acta Chemica Scandinavica*, 1, 592-604. Consultado el 17 de Noviembre de 2016. Recuperado de: http://actachemscand.org/pdf/acta_vol_01_p0592-0604.pdf.
- Flores, F. (2003). Modelos conceptuales de las concepciones físicas de los estudiantes. Enfoques y perspectivas. En F. Flores, M. E. Aguirre (coords.), *Educación en Física. Incursiones en su investigación* (pp. 121 - 176). México D. F.: Plaza y Valdés.
- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15 (3), 256-269.
- Fodor, J. A. (1976). *The Language of Thought*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Fortman, J. J. (1994). Pictorial Analogies XI: Concentration and Acidity of Solutions. *Journal of Chemical Education*, 71 (5), 430 - 432.
- Fortman, J. J., y Stubbs, K. M. (1992). Demonstrations with Red Cabbage Indicator. *Journal of Chemical Education*, 69, 66.

- Francoeur, E. (1997). The Forgotten Tool: The Design and Use of Molecular Models. *Social Studies of Sciences*, 27, 7-40.
- Franklin, E. C. (1912). The Ammonia System of Acids, Bases and Salts. *American Chemical Journal*, 47, 285-317.
- Frankling, E. C. (1924). Systems of Acids, Bases and Salts. *Journal of the American Chemical Society*, 46 (10), 2137-2151. DOI: 10.1021/ja01675a001.
- French, R. M., y Cleeremans, A. (eds.) (2002). *Implicit learning and consciousness*. Hove: The Psychology Press.
- Froufe, M. (1996). *El inconsciente cognitivo*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de México.
- Furió-Más, C. (1986). Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 73-77.
- Furió-Más, C., Catalayud, M. L., y Bárcenas, S. L. (2000). Deficiencias Epistemológicas en la Enseñanza de las Reacciones Ácido-Base y Dificultades de Aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 7, 5 - 21.
- Furió-Más, C., Catalayud, M. L., y Bárcenas, S. L. (2007a). ¿Comprenden los estudiantes de 2º de Bachillerato el comportamiento ácido-base de las sustancias? Análisis de las dificultades de aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 22, 49 - 66.
- Furió-Más, C., Catalayud, M. L., y Bárcenas, S. L. (2007b). Surveying Students' Conceptual and Procedural Knowledge of Acid-Base Behavior of Sustances. *Journal of Chemical Education*, 84 (10), 1717 - 1724.
- Furió-Más, C., Catalayud, M. L., Guisasola, J., y Furió-Gómez, C. (2005). How are Concepts and Theories of Acid-Base Reactions Presented? Chemistry in Textbooks and as Presented by Teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1337 - 1358.
- Furió-Más, C., Domínguez, C., Azcona, R., y Guisasola, J. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. En F. J. Perales y Cañal, P (dirs.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 421-448). Alcoy: Editorial Marfil, S.A.

- Furió-Más, C. J., y Ortiz, E. (1983). Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (1), 15-20.
- Gaddis, S. (1959). Titration without Burets. *Journal of Chemical Education*, 36 (6), 290.
- Gallagher, J. J. (1987). A summary of research in science education - 1985. *Science Education*, 71 (3), 309 - 320.
- Gallegos, L., y Garritz, A. (2007). Modelos conceptuales de los estudiantes sobre estructura de la materia: de los perfiles individuales a los grupales. En J. I. Pozo y F. Flores (coord.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje de la ciencia* (pp. 175-194). Madrid: Editorial Antonio Machado Libros.
- Galloway, J. N., y Whelpdale, D. M. (1980). An atmospheric sulphur budget for eastern north America. *Atmospheric Environment*, 14, 409-417.
- García-Franco, A. (2007). *Representaciones múltiples de la estructura material en estudiantes de secundaria y bachillerato*. (Tesis doctoral inédita). Facultad de Filosofía y Letras: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Franco, A., y Taber, K. S. (2010). Pensamiento intuitivo y aprendizaje de la química. *Educación Química*, 21 (2), 111-117.
- García-Madruga, J., y Moreno, S. (2011). *Conceptos fundamentales de psicología* (2ª ed.). Madrid: Alianza Editorial, S. A.
- Garrels, R. M., y Christ, C. (1965). *Minerals, Solutions and Equilibria*. Nueva York: Harper and Row.
- Gattuso, J. P., y Hansson, L. (2012). *Ocean Acidification: Background and History*. Oxford: Oxford University Press.
- Geerlings, P., y De Proft, F. (2000). HSAB principle: Applications of its global and local forms in organic chemistry. *International Journal of Quantum Chemistry*, 80, 227-235. DOI: 10.1002/1097-461X(2000)80:2<227::AID-QUA17>3.0.CO;2-N.
- Gelman, R. (1990). First principles organize about relevant data: Number and the animate-inanimate distinction as examples. *Cognitive Science*, 14, 79 - 106.

- Ghosh, D. L., y Jana, J. (2003). Frontier orbital and density functional study of the variation of the hard-soft behavior of monoborate (BH_3) and boron trifluoride (BF_3) as a function of angles of reorganization from planar (H_{3h}) to pyramidal (C_{3v}) shape. *International Journal of Quantum Chemistry*, 92 (6), 484-505. DOI: 10.1002/qua.10482
- Giere, R. N. (1979). *Understanding Scientific Reasoning*. Chicago: Holt, Rinehart & Winston.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: Chicago University Press.
- Gieskes, J. M. (1974). The Alkalinity - Total Carbon Dioxide System in Seawater. En E. D. Goldberg (ed.), *The Sea* (pp. 123-151). Nueva York: Wiley-Interscience.
- Giguère, P. A. (1979). The great fallacy of the H^+ ion: and the true nature of H_3O^+ . *Journal of Chemical Education*, 56 (9), 571. DOI: 10.1021/ed056p571
- Gilbert, J. K. (1997). *Exploring models and modelling in science education and technology education*. Reading: University of Reading.
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., y Fensham, P. J. (1982). Children' science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66 (4), 623 - 633.
- Gilbert, J. K., y Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10 (1), 61 - 98.
- Gilovich, T., Griffin, D., y Kahneman, D. (eds.) (2002). *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Giordan, A., y De Vecchi, G. (1988). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla: Diada.
- Goldschmidt, V. M. (1958). *Geochemistry*. Oxford: Clarendon Press.
- Gonzalvo, P., Cañas, J. J., y Bajo, M. T. (1994). Structural representations in knowledge acquisition. *Journal of Educational Psychology*, 86, 601 - 616.
- Gorin, G. (1956). Indicators and the Basis for Their Use. *Journal of Chemical Education*, 33 (7), 318 - 319.

- Gorodetsky, M., y Gussarsky, E. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 427-441.
- Graf, P., y Schacter, D. A. (1985). Implicit and Explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11, 501 - 518.
- Greca, I. M., y Moreira, M. A. (1997). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15 (2), 107-120.
- Greca, I. M., y Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models and modelling. *International Journal of Science Education*, 22, 1 - 11.
- Greca, I. M., y Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1). [En portugués]
- Griese, A., y Horz, H. (1973). Filosofía marxista y ciencias de las naturaleza, hoy. En AA.VV, *Ciencias y Marxismo Leninismo* (pp. 109-133), México D.F.: Ediciones Roca, S. A.
- Hackling, M. W., y Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of Chemical Equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7 (2), 205-214.
- Hammer, D. (2004). The variability of student reasoning. Lecture 3. Manifold Cognitive Resources. En E. Redish y M. Vicentini (eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bolonia: Sociedad Italiana de Física.
- Hampton, J. (1995). Testing the Prototype Theory of Concepts. *Journal of Memory and Language*, 34, 686 - 708.
- Hand, B. M. (1989). Student Understandings of Acids and Bases: A Two Year Study. *Research in Science Education*, 19, 133 - 144.
- Hand, B. M., y Treagust, D. F. (1988). Application of a conceptual conflict teaching strategy to enhance students learning of acids and bases. *Research in Science Education*, 18, 53 - 63.
- Harlen, W. (1989). *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Ediciones Morata, S.L.

- Harlen, W., Bell, D., Devés, R., Dyasi, H., Fernández, G., Léna, P., Millar, R., Reiss, M., Rowell, P., y Yu, W. (2012). *Principios y grandes ideas para la educación en ciencias. Competencias de Ciencias en la escuela*. Madrid: Editorial Popular.
- Hawkes, S. J. (1992). Arrhenius Confuses Students. *Journal of Chemical Education*, 69 (7), 542 - 543.
- Hawkes, S. J. (1994). Teaching the Truth about pH. *Journal of Chemical Education*, 71 (9), 747 -749.
- Head, J. (1982). What can psychology contribute to science education? *School Science Review*, 63, 631 - 641.
- Helm, H. (1980). *Misconceptions in physics amongst South African Students*. *Physics Education*, 74, 92 - 105.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (4ª Ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Herradón, B. (2011). *Los avances de la química*. Madrid: Catarata-CSIC.
- Herrera, R., Nagarajan, A., Morales, M. A., Méndez, F., Jiménez-Vázquez, H. A., Zepeda, G. L., y Tamariz, J. (2001). Regio- and Stereoselectivity of Captodative Olefins in 1,3-Dipolar Cycloadditions. A DFT/HSAB Theory Rationale for the Observed Regiochemistry of Nitrones. *Journal of Organic Chemistry*, 66 (4), 1252-1263. DOI: 10.1021/jo001393n
- Hewson, P. W., y Hewson, M. A. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1 - 13.
- Hirschfeld, L., y Gelman, S. (1994). *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hizal, J., y Apak, R. (2006). Modeling of of copper (II) and lead (II) adsorption on kaolinite-based clay minerals individually and in the presence of humic acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 295, 1-13. DOI: 10.1016/j.cis.2005.08.005
- Huddle, P. A., y Pillay, A. E. (1996). A In-Depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (1), 65-77.

- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (1999). Glossary of terms used in theoretical organic chemistry. *Pure and Applied Chemistry*, 71 (10), 1919-1981. Consultado el 21 de Diciembre de 2016. Disponible en: <http://web.archive.org/web/20080718204451/http://www.iupac.org/reports/1999/7110minkin/h.html>.
- Ivanov-Smolensky, A. G. (1949). *Rasgos de fisiología patológica del sistema nervioso superior*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Ivanov-Smolensky, A. G. (1950). Conferencia científica consagrada a los problemas de la doctrina fisiológica del académico I. V. Pavlov. En *Sesión de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. y de la Academia de Medicina* (pp. 69-70). Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Jacoby, L. L., y Witherspoon, D. (1982). Remembering without awareness. *Canadian Journal of Psychology*, 36, 300 - 324.
- Jian, M., y Jagels, R. (1999). Detection and quantification of changes in membrane associated calcium in red spruce sapling exposed to acid fog. *Tree Physiology*, 19, 909-916.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1995). Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 6. Consultado el 30 de Enero de 2017. Recuperado de <http://www.grao.com/revistas/alambique/006-la-educacion-ambiental/diez-anos-de-investigacion-e-innovacion-en-ensenanza-de-las-ciencias>.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1998). *Rosalind Driver (1941 - 1997)*. *Alambique*, 15. Consultado el 30 de Enero de 2017. Recuperado de: <http://www.grao.com/revistas/alambique/015-la-formacion-del-profesorado-en-ciencias/rosalind-driver-1941--1997>.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2000). Modelos Didácticos. En F. J. Perales, y P. Cañal (dirs.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 165-186). Alcoy: Marfil.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (coord.). (2003). *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Editorial GRAÓ.

- Jiménez-Aponte, F.M., Molina, M. F., y Carriazo, J. G. (2015). Investigación de las concepciones alternativas sobre ácidos y bases en estudiantes de secundaria. *Scientia et Technica*, 20 (2), 188 - 194.
- Jiménez-Liso, M. R. (2000). *Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas al nivel universitario*. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Granada. Granada.
- Jiménez-Liso, M. R., y De Manuel, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 451 - 464.
- Jiménez-Liso, M. R., De Manuel, E., y Salinas, F. (2002). Los procesos ácido-base en textos actuales y antiguos (1868 - 1955). *Educación Química*, 13 (2), 90 - 100.
- Jiménez-Liso, M. R., De Manuel, E., y Salinas, F. (2003). El razonamiento causal secuencial en los equilibrios ácido-base múltiples: propuestas didácticas en el ámbito universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (2), 223 - 242.
- Jiménez-Liso, M. R., De Manuel, E., González, F., y Salinas, F. (2002). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 451 - 461.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Conciuosness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N., y Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Londres: LEA.
- Johnson-Laird, P. N., y Steedman, M. (1978). The psychology of syllogism. *Cognitive Science*, 10 (1), 64-98.
- Johnstone, A. H., MacDonald, J. J., y Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171.
- Jones, B. L., Lynch, P. P., y Reesnick, C. (1987). Children's conception of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 43 - 53.
- Jones, M. M., y Vaughn, W. K. (1978). HSAB theory and acute metal ion toxicity and detoxification processes. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 40 (12), 2081-2088. DOI: 10.1016/0022-1902(78)80212-7

- Justi, R. (2011). Las concepciones de *modelo* de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de la ciencia. En A. Caamaño (coord.), *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 85-103). Barcelona: Graó.
- Justi, R., y Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 993-1009.
- Kala, N., Yaman, F., y Ayas, A. (2013). The Effectiveness of Predict-Observe-Explain Technique in Probing Students' Understanding about Acid-Base Chemistry: A Case for the Concepts of pH, pOH and Strength. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 555 - 574.
- Kahneman, D., y Frederick, S. (2002). Representativeness revisited: Attribute substitution in intuitive judgement. En T. Gilovich, D. Griffin, Y D. Kahneman (eds.), *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment* (pp. 49–81). Cambridge: Cambridge University Press.
- Karadeniz, B. (2013). Using Two-Tier Test to Identify Primary Students' Conceptual Understanding and Alternative Conceptions in Acid Base. *Mevlana International Journal of Education*, 3 (2), 19 - 26.
- Kariper, I. A. (2011). An Investigation into the Misconceptions, Erroneous Ideas and Limited Conception of the pH Concept in Pre-Service Teacher Education. *Chemical Education Journal*, 14 (1), 328 - 344.
- Karmiloff-Smith, A. (1988). The child is a scientist, not an inductivist. *Mind and Language*, 3 (3), 183-195.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond Modularity: A Developmental Perspective on Cognitive Science*. Cambridge: MIT. (Trad. cast. de Juan Carlos Gómez Crespo y María Núñez Bernardos: *Más allá de la modularidad: La ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo*, Madrid: Alianza Editorial, S.A., 1994).
- Karmiloff-Smith, A., y Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3, 195-212.
- Kauffman, G. B. (1988). The Brønsted-Lowry Acid-Base Concept. *Journal of Chemical Education*, 65 (1), 28 - 31.

- Keil, F. C. (1992). *Concepts, Kinds and Cognitive Development*. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press.
- Keil, F. C. (1994). The Birth and Nurturance of Concepts by Domains: The Origins of Concepts of Living Things. En L. A. Hirschfeld y S. A. Gelman (eds.), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Keil, F. C., y Silberstein, C. S. (1996). Schooling and the acquisition of theoretical knowledge. En D. Olson y N. Torrance (eds.), *The Handbook of Education and Human Development*. Oxford: Blackwell.
- Kelly, G. A. (1955). *The psychology of personal constructs*. Nueva York: Norton.
- Keuken, M. P., Bakker, F. P., Mols, J. J., Broersen, B., y Slanina, J. (1990). Atmospheric deposition and conversion of ammonium nitric acid on a historic building: A plot study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 38, 47-62.
- King, P. M., y Kitchener, K. S. (1994). Developing reflective judgment: Understanding and promoting intellectual growth and critical thinking in adolescents and adults. San Francisco: Jossey-Bass.
- Kirk, G. S., y Raven, J. E. (1969). *Los filósofos presocráticos*. Madrid: Gredos.
- Klein, C. A. (1982). Children's concepts of the Sun, a cross cultural study. *Science Education*, 65 (1), 95 - 107.
- Knoll, K. (1974). *Didáctica de la enseñanza de la física*. Buenos Aires: Kapelusz.
- Knorr-Cetina, K. D. (1999). *Epistemic cultures: how the sciences make knowledge*. Cambridge: Harvard University Press.
- Kock, E. (2005). Acid-Base Interactions in Energetics Materials: I. The Hard and Soft Acids and Bases (HSAB) Principles-Insights to Reactivity and Sensitivity of Energetic Materials. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 30 (2), 5-16.
- Kolb, D. (1978). Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, 55 (7), 459 - 464.
- Kolb, D. (1979). The pH concept. *Journal of Chemical Education*, 56 (1), 49 - 53.

- Kolmogorov, A. (1973). La vida y el pensamiento como formas particulares de existencia de la materia. En VV. AA., *Ciencias y Marxismo Leninismo* (pp. 55-70). México D. F.: Ediciones Roca, S. A.
- Kopstik, G. N., Kopstik, S. V., y Aamlid, D. (2001). Pine needle chemistry near a large point SO₂ sources in northern Fennoscandia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 130, 929-934.
- Korman, T. A. (1950). La reorganización del conocimiento durante el aprendizaje. *Izvestia APN RSFSR*, 28. [En ruso]
- Kossov, B. B. (1956). Características del aprendizaje de nociones algebraicas elementales, en alumnos con diversos tipos de interrelación entre el primero y segundo sistema de señales. *Voprosy Psichologii*, 4. [En ruso]
- Koubek, E. (1998). Acid-Base Chemistry of the Aluminium Ion in Aqueous Solution. *Journal of Chemical Education*, 75, 60.
- Kovács, L., Csupor, D., Lente, G., y Gunda, T. (2014). *100 Chemical Myths. Misconceptions, Misunderstandings, Explanations*. Nueva York: Springer.
- Krutetsky, V. A. (1959). Estudio experimental sobre las habilidades matemáticas. *Voprosy Psichologii*, 1. [En ruso]
- Krutetsky, V. A. (1960a). Habilidades matemáticas en niños de edad escolar. En E. I. Ignatiev (ed.), *Psicología de la personalidad*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Krutetsky, V. A. (1960b). Análisis experimental de la estructura de la habilidad matemática. En *Actas del Congreso sobre las habilidades*. Leningrado: Ediciones de la Universidad de Leningrado. [En ruso]
- Krutetsky, V. A. (1961). Algunas características del pensamiento en escolares con escasa aptitud para las matemáticas. En M. Cecchini (comp.), *Psicología y Pedagogía* (pp. 233-255). Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- Kudriavtseva, E. M. (1958). *Aprendizaje y aplicación de los conocimientos sobre la vida de las plantas*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Kuiper, J. (1994). Student ideas of Science concepts: alternative frameworks? *International Journal of Science Education*, 16 (3), 279 - 292.

- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Langmuir, I. (1919). The Arrangement of Electrons in Atoms and Molecules. *Journal of the American Chemical Society*, 41 (6), 868-934. DOI: 10.1021/ja02227a002.
- Lawson, A. F. (1989). Author's response. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 825-826.
- Lawson, A. E., Costenson, K., y Cisneros, R. (1985). A summary of research in science education - 1984. *Science Education*, 70 (3), 191 - 346.
- Lederman, N. G., y Zeidler, D. L. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teaching behavior? *Science Education*, 71 (5), 721-734.
- Leontiev, A. (1959). Los principios del desarrollo mental y el problema del retraso mental. En M. Cecchini (comp.), *Psicología y Pedagogía* (pp. 81-98). Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- Leontiev, A. (1983). *El desarrollo del psiquismo*. Madrid: Akal Universitaria.
- Lévy-Bruhl, L.(1910). *Les fonctions mentales dans les sociétés inférieures*. París: Félix Alcan Éditeur. [En francés]
- Lévy-Bruhl, L. (1922). *La mentalité primitive*. París: Librairie Félix Alcan. [En francés]
- Lewis, G. N. (1916). The Atom and the Molecule. *Journal of the American Chemical Society*, 38 (4), 762-785. DOI: 10.1021/ja02261a002.
- Lewis, G. N. (1923). *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*. Nueva York: The Chemical Catalog Company.
- Lewis, G. N. (1938). Acids and Bases. *Journal of the Frankling Institute*, 226 (3), 293-313.
- Ligouri, L., y Noste, M. I. (2007). *Didáctica de las Ciencias Naturales. Enseñar Ciencias Naturales*. Sevilla: Eduforma.
- Limón, M. (2005). Formación de conceptos y cambio conceptual. En F. Gabucio (coord.), *Psicología del Pensamiento* (pp. 59-91). Barcelona: Editorial UOC.
- Limón, M., y Carretero, M. (1996). Las ideas previas de los alumnos. ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias? En M. Carretero

