

# Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro



Sociedad Española  
de Geomorfología



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

Editores: Juan José Durán Valsero,  
Manuel Montes Santiago,  
Alejandro Robador Moreno  
y Ángel Salazar Rincón



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico  
y Minero de España

# Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro

Actas de la XIV Reunión Nacional  
de Geomorfología  
Málaga, 22-25 de Junio de 2016

## **Editores**

Juan José Durán Valsero, Manuel Montes Santiago,  
Alejandro Robador Moreno y Ángel Salazar Rincón

Madrid, 2016

Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro / Juan José Durán Valsero, Manuel Montes Santiago, Alejandro Robador Moreno y Ángel Salazar Rincón, eds.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2016

768 pgs; ils; 24 cm.- (Geología y Geofísica; 5)

ISBN 978-84-9138-013-9

Geomorfología, España

Portada: Panorámica de El Torcal Alto (Antequera, Málaga).

Foto: J. J. Durán

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor o editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

© INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID

NIPO: 72816018X

ISBN: 978-84-9138-013-9

Depósito Legal: M-21672-2016

Catálogo y venta de publicaciones de la Administración General del Estado en:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

---

Imprime: Lerko Print S.A.

Paseo de la Castellana, 121

28046 Madrid

Impreso en papel ecológico

## **Comité organizador**

Juan José Durán Valsero (IGME), Bartolomé Andreo Navarro (UMA),  
Francisco Carrasco Cantos (UMA), Andrés Díez Herrero (IGME),  
Ángel Martín-Serrano García (IGME), Manuel Montes Santiago (IGME),  
Matías Mudarra Martínez (UMA), María Jesús Perles Roselló (UMA),  
Alejandro Robador Moreno (IGME), Pedro Robledo Ardila (IGME),  
Ángel Salazar Rincón (IGME), Iñaki Vadillo Pérez (UMA)

## **Comité científico**

Juan José Durán Valsero (IGME), Arantxa Aranburu Artano (UPV/EHU),  
José Miguel Azañón Hernández (UGR), Javier Benavente González (UCA),  
Gerardo Benito (MNCN - CSIC), Mercedes Cantano Martín (UHU),  
David Casas Layola (IGME), Jordi Corominas Dulcet (UPC), Antonio Gómez Ortiz (UB),  
Andrés Díez Herrero (IGME), Montserrat Jiménez Sánchez (UNIOVI),  
Francesc Gallart (IDAEA-CSIC), Celso García García (UIB),  
Guillermina Garzón Heydt (UCM), Elena González Cárdenas (UCM),  
Alberto González Díez (UNICAN), Juan Antonio González Martín (UAM),  
Francisco Javier Gracia Prieto (UCA), Francisco Gutiérrez Santolalla (UNIZAR),  
Jerónimo López Martínez (UAM), Adolfo Maestro González (IGME),  
Ángel Martín-Serrano García (IGME), Manuel Jesús Montes Santiago (IGME),  
Jorge Olcina Cantos (UA), Augusto Pérez Alberti (USC), María Jesús Perles Roselló (UMA),  
David Regües (IPE-CSIC), Alejandro Robador Moreno (IGME),  
Pedro Agustín Robledo Ardila (IGME), Ángel Salazar Rincón (IGME),  
Susanne Schnabel (UNEX), Francisca Segura Beltrán (UV), Enrique Serrano Cañadas (UVA),  
Albert Solé Benet (EEZÁ-CSIC), Xavier Úbeda Cartaña (UB), Juan Tomás Vázquez (IEO),  
Damiá Vericat (UDL), Joaquín Rodríguez Vidal (UHU), Joan Manuel Vilaplana (UB)

## **ORGANIZADORES**

Instituto Geológico y Minero de España

Universidad de Málaga

## **PATROCINIO INSTITUCIONAL**

Sociedad Española de Geomorfología (SEG)

	Pág.
<b>Cartografía geomorfológica</b>	
Innovación en la producción de cartografía geomorfológica de amplias y variadas superficies. Ecuador, un caso de éxito. <i>I. Barinagarrementeria y A. Leránz</i> .....	19
Detección de superficies de aplanamiento mediante Modelos Digitales de Elevación: un ejemplo de análisis del relieve en los Montes Galaico-Leoneses (Noroeste de España). <i>A. Mínguez, A. Martín-Serrano y E. García-Meléndez</i> .....	27
Geomorfología en el primer Mapa Geológico realizado en España. <i>Á. Martín-Serrano García y E. Boixereu y Vila</i> .....	37
La meteorización de los granitoides de Les Guilleries y su tratamiento en el Mapa geológico de los procesos activos y recientes y de la actividad antrópica de Cataluña a escala 1:25 000 (Mapa Geoantrópico). <i>M. J. Micheo, L. Culi, R. Carles, E. Pi, J. Picart, J. Cirés y I. Herms</i> .....	45
La cartografía regional de peligrosidad de inundación por criterios geomorfológicos en el Plan de Acción Territorial frente al Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA). <i>C. SanchisIbor, J.M. Ruiz Pérez, J.S. Palencia Jiménez y F. Francés</i> ....	51
El delta del Ebro a través de la cartografía histórica y la fotografía aérea: evolución morfológica de la llanura deltaica (1858-2012). <i>A. Valls, F. Segura y B. Martínez-Clavel</i> .....	61
<b>Geomorfología y medio ambiente</b>	
Monitorización de procesos geomorfológicos activos aplicada a la geoconservación y gestión del uso público en el parque nacional de Cabañeros (Ciudad Real-Toledo). <i>A. Díez-Herrero, J. Vegas, L. Carcavilla, M. Gómez-Heras y A. García Cortés</i> .....	73
Efecto de una lluvia torrencial post-incendio en la repelencia al agua y la velocidad de infiltración de un suelo en un ambiente mediterráneo (NE España). <i>Marcos Francos, Paulo Pereira, Meritxell Alcañiz, Jorge Mataix-Solera; Victoria Arcenegui y Xavier Úbeda</i> .....	81
Utilidad de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) de bajo coste y la fotogrametría automatizada (SfM) para elaborar modelos tridimensionales de alta resolución de formas complejas. <i>Á. Gómez-Gutiérrez, F. Berenguer-Sempere, J. Lozano-Parra, S. Schnabel y F. Lavado-Contador</i> .....	89

