

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



**CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS ANTRÓPICOS
EN LOS SISTEMAS COSTEROS DE GRAN CANARIA
(ISLAS CANARIAS, ESPAÑA)**

Nicolás Ferrer Valero

Curso 2015 / 2016

D. Francisco Hernández Calvento

Trabajo Fin de Título para la obtención del título de Máster en Gestión Costera

Este Trabajo Final de Título (TFT), titulado “Cuantificación de los impactos antrópicos en los sistemas costeros de Gran Canaria (Islas Canarias, España)”, ha sido realizado por Nicolás Ferrer Valero, con DNI 47290609X, alumno del Máster Universitario en Gestión Costera de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

El trabajo ha sido dirigido por Luis Hernández Calvento, director del Grupo de Investigación en Geografía Física y Medio Ambiente, integrado en el Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCAG).

La investigación ha sido posible gracias al contrato predoctoral de Personal Investigador en Formación (FPI), del Plan Propio de la ULPGC, del que es beneficiario el autor desde 2014. Asimismo, los trabajos se enmarcan en el proyecto ACSO2013-43256-R, de 'Caracterización de procesos socio-ecológicos de los sistemas de playas-dunas de Canarias como base para su gestión sostenible', aprobado y financiado por el Plan Nacional de I+D+i del Gobierno de España, otorgado al Instituto de Oceanografía y Cambio Global de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Fdo. Luis Hernández Calvento

Fdo. Nicolás Ferrer Valero

Agradezco especialmente la realización de esta tesis al profesor Luis Hernández Calvento por haber confiado en mí desde el principio y haberme brindado de forma altruista la oportunidad que necesitaba en un momento crucial de mi vida. En general, a todos los miembros del Grupo en Geografía Física y Medioambiente de esta universidad, del cual es un orgullo formar parte. Gracias por los consejos, charlas, orientaciones, etc. Y, por supuesto, gracias a mi familia y novia, que son los que apoyan día a día.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1. CLASIFICACIÓN DE COSTAS.....	8
3.2. ANÁLISIS DE DATOS.....	11
4. RESULTADOS.....	14
5. DISCUSIÓN.....	21
6. CONCLUSIONES.....	24
7. BIBLIOGRAFÍA.....	25
8. MARCO DE DESARROLLO DEL TFT.....	29

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras ejercen una atracción sobre la población del planeta, habiendo sido afectadas por la actividad humana a lo largo de su historia, ya sea para el aprovechamiento de sus múltiples recursos o como lugar de residencia (Nordstrom, 1994). Ha sido especialmente en las últimas décadas cuando estas afecciones han sido más significativas (Jackson and Nordstrom, 2011), al haberse producido un fenómeno de “litoralización” de la sociedad (Bajocco et al., 2012). En la actualidad entre el 50% y el 70% de la población mundial se concentra en las costas (Minura et al., 2007) y casi el 30% de su superficie está alterada por actividades relacionadas con el desarrollo humano (Martínez et al., 2007). Esto ha conllevado una degradación acelerada de los sistemas costeros naturales, con riesgo de perder procesos ecológicos vitales (Santana Cordero et al., 2016).

En este contexto, se han hecho esfuerzos por conocer tendencias de cambios en la costa, especialmente en EEUU y en Europa, tanto desde una perspectiva institucional (USGS, 2004; European Comission, 2004), como por parte de la comunidad científica. Por lo que respecta a esta última, se han abordado trabajos a diferentes escalas para estudiar problemas de erosión costera en espacios de reconocida problemática en ambos continentes (Terich & Levenseller, 1986; Dolan et al, 1990; Amin & Davidson-Arnott, 1997; Aubié & Tastet, 2000; White & Wang, 2003; Cui & Li, 2011; Hapke et al., 2013; Lira et al., 2016). También se ha trabajado sobre las modificaciones costeras en otras partes del mundo, siendo habitual el análisis de la relación entre tasas de cambio observadas y actividades humanas en el entorno, especialmente por cambios en las coberturas y usos del suelo. Son ejemplos de ello los trabajos de Narayana y Priju (2006) en la costa central de Kerala (India), o de Smith y Abdel-Kader (1988) y Banna y Frihy (2009), en el delta del Nilo (noreste de Egipto).

En el contexto general, la dinámica de las costas sedimentarias han sido ampliamente más estudiadas que la de costas rocosas (Naylor et al, 2010), aunque éstas supongan el 80% de las costa mundial (Emery y Khun, 1982). No obstante, también existen un buen número trabajos en este tipo de costas. Cabe citar de ejemplo a Dornbusch et al. (2008), quienes analizan las tasas de erosión históricas en cantiles costeros en East Sussex; de Pierre (2006), sobre retroceso de acantilados en el norte de Francia; o de Alveirinho et al. (1992), quienes caracterizan los procesos de erosión en acantilados en un área turística del Algarve portugués.

El desarrollo turístico ocupa un lugar predominante en los cambios en la morfología costera de muchos lugares del mundo. Los impactos por esta actividad pueden producirse por la ocupación de la costa por infraestructuras, el desarrollo de actividades recreativas y la aplicación de medidas de gestión inadecuadas (Nordstrom, 1994, 2000; Grössling, 2002; Tzatzanis et al., 2003; Grunewald, 2006). En este contexto, los territorios insulares, especialmente las islas pequeñas sometidas a presión turística, presentan características que los hacen especialmente vulnerables. Los territorios insulares cuentan con recursos limitados y escasos (Hay, 2013) y dependen directa o indirectamente de los bienes y servicios vinculados a los sistemas marinos y costeros (Minura et al., 2007). La concentración en estos entornos frágiles, de infraestructuras y actividades, genera sobreexplotación de los recursos y pone en riesgo los valores naturales sobre los que se asientan las propias actividades, llegando a plantear problemas socio-económicos graves (Grössling, 2002; García-Romero et al., 2016).

Los efectos de los cambios de coberturas y usos del suelo en las costas insulares, han sido abordados mediante aproximaciones cualitativas y cartográficas. En el caso de las islas Canarias, Matos y Santana (1993) o Pérez-Chacón et al. (2007), plantean cómo el desarrollo humano en las costas, especialmente el turismo, ha producido cambios geomorfológicos y funcionales en ciertos ecosistemas; García-Romero et al. (2016) relacionan las tasas de cambios en ambientes sedimentarios eólicos insulares con el desarrollo turístico; y otros trabajos, como Hernández-Calvento et al. (2014) y Hernández-Cordero et al. (2012), relacionan el desarrollo de esta actividad con cambios directos o indirectos en la geomorfología eólica, por alteración del viento o de la vegetación. Sin embargo hay pocos estudios que analicen los impactos de la actividad humana sobre la geodiversidad costera (Ruban, 2010), y ninguno que haya sido aplicado a costas insulares.

En este trabajo se plantea establecer una relación directa y medible entre el desarrollo urbano-turístico y los cambios geomorfológicos en la costa, estudiando el grado de alteración humana sobre las formas del relieve costero y sus consecuencias sobre la configuración natural del litoral, especialmente sobre la geodiversidad costera. En este trabajo, el término “urbano-turístico”, se emplea en sentido amplio, abarcando el desarrollo urbano de tipo turístico, pero también residencial, comercial e industrial. Se pretende estudiar el estado de conservación de las costas de una isla desde el punto de vista geomorfológico, considerando su evolución reciente, como consecuencia de cambios inducidos por actividades antrópicas. Se aplica, como área piloto, a la isla de

Gran Canaria (Islas Canarias, España), una pequeña isla atlántica de origen volcánico, sometida en las últimas décadas a un alto grado de presión antrópica, especialmente en sus espacios litorales. Se pretende aplicar una metodología en la isla de Gran Canaria que sirva de antecedente para ser implementada en otros espacios con características semejantes.

2. AREA DE ESTUDIO

Gran Canaria es una isla atlántica de origen volcánico, con forma aproximadamente circular y 50 km de diámetro medio, situada a 140 millas de la costa de noroeste de África (figura 1). Tiene una superficie de 1560.10 km² y una longitud de costa de 256 km (ISTAC, 2009).

Forma parte de las Islas Canarias, cuyo origen corresponde con una típica alineación de punto caliente intraplaca (Carracedo et al., 1998). El desplazamiento de la placa africana sobre el punto caliente determina que la edad geológica sea progresivamente mayor hacia las islas orientales, cuya fase de desarrollo se ha denominado vulcanismo post-erosivo, siendo Gran Canaria la tercera isla más antigua del archipiélago, con 14.5 millones de años (Carracedo et al., 1998).

La diversidad geológica de Gran Canaria, bien representada en la costa, es una de las más altas del archipiélago (Araña y Carracedo, 1980). La isla está formada principalmente por rocas básicas (basaltos, basanitas), y en menor medida, por emisiones sálicas (fonolitas, traquitas, riolitas), extruidas en procesos eruptivos diversos (lávicos, piroclásticos, ignimbríticos).

La isla de Gran Canaria presenta una altitud máxima de 1.949 metros sobre el nivel del mar (Pico de las Nieves) y tiene una abrupta orografía donde predominan las geoformas erosivas como barrancos, macizos e interfluvios, en el interior, y acantilados y plataformas rocosas, en la costa.