- (coord.), *Construir y Enseñar Ciencias: Las Ciencias Experimentales*. Buenos Aires: Aique Grupo Editor S.A.
- Lin, J.W., y Chiu, M. H. (2007a). Exploring characteristics and diverse sources of students' mental models in acids and bases. *International Journal of Science Education*, 29 (6), 771-803.
- Lin, J. W., y Chiu, M. H. (2007b). A case study about teacher's pedagogical content knowledge influencing in students' mental models in acids and bases. *Chemical Education Journal*, 9 (2). Consultado el 10 de Julio de 2013. Recuperado de: <http://chem.sci.utsunomiya-u.ac.jp/v9n2/JWLin/JWLin.html>.
- Lin, J.W., y Chiu, M. H. (2010). The mismatch between students' mental models of acid/bases and their sources and their teachers' anticipations thereof. *International Journal of Science Education*, 32 (2), 1617-1646.
- Linke, R. D., y Venz, M. I. (1978). Misconceptions in physical science among non-science background students. *Research in Science Education*, 8, 183-194.
- Linke, R. D., y Venz, M. I. (1979). Misconceptions in physical science among non-science background students: II. *Research in Science Education*, 9, 103-109.
- Linke, R. D., Venz, M. I., y Deed, B. M. (1977-79). *Understanding and misconceptions in physical science among tertiary non-science background students*. Bedford Park, S. Australia: Educational Research Unit, Flinders University of South Australia.
- Linnenbrink, E. A., y Pintrich, P. R. (2002). Motivation as an enabler for academic success. *School Psychology Review*, 31, 313-327.
- Liu, C. J. (2003). The study on the relationship between student's mental state and the learning environment. En *Third International Conference on Science*. Sudáfrica: Mathematics and Technology Education.
- Liu, C. J., y Hou, I. L. (2004). A study on mental states of ninth grade students in learning about the concepts of plate tectonics. *Chinese Journal of Science Education*, 12 (4), 399-420.

- Liu, C. J., Hou, I. L., Chiu, H. L., y Treagust, D. F. (2013). An exploration of Secondary Students' Mental States When Learning About Acids and Bases. *Research in Science Education*, 44, 133-154.
- Lomov, B. (1989). Psicología soviética: su historia y situación actual. En I Congreso hispano-soviético de Psicología Social (pp. 99-115). Madrid: Política y Sociedad.
- LoPachin, R. M., Gavin, T., DeCaprio, A., y Barber, D. S. (2012). Application of the Hard and Soft, Acids and Bases (HSAB) Theory to Toxicant-Target Interactions. *Chemical Research in Toxicology*, 25 (2), 239–251. Consultado el 10 de Enero de 2017. Recuperado de: <http://doi.org/10.1021/tx2003257>.
- López-Cancio, J. (2003). *Química General*. México, D. F.: Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V.
- López-Hurtado, J. (1996). *El carácter científico de la pedagogía en Cuba*. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Luria, A. R. (1960). El papel del lenguaje en la formación de conexiones temporales y la regulación del comportamiento en niños normales y oligofrénicos. En M. Cecchini (comp.), *Psicología y Pedagogía* (pp. 99-116). Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Luria, A. R. (1973). *Fundamentos de Neuropsicología*. Moscú: Moskovski Gos.
- Luria, A. R. (1977). *Introducción evolucionista a la psicología*. Barcelona: Fontanela.
- Luria, A. R. (1980). *Lenguaje y Pensamiento*. Barcelona: Fontanela.
- Luria, A. R. (1983). Lesiones locales del cerebro y principios fundamentales para la localización de funciones. En A. A. Smirnov *et al.*, *Fundamentos de Psicofisiología* (pp. 113-142). Madrid: Siglo XXI de España Editores, S. A.
- Luria, A. R. (2000). *Conciencia y Lenguaje*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- Luria, A. R. (2003). *Desarrollo histórico de los procesos cognitivos*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- Lux, H. (1939). "Säuren" und "Basen" im Schmelzfluss: die Bestimmung der Sauerstoffionen-Konzentration ["Ácidos" y "Bases" en flujo de fusión:

- determinación de la concentración del ión óxido]. *Zeitschrift für Electrochemie*, 45 (4),303-309. [En alemán]
- Mali, G. B., y Howe, A. (1979). Development of Earth and gravity concepts among Nepali Children. *Science Education*, 63 (5), 685-691.
- Malinowsky, E. R. (1990). Methods for Calculating the pH of Aqueous Solutions of Salts of Monoprotics Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, 67, 502-504.
- Marewski, J. N., Gaissmaier, W., y Girenzer, G. (2010). Good judgments do not require complex cognition. *Cognitive Processesing*, 11, 103-121.
- Marín, N., y Benarroch, A. (1994). A comparative study of piagetian and constructivist work on conceptions in science. *International Journal of Science Education*, 16. 1-15.
- Markman, A. B. (1999). *Knowledge Representation*. Mahwah: Erlbaum.
- McClary, L., y Lowery, S. (2012). Development and Assessment of A Diagnostic Tool to Identify Organic Chemistry Students' Alternative Conceptions Related to Acid Strength. *International Journal of Science Education*, 34 (15), 2317-2341.
- McClary, L., y Talanquer, V. (2011a). College Chemistry Students' Mental Models of Acids and Acid Strength. *Journal of Reseach in Science Teaching*, 48 (4), 396-413.
- McClary, L., y Talanquer, V. (2011b). Heuristic Reasoning in Chemistry: Making decisions about acid strength. *International Journal of Science Education*, 33 (10), 1433-1454.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. En D. Gentner y A. Stevens (eds.), *Mental Models* (pp. 229-324). Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- McDuell, B., Pritchard, G., Mines, G., Lees, D., Rowbotham, N., Johnston, J., Payne, J., Oliver, R., y Hyde, P. (2000). *Teaching Secondary Chemistry*. Londres: Hodder Murray.
- McKendree, J., Small, C., Stenning, K., y Conlon, T. (2002). The role of representation in teaching and learning critical thinking. *Educational Review*, 54 (1), 56-67.

- McNaught, A. D., y Wilkinson, A. (comp.). (1997). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Mehrbach, C., Culberson, C. H., Hawley, J. E., y Pytkowicz, R. M. (1973). Measurement of the Apparent Dissociation Constant of Carbonic Acid in Seawater at Atmospheric Pressure. *Limnology and Oceanography*, 18 (6), 897-907. DOI: 10.4319/lm.1973.18.6.0897
- Mendoça, P. C. C., Justi, R., y Ferreira, P. F. M. (2005). Analogías Usadas no Ensino de Equilíbrio Químico: Compreensões dos Alunos e Papel na Aprendizagem. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (número extra). [En portugués]
- Mertens, D. M. (2005). *Research and evaluation in Education and Psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (2^a ed.). Thousand Oaks: Sage.
- Meyerson, E. (1931). *Du cheminement de la pensée*. París: Vrin. [En francés]
- Milagres, V. S. O., y Justi, R. (2001). Modelos de Ensino de Equilíbrio Químico- Algumas considerações sobre o que tem sido apresentado por livros didáticos destinados ao ensino médio. *Química Nona na Escola*, 13, 35-40. [En portugués]
- Millero, F. J. (2013). *Chemical Oceanography* (4th ed.). Florida: CRC Press.
- Minstrell, J. (1984). Teaching for the development of understanding of ideas: Forces on moving objects. En C. W. Anderson (ed.), *Observing science classrooms: Observing science perspectives from research and practice*. Columbia: ERIC Ohio State University.
- Miras, M. (2011). Un punto de partida para el aprendizaje de nuevos contenidos: los conocimientos previos. En C. Coll (coord.), *El constructivismo en el aula* (pp. 47-63). Barcelona: Graó.
- Mitchell, I., y Gunstone, R. F. (1984). Some students conceptions brought to the study of stoichiometry. *Research in Science Education*, 14, 78 - 88.
- Moeller, T. (1988). *Química Inorgánica*. Barcelona: Reverté, S. A.
- Moeller, T. (1994). *Química Inorgánica. Nueva versión puesta al día*. Barcelona: Editorial Reverté, S. A.

- Monroe, M., y Abrams, K. (1985). The Relative Strength of Oxyacids and Its Application. *Journal of Chemical Education*, 62, 41-43.
- Moore, C. E., Jaselskis, B., y Florian, J. (2010). Historical Development of the Hydrogen Ion Concept. *Journal of Chemistry Education*, 87, 922-923.
- Moreira, M. A. (2008). Aprendizaje significativo: la asimilación ausubeliana desde una visión cognitiva contemporánea. En M. Rodríguez (org.), *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva* (pp. 198-218). Barcelona: Octaedro.
- Moreira, M. A., Greca, I. M., y Rodríguez, M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 (3), 37-57.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in the classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20, 6782.
- Mortimer, E. F. (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Madrid: Antonio Machado Libros.
- Nakhleh, M. B. (1994). Student's Models of Matter in the Context of Acid-Base Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71 (6), 495-499.
- Nakhleh, M., y Krajcik, J. S. (1993). A protocol analysis of the influence of technology on students' actions, verbal commentary, and thought processes during the performance of acid base titrations. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1149-1168.
- Nakhleh, M., y Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1077-1096.
- Natadze, R. G. (1957). El aprendizaje de los conceptos científicos en la escuela. En M. Cecchini (comp.), *Psicología y Pedagogía* (pp. 205 - 211). Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Naveh-Benjamin, M., McKeachie, W. J., Lin, Y., y Tucker, D. G. (1986). Inferring students' cognitive structure and their development using the "ordered tree technique". *Journal of Educational Psychology*, 78, 130 - 140.
- Nekrasov, B. (1975). *Química General*. Moscú: Editorial MIR.