	Pág.
Evaluación de técnicas de recuperación de zonas acarcavadas en Extremadura mediante modelos 3D de alta resolución: resultados preliminares. <i>Á. Gómez-Gutiérrez, S. Schnabel, F. Lavado-Contador, J.J. de Sanjosé-Blasco, A.D.J. Atkinson y M. Pulido-Fernández</i> .....	97
Reconstrucción de paleolíneas de costa en la Laguna de Gallocanta (Cordillera Ibérica) mediante fotos aéreas y datos LiDAR de alta resolución. <i>F.J. Gracia, C. Castañeda</i> ..	105
Una aproximación SIG de la afección producida por los cambios de uso del suelo en un sistema hidrológico de una cuenca mediterránea de montaña. <i>I. Lizaga, L. Quijano, L. Palazón, L. Gaspar, A. Navas</i> .....	113
Influencia de la densidad de plantación sobre el control de la erosión en laderas de canteras calcáreas en restauración del SE peninsular. <i>L. Luna, E. Rodríguez-Caballero, A. Afana, A. Solé-Benet</i> .....	121
Inventario preliminar de los lugares de interés geomorfológico de la Gran Senda de Málaga. <i>J.F. Martínez Murillo, J.D. Ruiz Sinoga, E. Ferre Bueno</i> .....	127
El impacto ambiental en la geomorfología de zonas de montaña: el registro sedimentario del Lago de La Cueva (Parque Natural de Somiedo, Asturias). <i>M. Morellón, J. Vegas, M.P. Mata, A. Vicente de Vera, J.A. Rodríguez García, J. Sánchez España y F. Barreiro-Lostres</i> .....	135
Dinámicas hidro-geomorfológicas en espacios de interfaz natural-artificial. Peligrosidad de generación de balsas en infraestructuras viarias. <i>S. Pardo-García, S. Reyes-Corredera y M. J. Perles-Roselló</i> .....	143
El lago de Enol (Asturias): origen, evolución y dinámica geomorfológica. <i>J. Rodríguez García, J. Vegas, M. López-Vicente, M.P. Mata, M. Morellón, A. Navas, Á. Salazar, J. Sánchez-España</i> .....	151
Corrección del crecimiento basal de <i>Quercus ilex</i> para estimar tasas de erosión a partir de raíces semi-expuestas. <i>J. Rubio-Delgado, S. Schnabel y Á. Gómez-Gutiérrez</i> .....	159
La cartografía regional de peligrosidad de inundación por criterios geomorfológicos en el Plan de Acción Territorial frente al Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA). <i>C. SanchisIbor, J.M. Ruiz Pérez, J.S. Palencia Jiménez y F. Francés</i> .....	167

## Geomorfología y geoarqueología

Caracterización geomorfológica y edafo-sedimentaria de un yacimiento arqueológico en la Sierra de O Barbanza (A Coruña). <i>M. Costa-Casais, R. Blanco-Chao, G. Gómez-Rey, R. Fábregas Valcarce, C. Rodríguez-Rellán, V. Barbeito Pose</i> .....	179
Actuaciones para la conservación y estudio de los depósitos de paleoinundaciones en el yacimiento arqueológico musteriense del Abrigo del Molino (Segovia). <i>A. Díez-Herrero, A. Sopeña, Y. Sánchez-Moya, G. Benito, D. Álvarez-Alonso, M. De Andrés-Herrero, J. Rojo, M. Hernández y S. Sánchez-Torralbo</i> .....	187

	Pág.
Aproximación a las tasas de colmatación, por meteorización físico-química, de la cavidad del yacimiento arqueológico musteriense del Abrigo del Molino (término municipal de Segovia, Segovia). <i>A. Díez-Herrero, D. Álvarez-Alonso, M. De Andrés-Herrero y J. Rojo</i> .....	195

## Geomorfología y procesos de ladera

Desarrollo de escenarios de peligrosidad y riesgo por deslizamientos (proyecto Espérides). <i>J. Bonachea, J. Remondo, V. Rivas, J. Sánchez-Espeso, V.M. Bruschi, A. Cendrero, J.R. Díaz de Terán, G. Fernández-Maroto, J. Gómez-Arozamena, A. González-Díez, C. Sainz</i> .....	205
Modelo de susceptibilidad de deslizamientos superficiales para la cuenca del río Oria (Gipuzkoa). Aplicación de la regresión logística y comparación de resultados con estudios precedentes. <i>T. Bornaetxea, O. Ormaetxea y I. Antigüedad</i> .....	213
La avalancha de rocas de la Coma d’Espòs, Pirineo Central, Lleida: un evento prehistórico catastrófico. <i>J. Corominas y J. R. Ruiz-Carulla</i> .....	221
Tres años después de la reactivación del argayo de Sebrango (Cantabria). <i>A. González-Díez, G. Fernández Maroto, P. Martínez Cedrún, M. Zarroca, R. Linares, E. San Millán, J. Bonachea, V.M. Bruschi, J. Sánchez Espeso, J. Remondo J. R. Díaz de Terán</i> .....	229
Elaboración de inventarios nacionales de movimientos de ladera en España y Chipre para la evaluación de su susceptibilidad a escalas nacional y europea. <i>J. Hervás</i> .....	237
El movimiento en masa de Brez (Picos de Europa, Cordillera Cantábrica). <i>A. Rodríguez García, F. Nozal, y A. Suárez Rodríguez</i> .....	243
El deslizamiento activo de “el Bec Vermell” en la costa Norte de Menorca (Balears). <i>F.X. Roig-Munar, J.M. Vilaplana, J.M., A. Rodríguez-Perea, J. A. Martín-Prieto y B. Gelabert</i> .....	251
Detección e inventario de desprendimientos de rocas mediante el seguimiento con LiDAR Terrestre en la Montaña de Montserrat (Catalunya, España). <i>M.J. Royán, J.M. Vilaplana, M. Janeras y A. Abellán</i> .....	257
Influencia de las precipitaciones en la ocurrencia de movimientos de ladera en Cantabria. <i>E. San Millán, A. González-Díez y G. Fernández-Maroto</i> .....	265
Susceptibilidad de movimientos en masa en infraestructuras viarias. Aplicación a un tramo de la autovía A-7 (circunvalación de Málaga). <i>J.F. Sortino Barrionuevo, M.F. Mérida Rodríguez y M.J. Perles Roselló</i> .....	273

## Geomorfología fluvial

Análisis de la vulnerabilidad social ante avenidas súbitas en zonas urbanas de Castilla y León (España). <i>E. Aroca-Jiménez, J.M. Bodoque, J.A. García, A. Díez-Herrero</i> .....	283
Registro de paleoinundaciones en el desfiladero de los Gaitanes y su implicación en la evaluación de la seguridad de las presas del alto Guadalhorce (Málaga). <i>G. Benito,</i>	