Su población, muy concentrada en la costa, era de 829.597 habitantes en 2008, siendo la segunda isla más poblada de las Islas Canarias (ISTAC, 2009). El incremento demográfico experimentado en las últimas décadas se relaciona con transformaciones en la actividad económica y productiva. Se ha pasado de una economía, hasta los años 60 del pasado siglo, articulada en torno al sector primario, a un modelo actualmente basado en el sector servicios, principalmente el turismo, la construcción y el comercio. En 2008 el número de turistas que visitó Gran Canaria alcanzó la cifra de 1.681.743, lo que da

idea de la dimensión del fenómeno (ISTAC, 2009), muy dependiente, por otro lado, en las características climáticas y geomorfológicas propias de la costa.

La alta densidad demográfica y el enorme desarrollo urbanístico, ha conllevado la ocupación y degradación de una parte significativa de la isla, especialmente de las zonas litorales del este y sur (Morales Matos y Santana Santana, 1993).



Figura 1. Área de estudio.

3. METODOLOGIA

3.1. Clasificación de costas

Con el objetivo de cuantificar los impactos humanos sobre las geformas de la costa de Gran Canaria, se recurrió a elaborar una cartografía geomorfológica tomando

como referencia los años 60, previos al desarrollo urbano-turístico de la isla, y otra cartografía geomorfológica actual, tomando como referencia la década de 2000. En Las Palmas de Gran Canaria se pudo retroceder hasta el siglo XIX debido a la disponibilidad de fuentes.

El levantamiento geomorfológico se apoya en la integración de fuentes fotográficas y topográficas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para detectar cambios de origen antrópico en áreas actualmente afectadas por ocupación y actividades humanas, se procedió a la georreferenciación de fotografías aéreas de los años 60 del siglo pasado. En el caso específico de Las Palmas de Gran Canaria, fueron utilizadas además fuentes cartográficas más antiguas, incluidas en estudios previos (Santana Cordero et al., 2014; Santana-Cordero et al., 2016). Para las áreas no ocupadas, la interpretación se hizo con base en una serie moderna (2002 a 2015) de 9 fotografías aéreas ortorrectificadas, procedentes de la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias (GRAFCAN, S.A., Gobierno de Canarias). Además de las fuentes fotográficas, el reconocimiento geomorfológico se apoyó en la utilización de Mapas Topográficos 1:1.000 y 1:5.000 (GRAFCAN, S.A., Gobierno de Canarias), y Modelos Digitales de Elevaciones a partir de nubes de puntos LiDAR de 2009, con densidad de 0,5 puntos/m² (Instituto Geográfico Nacional).

El sistema de clasificación empleado para el levantamiento geomorfológico se basó en la identificación individualizada de las principales geoformas que constituyen el litoral (McGill, 1958; Alexander, 1966; Finkl, 2004; Biolchi et al, 2016), considerando exclusivamente geoformas simples de primer orden, es decir, aquellas que no pueden ser a su vez agrupadas en otras geoformas mayores. Fueron seleccionadas un total de nueve geoformas de primer orden (tabla 1) que, según nuestro criterio, completan la totalidad del espectro de geodiversidad a mesoescala del espacio costero de la isla de Gran Canaria. En este trabajo el término “geodiversidad”, conceptualmente más amplio, se emplea como sinónimo de “diversidad geomorfológica”.

Playas de piedras o arena, plataformas litorales (*shore platforms*) y acantilados costeros (de tipo *plunging cliffs*), fueron identificados como geoformas predominantes en la zona de *foreshore*. En el *backshore* o trasplaya se consideró la presencia de acantilados costeros, campos eólicos y de dunas litorales, y humedales costeros; así como sus respectivas formas fósiles (campos de eolianitas y paleodunas litorales; y paleoacantilados costeros). Por último, se registró la presencia de relieves costeros distales; tanto roques (*marine stacks*) como barreras rocosas (*rocky reefs*).

Tabla 1. Definición de las geoformas costeras incluidas en el levantamiento geomorfológico, con indicación de los criterios de identificación utilizados en la fotointerpretación y análisis del MDE.

	Definición	Identificación
Acantilados costeros	Escarpes rocosos supralitorales, de elevada pendiente, sujetos a erosión marina en la base (Bird, 2008), con altura superior a 3m. Incluye formas activas e inactivas (Emery y Khun, 1982).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sin inundación de la superficie en la Máxima Pleamar Observada (MPO). 2. Los perfiles topográficos sobre confirman la presencia de un escarpe de altura superior a 3m.
Plataformas litorales	Superficies rocosas intermareales, subhorizontales, sujetas a complejos mecanismos de erosión subaérea y marina (Trenhaile, 1987; Stephenson and Kirk, 1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inundación total o parcial de la superficie en la Pleamar Máxima Observada (PMO). 2. Presencia del cirrípedo <i>Chthamalus stellatus</i> (Ramírez et al, 2008). 3. Alta reflectividad en el infrarrojo cercano por colonización de algas.
Playas de piedras	Acumulaciones sedimentarias de tamaño predominante canto-bloque, generalmente formando acumulaciones en la marea alta.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imagen de textura heterogénea. 2. Marca de agua única y rectilínea.
Paleoacantilados	Laderas originariamente trabajadas por el mar, abandonadas de forma permanente o definitiva por la actividad marina por causas ajenas a su dinamismo (isostasia, eustasia, procesos de acreción y progradación costera).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Topografía en la que se observa una ladera escarpada, con base colgada sobre el nivel del mar a altura semiconstante, paralela a la costa y separada por una extensión de llanura o terraza.
Playas de arena	Acumulaciones sedimentarias de tamaño predominante arena-grava, generalmente compuestas de un cuerpo emergido y otro sumergido.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imagen de textura homogénea. 2. Marcas de agua múltiples y sinusoides.
Paleodunas	Extensiones de arenas eólicas consolidadas (eolianitas), formando antiguas dunas (paleodunas) o campos eólicos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Amplias superficies de coloración amarillenta alargadas en el sentido de los vientos dominantes (NNE).
Dunas litorales	Extensiones de arenas eólicas móviles, semimóviles o estabilizadas, formando campos de dunas y sistemas eólicos actuales.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superficies arenosas acumulativas (dunas barjanas, cordones barjanoides, láminas de arena, duna en montículo, etc.) acumulación en el sentido de los vientos dominantes (NNE).
Humedales costeros	Zonas costeras depresionarias, de origen natural, donde se producen acumulación permanente o temporal de agua salina (lagunas costeras y saladares).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presencia de láminas de agua temporales o permanentes, adyacentes a la costa. 2. Presencia de comunidades vegetales acuáticas de aguas salobres (<i>Enteromorpha intestinalis-Ruppium maritima</i>) y comunidades vegetales terrestres halófilas (<i>Frankenio capitatae-Suaedetum verae</i>) (Del Arco et al., 2006).
Relieves residuales	Retazos rocosos desligados de tierra, de altura mayor a 5 m.s.n.m. (roques) o desarrolladas por debajo del nivel medio del mar, pudiendo aflorar en la marea baja (arrecifes).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Roques: >5 msnm y desligado de tierra en la PMO. 2. Arrecifes: <1 msnm y desligado a tierra en la Bajamar Máxima Observada (BMO).

Los procedimientos utilizados en la identificación de cada geoforma están recogidos en la tabla 1. El análisis geomorfológico abarca, hacia el mar, desde la línea de la Bajamar Máxima Observada (BMO) en la serie ortofotográfica (2002-2015), y hacia tierra, hasta el límite, variable, de las geoformas del *backshore* o trasplaya.

Como base cartográfica y de análisis se utilizó la línea de costa del Mapa Topográfico 1:5.000 (GRAFCAN, S.A., Gobierno de Canarias), trazada por la cota del cero hidrográfico. En las franjas costeras sometidas a ocupación humana se reconstruyó la línea de costa en base a los documentos fotográficos y cartográficos mencionados. Una vez obtenido el perímetro costero original, se efectuaron nueve réplicas de la capa en el SIG, una para cada geoforma considerada. El análisis subsiguiente consistió en identificar la presencia o ausencia de cada geoforma i en cada tramo o punto de la línea de costa, sin establecer escala mínima de fotointerpretación. Así, cada una de las nueve polilíneas obtenidas, fue dividida en n segmentos que recibieron el código 1 o 0 en la base de datos, según se corroborase la presencia o ausencia, respectivamente, de la geoforma.

Al proyectar cartográficamente las diferentes geoformas sobre la línea de perímetro costero, se logró simplificar en una dimensión longitudinal, múltiples elementos geomorfológicos de carácter superficial (dunas, playas, plataformas, etc.), integrando la información espacial con fines analíticos. Dicha conversión se ha efectuado siempre en dirección perpendicular a la línea de costa (*shore-normal*), procedimiento empleado implícitamente en otros trabajos de geomorfología litoral que emplean SIG (Del Rio y Gracia, 2009).

3.2. Análisis de datos

La comparación de las características geomorfológicas del medio costero anteriores al desarrollo urbano-turístico de la isla (años 60 del siglo pasado) y su estado actual, se establece a través de cuatro categorías de impactos humanos, que se relacionan con el estado de conservación de las geoformas cartografiadas (tabla 2).