- Nelson, D. L., y Cox, M. M. (2006). *Lehninger, Principios de Bioquímica* (4^a ed.). Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- Nersessian, N. J. (2008). Mental modelling in conceptual change. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Conceptual Change* (pp. 391-416). Londres: Routledge.
- Niaz, M. (1993). Progressive problemshifts between different research programs in science education: A lakatosian perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 757-765.
- Nic, M., Jirat, J., Kosata, B., y Jenkins, A. (comp.) (2006). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology* (electronic version). Consultado el 22 de Diciembre de 2016. Recuperado de: <https://goldbook.iupac.org/B00601.html>.
- Nohl, H. (1965). *Antropología Pedagógica* (3^a ed.). México D. F.: Fondo de Cultura Económica.
- Norby, J. G. (2000). The origin and the meaning of the little p in pH. *Trends in Biochemical Sciences*, 25 (1), 36-37.
- Novack, J. D. (1977). *A Theory of Education*. Ithaca: Cornell University Press.
- Novack, J. D. Ed. (1987). *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ythaca: Cornell University.
- Novack, J., y Gowin, D. B. (1984). *Learning How to Learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nussbaum, J. (1985). The Earth as a cosmic body. En R. Driver, E. Guesne; y A. Tiberghien (eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 170 - 192). Buckingham: Open University Press.
- Nussbaum, J., y Sharoni-Dagan, N. (1983). Changes in second grade children's preconceptions about the Earth as a cosmic body resulting from a short series of audio tutorial lessons. *Science Education*, 67 (1), 99 - 114.
- Nussbaum, J., y Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183 - 200.

- O'Brien-Malone, A., y Maybery, M. (1998). Implicit Learning. En K. Kirsner; C. Spelman; M. Maybery; A. O'Brien-Malone; M. Anderson y C. McLeod (eds.), *Implicit and Explicit mental processes*. Nueva Jersey.: Erlbaum.
- Okochi, H., Kameda, H., Hasegawa, S., Saito, N., Kubota, K., e Igawa, M. (2000). Deterioration of concrete structures by acid deposition - An assessment of the role of rain water on deterioration by laboratory and field exposure experiments using mortar specimens. *Atmospheric Environment*, 34, 2937-2945.
- Oparin, A. (2015). *El origen de la vida*. Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Osborne, R. J., Biddulph, F., Freyberg, P., y Sygminton, D. (1982). *Confronting the Problems of Primary School Science* (Working Paper N° 110). Hamilton, Nueva Zelanda: Universidad de Waikato.
- Osborne, R. J., y Freyberg, P. (1982). *Learning in Science Project (Forms 1-4): Final Report*. Hamilton, Nueva Zelanda: Universidad de Waikato.
- Osborne, R. J., y Freyberg, P. (1985). *Learning in Science: the Implications of "Children' Science"*. Nueva Zelanda: Heinemann Educational.
- Osborne, R. J., Simon, S., y Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Research in Science Education*, 25, 1049-1079.
- Osborne, R. J., y Wittrock, M. C. (1983). Learning Science: A generative process. *Science Education*, 67 (4), 489 - 508.
- Ouertatani, L., Dumon, A., Trabelsi, M. A., y Soudani, M. (2007). Acids and Bases: The appropriation of The Arrhenius Model by Tunisian Grade 10 Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 483 - 506.
- Oversby, J. (2000). Models in explanations of chemistry: The case of acidity. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing models in science education* (pp. 227-251). Dordrecht: Kluwer.
- Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: A review of research and the case of Turkey. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 225 - 233.
- Park, E. J., y Choi, K. (2013). Analysis of Student Understanding of Science Concepts including Mathematical Representations: pH Values and the

- Relative Differences of pH Values. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11, 683 - 706.
- Park, P. K. (1969). Oceanic CO₂ System: An Evaluation of Ten Methods of Investigation. *Limnology and Oceanography*, 14 (2), 179-186. DOI: 10.4319/llo.1969.14.2.0179
- Parr, R. G., y Pearson, R. G. (1983). Absolute Hardness: companion parameter to absolute electronegativity. *Journal of the American Chemical Society*, 105 (26), 7512-7516.
- Pavlov, I. P. (1949). *Miércoles clínicos*. Moscú: Ediciones de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. vol. I.
- Pedrosa, M. A., y Dias, M. H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 227-236.
- Pearson, R. G. (1963). Hard and soft acids and bases. *Journal of the American Chemical Society*, 85 (22), 3533-3539. DOI: 10.1021/ja00905a001.
- Pearson, R. G. (1966). Acids and Bases. *Science*, 151 (3707), 172-177.
- Pearson, R. G. (1968a). Hard and soft acids and bases, HSAB, part 1: Fundamental principles. *Journal of Chemical Education*, 45 (9), 581-586.
- Pearson, R. G. (1968b). Hard and soft acids and bases, HSAB, part II: Underlying theories. *Journal of Chemical Education*, 45 (10), 643-648.
- Pearson, R. G. (1995). The HSAB Principle - more quantitative aspects. *Inorganica Chimica Acta*, 240, 93-98.
- Pellón, I. (2012). *El atomismo en química. Un nuevo sistema de filosofía química de John Dalton*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Peña, A., Caamaño, A. (2002). *Análisis de las concepciones ácido-base de estudiantes de Bachillerato*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de México: México, D. F.
- Peraita, H. (2011). Conceptos y Categorización. En M. J. González Labra (coord.), *Introducción a la psicología del pensamiento* (pp. 185-234). Madrid: Editorial Trotta, S.L.

- Petri, J., y Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20 (9), 1075-1088.
- Phillips, G. M., Hunter, J. S., y Sutton, L. E. (1945). An investigation of the occurrence of the co-ordinate or dative link by electric dipole moment measurements. *Journal of the Chemical Society*, 0, 146-162. DOI: 10.1039/JR9450000146.
- Phillips, J. P. (1958). The Senses are Indicators in Volumetric Analysis. *Journal of Chemical Education*, 35 (1), 35.
- Phoenix, D. A. (1999). Numeracy and the life scientist! *Journal of Biological Education*, 34 (1), 3 - 4.
- Piaget, J. (1926). *La representation du monde chez l'enfant*. París: Presses Universitaires de France. [En francés]
- Piaget, J. (1946). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. París: Presses Universitaires de France. [En francés]
- Piaget, J. (1952a). Logique et équilibre. *Études d'épistemologie génétique*, 4. [En francés]
- Piaget, J. (1952b). *The Origins of Intelligence in Children*. Nueva York: W. W. Norton & Co.
- Piaget, J. (1973). *La formation de la notion de force*. París: Presses Universitaires de France. [En francés]
- Piaget, J. (1974). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence. Sélection organique et phénocopie*. París: Hermann. [En francés]
- Piaget, J., y García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Buenos Aires: Siglo XXI editores argentina, S.A.
- Piaget, J., e Inhelder, B. (1948). *La representation de l'espace chez l'enfant*. París: Presses Universitaires de France. [En francés]
- Piaget, J., e Inhelder, B. (1971). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Suiza: Delachaux et Niestlé. [En francés]
- Piaget, J., y Szeminska, A. (1952). *The Child's Conception of Number*. Nueva York: Routledge & Kegan Paul, Ltd.
- Pinarbasi, T. (2007). Turkish Undergraduate Students' Misconceptions on Acids and Bases. *Journal of Baltic Science Education*, 6 (1), 23-34.

- Pines, A. L., y West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Science Education*, 70 (5), 583 - 604.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self regulated learning. En M. Boekaerts, P. R. Pintrich y M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation*. San Diego: Academic Press.
- Pintrich, P. R. (2006). Las creencias motivacionales como recursos y restricciones para el cambio conceptual. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (comps.), *Cambio conceptual y educación* (pp. 53-86). Buenos Aires: Aique.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., y Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63 (2), 167-199.
- Pogolotti, G. (31 de Julio de 2016). Si fuera maestra. *Granma*. Consultado el 31 de Julio de 2016. Recuperado de <http://www.granma.cu/opinion/2016-07-31/si-fuera-maestra-31-07-2016-21-07-19>.
- Ponti, A., y Molteni, G. (2006). DFT-HSAB Prediction of Regioselectivity in 1,3-Dipolar Cycloadditions: Behavior of (4-Substituted) benzonitrile Oxides towards Methyl Propiolate. *Chemistry. A European Journal*, 12 (4), 1156-1161. DOI: 10.1002/chem.200500739
- Posada, J. M. (2000). El estudio didáctico de las ideas previas. En F. J. Perales y P. Cañal (dir.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 363-388). Alcoy: Editorial Marfil, S. A.
- Posner, G. J., y Keele, S. W. (1968). On the Genesis of Abstract Ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 353-363.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertoz, D. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- Pozo, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías Cognitivas del Aprendizaje*. Madrid: Morata.

- Pozo, J. I. (1992). El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos. En C. Coll (coord.), *Los contenidos en la reforma: Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes* (pp. 19 - 79). Madrid: Santillana.
- Pozo, J. I. (1994). El cambio social en el conocimiento físico y social: del desarrollo a la instrucción. En M.J. Rodrigo (Ed.), *Contexto y desarrollo social*. Madrid. Síntesis.
- Pozo, J. I. (1996). *Aprendices y Maestros*. Madrid: Alianza.
- Pozo, J. I. (1997). El cambio sobre el cambio: hacia una nueva concepción del cambio conceptual en la construcción del conocimiento científico. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds.), *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 155-176). Barcelona: Paidós.
- Pozo, J. I. (2001). *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Ediciones Morata, S.L.
- Pozo, J. I. (2003c). *Adquisición de conocimiento. Cuando la carne se hace verbo*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I., y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas ¿qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35 - 52.
- Pozo, J. I., y Gómez-Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I. y Gómez-Crespo, M. A. (2005). The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23, 351-387.
- Pozo, J. I., Gómez-Crespo, M. A., Limón, M., y Sanz, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la química*. Madrid: Servicios de Publicaciones del MEC.
- Pozo, J. I., Gómez-Crespo, M. A., y Sanz, A. (1999). When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (eds.). *New perspectives on conceptual change*. Oxford: Elsevier.