	Pág.
<i>M.T. Rico, Y. Sánchez-Moya, A. Sopena, V. Thorndycraft, A. Díez-Herrero y M.A. Perucha</i> .....	291
Cuantificación de incertidumbres en la reconstrucción hidráulica bidimensional de paleoinundaciones a velocidades subcríticas en valles confinados (río Guadalquivir). <i>P. Bohórquez y F. García-García</i> .....	299
Dinámica geomorfológica de un cauce efímero afectado por extracción de gravas. <i>M. Calle, P. Alho y G. Benito</i> .....	307
Las avenidas torrenciales de los barrancos de Portainé, Reguerals y Ramiosa (Pirineo Central): evolución de las cuencas y dinámica torrencial. <i>G. Furdada, M. Génova, M. Guinau, A. Victoriano, G. Khazaradze, A. Díez-Herrero, J. Calvet</i> .....	315
Las terrazas del río Alagón. Dataciones por luminiscencia y significado en el contexto de la Depresión de Coria (Cáceres). <i>G. Garzón, R. Tejero, P. Fernández, J. Garrote</i> .....	323
Estimación inicial de la producción hidrosedimentaria en la cuenca hidrográfica del Guadalete (Cádiz, España). <i>M. Hamani, F.J. Gracia, J. Benavente y J.J. Gomiz</i> .....	331
Cambios geomorfológicos en el Alto Cinca, periodo 1927 – 2014. <i>M. Llana, D. Vericat y J.A. Martínez-Casasnovas</i> .....	339
Hydroclimatología de las inundaciones históricas y paleocrecidas del río Duero en su tramo medio e internacional. <i>M.J. Machado, A. Medialdea, M. Barriandos y G. Benito</i> .....	349
El uso de la potencia hidráulica del río como indicador de procesos geomorfológicos. <i>V. Martínez-Fernández, M. González del Tánago y D. García de Jalón</i> .....	357
Erosión minera en la cuenca del arroyo Peñalén (Parque Natural del Alto Tajo, Guadalajara). <i>C. Martín-Moreno, J.F. Martín Duque, J.M. Nicolau, A. Muñoz, I. Zapico</i> .....	365
Estimación de los tiempos de concentración: implicaciones de la simplificación morfométrica en el análisis hidrológico de caudales de avenida fluvial. <i>L. Martins, A. Díez-Herrero, J.M. Bodoque, C. Bateira</i> .....	375
Versatilidad de la datación por luminiscencia en el estudio de suelos y depósitos de crecida. <i>A. Medialdea, G. Benito y K.J. Thomsen</i> .....	383
Datación preliminar por ESR de la secuencia de terrazas fluviales del valle del Arlanza (Sector NE de la Cuenca del Duero, Burgos). <i>D. Moreno, A. Benito-Calvo, C. Falguères, P. Voinchet, A. Pérez-González</i> .....	391
Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés (Alicante, 1958-2013). <i>A. Navarro, C. Sanchis-Ibor y F. Segura-Beltrán</i> ...	399
Cambios recientes en el patrón de inundaciones en la rambla de Nogalte (Murcia). <i>J. A. Ortega-Becerril, G. Garzón, M. Béjar-Pizarro y J.J. Martínez-Díaz</i> .....	407
Dataciones cosmogénicas en el cañón del Bajo Guadiana: evolución de la terraza rocosa e incisión del canal interno. <i>J.A. Ortega, G. Garzón, R. Tejero, A.S. Meriaux</i> .....	415
Geocronología de la actividad hidromagmática del maar de Cuelgaperros (Campo de Calatrava, Ciudad Real): nuevas aportaciones. <i>M. A. Poblete, S. Beato, J.L. Marino y J. Ruiz</i> .....	423

	Pág.
Procesos de transporte en pequeñas cuencas costeras de las Illes Balears: observaciones sobre sus condicionantes litológicos y estructurales. <i>F. Pomar, L. Del Valle, J.J. Fornós y L. Gómez-Pujol</i> .....	431
Ajustes del cauce y dinámica de barras en la Rambla de Ramonete (Murcia) entre 1956 y 2013: cambios de usos del suelo y acción antrópica. <i>E. Sánchez, F. Segura-Beltrán, C. Sanchis-Ibor</i> .....	439
Aplicación de datos LiDAR en el estudio de la dinámica torrencial y evolución de los barrancos de Portainé y Reguerals (Pirineos Centrales). <i>A. Victoriano, M. Guinau, G. Furdada, J. Calvet1, M. Cabré y M. Moysset</i> .....	447
 <b>Geomorfología litoral y submarina</b>	
Análisis de las morfologías de pequeña escala en los deltas sumergidos del sureste de la Península Ibérica. <i>P. Bárcenas, L.M. Fernández-Salas, F.J. Lobo, J.T. Vázquez, N. López-González y J. Macías</i> .....	459
Morfodinámica y geoarqueología de un islote arenoso (Ría de Arousa, Galicia). <i>R. Blanco Chao, M. Costa Casais, D. Cajade Pascual</i> .....	467
Implicaciones geomorfológicas del registro sedimentario de la costa occidental de Eivissa (Mediterráneo occidental). <i>L. del Valle, F. Pomar, J. J. Fornós, L. Gómez-Pujol, V. Anechitei-Deacu, A. Timar-Gabor</i> .....	475
El papel de los flujos de turbidez en la morfología y formación de las ondulaciones del fondo del mar en los prodeltas del Mediterráneo occidental: comparación entre las simulaciones numéricas y los datos reales. <i>Fernández-Salas, L.M., P. Bárcenas, J. Macías, Vázquez, J.T. y López-González, N.</i> .....	483
Caracterización energética en base a cálculos de <i>fetch</i> aplicada a la gestión de playas. <i>L. González Ramírez y R. Blanco-Chao</i> .....	491
La erosión costera de la Manga del Mar Menor (Región de Murcia) a partir de la segunda mitad del siglo XX. <i>A.D. Ibarra Marinas, F. Belmonte Serrato, G. Ballesteros Pelegrín</i> .....	499
Formación de tómbolos y hemitómbolos a partir de diques rompeolas en playas del sureste ibérico. <i>A.D. Ibarra Marinas, F. Belmonte Serrato, G. Ballesteros Pelegrín</i> .....	507
Rasgos morfológicos del talud continental y llanuras abisales del sector noroccidental de Iberia. <i>E. Llave, G. Jané, A. Maestro, J. López-Martínez, F.J. Hernández-Molina</i> .....	515
Evaluación de los lugares de interés geomorfológico de la costa gaditana. <i>M. Mancinelli, J. Benavente y F.J. Gracia</i> .....	523
Análisis de los cambios morfológicos en el delta sumergido del Ebro (1880-1992). <i>B. Martínez-Clavel, F. Segura, J.E. Pardo-Pascual, J. Guillén</i> .....	531
Caracterización preliminar y evolución reciente de las playas de la Bahía de Algeciras (Cádiz). <i>J. Montes, J. Benavente y L. Del Río</i> .....	539
Estudio de la dinámica geomorfológica mediante la obtención de modelos topográficos históricos y actuales a partir de fotogrametría digital automatizada: acantilados de A	