Las cuatro clases forman una escala de intensidad de impactos, en que las categorías superiores implican a las anteriores (tabla 2). En un extremo, la categoría “inalterado” corresponde a sistemas intactos o con impactos leves, y en el otro, la categoría “extinto”, corresponde a sistemas donde los impactos por actividad humana

son máximos, habiéndose producido la destrucción o desaparición total de las geoformas. En situaciones intermedias hemos situado las categorías “alterado” y “semi-destruido”.

Tabla 2. Categorías utilizadas en el análisis de los impactos humanos sobre las geoformas litorales de Gran Canaria.

Categorías		Definición
Preservado	Inalterado	Geoformas que se encuentran inalteradas o han experimentado alteraciones leves que no afectan significativamente a sus características morfológicas y a su dinámica natural. Por lo general, se encuentran en área de escasa o nula ocupación humana, donde la baja intensidad de la actividad humana del litoral ha permitido la pervivencia de las geoformas en condiciones de baja o nula modificación.
	Alterado	Geoformas que han experimentado perturbaciones notables, morfológicas y/o en su dinámica, habiéndose modificado visiblemente sus características naturales, en muchas ocasiones hacia su deterioro, aunque su superficie original se haya conservado en gran parte. Por lo general, se encuentran en áreas con niveles de ocupación medios y altos, donde las presiones humanas sobre el espacio son elevadas.
Sin preservar	Semidestruido	Geoformas parcialmente desaparecidas debido a la eliminación de una parte muy significativa de su superficie original, y que en algunos casos se encuentran en procesos de degradación agudos y al borde de la desaparición si persisten las actividades humanas responsables del deterioro.
	Extinto	Destrucción completa de las geoformas, que ha llevado a su extinción y sustitución, generalmente, por un medio artificial.

De cara a la cuantificación de daños en las geoformas y su repercusión en la geodiversidad, las categorías “inalteradas” y “alteradas”, forman el conjunto de geoformas que hemos denominado “preservadas”, mientras que las categorías “semi-destruidas” y “extintas”, han sido agrupadas en la categoría de “no preservadas” (tabla 2).

Mediante fotointerpretación, se han clasificado, en cada una de las cuatro categorías, el estado de conservación de cada tramo de la costa con base en los cambios observados entre la década de los 60 (a excepción de Las Palmas de Gran Canaria) y la actualidad. Posteriormente, se han analizado, por cada una de las nueve geoformas, así como en el cómputo global, la proporción de cada uno de los estados de conservación en los sistemas costeros de Gran Canaria.

Para completar el análisis cuantitativo, se han aplicado índices de diversidad ecológica, comparando los valores obtenidos para en la etapa previa al desarrollo urbano-turístico y para la etapa actual, con el fin de calcular las pérdidas en la geodiversidad costera de la isla. Los índices de diversidad arrojan valores complementarios a los valores absolutos, ya que no solo tienen en cuenta las pérdidas globales si no también, y principalmente, sobre qué geoformas se han producido los impactos y cómo ha repercutido en la estructura de la población estadística.

Con el objetivo de ser comparados, se han empleado dos índices de diversidad alfa. El primero de ellos es el Índice de Diversidad de Shannon (H'), de amplia difusión en estudios de biodiversidad (Spellerberg y Fedor, 2003) y recientemente aplicado también en geodiversidad (Benito-Calvo et al, 2009), que mide la abundancia proporcional del conjunto de especies de una población o muestra, expresando su grado de equidad o uniformidad. Adopta la forma:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde; p_i = probabilidad de ocurrencia de la especie i (en este trabajo geoforma i).

Por tanto, la tasa de pérdida de geodiversidad aplicando el índice de Shannon ($R_{H'}$), será:

$$R_{H'} = 1 - (H'_2 / H'_1)$$

Donde H'_1 es el valor del índice de Shannon en el momento inicial, y H'_2 es el valor del índice de Shannon en el momento posterior.

En este trabajo proponemos la aplicación alternativa de un índice simple de pérdida de geodiversidad (g), que tiene en cuenta principalmente la abundancia de las geoformas y sus pérdidas proporcionales. Para ello se calcula una diversidad inicial como (g_1):

$$g_1 = \sum N$$

Donde N es el número de clases o geoformas en el momento inicial. Por tanto, todas las geoformas adquieren el valor teórico inicial=1, independientemente de su abundancia. Por tanto, la abundancia se normaliza para el conjunto y la singularidad de cada geoforma es considerada en la cuantificación de impactos.

Para la calcular la diversidad en el momento posterior (g_2), se toman en cuenta las pérdidas relativas de efectivos en cada clase:

$$g_2 = \sum n_{i2} / n_{i1}$$

Donde n_{i1} es la abundancia (en km) de la georforma i en el momento inicial, y n_{i2} la abundancia (en km) de la georforma i en el momento posterior. Por tanto, la tasa de pérdida de geodiversidad de acuerdo al índice alternativo (g) es calculada como:

$$R_g = 1 - (g_2 / g_1)$$

4. RESULTADOS

Las geoformas costeras están desigualmente representadas en la isla de Gran Canaria (figura 2). Antes del desarrollo urbano-turístico, dominaban los acantilados y plataformas litorales (69,4% y 61,8% del perímetro costero, respectivamente). Las playas de piedras, paleoacantilados y playas de arena presentaban una abundancia intermedia (33,5%, 15,8% y 13,2% del perímetro costero, respectivamente); y las geformas menos abundantes, o más singulares, eran paleodunas litorales, sistemas de dunas actuales, humedales costeros y relieves distales (7%, 5,7%, 4,8%, y 3,2% del perímetro costero, respectivamente).

En este estudio se han podido estimar las transformaciones globales en las costas de Gran Canaria debidas al impacto de la actividad humana (figura 3). Se han contabilizado 570 tramos de costa afectados en mayor o menor medida por causas antropogénicas, de lo cual han resultado un 14% de geoformas costeras total o parcialmente devastadas (no preservadas); un 29% que, aunque se mantienen razonablemente conservadas, han sido alteradas en mayor o menor intensidad; y un 57% de las geoformas costeras de Gran Canaria que han permanecido inalteradas, es decir, conservadas en la práctica totalidad de sus características naturales.

En términos generales, se observa con claridad que las geoformas litorales más afectadas son las de tipo sedimentario (dunas, paleodunas y playas) así como humedales costeros, propios también de costas bajas y sedimentarias (figura 3).