- Pozo, J. I., Pérez Echeverría, M. P., Sanz, A., y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 57, 3 - 22.
- Pozo, J. I., y Scheuer, N. (1999). Las concepciones alternativas como teorías implícitas. En J. I. Pozo y C. Monereo (eds.), *El aprendizaje estratégico* (pp. 87 - 108). Madrid: Santillana.
- Predvechni, G. P., Kon, I. S., Platonov, K. K., Diliguenski, G. G., Levikin, I. T., Olshanski, V. B., Leontiev, A. A., Petrovski, A. V., y Sherkovin, I. A. (1983). *Psicología Social*. México D. F.: Cartago de México, S. A.
- Quay, P. D., Tilbrook, B., y Wong, C. S. (1992). Oceanic Uptake of Fossil Fuel CO₂: Carbon-13 Evidence. *Science*, 256 (5053), 74-79. DOI: 10.1126/science.256.5053.74
- Quijada, P., y Trillo, M. (2014). Los riesgos de dejar de escribir a mano. *ABC*. Consultado el 16 de Junio de 2016. Recuperado de: <http://www.abc.es/sociedad/20140616/abci-caligrafia-escribir-mano-ordenador-201406141916.html>.
- Quílez, J., y Sanjosé, V. (1995). Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las ciencias*, 13 (1), 72-80.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. En E. F. Redish y M. Vicentini (eds.), *Proceedings of the International School of Physics, 'Enrico Fermi' Course CLVI* (pp. 1-64). Amsterdam: IOS Press.
- Redko, A. Z. (1950). El aprendizaje de los conceptos históricos en los escolares de la V a la VII clase. *Izvestia APN*, 28.
- Reed, C. A. (2013). Myths about the Proton. The Nature of H⁺ in Condensed Media. *Account of Chemical Research*, 46 (11), 2567 - 2575.
- Rivière, A. (1997). *Teoría de la mente y metarepresentación*. (Informe inédito). Universidad Autónoma de Madrid: Madrid.

- Rodrigo, M. J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds.). *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 177-194). Barcelona: Paidós.
- Rodrigo, M. J. y Correa, N. (1999). Teorías implícitas, modelos mentales y cambio educativo. En J. I. Pozo., y C. Monereo (eds.), *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Santillana.
- Rodrigo, M. J., Rodríguez, A., y Marrero, J. (1993). *Las teorías implícitas: una aproximación al conocimiento cotidiano*. Madrid: Visor Distribuciones, S. A.
- Rodríguez-Moneo, M. (1999). *Conocimiento previo y cambio conceptual*. Buenos Aires: Aique.
- Rodríguez-Palmero, M. L. (2000). *Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de C.O.U.* (Tesis doctoral). Universidad de La Laguna: La Laguna.
- Rodríguez-Palmero, M. L. (2008). La teoría del aprendizaje significativo. En M. L. Rodríguez-Palmero (org.). *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva*. Barcelona: Ediciones Octaedro, S. L.
- Rodríguez-Palmero, M. L., Marrero, J., y Moreira, M. A. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3), 243-268.
- Rosch, E. R. (1977). Classification of real-world objects: origins and representation in cognition. En: P. N. Johnson-Laird y P. C. Wason (eds.), *Thinking: readings in cognitive science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosch, E. R. (1978). Principles of Categorization. En R. E. Rosch y B. B. Lloyd (eds.), *Cognition and Categorization*. Hillsdale: LEA.
- Ross, B., y Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13 (1), 11 - 23.

- Rubinson, J. F., y Rubinson, K. A. (2000). *Química Analítica Contemporánea*. México, D. F.: Prentice Hall.
- Rubinstein, S. L. (1963). *El ser y la conciencia y El pensamiento y los caminos de su investigación* (2ª ed.). México, D. F.: Editorial Grijalbo, S. A.
- Rubinstein, S. L. (1967). *Principios de Psicología General*. México, D. F.: Editorial Grijalbo, S. A.
- Rumelhart, D. E., y Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. En R. C. Anderson, R. J. Spiro, y W. E. Montague (eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. En R. J. Spiro, B. C. Bruce y W. F. Brewer (eds.), *Theoretical issues in reading comprehension*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Saitta, L., Neri, F., Bajo, M. T., Cañas, J., Chaiklin, S., Esposito, F., Kayser, D., Nédellec, C., Sabah, G., Tiberghien, A., Vergnaud, G., y Vosniadou, S. (1995). Knowledge representation changes in humans and machines. En P. Reimann y H. Spada (eds.), *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science* (pp. 109 - 127). Nueva York: Pergamon.
- Salcedo, L. E., y García, J. J. (1997). Los suelos en la enseñanza de la teoría ácido-base de Lewis. Una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 59 -71.
- Saltiel, E., y Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137 - 144.
- Sang, D., Millar, R., Hollins, M., Kibble, B., Solomon, J., y Osborne, J. (2000). *Teaching Secondary Physics*. Londres: John Murray Publishers, Ltd.
- Sant Anna-Santos, B. F., da Silva, L. C., Azevedo, A. A., de Arango, J. M., Fegueiredo, E., da Silva, E. A. M., y Aguiar, R. (2006). Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 158-168.

- Saykally, R. J., y Blake, G. A. (1993). Molecular Interactions and Hydrogen Bond Tunneling Dynamics: Some New Perspectives. *Science*, 259, 1570 - 1575.
- Schmidt, H. J. (1991), A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13, 459 - 471.
- Schmidt, H. J. (1992). Conceptual difficulties with isomerism. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (9), 995 - 1003.
- Schmidt, H. J. (1997). Students' misconceptions: looking for a pattern. *Science Education*, 81 (2), 123-135.
- Schmidt, H. J. y Volke, D. (2003). Shift of meaning and students' alternative concepts. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1409-1424.
- Schnotz, W., Vosniadou, S., y Carretero, M. (comps.). (2006). *Cambio conceptual y educación*. Buenos Aires: Aique Grupo Editor.
- Schofield, B., Murphy, P., Johnson, S., y Black, P. (1982). *Science in schools, age 13: Report no. 1*. Londres: Department of Education and Science Assessment of Performance Unit/HMSO.
- Seaborg, G. T. (1984). The Research Style of Gilbert N. Lewis: Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, 61, 93 - 100.
- Sechenov, I. M. (1965). *Los reflejos del cerebro*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba.
- Sersale, R., Frigione, G., y Bonavita, L. (1998). Acid deposition and concrete attack: main influence. *Cement and Concrete Research*, 28, 19-24.
- Shah, A. K., y Oppenheimer, D. M. (2008). Heuristics made easy: An effort-reduction framework. *Psychological Bulletin*, 134, 207-222.
- Shakhashiri, B. Z. (1989). *Chemical Demonstrations, A Handbook for Teachers of Chemistry*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Shardakov, M. N. (1955). *Rasgos de psicología del escolar*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú.
- Shavelson, R. (1972). Some aspect of the correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction. *Journal of Educational Psychology*, 63, 225 - 234.

- Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titration and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (1), 32 - 45.
- Shevarev, P. A. (1946). Un análisis psicológico experimental de los errores algebraicos. *Izvestia APN*, 3.[En ruso]
- Shif, Z. I. (1933). *El desarrollo de los conceptos cotidianos y científicos*. (Tesis Doctoral). Universidad de Moscú: Moscú.[En ruso]
- Shtoff, V. A. (1966). *El modelado y la filosofía*. Moscú: Nauka. [En ruso]
- Shymansky, J. A., y Kyle, W. C. (1988). A summary of research in science education - 1986. *Science Education*, 72 (3), 293 - 304.
- Sillén, L. G. (1961). The Physical Chemistry of Seawater. En M. Sears (ed.), *Oceanography* (pp. 549-581). Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science.
- Silverstein, T. P. (2000). Weak vs Strong Acids and Bases: The Football Analogy. *Journal of Chemical Education*, 77 (7), 849 - 850.
- Silverstein, T. P. (2011). The Solvated Proton is NOT H_3O^+ ! *Journal of Chemical Education*, 88, 875.
- Silverstein, T. P. (2014). The Aqueous Proton is Hydrated by More Than One Water Molecule: Is the Hydronium Ion a Useful Conceit? *Journal of Chemical Education*, 91, 608 - 610.
- Silvestre, M., y Zilberstein, J. (2000). *¿Cómo hacer más eficiente el aprendizaje?* México D.F.: CEIDE.
- Silvestre, M., y Zilberstein, J. (2002). *Hacia una didáctica desarrolladora*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Simon, B., y Simon, J. (1963). *Educational Psychology in the U.S.S.R.* Londres: Routledge & Kegan Paul, Ltd.
- Sinatra, G. M., y Pintrich, P. R. (2003). *Intentional conceptual change*. Mahwah: Erlbaum.
- Singh, A., y Agrawal, M. (2008). Acid rain and its ecological consequences. *Journal of Environmental Biology*, 29 (1), 15-24.
- Slotta, J. D., Chi, M. T., y Joram, E. (1995). Assessing students' misclassification of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13, 373 - 400.

- Smirnov, A. A. (1973). *Problems of the Psychology of Memory*. Nueva York: Plenum Press.
- Smirnov, A. A., Blinkov, S. M., Farber, D. A., Jananashvili, M. M., Jomskaia, E. D., Jrizman, T. P., Kogan, A. B., Livanov, M. N., Luria, A. R., Muchnik, L. S., Nebylitzin, V. D., Novikova, L. A., Poliakov, G. I., Rutman, E. M., Shandurina, A. N., y Smirnov, V. M. (1983). *Fundamentos de Psicofisiología*. Madrid: Siglo XXI de España Editores, S. A.
- Smirnov, A. A., Leontiev, A. N., Rubinstein, S. L., Teplov B. M., Blagonadezhina, L. V., Gonobolin, F. N., Gurevich, K. M., Gurianov, E. V., Zhinkin, N. I., Ignatiev, E. I., Krutetski, V. A., Leites, N. S., Luria, A. R., Memchinskaya, N. A., Sokolov, A.N., Sokolov, E. N., Elkonin, D. B., Bozhovich, L. I., Zaporoshets, A. V., Poliakov, G. I., y Shemiakin, F. N. (1960). *Psicología*. México, D. F.: Grijalbo, S. A.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., y Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3 (2), 115-163.
- Smith, K. J., y Metz, P. A. (1996). Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representation. *Journal of Chemical Education*, 73 (3), 233 - 235.
- Sneider, C., y Pulos, S. (1983). Children's cosmographics: understanding the Earth' shape and gravity. *Science Education*, 67 (2), 205 - 222.
- Solé, I., y Coll, C. (2011). Los profesores y la concepción constructivista. En C. Coll et al., *El constructivismo en el aula* (pp. 7-23). Barcelona: Editorial GRAÓ.
- Solomon, J. (1983a). Messy, contradictory and obstinately persistent: a study of children's out-of-school ideas about energy. *School Science Review*, 65 (231), 225-230.
- Solomon, J. (1983b). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5 (1), 49-59.
- Solomon, J. (1988). Una perspectiva social de los esquemas conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 5, 17-20.
- Solomon, J. (1992). *Getting to Know about Energy in School and Society*. Londres: Falmer Press.

