



EL USO DE BLOQUES DE TORMENTA Y DE TSUNAMI COMO MATERIA PRIMA EN LAS ISLAS BALEARES

The use of storm and tsunami boulders as raw material in the Balearic Island

Francesc Xavier Roig-Munar¹, Antonio Rodríguez-Perea², José Ángel Martín-Prieto^{1,2}, Joan Manel Vilaplana³ y Bernadí Gelabert²

¹ QUATRE, consultoria ambiental/AXIAL, geología i medi ambient. C/ Carritxaret 18-6, es Migjorn Gran, 07749, Menorca
xiscoroig@gmail.com

² Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca. Carretera de Valldemossa, km 7,5

³ Dpto. de Geodinámica y Geofísica, Grupo RISKMAT, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n., 08028 Barcelona
nue.vilaplana@ub.edu

Abstract: In the Balearic Islands rocky coastlines, it is found that part of this sedimentary material has disappeared completely or partially. This work examines traditional and recent uses that have been given to the boulders by society, given that it was a rocky material that did not need to be extracted, and that nature made it available to man. The work reveals that the disappearance of these sediments from the rocky coastline reduces the available study locations related to tsunami trajectories from Algeria.

Key-words: Balearic Islands, rocky coastlines, storm and tsunami boulders, anthropic use.

Resumen: En el contexto de las campañas para el estudio de depósitos sedimentarios de bloques de tormenta y/o tsunami en las costas rocosas de las islas Baleares, se detecta que parte de este material sedimentario ha desaparecido total o parcialmente en muchas áreas. El trabajo da a conocer los usos tradicionales y recientes que se han dado a los bloques por parte de la sociedad, debido a que se trataba de un material rocoso que no hacía falta extraer y que la naturaleza ponía a disposición del hombre. El trabajo refleja también que la desaparición de estos sedimentos de la costa rocosa reduce los emplazamientos de estudio relacionados con trayectorias tsunámicas procedentes de Argelia.

Palabras clave: Islas Baleares, costas rocosas, bloques de tormenta y tsunami, aprovechamiento antrópico.

Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A., Vilaplana, J.M. y Gelabert, B. (2016): El uso de bloques de tormenta y de tsunami como materia prima en las islas Baleares. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(2): 79-88.

La costa es un medio de transición, con una complejidad geoambiental que se traduce en un elevado grado de dinamismo, con grandes cantidades de energías que llegan al sistema, que establecen un ritmo de actividad y unos cambios en el medio que difícilmente pueden ser comparables a otros sistemas naturales de similares características (Woodroffe, 2003). Desde una perspectiva socioeconómica, la costa es un espacio de interés elevado; cerca de un 80% de la población mundial vive en la franja costera (Sunamura, 1992), siendo allí donde encontramos las concentraciones urbanas con mayor densidad de población. De todos los medios terrestres, el litoral es uno de los ámbitos más atractivos desde la pers-

pectiva geográfica, resultando un espacio especialmente interesante por su condición limítrofe entre tierra, mar y aire, donde se dan complejos fenómenos de características específicas muy marcadas (Pardo y Rosselló, 2001). El elevado dinamismo al que están sometidos estos sistemas litorales y la multiplicidad de procesos que les influyen, explican por qué los mecanismos de control litoral se encuentran dentro de un equilibrio delicado, difícil y complejo, a diferentes escalas espacio-temporales (Larson y Kraus, 1995).

La geomorfología litoral centra su interés en explicar la formación y evolución del relieve costero mediante el estudio de las formas, los sedimentos y los procesos que se

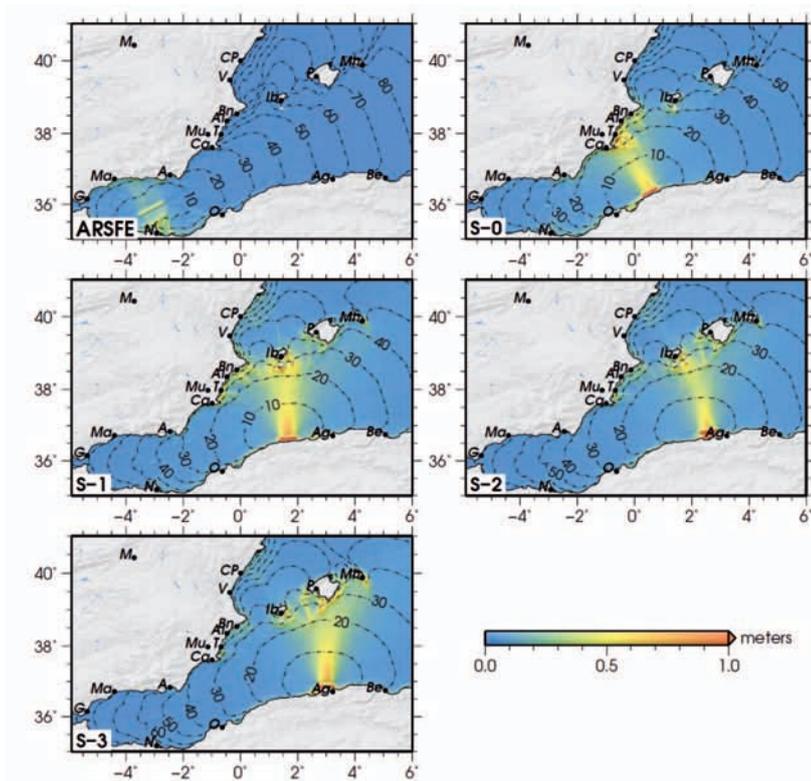


Fig. 1.- Mapas regionales de elevación máxima de ola (10 m s.n.m.) asociada a la fuente tsunamítica del mar de Alborán y a las fuentes del Norte de Argelia. Los contornos son las frentes de ola en diferentes intervalos de tiempo desde la generación del tsunami. Fuente: Álvarez *et al.* (2011).

dan en la línea de costa actual (Woodroffe, 2003; Cowell y Thon, 1994). El litoral puede ser definido desde múltiples criterios: oceanográficos, geológicos, climáticos, geomorfológicos, hidrogeológicos, biológicos, antropológicos, ingenieriles, económicos, jurídicos, turísticos, paisajísticos, etc., y donde cada ciencia puede tener sus particularidades según la perspectiva y escala con que se aborde, y el objetivo marcado para definirlo (Chica, 2008).