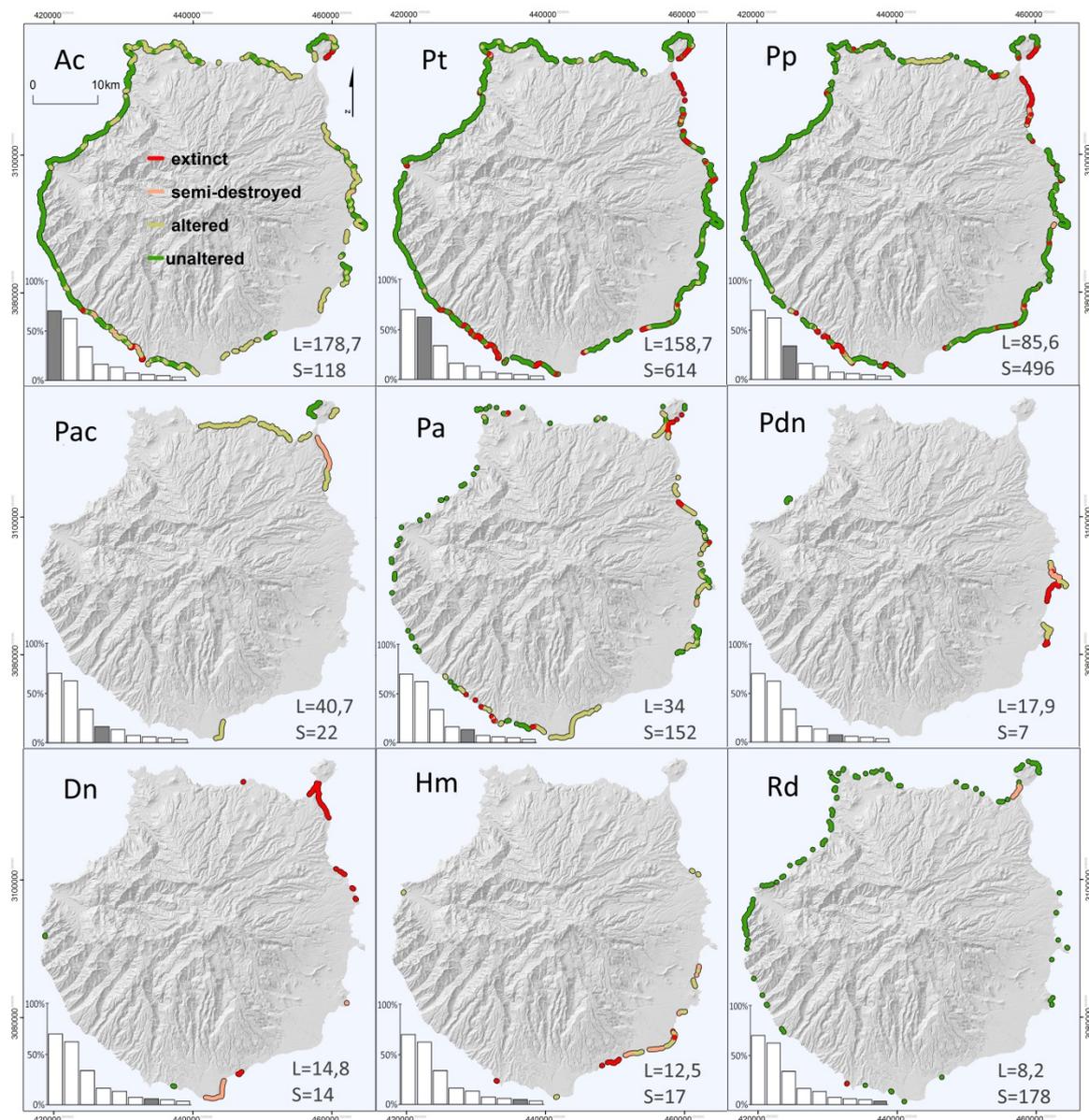


Figura 2. Presencia de las geoformas costeras en Gran Canaria antes del desarrollo urbano-turístico, indicando su abundancia en relación al perímetro total de la isla (histogramas), longitud total (L) en km, número de tramos identificados (S) y estado de conservación actual (mapas en color). La suma de porcentajes excede el 100% ya que las geoformas se superponen a lo largo de la costa. Ac=acantilados costeros; Pt=plataformas litorales; Pp=playas de piedras; Pac=paleoacantilados costeros; Pa=playas de arena; Pdn=Paleodunas litorales; Dn=dunas litorales; Hm=humedales costeros; Rd=relieves distales.

Los impactos más notables en la costa de Gran Canaria se han producido sobre los sistemas de dunas (figura 3). El 65% de su extensión ha desaparecido en la actualidad, siendo el caso del crecimiento de la capital de la isla, Las Palmas de Gran Canaria, desde el S.XIX, el más paradigmático (Santana Cordero et al., 2014) (figura 4). Sin embargo, también han desaparecido de otras zonas costeras del norte, este y sur de la isla (Playa de San Agustín, El Hombre, San Borondón, Jinamar, Arenas de Bañaderos).

De los restantes campos de dunas, el 32% se encuentran parcialmente destruidos y sujetos a procesos de deterioro agudos, como es el caso de Maspalomas, uno de los campos de dunas transgresivos de mayor extensión de las Islas Canarias (Alonso et al., 2011; García-Romero et al., 2016). Solo el 2,6% de los sistemas dunares de la isla pueden considerarse actualmente “preservadas”, o en buen estado de conservación, tratándose sobre todo de formaciones de escasa extensión superficial, situadas en áreas de baja presión antrópica (dunas localizadas en el suroeste de la isla, costa de Güügüi).

De los sistemas paleodunares, que tenían una importante presencia en la isla, el 32% han desaparecido (figura 3) debido a la ocupación por infraestructuras y urbanizaciones (Gando, Arinaga); el 27% se encuentra semi-destruidos por extracciones de áridos y ocupación de terrenos para el cultivo (Tufia); y el 34% se encuentran alterados al haber sido sometidas al deterioro antrópico durante largos períodos (amplias zonas de Arinaga). Únicamente el 6% de los sistemas de dunas y campos eólicos fósiles pueden considerarse inalterados o relativamente intactos (Punta de las Arena en la costa oeste).

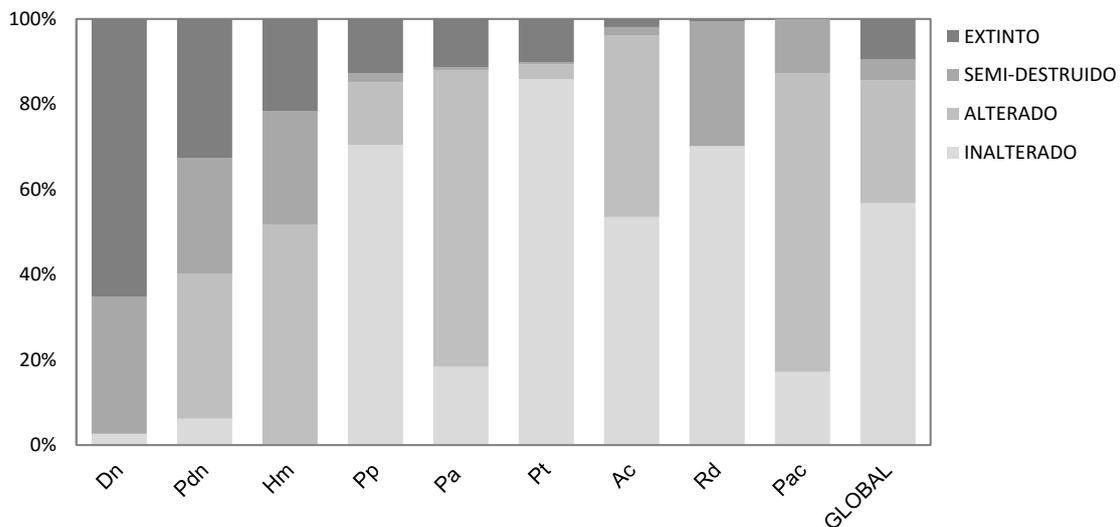


Figura 3. Cuantificación de los impactos humanos sobre las geoformas costeras de Gran Canaria. Dn=dunas litorales; Pdn=Paleodunas litorales; Hm=humedales costeros; Pp=playas de piedras; Pa=playas de arena; Pt=plataformas litorales; Ac=acantilados costeros; Rd=relieves distales; Pac=paleoacantilados costeros.

Los humedales costeros han desaparecido en un 22%, (figura 3) debido principalmente a la ocupación y modificación de las zonas de desembocadura de los barrancos (charcas de la Playa del Águila y Arguineguín en la costa sur); el 27% están parcialmente destruidos o gravemente deteriorados por los cambios de uso del suelo,

principalmente en las llanuras sedimentarias de *fan-delta* del sureste (Castillo del Romeral, El Burrero). El restante 52% de los humedales costeros se encuentran preservados aunque alterados en mayor o menor grado por encauzamientos, reperfilamientos, restauraciones ambientales, etc. (charca de Maspalomas, Juncalillo del Sur, Vargas, La Aldea).

Las playas han experimentado impactos distintos según sus características granulométricas (figura 3). Las playas de piedras han sido sensiblemente más destruidas que las playas de arena: 13% y 11%, respectivamente. Además, un 2% de las playas de piedras han sido parcialmente destruidas, frente al 0,6% de las playas de arena. Si se tiene en cuenta, no obstante, que las playas de piedras eran un 38% más abundantes que las de arena, el contraste es todavía mayor en términos absolutos. La gran diferencia, sin embargo, estriba en la proporción de sistemas alterados e intactos. El 15% de las playas de piedras están alteradas y el 70% inalteradas, inversamente a lo que ocurre en las playas de arena, alteradas en un 68% e inalteradas en un 19%.

La extinción de playas se concentra principalmente en el noreste y suroeste de la isla, y está determinada por la implantación de grandes infraestructuras y urbanizaciones (Puerto de Las Palmas, Central Térmica, Muelle de Taliarte, La Estrella, Urbanizaciones de Pasito Blanco, Puerto Rico, Amadores, Anfí de Mar, Patalavaca, etc.) (Figura 4). Por otro lado, la alteración de playas, que afecta sobre todo a playas de arena, se han traducido en retrocesos visibles de la línea de costa (playa de Maspalomas; Pérez-Chacón et al., 2007), cambios granulométricos por modificaciones del balance sedimentario (playa de Jinámar), ocupación de la trasplaya y/o reperfilamientos (Las Canteras, San Agustín, Bocabarranco, La Garita, Melenara, Ojos de Garza), o implantación de espigones (El Inglés, Las Burras) y arrecifes artificiales (La Laja) que han modificado el transporte de sedimento. Las playas de arena inalteradas se concentran en tramos costeros con baja actividad antrópica de la costa oeste (playas de Güigüi, Faneroque, El Perchel), sur (playas de Pasito Bea, Tiritaña, Montaña Arena) y este (Playas de San Borondón, Agua Dulce, El Ámbar).

Las geoformas rocosas (acantilados costeros, paleoacantilados, plataformas litorales y relieves *nearshore*) han sido, en general, menos afectadas (figura 3). Plataformas litorales y acantilados costeros son las geoformas más abundantes de la costa de Gran Canaria y los mejor conservados.

Las plataformas litorales han experimentado pérdidas totales del 10% (figura 3), a causa principalmente de las infraestructuras y urbanizaciones costeras implantadas en el

suroeste y noreste, ya mencionadas. La alteración, a su vez, es escasa, del 3,5%, relacionada con la ocupación del borde interior (El Altillo, La Puntilla), construcción muros de cierre en piscinas naturales del norte de la isla (Charco de San Lorenzo, La Furnia, El Agujero, Punta de Gáldar) o implantación de salinas (Bañaderos).