	Pág.
Capelada (A Coruña, Galicia). <i>E. Muñoz-Narciso, J. Horacio, J.M. Sierra-Pernas, A. Pérez-Alberti</i> .....	547
Caracterización geomorfológica y hábitats en estructuras volcánicas en el Campo Profundo de Expulsión de Fluidos (NE del Golfo de Cádiz). <i>D. Palomino, J.T. Vázquez, N. López-González, L.M. Fernández-Salas, J.L. Rueda, E. González-García, V. Díaz-del-Río</i> .....	555
Predicción de la evolución a medio plazo de playas expuestas: la playa de Vistahermosa (Bahía de Cádiz). <i>M. Puig, J. Benavente y L. Del Río</i> .....	563
Presencia de bloques de tsunamis en acantilados de Punta Prima (Formrntera). <i>F. X. Roig-Munar, J. A. Martín-Prieto, J.M. Vilaplana, A. Rodríguez-Perea, B. Gelabert</i> .....	571
Geomorfometría de montículos submarinos en el talud continental inferior al oeste de las Islas Canarias: Evolución de las emisiones de fluidos. <i>O. Sánchez-Guillamón, L.M. Fernández-Salas, J.T. Vázquez, D. Palomino, T. Medialdea y L. Somoza</i> .....	579
Geomorfología submarina en relación con la actividad tectónica cuaternaria en la cuenca del Mar de Alborán, sector nororiental. <i>J.T. Vázquez, F. Estrada, R. Vegas, G. Ercilla, B. Alonso, L.M. Fernández-Salas, P. Bárcenas, D. Palomino, E. d'Acremont, M.C. Fernández-Puga, M. Gómez-Ballesteros, Ch. Gorini</i> .....	587

## Geomorfología kárstica

Medición de deformaciones en dolinas activas mediante escáneres láser 3D. Un ejemplo en el karst evaporítico del Valle del Ebro, NE de España. <i>A. Benito-Calvo, F. Gutiérrez, D. Carbonel, G. Desir, J. Guerrero, O. Magri, T. Karampaglidis, I. Fabregat</i> .....	599
Monitorización de dolinas activas en el entorno de Zaragoza mediante nivelación geométrica de alta precisión. <i>G. Desir, J. Guerrero, F. Gutiérrez, D. Carbonel, J. Merino, A. Benito, I. Fabregat, C. Roqué, M. Zarroca, R. Linares</i> .....	607
Dolinas relacionadas con la disolución de evaporitas en el Valle del Fluvià, Pirineos orientales, Gerona. <i>I. Fabregat, F. Gutiérrez, C. Roqué, D. Carbonel, J. Guerrero, F. García-Hermoso, M. Zarroca, R. Linares</i> .....	615
Ascenso y colapso simultáneo del diapiro de Salinas de Oro (España). <i>J. Guerrero</i> .....	623
Fases de captura fluviokárstica e incisión del sistema Gadaures - Hundidero - Gato (Serranía de Ronda, provincias de Cádiz y Málaga). <i>I. Lechuga Manzano, F.J. Gracia Prieto, A. Suma y P.D. De Cosmo</i> .....	631
Desarrollo de dolinas de colapso durante épocas de sequía. El caso del karst evaporítico aluvial del valle medio del Río Fluvià. <i>R. Linares, M. Zarroca, C. Roqué, F. Gutiérrez, I. Fabregat, D. Carbonel, J. Guerrero</i> .....	639
Identificación de formas de relieve negativo a partir de datos de vuelo LiDAR. Aplicación al karst evaporítico de Gobantes (provincia de Málaga). <i>M. Mudarra Martínez, J.M. Gil Márquez, M. Argamasilla Ruiz, B. Andreo Navarro, F. Carrasco Cantos</i> .....	647

	Pág.
Estimación del criterio geomorfológico para la evaluación de la geodiversidad en un terreno kárstico: la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga). <i>E. Pardo-Igúzquiza, J.J. Durán, J.A. Luque-Espinar, P.A. Robledo-Ardila</i> .....	655
Una comparación de dos métodos estocásticos para la simulación de redes tridimensionales de conductos kársticos. <i>E. Pardo-Igúzquiza, J.J. Durán, P.A. Robledo-Ardila y J.A. Luque-Espinar</i> .....	663
Análisis morfométrico y distribución espacial de las dolinas en Sierra Gorda, Granada, España. <i>P.A. Robledo, J.J. Durán, R. Cañellas González, E. Pardo, A. González-Ramón, J.S. Luque, S. Martos, C. Guardiola-Albert, A. Pedrera y M. López Chicano</i> .....	671
La organización altitudinal de las formas kársticas en el Macizo Occidental de los Picos Europa. <i>J. Ruiz-Fernández, M. Oliva, A. Fernández, D. Gallinar y C. García-Hernández</i> .....	677
El semipolje de La Estiva (Valle de Pineta, Pirineo oscense): origen, morfoestructura y procesos recientes en una depresión kárstica compleja. <i>A. Salazar, M.P. Mata, B. Valero Garcés, M. Rico, A. Moreno, F.M. Rubio, P. Ibarra</i> .....	687
Aplicación de la tomografía eléctrica de resistividades (ERT) a la investigación de dolinas en el karst evaporítico del Valle del Fluvià (NE de España). <i>M. Zarroca, R. Linares, C. Roqué, I. Fabregat, F. Gutiérrez, D. Carbonel y J. Guerrero</i> .....	695