- Solomon, J. (1993). The social construction of children's scientific knowledge. En P. L. Black (ed.), *Children's informal ideas about science* (pp. 85-101). Londres: Routledge.
- Solovev, I. M. (1953). Características del olvido en los niños mentalmente retrasados. En L. V. Zankov (ed.), *Educación de los niños sordomudos y mentalmente retrasados*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú. [En ruso]
- Souza, V. C. A., Justi, R., y Ferreira, P. F. M. (2006). Analogías utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: Uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 11 (1), 7-28. [En portugués]
- Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction*, 4 (1), 113-116.
- Spelke, E. (1991). Physical knowledge in infancy: reflections on Piaget's theory. En S. Carey y R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind. essays on biology and cognition*. Hillsdale: Erlbaum.
- Spelke, E., y Kestenbaum, R. (1986). Les origines du concept d'object. *Psychologie Française*, 31, 67 - 62.[En francés]
- Spiro, T. G., y Stigliani, W. M. (2004). *Química Medioambiental* (2ª ed.). Madrid: Pearson Educación, S. A.
- Stadler, M. A., y Frensch, P. A. (1998). *Handbook of implicit learning*. Thousand Oaks, Ca.: Sage.
- Staver, J. R., Enochs, L. G., Koeppe, O. J., McGrath, D., Mchellan, J., Oliver, J. S., Scharmann, L. C., y Wright, E. L. (1989). A summary of research in science education. *Science Education*, 73 (3), 243 - 255.
- Stavy, R. (1990). Pupils' Problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 501-512.
- Stavy, R., y Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics: Intuitive rules*. Nueva York: Teachers College Press.
- Stoyanov, E. S., Kim, K-C., y Reed, C. A. (2006). The Nature of the H₃O⁺ Hydronium Ion in Benzene and Chlorinated Hydrocarbon Solvents. Conditions of Existence and Reinterpretation of Infrared Data. *Journal of the American Chemical Society*, 128 (6), 1948 - 1958.

- Stoyanov, E. S., Stoyanova, I. V., y Reed, C. A. (2010). The Structure of the Hydrogen Ion, H^+ (aq), in Water. *Journal of the American Chemical Society*, 132, 1484 - 1485.
- Stoyanov, E. S., Stoyanova, I. V., y Reed, C. A. (2011). The Unique Nature of H^+ in Water. *Chemical Science*, 2, 462 - 472.
- Stranks, D. R., Heffernan, M. L., Lee-Dow, K. C., McTigue, P. T., y Withers, G. R. A. (1970). *Chemistry. A structural view*. Melbourne: Melbourne University Press.
- Stuiver, M. (1978). Atmospheric Carbon Dioxide and Carbon Reservoir Changes. *Science*, 199(4326), 253-258. DOI: 10.1126/science.199.4326.253
- Stumm, W., y Morgan, J. J. (1981). *Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters* (2ª ed.). Nueva York :John Wiley and Sons, Inc.
- Suresh, P., Azath, I. A., y Pitchumani, K. (2010). Naked-eye detection of Fe^{3+} and Ru^{3+} in water: Colorimetric and ratiometric sensor based on per-6-amino- β -cyclodextrin/p-nitrophenol. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 146, 237-277. DOI: 10.1016/j.snb.2010.02.047
- Szabadváry, F. (1964). Development of the pH concept. A historical survey. *Journal of Chemical Education*, 41 (2), 105 - 107.
- Taber, K. S. (1998a). An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education*, 20 (5), 597 - 608.
- Taber, K. S. (1998b). The sharing-out of nuclear attraction: or I can't think about Physics in Chemistry. *International Journal of Science Education*, 20 (8), 1001-1014.
- Taber, K. S. (1999a). Ideas about ionisation energy: an instrument to diagnose common alternative conceptions. *School Science Review*, 81 (295), 97-104.
- Taber, K. S. (1999b). Alternative conceptual frameworks in chemistry. *Education in Chemistry*, 36 (5), 135-137.
- Taber, K, S. (2000). Chemistry lessons for universities?: a review of constructivist ideas. *University Chemistry Education*, 4 (2), 26-35.

- Taber, K. S. (2001a). Constructing chemical in the classroom? Using research to inform practice. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2 (1), 43-51.
- Taber, K. S. (2001b). The mismatch between assumed prior knowledge and the learners' conceptions: a typology of learning impediments. *Educational Studies*, 27 (2), 159-171.
- Taber, K. S. (2001c). Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 23 (7), 731-753.
- Taber, K. S. (2002a). *Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background*. Londres: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. S. (2002b). *Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure. Volume II: classroom resources*. Londres: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. S. (2006). Beyond constructivism: The progressive research programme into learning science. *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- Taber, K. S. (2008). Conceptual resources for learning science: Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 30, 1027-1053.
- Taber, K. S., y Tan, K. C. D. (2007). Exploring learners' conceptual resources: Singapore A level students' explanations in the topic of ionisation energy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 375-392.
- Taber, K.S., y Watts, M. (2000). Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1 (3), 329-353.
- Takanashi, A., Takanashi, W., Kazuo, S., e Ichi, S. (2001). Atmospheric deposition of acidifying components to a Japanese cedar forest. *Water, Air, & Soil Pollution*, 130, 559-564.
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83 (5), 812-816.

- Tamm, C. O., y Hallbacken, L. (1988). Changes in soil acidity in two forest areas with different acid deposition. 1920 to 1980. *Ambio*, 17, 56-61.
- Tariq, V. N. (2002). A decline in numeracy skills among bioscience undergraduates. *Journal of Biological Education*, 36 (1), 76-83.
- Taton, R. (1988). *Historia general de las ciencias*. Barcelona: Orbis.
- Todd, P. M., y Gigerenzer, G. (2000). Précis of simple heuristics that make us smart. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 727-780.
- Toplis, R. (1998). Ideas about acids and alkalis. *School Science Review*, 80 (291), 67-70.
- Treagust, D. F., y Duit, R. (2008). Compatibility between cultural studies and conceptual change in science education: There is more to acknowledge than to fight straw men! *Cultural Studies of Science Education*, 3 (2), 387-395.
- Tsurumaki, A., Kagimoto, J., y Ohno, H. (2011). Properties of polymer electrolytes composed of poly (ethylene oxide) and ionic liquids according to hard and soft acids and bases theory. *Polymers for Advanced Technologies*, 22 (8), 1223-1228. DOI: 10.1002/pat.1931
- Tuttle, T. R. (1991). Ammonium Hydroxide: What Is Its Structure? *Journal of Chemical Education*, 68 (6), 533. DOI: 10.1021/ed068p533.3.
- Tytler, R. (1998). The nature of students' informal science conceptions. *International Journal of Science Education*, 20, 901-927.
- Ujtomsky, A. A. (1950). Obras completas (Tomo I). Leningrado: Ediciones de la Universidad de Leningrado. [En ruso]
- Úriz, M. J., Ballesteros, A., Viscarret, J. J., y Ursúa, N. (2006). *Metodología para la investigación*. Pamplona: Ediciones Eunate.
- Usanovich, M. (1939). On acids and bases. *Journal of General Chemistry*, 9, 182-192.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (2), 133-170. [En francés]
- Vidyapati, T. J., y Seetharamappa, J. (1995). Higher secondary school students' concepts of acids and bases. *School Science Review*, 77 (278), 82-84.

- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), 205-222.
- Viennot, I. (1985). Analyzing students' reasoning: tendencies in interpretation. *American Journal of Physics*, 53 (5), 432 - 436.
- Vigotsky, L. S. (1934). *Myshlenie i Resh* [Pensamiento y habla]. Moscú: Publicaciones socio-económicas del estado.[En ruso]
- Vigotsky, L. S. (1956). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. En M. Cecchini (comp.). *Psicología y Pedagogía* (pp. 23-39). Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Vigotsky, L.S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.
- Vigotsky, L. S. (2014). *La imaginación y el arte en la infancia. Ensayo psicológico*. Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Vinagre, F., Mulero, M. R., y Guerra, J. F. (2013). *Cuestiones curiosas de química* (3ª ed.). Madrid: Alianza Editorial, S. A.
- Voska, K. W., y Heikkinen, H. W. (2000). Identification and Analysis of Student Conceptions Used to Solve Chemical Equilibrium Problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (2), 160-176.
- Vosniadou, S. (1994a). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45 - 69.
- Vosniadou, S. (1994b). Universal and culture-specific properties of children's mental models of the earth. En L. Hirschfeld y S. Gelman (eds.), *Mapping the Mind*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. En L. Magnani y N. J. Nersessian (eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). Nueva York: Kluwer Academic and Plenum Publisher.
- Vosniadou, S. (2006). Investigaciones sobre el cambio conceptual: direcciones futuras y de vanguardia. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (eds.), *Cambio conceptual y educación* (pp. 35-52). Buenos Aires: Aique Grupo Editor.
- Vosniadou, S. (2007). Conceptual change and education. *Human Development*, 50 (1), 47-54.

- Vosniadou, S., y Brewer, W. F. (1990). A cross cultural investigation of children's conceptions about the Earth, the Sun and the Moon: Greek and American data. En H. Mandl, E. De Corte, N. Bennett y H. F. Friedrid (eds.), *Learning and Instruction. European Research in an International Context: Second Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction* (vol. 2.2). Oxford: Pergamon Press.
- Vosniadou, S., y Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535 - 585.
- Vosniadou, S., y Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1213 - 1230.
- Wade, L. G. Jr. (2004). *Química Orgánica* (5ª ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Wagh, N. D., Shukla, P. V., Tambe, S. B., e Ingle, S. T. (2006). Biological monitoring of roadside plants exposed to vehicular pollution in Jalgaon city. *Journal of Environmental Biology*, 27, 419-421.
- Wandersee, J. H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23 (7), 581 - 597.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J.J., y Arnaudín, M. W. (1987). Children's biology: a content analysis of conceptual development in the life sciences. En J. D. Novack (ed.), *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (pp. 523 - 534). Universidad de Cornell: Ythaca.
- Warren, B., Ballenger, C., Ogonowski, M., Rosebery, A. S., y Hudicourt-Barnes, J. (2001). Rethinking diversity in learning science: The logic of everyday sense-making. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (5), 529 - 552. Doi: 10.1002/tea.1017
- Watmough, S. A., y Dillon, P. J. (2003). Base cation and nitrogen budgets for a mixed hardwood catchment's in south-central Ontario. *Ecosystems*, 6, 675-693.
- Watters, D. J., y Watters, J. J. (2006). Student Understanding of pH. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34 (4), 278 - 284.