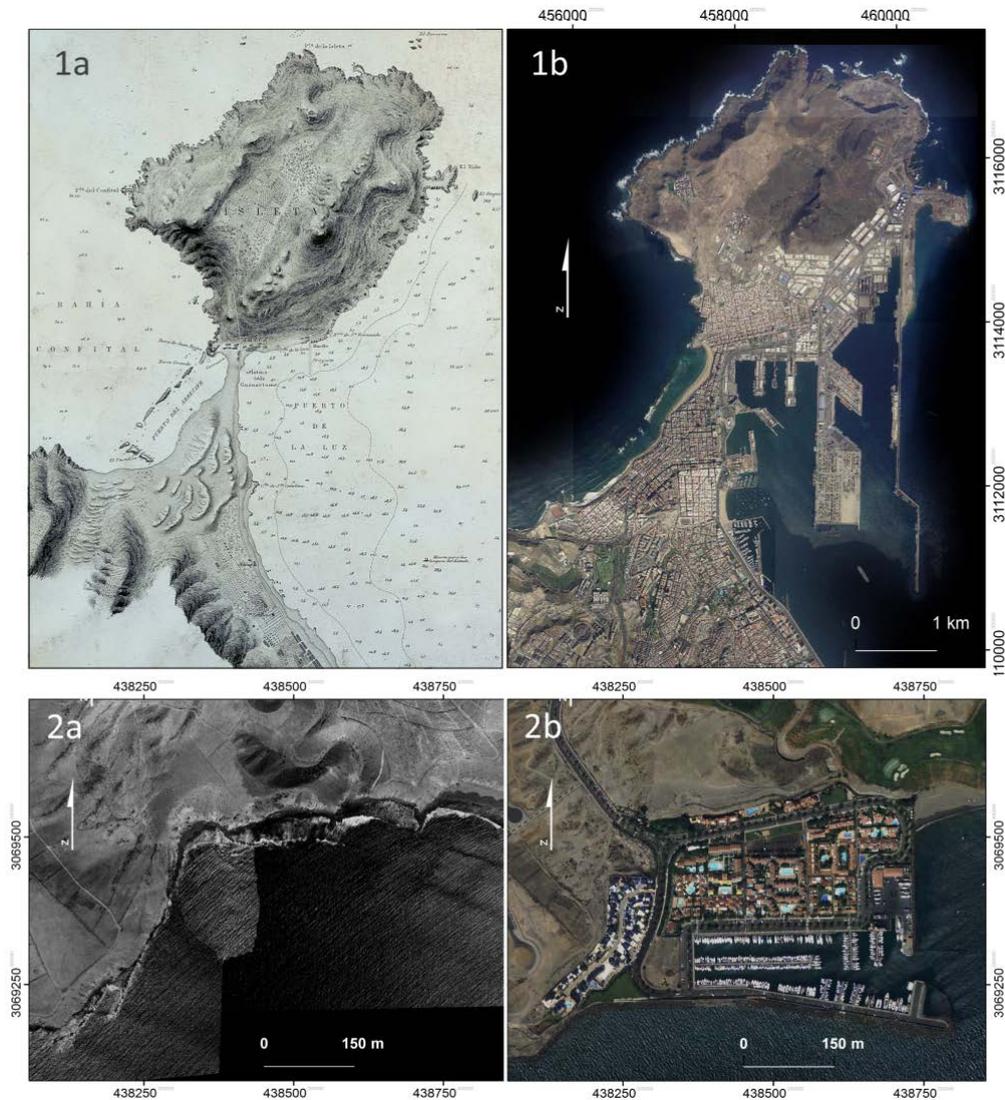


Figure 4. Ejemplos de procesos de ocupación masiva de la costa de Gran Canaria. 1a) El istmo de Guanarteme en 1879, de acuerdo con la Dirección Hidrográfica, donde se observa un extenso campo de dunas. 1b) Expansión actual de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria en la ortofoto de 2008, implicando la extinción total del antiguo campo de dunas. 2a) Bahía de Pasito Blanco en la ortofoto de 1961, donde se observan varias playas en bolsillo, plataformas litorales y acantilados costeros. 2b) Urbanización de Pasito Blanco en la ortofoto de 2008, implicando la destrucción total de playas y plataformas, así como la drástica alteración de la dinámica de los acantilados costeros.

En los acantilados costeros, la pérdida es de apenas un 2%, y corresponde con tramos donde se ha practicado la minería a cielo abierto (Mogán, La Isleta) o grandes desmontes para la ocupación de escarpes litorales (Playa del Cura, Taurito). No obstante, el 43% se encuentran alterados, ya sea por la ocupación de los espacios basales (tramo Arguineguín-Patalavaca), cimeros (Morro Besudo, Pozo Izquierdo, Punta del Parchel) y de media ladera (tramo Puerto Rico-Amadores), o por actuaciones de contención y estabilización de escarpes (Sardina del Norte, Puerto de La Aldea, Andén Verde, Playa del Inglés).

Los paleocanatilados se han visto parcialmente destruidos por desmontes en un 13% (vertiente este de la Terraza de Las Palmas) y alterados en un 70% debido a cultivos en bancales, infraestructuras viales y urbanización en los espacios cimeros, basales y de media ladera (Terraza del Inglés, El Verdugado, La Cordillera).

Finalmente, los relieves distales (roques y arrecifes rocosos) han experimentado una destrucción parcial en un 29% que corresponde exclusivamente con la llamada “barra de Las Canteras”, un arrecife calcarenítico (Perez-Torrado & Mangas, 1994) de aproximadamente 1,5 km, del que se calcula se pudieron extraer cerca de 15.000 m³ de piedra en las últimas décadas.

Para completar el análisis se han comparado los resultados absolutos obtenidos con los valores resultantes de la aplicación de índices de diversidad, con el fin de cuantificar la repercusión que han tenido los impactos humanos sobre la geodiversidad costera global de la isla (tabla 3). La variación absoluta expresa las pérdidas de geoformas en términos de cantidad total o longitud de costa, independientemente del tipo que se trate, mientras los índices de diversidad permiten analizar además las repercusiones del tipo de geoformas afectadas y su influencia en la estructura de la población estadística.

Los resultados obtenidos demuestran que tanto la cantidad de geoformas como la geodiversidad costera de Gran Canaria han disminuido significativamente en las últimas décadas (tabla 3).

El índice de Shannon-Wiener arroja una tasa de variación negativa del -6,5%, si se tienen en cuenta solamente las geoformas totalmente destruidas, que aumenta al -15,2%, contando con el conjunto de las geoformas “no preservadas” (tabla 3).

Al ser un índice de equidad, la pérdida de efectivos en clases muy abundantes (acantilados y plataformas) genera incrementos sensibles del índice, lo cual sumado a que el impacto negativo por pérdidas en clases de muy baja frecuencia (dunas, humedales, paleodunas, relieves *nearshore*) está limitado, al partir de probabilidades

iniciales muy bajas, hace que los valores globales no sean muy elevados y bastante semejantes a los de pérdidas absolutas. Sin embargo, en el índice alternativo propuesto en este trabajo, todas las pérdidas, también las de clases muy abundantes, repercuten negativamente en el valor global, y al trabajar con proporciones y no con probabilidades, los impactos sobre las geoformas menos frecuentes (más singulares) adquieren una proyección notablemente mayor. Como resultado, las tasas de pérdida de geodiversidad son del -17,3%, contando con las geoformas totalmente destruidas, y del -32,1%, suponiendo que desaparezcan también las geoformas semidestruidas (tabla 3), valores aproximadamente el doble de altos que el índice de Shannon-Wiener.

Tabla 3. Tasas de variación (%), por pérdidas absolutas e índices de diversidad, en el que se incluye un análisis de sensibilidad que expresa la repercusión aislada de los impactos en cada geoformas sobre los valores globales. Únicamente los valores globales son expresados como porcentajes. Ac=acantilados costeros; Pt=plataformas litorales; Pp=playas de piedras; Pa=playas de arena; Dn=dunas litorales; Hm=humedales costeros; Pdn=Paleodunas litorales; Rd=relieves distales; Pac=paleoacantilados costeros.

	Por valores absolutos		Por valores de Geodiversidad			
			Índices de Shannon (H')		Propuesto (g)	
	Extinto	No preservado	Extinto	No preservado	Extinto	No preservado
Ac	-0,006	-0,012	0,003	0,007	-0,002	-0,004
Pt	-0,029	-0,03	0,013	0,014	-0,011	-0,011
Pp	-0,019	-0,023	-0,003	-0,004	-0,014	-0,016
Pa	-0,006	-0,007	-0,007	-0,008	-0,012	-0,013
Dn	-0,017	-0,026	-0,041	-0,074	-0,072	-0,108
Hm	-0,004	-0,01	-0,01	-0,026	-0,023	-0,053
Pdn	-0,01	-0,019	-0,02	-0,041	-0,036	-0,066
Pac	0	-0,009	0	-0,008	0	-0,014
Rd	-0,00007	-0,004	-0,0002	-0,012	-0,0005	-0,033
GLOBAL	-9,50%	-14,40%	-6,50%	-15,20%	-17,35%	-32,13%

Del análisis de los datos se deduce que los efectos más negativos sobre la geodiversidad costera en Gran Canaria proceden de los impactos generados sobre las geoformas más singulares: campos de dunas, actuales y fósiles, humedales costeros y arrecifes rocosos.