## Geomorfología glaciár

Significado geomorfológico de los depósitos fluviales de la cueva del Granito (Valle de Bujaruelo, Pirineo Central, Huesca). <i>Miguel Bartolomé, Carlos Sancho, Mikel Calle, Alicia Medialdea, María Leunda, Ana Moreno, Gerardo Benito, Daniel Asenjo</i> .....	705
Evolución del volumen de hielo en la cueva de Casteret en los últimos 50 años (Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Huesca). <i>M. Bartolomé, C. Sancho, M. Leunda, A. Moreno, Á. Belmonte, B. Oliva-Urcia, J.I. López-Moreno, D. St. Pierre, D. Asenjo, A. Gomollón</i> .....	713
Retroceso glaciár en el entorno de Bahía Esperanza (Península Antártica), durante el Holoceno. <i>M. Nozal, M. Montes y A. Martín-Serrano</i> .....	721
El retroceso glaciár en las islas Shetland del Sur (Antártida) durante el Holoceno. <i>M. Oliva, D. Antoniades, S. Giralt, I. Granados, S. Pla-Rabes, M. Toro y E.J. Liu</i> .....	729
Suelo helado estacional y permafrost en las altas cumbres de Sierra Nevada. Síntesis de resultados. <i>M. Oliva, A. Gómez-Ortiz, A., F. Salvador-Franch, M. Salvà-Catarineu, D. Palacios, L.M. Tanarro, M. Ramos</i> .....	739
Dinámica de la capa activa en tres cuencas lacustres de relieve diferenciado (Península Byers, Antártida). <i>M. Oliva, F. Hrbacek, J. Ruiz-Fernández, M.Á. de Pablo, G. Vieira, M. Ramos, D. Antoniades</i> .....	745
Los aludes de nieve en el Alto Aller: su incidencia en la carretera AS-253 del Puerto de San Isidro (Macizo Central Asturiano). <i>M. A. Poblete, S. Beato y J. L. Marino</i> .....	751

# **Geomorfología litoral y submarina**



## Morfodinámica y geoarqueología de un islote arenoso (Ría de Arousa, Galicia)

### *Morphodynamics and geoarchaeology of a Sandy island (Ria of Arousa, Galicia)*

R. Blanco Chao<sup>1</sup>, M. Costa Casais<sup>1</sup> y D. Cajade Pascual<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Geografía, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Santiago de Compostela. Praza da Universidade, 1. 15782 Santiago (España). ramon.blanco@usc.es

**Resumen:** El islote Guidoiro-Areoso, situado en un conjunto de pequeños islotes y bajos constituidos por rocas graníticas, presenta dos sectores separados por un estrechamiento central, siendo el meridional esencialmente rocoso aunque cubierto por sedimentos eólicos. El sector norte se caracteriza por la existencia de un complejo playa-duna lobular con un sistema dunar parcialmente vegetado. La erosión ha dejado al descubierto nuevas evidencias arqueológicas, introduciendo un alto riesgo de destrucción de las estructuras descubiertas. A partir del análisis de información aeroespacial entre 1945 y 2015 se ha verificado un comportamiento morfodinámico caracterizado por la rotación del lóbulo arenoso, con una magnitud máxima de 14,15° hacia el este entre 1956 y 1984. Entre 1984 y 2000 se produce además su desconexión del islote rocoso y acelerándose las tasas de erosión. A partir de la realización de una campaña batimétrica se deduce que la posición extrema alcanzada por el lóbulo en los años 1980 y 1984 corresponde posiblemente a una anomalía en la dinámica del lóbulo, formando una plataforma sedimentaria que posteriormente es abandonada. Por otra parte, los perfiles acústicos realizados muestran que la constitución de las formaciones sedimentarias de los bajos se generaron mediante una deriva hacia el norte. El análisis de una secuencia estratigráfica en el flanco oeste prueba la existencia de una sedimentación generada en condiciones claramente continentales, sobre la que se detecta el inicio de la sedimentación costera. La escasa potencia del sondeo, 140 cm, pone de manifiesto que las altas tasas erosivas detectadas en el flanco oeste y que causan la destrucción de los yacimientos arqueológicos se debe a una pérdida del volumen de arena, que es de gran incidencia al tratarse de una playa litológicamente limitada con muy poca capacidad de modificación del perfil.

**Palabras clave:** geomorfología costera, geoarqueología, erosión.

**Abstract:** Guidoiro-Areoso is a small islet surrounded by granitic rock shoals at a low water depth. It has two sectors separated by a narrow section. The southern sector is rocky and is covered by aeolian sediments, meanwhile the northern is a beach-dune complex partially vegetated. The erosion has exposed new archaeological evidences introducing an important risk of destruction of the structures discovered. Using a set of aeroespacial information from 1945 to 2013 we found a morphodynamic behavior characterized by the rotation of the north sand lobe, with a maximum rotation of 14.15° between 1956 and 1984. Between 1984 and the year

2000 the north sand lobe and dunes remained disconnected from the rock island, maintaining the rotation but now with a progressive shift to the east until today. A bathimetric survey revealed that the extreme position of the north lobe in the years 1980 and 1984 was probably caused by an anomaly in the morphodynamic behavior of the complex that formed a sandy platform now abandoned. By acoustic profiles we found that the sediments of the shoals developed under a dominating northward sand transport. The analysis of a stratigraphic sequence in the western flank probes the occurrence of a previous continental sedimentation, covered by beach sediments. The low thickness of the sequence, 140 cm, suggest that the high erosive rates of the western flank that are the cause of the destruction of the archaeological structures, are due to a lowering of the volume of sand. The beach can be therefore defined as a geologically constrained beach with a very low capacity to change its profile.

**Key words:** Coastal geomorphology, erosion, geoarchaeology.

## INTRODUCCIÓN

Guidoiro Areoso es un pequeño islote localizado al oeste de la Isla de Arousa, en el interior de la Ría de Arousa. Se sitúa en un conjunto de pequeños islotes y bajos alineados en dirección ONO-ESE constituidos por rocas graníticas de grano medio y grueso con un denso patrón de fracturación (Fig. 1). El sector situado entre los islotes Guidoiro Areoso y Guidoiro Pedregoso corresponde a una zona con menos de 5 m de profundidad, con numerosos afloramientos rocosos, si bien la mayor parte de los fondos están compuestos por acumulaciones de sedimentos que al menos en la actualidad están dominados por una importante población de *mäerl*.

El islote Areoso presenta dos sectores separados por un estrechamiento central, siendo el meridional esencialmente rocoso aunque cubierto por sedimentos eólicos. El sector norte se caracteriza por la existencia de un lóbulo arenoso, con unas dimensiones aproximadas de unos 300 m de largo por 160 m de ancho y con un sistema dunar parcialmente vegetado.