- Waugh, N. C., y Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, 89 - 104.
- Weber, K. (2002). Developing students' understanding of exponent and logarithms. En *Proceedings of the Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 2-10). Atenas: GA.
- Weldon, M. S., y Roediger, H. L. (1987). Altering retrieval demands reverses the picture superiority effect. *Memory & Cognition*, 15, 269-280.
- Wellman, H. M., y Gelman, S. A. (1992). Cognitive Development. Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337 - 375.
- West, L. H., Fensham, P. J., y Garrard, J. E. (1985). Describing the cognitive structures of learners following instruction in chemistry. En L. H. T. West y A. L. Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 61 - 90). Orlando, Academic Press.
- Wheeler, A. E., y Kass, H. (1978). Students' misconceptions in chemical equilibrium, *Science Education*, 62, 223-232.
- Whelpdale, D. M. (1983). Acid deposition, distribution and impact. *Water Quality Bulletin*, 8, 72-80.
- Whitfield, M. (1975). The effect of increases in the atmospheric carbon dioxide content on the carbonate ion concentration of surface ocean water at 25°C. *Limnology and Oceanography*, 20, 103-108. DOI: 10.4319/lo.1975.20.1.0103
- Wilson, J. M. (1998). Differences in Knowledge Networks about Acids and Bases of Year-12, Undergraduate and Postgraduate Chemistry Students. *Research in Science Education*, 28 (4), 429 - 446.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11, 87-95.
- Wittrock, M. C. (1978). The cognitive movement instruction. *Educational Psychologist*, 13, 15-29.
- Wittrock, M. C. (1986). *Handbook of Research on Teaching*. Nueva York: Macmillan.
- Wolff, W. (1947). *What is Psychology?* Nueva York: Grune & Straton, Inc.

- Woodwell, G. M. (1978). The Carbon Dioxide Question. *Scientific American*, 238, 34-43.
- Woolfolk, A. (2010). *Psicología Educativa* (11ª ed.). México: Pearson Educación S.A.
- Young, J. A., y Malik, J. G. (1969). According to the definition, $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$, there is no mathematical reason why one can't have a negative pH...Is such a thing possible? *Journal of Chemical Education*, 46 (1), 36.
- Zankov, L. V. (1959). *Estudios experimentales en la interacción sobre palabra y lenguaje en el aprendizaje*. Moscú: Ediciones de la Universidad de Moscú.
- Zankov, L. V., Arguinskaya, I., Berkman, T., Budnitskaya, I., Dmitrieva, N., Zhuravliova, R., Zvereva, M., Indik., N., Krasnova, M., Kuznetsova, U., Kumarina, G., Nechaieva., N., Poliakova, A., Romanovskaya, Z., Studenkin, M., Tovpinets, I., y Chutko, N. (1975). *Obucheniye i Razbitiye* [La enseñanza y el desarrollo]. Moscú: Editorial Progreso.[En ruso]
- Zembylas, M. (2005). Three perspectives in linking the cognitive and the emotional in science learning: conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41, 91-116.
- Zhao, D-X., Xu. Z-Z., y Yang, Z-Z. (2013). Local HSAB rationalization of Diels-Alder reactions by means of *ab initio* and ABEE $\text{M}\sigma\pi$ methods: Stereoselectivity and reaction rate. *International Journal of Quantum Chemistry*, 113 (8), 1116-1127. DOI: 10.1002/qua.24173.
- Zilberstein, J., Portela, R., y Mcpherson, M. (1999). *Didáctica Integradora de las Ciencias vs Didáctica Tradicional. Experiencia Cubana*. La Habana: Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño, Cátedra UNESCO en Ciencias de la Educación.
- Zoller, U. (1990). Students' Misunderstandings and Misconceptions in College Freshman Chemistry (General and Organic). *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (10), 1053 - 1065.
- Zykova, V. I. (1950). Operaciones sobre los conceptos en la solución de problemas geométricos. *Izvestia APN*, 28.[En ruso]

ANEXOS

ANEXOS.**Anexo I. Cuestionario utilizado para esta tesis doctoral.**

Este cuestionario tiene como propósito estudiar los conocimientos de los estudiantes universitarios sobre los conceptos ácido - base y temas relacionados, es totalmente ANÓNIMO. Te pedimos que contestes con la mayor sinceridad para no alterar los resultados de la investigación, por favor, aquella pregunta que no entiendas o no tengas clara, déjala en blanco. GRACIAS por tu participación.

Titulación:

Curso:

Bachillerato de procedencia:

1. Sobre ácidos y bases, marca verdadero, falso o no sabes:

Sentencia	V	F	NS
a) Un ácido es más fuerte que otro porque posee más protones en su estructura			
b) Una base es más fuerte que otra porque posee más iones hidroxilo en su estructura			
c) Un ácido fuerte y una base débil no reaccionan			
d) Una base fuerte y un ácido débil no reaccionan			
e) Los ácidos fuertes en disolución acuosa dan lugar a un pH más alto que los ácidos débiles			
f) Los ácidos pueden quemar la piel, las bases no			
g) Una sal es siempre neutra, es decir, no participa en reacciones ácido - base			
h) El compuesto $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ es una base porque posee un grupo OH			
i) El compuesto NH_3 es un ácido porque posee protones			
j) El pH neutro es 5,5			
k) A $\text{pH} = 0$, las sustancias no son ni ácidos ni bases			
l) El pH de la lluvia es neutro			

2. Para la siguiente reacción, $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$, marca la opción que consideres correcta:

- El agua actúa sólo como base.
- El agua actúa sólo como ácido.
- El agua es ácido y base simultáneamente.
- El agua es un disolvente y no puede actuar ni como ácido ni como base.

2.1. Escribe la misma reacción anterior (2) siguiendo estas teorías ácido - base:

Bronsted - Lowry →

Arrhenius →

Lewis →

3. Sobre el tipo de suelo, marca la opción que consideres correcta:

- Los suelos no pueden ser ácidos
- Los suelos pueden ser ácidos, básicos o neutros
- Los suelos no pueden ser básicos
- Los suelos no pueden ser ni ácidos ni básicos, son neutros

4. Clasifica como ácido o como base marcando con una X.

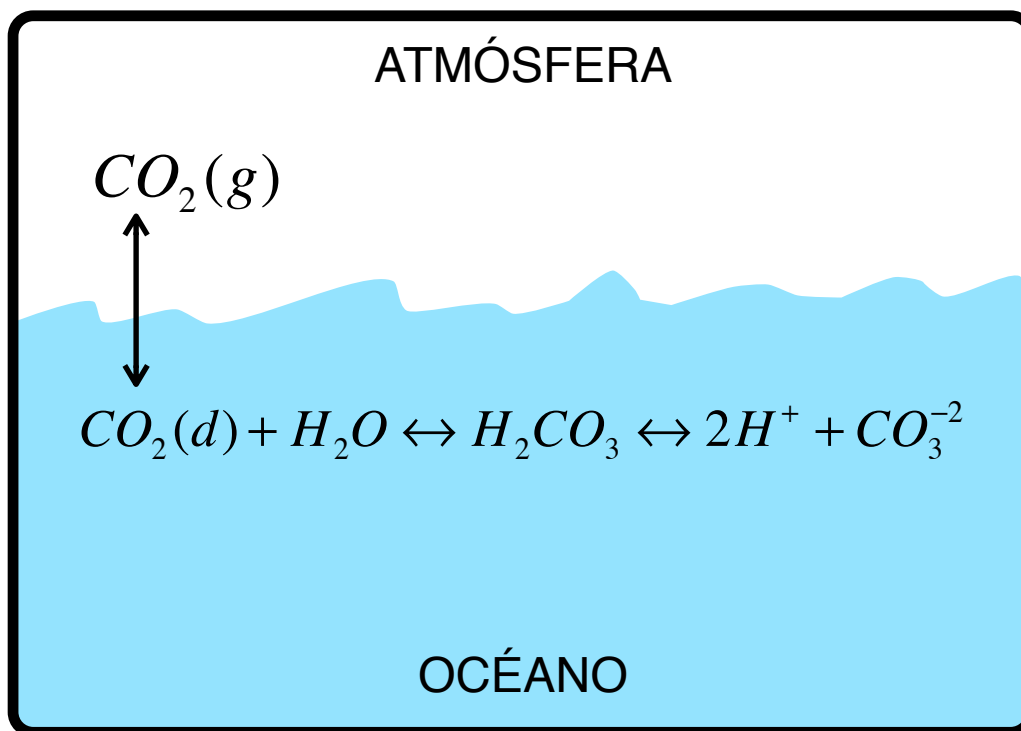
Producto	Ácido	Base	Producto	Ácido	Base
Lejía			Sosa Caústica		

5. En una titulación ácido débil - base fuerte, se va añadiendo base hasta llegar al punto final cuyo pH es aproximadamente 9, responde verdadero, falso o no sabes:

Sentencia	V	F	NS
El pH final no puede ser 9 sino 7 por tratarse de una neutralización ácido - base			
El indicador se utiliza para que la reacción ácido - base se produzca			
El cambio de color del indicador será observable a un pH único y específico			

Utilización del concepto para la explicación de situaciones y fenómenos

6. Observando la figura, marca una de las opciones en cada apartado:



a) ¿Qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si se disuelve $CaCO_3$ en la disolución?

- Aumenta.
- Disminuye.
- Se mantiene.
- No sé.