Es particularmente relevante el caso de los campos de dunas actuales, cuya abundancia anterior al desarrollo urbano-turístico era del 5,8% del perímetro costero y las afecciones por destrucción total o parcial afectan al 97% de ellas, lo cual supone apenas un 2,6% del valor absoluto global de pérdidas de geoformas en Gran Canaria. Sin embargo, es responsable de aproximadamente la mitad de la pérdida de

geodiversidad costera en la isla, según el índice de Shannon-Wiener, y de aproximadamente un tercio de la misma, según el índice propuesto por nosotros.

Los impactos más bajos, por el contrario, proceden de la afección de geoformas rocosas muy abundantes y relativamente poco destruidas, especialmente acantilados costeros, en los cuales las repercusiones sobre la geodiversidad son más bajas que las propias pérdidas absolutas (tabla 3).

5. DISCUSIÓN

Los territorios costeros han adquirido un especial interés en relación al estudio de las consecuencias derivadas de la transformación de sistemas naturales en territorios antropizados (Delcourt & Delcourt, 1988). Gran Canaria constituye en este sentido un escenario idóneo y de dimensión abarcable para el estudio de los cambios ambientales inducidos por el hombre, al combinarse una creciente presión antrópica en un espacio costero reducido.

El impacto de las actividades humanas sobre las geoformas costeras se ha estudiado en diversas partes del mundo. No obstante, la mayoría de los casos se centran en cuantificar retrocesos o cambios morfológicos de la línea de costa en territorios continentales, abordando casos tanto locales (Amin & Davidson-Arnott, 1997; Aubié & Tastet, 2000; Terich & Levenseller, 1986; Cui & Li, 2011) como regionales (Lira et al., 2016; Hapke et al., 2013; Banna & Frihy, 2009; Dolan et al, 1990); o al análisis de tipo cualitativo de las transformaciones costeras por procesos de urbanización, industrialización e intervención directa del litoral (Kurt et al, 2010; Farhan & Lim, 2011).

Es relativamente poco frecuente encontrar, como en este trabajo, estudios de las transformaciones costeras en territorios insulares (Hernández-Calvento et al., 2014; Dawson & Smithers, 2010; Fletcher et al, 2003; Norcross et al, 2002; Jones et al, 1993; Lacey y Peck, 1998; Farhan & Lim, 2011). Además, a diferencia de otros trabajos, donde el objetivo principal es detectar y cuantificar cambios planimétricos en la costa, por procesos generalizados de erosión o acreción a lo largo del tiempo, en este estudio planteamos un análisis global y cuantitativo sobre el estado de conservación de una costa insular a nivel geomorfológico. La erosión costera en Gran Canaria, predominantemente rocosa y acantilada, no supone un problema de carácter general, pero sí la intensa ocupación del litoral en las últimas décadas, que ha desencadenado

intensos procesos de degradación. Así, este trabajo asume como punto de referencia el momento histórico previo al desarrollo urbano-turístico de la isla, ocurrido durante la segunda mitad del siglo XX, cuando la alteración antropogénica del medio, y en especial del medio costero, se ha intensificado notablemente.

Asimismo, la mayoría de los estudios sobre cambios morfológicos en la costa, se han ceñido al análisis de geoformas específicas: playas (Norcross et al, 2002; Sallenger et al, 2003), dunas litorales (Houser et al, 2008; Woolard & Colby, 2002; Ojeda Zújar et al., 2002; El Banna and Frihy, 2009; Miccadei et al., 2011; Flor-Blanco et al., 2013; Pye et al., 2014), islas barrera (White & Wang, 2003), deltas (Smith & Abdel-Kader, 1988; Banna y Frihy, 2009), estuarios (Cui & Li, 2011); o costas rocosas (Dornbusch, 2008; Pierre, 2006). Por tanto, este trabajo presenta la novedad de haber extendido el estudio de las transformaciones costeras al conjunto completo de geoformas que conforman el litoral de una isla a mesoescala, y haberlo aplicado al problema de la geodiversidad.

Los métodos utilizados han permitido obtener datos cuantitativos y globales del litoral de Gran Canaria, utilizados posteriormente para calcular la evolución temporal de la diversidad geomorfológica del litoral. Si bien la geodiversidad comprende, en el sentido más amplio, la parte abiótica del medio natural (Thomas 2012; Gray, 2008), este estudio trata la geodiversidad desde el punto de vista exclusivamente geomorfológico. Los estudios recientes sobre cuantificación de la geodiversidad trabajan áreas interiores continentales, con el objetivo de comparar la geodiversidad en dos o más espacios (Benito-Calvo et al, 2009; Hjort & Luoto, 2010, 2012; Pereira et al, 2013); en islas, se han limitado al componente pedológico (Ibáñez et al, 2005; Ibáñez & Effland, 2011); y la pérdida de geodiversidad por influencia antropogénica se aborda únicamente en aplicación a *geosites* (Ruban, 2010). Por tanto, el análisis cuantitativo de la evolución de la geodiversidad en las costas antropizadas de una isla volcánica es una novedad abierta en este trabajo, en el que además, se propone la aplicación de un índice sencillo, alternativo al índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H'), que a nuestro juicio infravalora la pérdida de geodiversidad costera en la isla de Gran Canaria.

Los resultados obtenidos demuestran que el desarrollo urbano-turístico ha producido una pérdida importante de geodiversidad costera. Hasta los años 60 del pasado siglo la economía insular se basaba en el sector agrario, concentrándose la mayor parte de la población en el norte de la isla debido a la existencia recursos hídricos más abundantes. A partir de estas fechas, se produjo una expansión de las infraestructuras y urbanizaciones desde el norte hacia la costa este y sur de la isla (Morales Matos &

Santana Santana, 1993), debido a sus mejores aptitudes climáticas y topográficas para el uso urbano y turístico, de sol y playa. A partir de entonces, las costas este y sur, comenzaron a experimentar un intenso proceso de transformación ambiental donde los espacios costeros llanos han sido los más afectados, aunque también numerosos asentamientos en zonas acantiladas hayan surgido a fuerza de ganar terreno al mar, conllevando la destrucción directa de importantes recursos naturales.

Según los resultados, son las geoformas sedimentarias y de costas bajas (dunas, playas, humedales) las que han experimentado mayor transformación, convirtiéndose en los elementos más vulnerables. En particular, el estudio demuestra a través de las tasas de variación de los índices de diversidad, el elevado impacto que sobre la geodiversidad costera de Gran Canaria han tenido de los procesos de degradación y pérdida de campos de dunas litorales, que no solamente se ven afectados por la construcción de infraestructuras y urbanizaciones sobre ellas, sino también por la alteración de la dinámica sedimentaria marina y eólica (Cabrera-Vega et al., 2013; Hernández-Calvento et al., 2014; García-Romero et al., 2016).

Debido a su gran singularidad, tanto desde el punto de vista de la escasez en islas oceánicas de punto caliente, como de sus características respecto a los sistemas continentales europeos, las dunas litorales de las islas Canarias están siendo objeto de amplios estudios (Alonso et al., 2002; Alonso et al., 2006; Cabrera-Vega et al., 2013; Hernández-Calvento et al., 2014; García-Romero et al., 2016); y los resultados de este trabajo contribuyen a su conocimiento en relación al resto de sistemas geomorfológicos de la costa canaria.

Cabe destacar, por último, que los impactos producidos en las playas son un fiel reflejo de los procesos socioeconómicos ocurridos en la isla. La explotación turística del litoral ha favorecido la preservación de las playas de la arena por encima de las de piedras, que han sido significativamente más destruidas, y en ocasiones substituidas por infraestructuras artificiales. Producto de esa explotación, sin embargo, las playas de arena se encuentran en su mayoría, alteradas.

En los territorios insulares, geográficamente aislados y donde los recursos son limitados (Hay, 2013), cobra especial importancia inventariar y cuantificar los daños y pérdidas producidos sobre los recursos naturales y el medio ambiente, de cara a guiar las políticas territoriales de conservación. Esta investigación es la primera que analiza la evolución de las geoformas costeras, tanto sedimentarias como volcánicas, en la

totalidad de una isla, aportando datos objetivos, cuantitativos y globales acerca de los impactos y pérdidas inducidas por la actividad antrópica.

Creemos que la aplicación de este método en otras islas del mundo puede ser interesante por dos motivos: i) porque, dado el papel de laboratorio de las islas, aunque a una escala global puedan parecer estudios locales, considerándolos a nivel mundial y en su totalidad, son claves para entender lo que sucede en todo el planeta, y ii) porque, desde el punto de vista local, exclusivo de cada isla, consiguen ser globales, al abarcar la totalidad de un sistema cerrado como es un litoral insular.

6. CONCLUSIONES

Los espacios litorales de las islas son áreas especialmente sensibles a las transformaciones, tanto desde el punto de vista natural, como por sus potenciales implicaciones socioeconómicas. Gran parte de la actividad económica de Gran Canaria está ligada al turismo de masas, asociado principalmente a las características climáticas y geomorfológicas de la costa. El desarrollo urbano-turístico, iniciado en los años 60 del pasado siglo, ha producido un impacto significativo en las geoformas costeras de la isla de Gran Canaria. Las geoformas más afectadas, dunas litorales, paleodunas y humedales, son a su vez las más singulares o escasas, lo que ha supuesto un impacto negativo sobre la geodiversidad costera de la isla. La metodología desarrollada para el análisis del caso de Gran Canaria, convertido en laboratorio, tiene potencial para constituir una herramienta de futuro en la evaluación de impactos antrópicos en zonas costeras de territorios insulares y continentales de otras partes del mundo.