Por su situación en la parte interna de la Ría de Arousa se trata de un sector de baja energía del oleaje. No se dispone de datos de altura, periodo o dirección del oleaje en este

sector, por lo que la caracterización del régimen energético solamente puede derivarse a partir del punto SIMAR 1043070 (Puertos del Estado, 2015), con un 70% del oleaje entre 1 y 2,5 m de altura significativa y periodos entre 8 y 10 seg. La dirección de procedencia es de un 88% del oleaje entre O y NNO y solamente un 9.5% procede del OSO-SO.

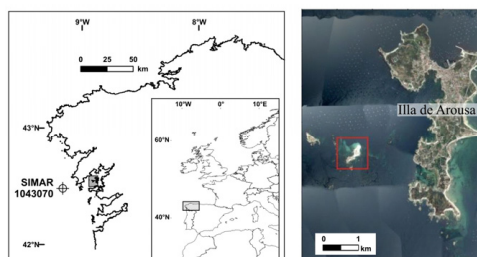


FIGURA 1. Localización del islote Guidoiro Areoso

Las campañas de excavación arqueológica realizadas a finales de la década de los años ochenta del pasado siglo permitieron documentar la existencia de una intensa actividad funeraria y habitacional en el islote durante el Neolítico Final y los inicios de la Edad del Bronce (Rey, 2011). La erosión costera ha expuesto nuevas evidencias de ocupación prehistórica, situadas en la zona intermareal o muy próximas a ella (Rey García y Vilaseco Vázquez, 2012). Se conocen un total de cinco

túmulos funerarios con diámetros entre 6 y 10 m, aunque solamente se dispone de datos cronológicos para uno de ellos, relacionado con material cerámico adscribible a mediados del III milenio AC y, sobre el que se localizó una ocupación, con cerámica campaniforme, dataada en torno a 2225-1950 cal AC (GrN-16108: 4020±40 BP).

## MÉTODOS

Se ha analizado un conjunto de información aeroespacial correspondiente a los años 1945, 1956, 1980, 1984, 1999, 2000, 2003, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. Los fotogramas entre los años 1945 y 2000 son pares estereoscópicos que fueron georeferenciados mediante software SIG; las imágenes de los años 2003, 2008, 2010 y 2014 son ortofotografías PNOA (IGN, 2016), y la información de los años 2011, 2012 y 2013 corresponde a imágenes del satélite *QuickBird* obtenidas de Google Earth (<http://www.google.com/earth>).

En el año 2015 se llevó a cabo una campaña de geofísica marina mediante sonda multihaz R2Sonic obteniéndose un modelo batimétrico con un tamaño de pixel de 2 m; y se obtuvieron 6 perfiles acústicos con un perfilador Edgetech 3100. Durante el verano de 2015 se llevó a cabo una campaña de intervención arqueológica abriéndose cuatro catas, dos en la playa del flanco oeste y dos en la playa sureste. Se procedió a un muestreo cada cinco centímetros en tres de los sondeos (S-I, S-II y S-III), aunque en este trabajo solamente se incluyen los resultados del sondeo S-I en el que se alcanzó una profundidad de 140 cm desde la superficie de la playa actual. Las muestras fueron tamizadas con una columna de 9 tamices con aperturas entre 0,063 y 2 mm, y se obtuvieron los parámetros estadísticos mediante el método de Folk y Ward (1957) con la hoja de cálculo Gradistat (Blott y Pye, 2001). Se determinó el contenido en materia orgánica mediante el método de pérdida por

combustión (*Lost on Ignition LOI*) calcinando la muestra 550° durante 6 horas. Se determinó el pH de las muestras si bien los resultados obtenidos no permiten ninguna interpretación al reflejar la actual ubicación de la secuencia en la zona intermareal y estar influenciados por la entrada de agua de mar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de imágenes aéreas entre 1945 y 2015 ha permitido verificar un activo comportamiento morfodinámico caracterizado por la rotación del lóbulo arenoso norte (Blanco Chao *et al.*, 2015). Durante todo el periodo de estudio el movimiento del lóbulo presenta principalmente una magnitud de unos 4° de rotación sobre una plataforma desarrollada en prolongación del complejo del lóbulo norte. Sin embargo, entre 1980 y 1984 se detecta una rotación muy acusada del complejo hacia el oeste con una magnitud de 14,15°, generando un nuevo lóbulo al oeste. A partir del año 2000 el complejo vuelve a situarse en su posición más oriental, manteniendo la rotación pero incrementándose notablemente las tasas de erosión.

Entre 1956 y 1980, aún considerando la menor resolución temporal de las imágenes, el lóbulo parece presentar una tendencia a rotar hacia el oeste, con una magnitud total de 14,15°. Entre 1984 y 2000 se produce un cambio en la rotación del lóbulo, que rota 11,5° hacia el este, produciéndose además la desconexión de los sistemas dunares norte y sur. Entre los años 2000 y 2015, la magnitud de la rotación del lóbulo y del sistema dunar norte es siempre de menor magnitud, con un máximo de 4° hacia el oeste entre 2000 y 2003. A partir del año 2000 tras la desconexión de los sistemas dunares norte y sur se observa además un desplazamiento hacia el este del conjunto del lóbulo norte y el sistema dunar.

Durante el período estudiado se ha podido verificar una reducción neta de la superficie

dunar vegetada del lóbulo arenoso entre 1945 y 2015 de 5900 m<sup>2</sup>, una pérdida del 28% de la superficie dunar vegetada cartografiada en 1945. La erosión de este sistema y la consiguiente exhumación y destrucción de los yacimientos se produce en un contexto de ascenso del nivel del mar con tasa en el mareógrafo de Vigo de 2,35 mm/año (PSMSL, 2015).

La batimetría realizada en la primavera de 2015 permitió identificar en detalle la configuración del complejo sedimentario, limitado al norte por un escarpe que desciende abruptamente entre 15 y 20 de profundidad, siguiendo una dirección SE-NO. Los fondos sedimentarios se caracterizan por la presencia de una amplia barra transversal en el centro y sobre todo por la presencia de los dos lóbulos arenosos sobre los que se produce la rotación del complejo norte del islote. El cotejo con las imágenes aéreas revela que durante todo el periodo analizado el movimiento del complejo se produce sobre el lóbulo más oriental (lóbulo 1) mientras que el lóbulo occidental (lóbulo 2) se genera a partir de la rotación de casi 15° hacia el oeste que experimenta el complejo identificado en los fotogramas de 1980 y 1984. El lóbulo occidental no se encuentra presente en las imágenes previas de 1945 y 1956 y no se vuelve a ocupar en todo el periodo posterior a 1984 (Fig. 2).