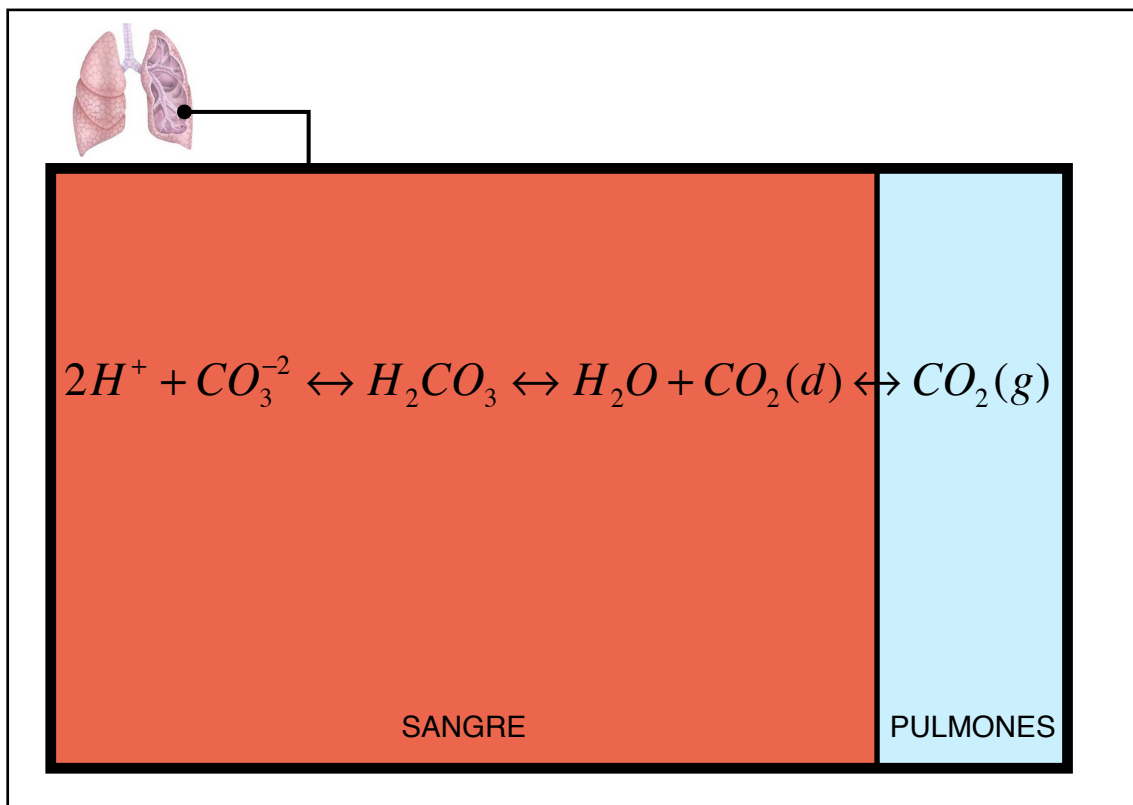
b). ¿Qué ocurre con la presión parcial de CO_2 si precipita $CaCO_3$?

- Aumenta.
- Disminuye.
- Se mantiene.
- No sé.

c). Si aumenta la presión parcial del CO_2 gaseoso, ¿qué ocurrirá con el pH de la disolución?

- Aumenta.
- Disminuye.
- Se mantiene.
- No sé.

7. Marca hacia dónde se desplaza el equilibrio del tampón bicarbonato (observando la figura) en un animal pulmonado, sí:



a). Respira un aire con una elevada presión parcial de CO_2 .

- Derecha.
- Izquierda.
- No se desplaza.
- No sé.

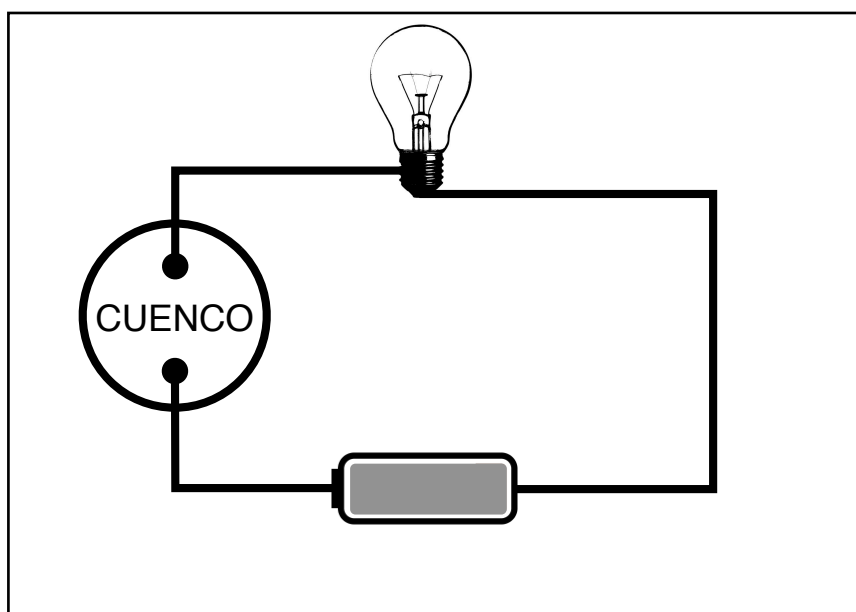
b). Se vierte ácido láctico hacia la sangre procedente de los músculos.

- Derecha.
- Izquierda.
- No se desplaza.
- No sé.

c). Se vierte NH_3 hacia la sangre.

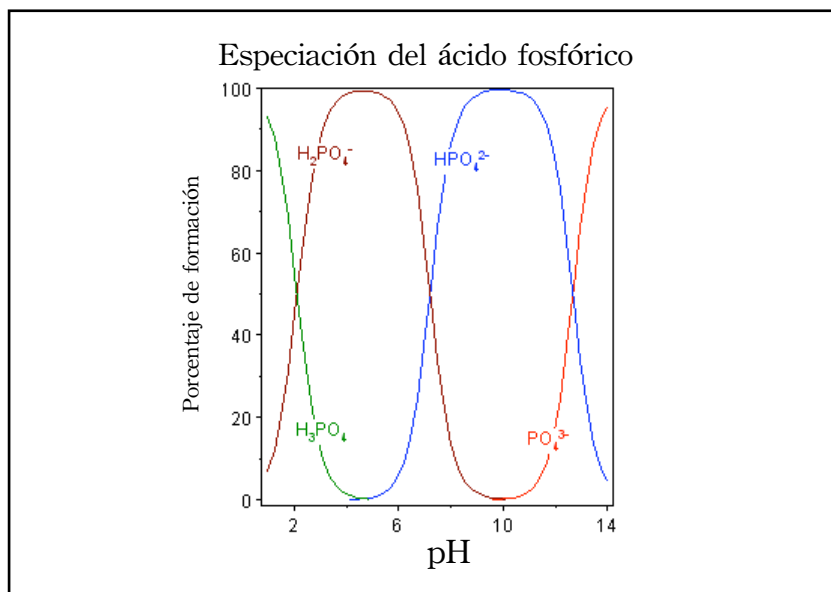
- Derecha.
- Izquierda.
- No se desplaza.
- No sé.

8. Observa la figura que se muestra a continuación. Marca la opción que te permita encender la bombilla:



- Añadiré al cuenco una disolución ácida, ya que sólo los ácidos conducen la electricidad.
- Añadiré al cuenco una disolución básica, ya que sólo las bases conducen la electricidad.
- Puedo añadir tanto una disolución básica como una ácida ya que ambas conducen la electricidad.
- No añado nada porque ni una disolución ácida ni una básica conducen la electricidad.

9. Observando el gráfico inferior de especiación del ácido fosfórico en disolución acuosa, marca la opción correcta.



a) ¿Qué especie predomina en disolución a pH = 0?

- H_3PO_4
- H_2PO_4^-
- HPO_4^{2-}
- PO_4^{3-}

b) ¿Qué especie predomina en disolución a pH = 10?

- H_3PO_4
- H_2PO_4^-
- HPO_4^{2-}
- PO_4^{3-}

c) ¿Qué especie predomina en disolución a pH = 14?

- H_3PO_4
- H_2PO_4^-
- HPO_4^{2-}
- PO_4^{3-}

Anexo II. Cronograma de la administración del cuestionario a los sujetos.

Durante la toma de datos no fue posible, tal y como se había planificado, muestrear de forma consecutiva todos los cursos de una misma facultad ya que se depende de la disponibilidad de los horarios de profesores y alumnos, dispares según los cursos y facultades estudiados. Esta circunstancia determinó una estrategia de toma de datos intermitente.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
2013				
				8 Marzo 3° CCM 9:00 h Aula 201 María Gelado
11 Marzo 2° CCM 9:00 h Aula 105 Inmaculada Menéndez 4° CCM 11:00 h Aula 202 Pepe Mangas	12 Marzo 1° IQ 10:20 h F - 105/106 Zoraida Sosa 1°B CCM 13:00 h Grupo 2 Aula 203 Ricardo Álvarez	13 Marzo 3° IQ 9:30 h Aula 101 Norberto Cabrera 1°C CCM 13:00 h Grupo 3 Aula 203 Ricardo Álvarez 2° IQ 17:00 h Aula 104 Manuel Rodríguez	14 Marzo 1°A CCM 13:00 h Grupo 4 Aula 203 Ricardo Álvarez 1° IOI 15:00 h F - 111 Antonio Déniz	
18 Marzo 1°D CCM Grupo 1 13:00 h Aula 203 Ricardo Álvarez	29 Abril 2°B MED 11:15 h Aula 14 María González 1° FIS 13:00 h Aula 9 David Álamo			

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
2014				
	18 Marzo 1º IQ 12:00 - 12:25 Aula F 105 - 106 J. Antonio Cañada		13 Marzo 2ºB MED 8:50 h Aula 12 2ºA MED 9:55 h Aula 11 Irene Hernández 1ºB MED 13:30 h Aula 13 María I. Marrero	14 Marzo 1ºA MED 9:00 h Aula 13 María I. Marrero
			10 Abril	11 Abril
			1ºA CCM 12:00 h 1ºB CCM 13:00 h Laboratorio B2 Francisco Pérez	1ºC CCM 12:00 h 1ºD CCM 13:00 h Laboratorio B2 Francisco Pérez
2015				
			9 Abril 3º ENF 10:15 h Aula 3 Maximino Díaz	
	21 Abril 1ºB ENF 13:14 h 1ºA ENF 14:15 h Aula 2 Pilar Frensen			

Anexo III. Permiso otorgado por el departamento de didácticas especiales para la toma de datos experimentales.



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Didácticas Especiales

JOSÉ LUÍS CORREA SANTANA, SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS ESPECIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,

CERTIFICA

Que D. Enrique Tagle Páez, con DNI: 42249483 R, está matriculado en el Programa Doctorado de Formación del Profesorado de la ULPGC, realizando su Tesis: "Teorías Ácido – Base y conceptos relacionados: Un Estudio exploratorio en estudiantes universitarios", por lo que necesitará tomar datos experimentales para desarrollar su trabajo de investigación.

Y para que así conste y a los efectos oportunos, expido el presente en Las Palmas de Gran Canaria a trece de febrero de dos mil trece.



t +34 928 451 770
f +34 928 452 778

secretaria@dde.ulpgc.es
www.ulpgc.es

C / Santa Juana de Arco, nº 1
Campus del Obelisco
35004 Las Palmas de Gran Canaria