El trabajo se aborda mediante dos levantamientos cartográficos detallados de las geoformas costeras de toda la isla (256 km de perímetro), correspondientes a los años 60 del siglo pasado (antes del desarrollo urbano-turístico) y a la actualidad (en el caso de las Palmas de Gran Canaria se utilizan fuentes del S.XIX). La comparación entre las características geomorfológicas del medio costero antes y después del desarrollo urbano-turístico, se estableció a través de cuatro categorías de impactos humanos, que se relacionan con su estado de conservación: geoformas desaparecidas, parcial o totalmente, alteradas e inalteradas. También se calculó la pérdida de geodiversidad aplicando dos índices de diversidad. Los resultados obtenidos indican que el 43% de las geoformas costeras han sido afectadas por los impactos humanos, mientras que el 57% se mantienen intactas. Las más afectadas son las geoformas sedimentarias,

concretamente las dunas, paleodunas, playas y humedales. La pérdida de geodiversidad costera por destrucción total o parcial de geoformas se ha calculado en -15,2%, según el índice de Shannon-Wiener, y en -32,1%, según un índice propuesto en este trabajo. Se concluye que las transformaciones de la costa de Gran Canaria inducidas por el desarrollo urbano-turístico han reducido la geodiversidad notablemente, ya que las geoformas más afectadas, dunas, paleodunas y humedales, son a su vez las más singulares o escasas.

Los resultados demuestran la importancia que tiene en la conservación, la realización de inventarios exhaustivos y los análisis cuantitativos. A través de ellos se pueden estudiar aspectos claves en la evaluación de impactos, como son la singularidad y la vulnerabilidad de los elementos naturales.

Bibliografía

- Alexander, C.S. (1966). A Method of Descriptive Shore Classification and Mapping as Applied to the Northeast Coast of Tanganyika. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 56, No. 1, pp. 128-140.
- Alonso, I.; Alcántara-Carrió, J.; Cabrera, L. (2002). Tourist Resorts and their Impact on Beach Erosion at Sotavento Beaches, Fuerteventura, Spain. *Journal of Coastal Research* SI 36:1-7.
- Alonso, I.; Sánchez, I.; Cabrera, L.; Benavides, A.; Alcántara-Carrió, J.; Usera J. (2006). Decadal Evolution of a Coastal Dune Field and Adjacent Beaches at North of Fuerteventura (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*, SI 39:198-203.
- Alonso, I.; Hernández, L.; Alcántara-Carrió, J.; Cabrera, L.; Yanes A. (2011). Los grandes campos de dunas actuales de Canarias. In: Sanjaume Saumell, E.; Gracia Prieto, F.J. (Eds.), *Las dunas en España* (pp. 467-496). Cádiz: Sociedad Española de Geomorfología.
- Alveirinho Dias, J.M., Neal, W.J. (1992): Sea cliff retreat in southern Portugal: profiles, processes, and problems. *Journal of Coastal Research*, 8 (3): 641-654.
- Amin S. M. N. y Davidson-Arnott, R. G. D. (1997). A Statistical Analysis of the Controls on Shoreline Erosion Rates, Lake Ontario. *Journal of Coastal Research*, Vol. 13, No. 4 (Autumn, 1997), pp. 1093-1101.
- Araña V., Carracedo, J., (1980). *Los volcanes de las islas canarias. III. Gran Canaria*. Ed. Rueda. Madrid. 175 pp.
- Aubié S., Tastet J P, (2000). Coastal Erosion, Processes and Rates: An Historical Study of the Gironde Coastline, Southwestern France. *Journal of Coastal Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 756-767.
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., Salvati, L (2012): The impact of landuse/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. *Environmental Management*, 49 (5): 980-989.
- El Banna, M. M., Frihy, O. E. (2009). Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Geomorphology*, 107(1), 72-78.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., & Meza, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(10), 1433.

- Biolchi, S., Furlani, S., Devoto, S., Gauci, R., Castaldini, D., & Soldati, M. (2016). Geomorphological identification, classification and spatial distribution of coastal landforms of Malta (Mediterranean Sea). *Journal of Maps*, 12(1), 87-99.
- Bird, E.(2008). *Coastal Geomorphology: An Introduction*, 2nd edition, Wiley, Chichester. 436 pp.
- Cabrera-Vega, L. L., Cruz-Avero, N., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., Fernández-Cabrera, E. (2013). Morphological changes in dunes as an indicator of anthropogenic interferences in arid dune fields. *Journal of Coastal Research* SI 65:1271-1276.
- Carracedo, J.C.; Day, S.; Guillou, H.; Rodríguez Badiola, E.; Canas, J.A.; Pérez Torrado, F.J. 1998. Hotspot volcanism close to a passive continental margin: the Canary Islands. *Geological Magazine* 135(05):591-604.
- Cui, B. L., & Li, X. Y. (2011). Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976–2005). *Geomorphology*, 127(1), 32-40.
- Dawson, J. L., & Smithers, S. G. (2010). Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raine Island, Great Barrier Reef, Australia. *Global and Planetary Change*, 72(3), 141-154.
- Del Arco, M.J.; Wildpret, W.; Pérez-de-Paz, P.L.; Rodríguez-Delgado, O.; Acebes, J.R.; García-Gallo, A.; Martín, V.E.; Reyes-Betancort, J.A.; Salas, M.; Bermejo, J.A.; González, R.; Cabrera, M.V.; García, S. (2006). *Mapa de Vegetación de Canarias*. GRAFCAN, Santa Cruz de Tenerife.
- Del Río, L., & Gracia, F. J. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112(1), 82-95.
- Delcourt, H. R., & Delcourt, P. A. (1988). Quaternary landscape ecology: relevant scales in space and time. *Landscape Ecology*, 2(1), 23-44.
- Dolan, R., Trossbach, S., & Buckley, M. (1990). New shoreline erosion data for the Mid-Atlantic Coast. *Journal of Coastal Research*, 471-477.
- Dornbusch, U., Robinson, D.A., Moses, C.A. and Williams, R.B.G. (2008). Temporal and spatial variations of chalk cliff retreat in East Sussex, 1873 to 2001. *Marine Geology*, 249: 271–282.
- El Banna, M. and Frihy, O. (2009). Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Geomorphology* 107: 72-78.
- Emery, K. O., & Kuhn, G. G. (1982). Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. *Geological Society of America Bulletin*, 93(7), 644-654.
- European Commission (2004). *Living with coastal erosion in Europe - Sediment and space for sustainability*, Luxembourg office for official publications of the European Commission.
- Farhan, A. R., & Lim, S. (2011). Resilience assessment on coastline changes and urban settlements: A case study in Seribu Islands, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 54(5), 391-400.
- Finkl, C. W. (2004). Coastal classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research*, 166-213.
- Fletcher, C., Rooney, J., Barbee, M., Lim, S. C., & Richmond, B. (2003). Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 106-124.
- Flor-Blanco, G., Flor, G., Pando, L. (2013). Evolution of the Salinas-El Espartal and Xagó beach/dune systems in north-western Spain over recent decades: evidence for responses to natural processes and anthropogenic interventions. *Geo-Marine Letters* 33:143-157.
- García-Romero, L.; Hernández-Cordero, A.I.; Fernández-Cabrera, E.; Peña-Alonso, C.; Hernández-Calvento, L.; Pérez-Chacón, E. (2016). Urban-touristic impacts on the aeolian sedimentary systems of the Canary Islands: conflict between development and conservation. *Island Studies Journal* 11(1):91-112.
- Gray, M. (2008). Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3), 287-298.
- Gössling, S. (2002). Global environmental consequences of tourism. *Global of Environmental Change*, 12: 283–302.