La propia existencia del complejo arenoso norte sugiere la existencia de un transporte neto de sedimento hacia el norte, verificado por la configuración de los lóbulos arenosos sobre los que se produce la rotación del complejo. La batimetría también revela que la progradación del sistema hacia el norte se ve limitada por el rápido aumento de profundidad, de manera que ambos lóbulos presentan una marcada pendiente en el frente.

De los seis perfiles acústicos dos se obtuvieron siguiendo un rumbo NE y pasando sobre la

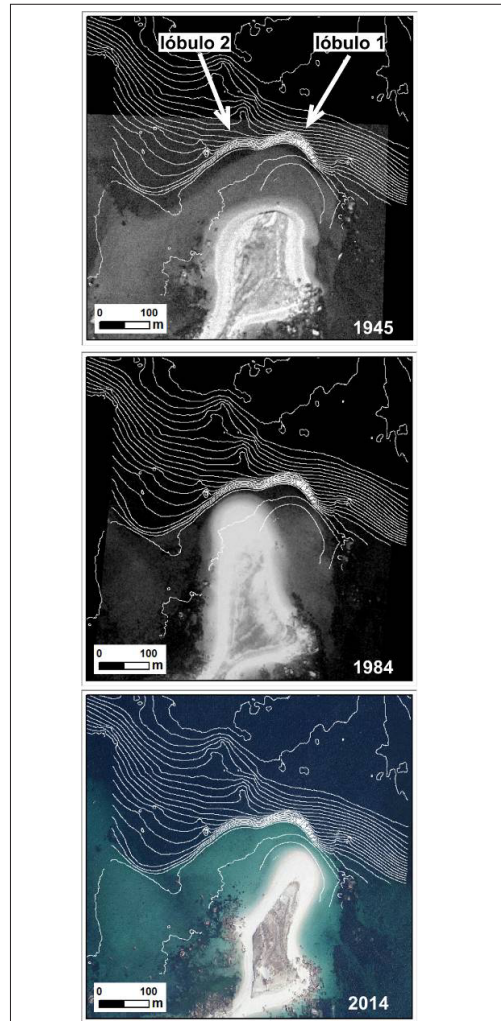


FIGURA 2. Configuración de los lóbulos arenosos en 1945, 1984 y 2014. La batimetría es la correspondiente a 2015 y tiene una equidistancia de 2 m

barra transversal y sobre el lóbulo arenoso occidental. En ambos perfiles se detecta un reflector muy claro situado aproximadamente en la zona central de los bajos, además de observarse claramente estructuras progradantes hacia el norte, que se acuñan al alcanzar el borde del escarpe norte, especialmente en el perfil 1 (Fig. 3).

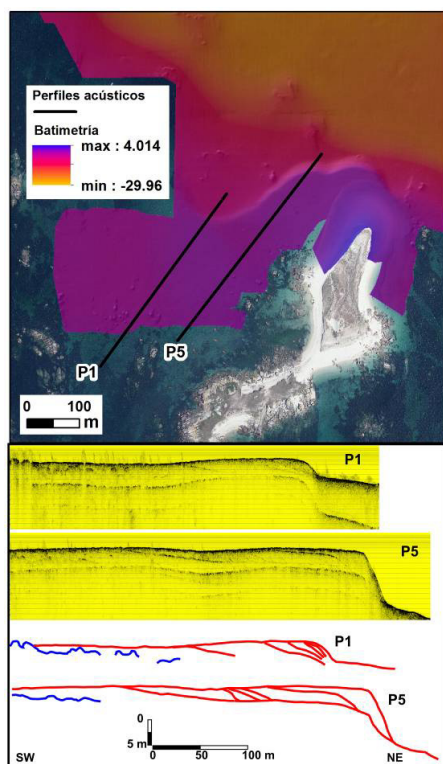


FIGURA 3. Batimetría de la zona de estudio y perfiles acústicos

En el perfil 5 se puede comprobar la existencia de una amplia superficie plana y con un borde muy abrupto hacia el norte. Esta estructura, que parece fosilizar las clinofomas progradantes, se trata posiblemente de la acumulación sedimentaria del lóbulo 2 generado en torno a 1980 y 1984.

Anteriormente ya habíamos apuntado la hipótesis de que las altas tasas erosivas registradas en el flanco oeste se relacionaban con una tendencia del transporte hacia el norte, de manera que el establecimiento de un déficit sedimentario conllevaría necesariamente la reducción del prisma de arena y la erosión del complejo dunar. Tanto la configuración batimétrica como los perfiles acústicos han confirmado que no solamente esa es la deriva

dominante en la actualidad, si no que ha sido la responsable de la acreción y acumulación sedimentaria al oeste del islote.

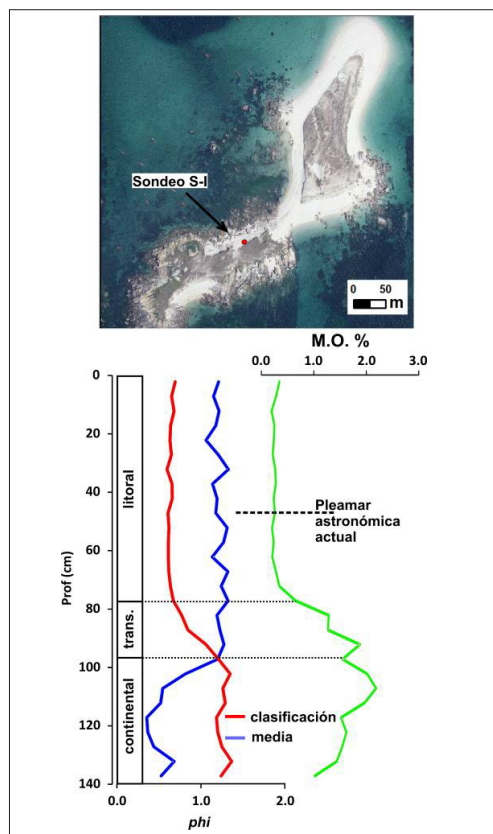


FIGURA 4. Posición y datos granulométricos y de contenido en materia orgánica del sondeo S-I

Los datos del sondeo S-I situado en el flanco occidental permiten identificar dos etapas de sedimentación bien definida (Fig. 4). La base de la columna que se sitúa sobre el substrato rocoso, corresponde a unos 50 cm de sedimento grueso con un tamaño medio que disminuye de los 0,7 mm en la base a 0,44 mm a 97,5 cm de profundidad. Se trata además de un sedimento pobremente clasificado, con abundantes feldespatos, fragmentos de granito y un contenido en la fracción inferior a 0,063 mm entre 4 y 7%. Sobre el se disponen unos 20 cm

de arenas con un tamaño medio de 0,4 mm que van mostrando una mejor clasificación hasta una profundidad de 77,5 cm. El resto de la secuencia, hasta la superficie de la playa actual corresponde a un sedimento homogéneo de arenas de tamaño medio (0,4 mm) moderadamente bien clasificadas.