- Grunewald, R. (2006). Assessment of damages from recreational activities on coastal dunes of the southern Baltic Sea. *Journal of Coastal Research*, 22: 1145–1157.
- Hapke, C.J., Kratzmann, M.G. and Himmelstoss, E.A. (2013). Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology*, 199: 160-170.
- Hay, J. E. (2013). Small island developing states: coastal systems, global change and sustainability. *Sustainability science*, 8(3), 309-326.
- Hernández-Calvento, L., Jackson, D.W.T., Medina, R., Hernández-Cordero, A.I., Cruz, N. and Requejo, S. (2014). Downwind effects on an arid dunefield from an evolving urbanised área. *Aeolian Research*, 15: 301–309.
- Hernández-Cordero, A. I., Pérez-Chacón Espino, E., & Hernández-Calvento, L. (2012). La investigación como soporte de la gestión: el ejemplo de la duna costera (foredune) de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa, Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 19, 289-306.
- Hjort, J., & Luoto, M. (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, 115(1), 109-116.
- Hjort, J., & Luoto, M. (2012). Can geodiversity be predicted from space?. *Geomorphology*, 153, 74-80.
- Houser, C., Hapke, C., & Hamilton, S. (2008). Controls on coastal dune morphology, shoreline erosion and barrier island response to extreme storms. *Geomorphology*, 100(3), 223-240.
- Ibáñez, J. J., & Effland, W. R. (2011). Toward a Theory of Island Pedogeography: Testing the driving forces for pedological assemblages in archipelagos of different origins. *Geomorphology*, 135(3), 215-223.
- Ibáñez, J. J., Caniego, J., San Jose, F., & Carrera, C. (2005). Pedodiversity-area relationships for islands. *Ecological Modelling*, 182(3), 257-269.
- ISTAC. 2009. *Anuario Estadístico de Canarias 2008*. Instituto Canario de Estadística, Gobierno de Canarias.
- Jackson, N.L. and Nordstrom, K.F. (2011). Aeolian sediment transport and landforms in managed coastal systems: a review. *Aeolian Research*, 3: 181–196.
- Jones, J. R., Cameron, B., & Fisher, J. J. (1993). Analysis of cliff retreat and shoreline erosion: Thompson Island, Massachusetts, USA. *Journal of Coastal Research*, 87-96.
- Kurt, S., Karaburun, A., & Demirci, A. (2010). Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays*, 5(19), 3009-3017.
- Lacey, E. M., & Peck, J. A. (1998). Long-term beach profile variations along the south shore of Rhode Island, USA. *Journal of Coastal Research*, 1255-1264.
- Lira, C., Silva, A., Taborda, R., Andrade, C. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach. *Earth System Science Data*. doi:10.5194/essd-2016-5.
- Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. and Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63: 254–272.
- Morales Maros, G.; Santana Santana, A. (1993). Proceso de construcción y transformación del espacio litoral grancanario inducidos por el fenómeno turístico. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía* 32:225-246.
- McGill, J. T. (1958). Map of coastal landforms of the world. *Geographical Review*, 48(3), 402-405.
- Miccadei, E.; Mascioli, F.; Piacentini, T.; Ricci, F., (2011). Geomorphological features of coastal dunes along the Central Adriatic Coast (Abruzzo, Italy). *Journal of Coastal Research* 27(6):1122-1136.
- Mimura, N., Nurse, L., McLean, R. F., Agard, J., Briguglio, L., Lefale, P. Payet & Sem, G. (2007). Small islands. *Climate change*, 687-716.
- Narayana, A.C. and Priju, C.P. (2006). Landform and Shoreline Changes Inferred from Satellite Images along the Central Kerala Coast. *Journal of Geological Society of India*, 68 (1): 35-49.

- Naylor, L. A., Stephenson, W. J., & Trenhaile, A. S. (2010). Rock coast geomorphology: recent advances and future research directions. *Geomorphology*, 114(1), 3-11.
- Norcross, Z. M., Fletcher, C. H., & Merrifield, M. (2002). Annual and interannual changes on a reef-fringed pocket beach: Kailua Bay, Hawaii. *Marine Geology*, 190(3), 553-580.
- Nordstrom, K.F. (1994). Beaches and dunes of human-altered coasts. *Progress in Physical Geography*, 18 (4): 497–516
- Nordstrom, K.F. (2000). *Beaches and Dunes of Developed Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ojeda Zújar, J.; Borgniet, L.; Pérez Romero, A.M.; Loder, J.F. (2002). Monitoring morphological changes along the coast of Huelva (SW Spain) using soft-copy photogrammetry and GIS. *Journal of Coastal Conservation* 8:69-76.
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., & Santos, L. (2013). Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environmental Management*, 52(3), 541-552.
- Perez-Torrado, F. J., & Mangas, J. (1994). Origen y evolución geológica de la barra de Las Canteras (Las Palmas de Gran Canaria).
- Pérez-Chacón E., Hernández Calvento L., Yanes Luque A. (2007). Transformaciones humanas y sus consecuencias sobre los litorales de las islas Canarias. En S. Étienne and R. Paris (Eds.): *Les littoraux volcaniques – Une approche environnementale*. Presses universitaires Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (Francia). Pp: 173-191.
- Pierre, G. (2006). Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France). *Geomorphology*, 73(1), 64-77.
- Pye, K., Blott, S.J., Howe, M.A. (2014). Coastal dune stabilization in Wales and requirements for rejuvenation. *Journal of Coastal Conservation* 18:27-54.
- Ramírez, R., Tuya, F., & Haroun, R. J. (2008). El intermareal canario. *Poblaciones de lapas, burgados y cañadillas*.
- Ruban, D. A. (2010). Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association*, 121(3), 326-333.
- Santana Cordero, A.; Monteiro Quintana, M.L.; Hernández Calvento, L. (2014). Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Conservation* 18:323-337.
- Santana-Cordero, A.; Monteiro-Quintana, M.L.; Hernández-Calvento, L. (2016). Reconstruction of the land uses that led to the termination of an aridcoastal dune system: The case of the Guanarteme dune system(Canary Islands, Spain), 1834–2012. *Land Use Policy* 55:73-85.
- Smith, S. E., & Abdel-Kader, A. (1988). Coastal erosion along the Egyptian delta. *Journal of Coastal Research*, 245-255.
- Spellerberg, I. F., & Fedor, P. J. (2003). A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon–Wiener’ Index. *Global ecology and biogeography*, 12(3), 177-179.
- Stephenson, W.J. and Kirk, R.M. (1998). Rates and patterns of erosion on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Earth Surf. Process. Landforms*, 23: 1071–1085.
- Terich, T., & Levenseller, T. (1986). The Severe Erosion of Cape Shoalwater, Washington. *Journal of Coastal Research*, 465-477.
- Thomas, M. (2012). A geomorphological approach to geodiversity-its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones Geographicae*, 31(1), 81-89.
- Trenhaile, A. S. (1987). *The geomorphology of rock coasts*. Oxford University Press, USA.
- Tzatzanis, M., Wrbka, T. and Sauberer, N. (2003). Landscape and vegetation responses to human impact in sandy coasts of Western Crete, Greece. *Journal of Natural Conservation*, 11: 187–195.
- USGS (2004). Coastal and Marine Geology Program: National Assessment of Coastline Change Project.
- White, S. A., & Wang, Y. (2003). Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote sensing of environment*, 85(1), 39-47.

Woolard, J. W., & Colby, J. D. (2002). Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*, 48(1), 269-287.

8. MARCO DE DESARROLLO DEL TFT

El trabajo realizado se encuadra en las líneas de investigación del Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, relacionadas con la evolución de los sistemas costeros, y en especial con los sistemas de dunas litorales; habiendo contribuido particularmente a la investigación de las consecuencias del desarrollo antrópico en su evolución espacio-temporal.

En relación con estas líneas de investigación, el grupo de Geografía Física y Medio Ambiente ha obtenido varios proyectos competitivos de I+D+i en los últimos años (REN2003-05947, SEJ2007-64959, SCO2010-18150 y ACSO2013-43256-R) financiados por el Plan Nacional de I+D+i, convirtiéndose así en un grupo de referencia en esta materia. Resultado de estos años de experiencia, han sido realizados numerosos trabajos de investigación que han dado lugar a publicaciones científicas, tesis académicas e informes para administraciones públicas, en los cuales la implementación de tecnologías de la información geográfica (TIG), especialmente de técnicas de teledetección y de sistemas de la información geográfica (SIG), ha sido un elemento central.

La secuencia de actividades para la realización de este de este TFT ha sido:

- ✓ Recopilación bibliográfica sobre métodos de clasificación de costas, morfodinámica y cambios en costas, consecuencias de la actividad antrópica y métodos de evaluación de la geodiversidad.
- ✓ Búsqueda de fuentes cartográficas y fotográficas, actuales e históricas.
- ✓ Realización de la cartografía geomorfológica de los sistemas costeros naturales de la costa de Gran Canaria a partir de dichas fuentes.
- ✓ Evaluación de los impactos antrópicos sobre los sistemas costeros con base en un sistema de categorías.
- ✓ Análisis de resultados y elaboración de datos cuantitativos desde el punto de vista de la geodiversidad.
- ✓ Redacción de la tesis.

Estas actividades se han desarrollado durante 8 meses, desde octubre de 2015 hasta Mayo de 2016. El lugar de trabajo ha sido la sala 201 del edificio del IOCAG en el Parque Científico Tecnológico Marino de Taliarte (Telde, Las Palmas), reservado al grupo de investigación en Geografía Física y Medio Ambiente.

Durante este tiempo, considero que mi integración en el grupo de investigación ha sido muy satisfactoria. El grupo está compuesto por número significativo de personas, comenzando por su director, Luis Hernández Calvento, o Emma Pérez-Chacón, Catedrática en Geografía Física de la ULPGC, y profesores de la ULPGC como Pablo Máyer Suárez, Lidia Romero, Emilio Fernández y Francisco Macías; y continuando por otros investigadores más jóvenes con diferentes vinculaciones al grupo: Leví García, Aarón Santana, Elisabeth Fernández, Carolina Peña y Laura Cabrera. En conjunto, forman un equipo humano donde domina el sentido de ayuda y cooperación, y donde existe un flujo de trabajo y conocimientos, muy enriquecedor.

Este periodo de trabajo dentro del grupo, resultado del cual se ha elaborado esta tesis, ha contribuido de forma importante en mi crecimiento profesional y personal, habiendo permitido especializarme en el campo de la geomorfología litoral de ambientes volcánicos, integrado a su vez en un grupo de trabajo donde confluyen diversas líneas de investigación.