El porcentaje de materia orgánica presenta igualmente diferencias importantes entre la base y el sedimento superior. Aún tratándose de valores bajos siempre por debajo del 3%, los mayores porcentajes se alcanzan en la unidad basal con un 2,18% a 107 cm de profundidad, descendiendo progresivamente hasta 0,65 % a 77,5 cm. En el resto de la secuencia los valores se mantienen de forma constante siempre por debajo de 0,5%.

La secuencia sedimentaria analizada en el sondeo S-I se interpreta como una acumulación de materiales procedentes del lavado de capas de alteración de los granitos. A partir de este material se comienza a formar un suelo, donde el contenido en materia orgánica sugiere un período de edafización y por tanto de estabilización. El cambio hacia una sedimentación de tamaños medios y bien clasificados muestra el inicio de una sedimentación costera homogénea y sin una estratigrafía definida. La zona de transición en la que tanto la clasificación como el contenido en materia orgánica decrecen progresivamente puede deberse a procesos erosivos y de removilización de los materiales de alteración por la acción del oleaje. Con posterioridad, se establecen claramente condiciones de sedimentación costera, que se sitúa a una cota mareal aproximada de 3,85 – 4 m, lo que corresponde con la cota de marea alta viva astronómica actual.

La escasa potencia del sedimento arenoso y el hecho de emplazarse sobre un substrato rocoso y un material sedimentario continental con comportamiento muy cohesivo permiten calificar a la playa occidental como litológi-

camente restringida. Este tipo de playas son altamente vulnerables a la erosión al no poder adaptar el perfil a variaciones en las condiciones energéticas y especialmente si se produce un déficit sedimentario (Jackson y Cooper, 2009; Jackson *et al.*, 2005; Muñoz-Perez y Medina, 2010; Loureiro *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

El complejo norte del islote Guidoiro Areoso presenta una alta movilidad caracterizada por la rotación de todo el complejo, acompañado de altas tasas de erosión, muy especialmente en el flanco oeste. El análisis de los fotogramas aéreos y la configuración batimétrica de detalle evidencian que en torno a los años 1980 y 1984 se produjo una rotación especialmente acentuada hacia el oeste, configurando un lóbulo que desde entonces no ha vuelto a ser ocupado por el complejo, lo que podría considerarse como una posible anomalía en el comportamiento morfodinámico del islote. El hecho de que sea a partir del S. XXI cuando se incrementan las tasas de erosión y la destrucción de los yacimientos arqueológicos, podría estar relacionado con una desestabilización del complejo, en el que se ha certificado la reducción del volumen de arena en el flanco oeste como principal causa de la erosión.

La estratigrafía del sondeo S-I prueba la escasa potencia del sedimento de playa en el flanco occidental. Además el carácter cohesivo de los sedimentos continentales situados en la base de la playa la convierten en un sistema geológicamente limitado, muy sensible a cualquier pérdida de sedimento.

A partir del análisis sedimentario se identifica la existencia de una sedimentación continental derivada del desmantelamiento de capas de alteración graníticas, generada bajo condiciones de nivel del mar más bajo que el actual.

## AGRADECIMIENTOS

La investigación ha sido financiada por los proyectos CSO2014-55816-P del Ministerio de Economía y Competitividad y R2014/001 financiado por la Xunta de Galicia. Gracias especiales a los Vigilantes de la Dirección Xeral de Conservación da Natureza de Pontevedra por el apoyo logístico.

## REFERENCIAS

- Blanco Chao, R., Costa Casais, M., Rey García, J.M. y Vilaseco Vázquez, X.I. (2015) Erosión costera en yacimientos arqueológicos: Guidoiro Areoso, Ria de Arousa, Galicia. *Geotemas*, 15, 1-4.
- Blott, S. J. y Pye, K. 2001 GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) 2016. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. <http://centrodedescargas.cnig.es/Centro-Descargas/>
- Jackson, D.W.T. y Cooper y J.A.G. 2009 Geological control on beach form: accommodation space and contemporary dynamics. *Journal of Coastal Research*, SI56, 69-72
- Jackson, D.W.T., Cooper, J.A.G., Del Rio, L. 2005 Geological control of beach morphodynamic state. *Marine Geology*, 216, 297-314.
- Loureiro, C., Ferreira, O., Cooper y J.A.G. 2012 Geologically constrained morphological variability and boundary effects on embayed beaches. *Marine Geology*, 329-331, 1-15.
- Muñoz-Pérez, J.J. y Medina, R. 2010 Comparison of long-, medium- and short-term variations of beach profiles with and without submerged geological control. *Coastal Engineering*, 57, 241-251.
- Permanent Service for Mean Sea Level (PS-MSL) 2015 *Tide Gauge Data*. [www.psmsl.org/data/](http://www.psmsl.org/data/).
- Puertos del Estado 2015 *Clima Medio de Oleaje Punto SIMAR 1043070*. Disponible en [http://calipso.puertos.es/BD/informes/medios/MED\\_1\\_8\\_1043070.pdf](http://calipso.puertos.es/BD/informes/medios/MED_1_8_1043070.pdf)
- Rey García, J.M. 2011. Guidoiro Areoso (Illa de Arousa, Pontevedra): un pequeño islote con una intensa ocupación entre el Neolítico Final y la Edad del Bronce. In: P. Prieto Martínez & L. Salanova (coord.) *Las comunidades campaniformes en Galicia: cambios sociales en el III y II milenios BC en el NW de la Península Ibérica*. Pontevedra: Deputación de Pontevedra: 201-210
- Rey García J.M. y Vilaseco Vázquez, X.I. 2012. Guidoiro Areoso. Megalithic cemetery and prehistoric settlement in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain). In: A. Campar Almeida, A.M.S. Bettencourt, D. Moura, S. Monteiro-Rodrigues, M.I. Caetano Alves (eds), *Environmental changes and human interaction along the western Atlantic edge. Mudanças ambientais e interação humana fachada atlântica ocidental*. Coimbra, APEQ – Associação Portuguesa para o Estudo do Quaternário: 243-258.