En el caso de las islas Baleares, la costa ha representado el motor de la economía en las últimas décadas, generando conflictos de intereses y una continua degradación, relacionada directamente con su papel como recurso donde gravita la actividad turística, y focalizada ésta sobre los sistemas playa-duna (Roig-Munar *et al.*, 2009). En menor medida también encontramos usos sobre los acantilados, como nuevos emplazamientos de zonas urbanas, aunque los impactos sobre las costas rocosas no han sido tratados en profundidad, como es el caso de los litorales arenosos.

Las costas rocosas han sido definidas como una tipología de costa que se caracteriza por una cierta ruptura de la pendiente y que está constituida por materiales consolidados sin tener en cuenta su dureza (Sunamura, 1992). De acuerdo con esta definición, una costa rocosa incluirá aquellos litorales que se componen desde materiales duros, hasta materiales poco cohesionados. Otros autores han optado por tratar las costas según los procesos aparentemente dominantes en cada una de ellas. De esta manera, Carter (1988) diferencia dos grandes grupos de costas: 1.- las cos-

tas erosivas formadas por materiales duros y cohesionados, y 2.- las costas de acumulación formadas por depósitos sedimentarios poco cohesionados. En el balance sedimentario de las costas rocosas, la erosión se presenta como un proceso aparentemente irreversible. No ocurre lo mismo con las costas sedimentarias formadas por materiales no consolidados, las cuales presentan un equilibrio dinámico entre erosión y acreción según Boyd *et al.* (1989), y una relación directa entre ámbitos continentales o ámbitos marinos (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000), aunque en las últimas décadas este equilibrio natural se ha roto por la acción del hombre (Hernández-Calvento *et al.*, 2003; Young *et al.*, 2014). De acuerdo con lo establecido, el equilibrio sedimentario en las costas rocosas formadas por materiales no consolidados está fuertemente condicionado por las entradas y salidas de sedimento, y es en este punto donde la actividad antrópica juega un importante papel al poder variar su equilibrio (Pardo y Rosselló, 2001), afectando a diferentes escalas y magnitudes de los espacios litorales adyacentes (Copeiro, 1980; Peña, 1989; Roig-Munar *et al.*, 2009; Lee, 2008). Son muchas las clasificaciones que se aplican a los ambientes costeros desde perspectivas diversas, y la ambigüedad es patente con estas clasificaciones, e incluso en la confusión terminológica (Finkl, 2004). No se han de considerar las costas rocosas como sistemas donde sólo predomina la erosión, ya que se deben tener presentes los procesos de sedimentación (Lahousse y Pierre, 2003; Mateos, 2000; Roig-Munar *et al.*, 2013). De estos procesos cabe destacar la deposición de bloques de tormenta y tsunamis sobre las costas rocosas (Roig-Munar, 2016).

Las modelizaciones numéricas realizadas de la Cuenca mediterránea, en el contexto de peligrosidad de tsunamis, han sido estudiadas por Roger y Hébert (2008), que realizaron la modelización del tsunami de 1856 con epicentro localizado en Djijelli, Argelia, y su propagación hacia las islas Baleares. En esta modelización se muestra cómo su propagación se orientó, tanto al S de Francia como hacia las islas Baleares. Los resultados indicaron que algunos puntos, principalmente a lo largo de la costa E de Mallorca y del SE de Menorca, están más expuestos a la llegada de un tsunami. Roger y Hébert (2008) concluyeron que se requería un estudio de la posible existencia de depósitos de tsunamis en el Mediterráneo occidental, manifestándose éstos como bloques de grandes dimensiones, y con especial atención a las islas Baleares, para poder identificar paleotsunamis y corroborar los modelos numéricos. Tras el terremoto en Argelia, con epicentro localizado en Boumerdes-Zemmouri, el 21 de mayo de 2003 y que afectó a la costa de las islas Baleares, Hébert y Alasset (2003) realizaron un modelado de tsunamis en esas islas, observando que las pendientes batimétricas favorecen una reflexión en

lugar de una amplificación de la ola en las zona lejanas de la costa. Sahal *et al.* (2009), mediante una modelización del tsunami de 2003, realizaron un mapa del tiempo de viaje de las olas, coincidente con los tiempos estimados por Hébert y Alasset (2003), donde se muestra que la energía máxima de ola se dirige sobre todo hacia las islas Baleares, con tiempos medios estimados de 30-40 minutos y velocidades entorno a los 750 km/h. Álvarez *et al.* (2010) realizaron una modelización de los posibles tsunamis generados por fuentes cercanas a la Península Ibérica y en las islas Baleares. El objetivo de la modelización fue identificar las áreas donde el riesgo e impacto de tsunamis es mayor. La experiencia reciente del terremoto de Boumerdes-Zemmouri de 2003 demostró que incluso los eventos moderados pueden producir oleajes con la energía suficiente para causar importantes daños y pérdidas económicas.

Los resultados obtenidos con las modelizaciones realizadas por Álvarez *et al.* (2011), muestran un mapa con cinco fuentes tsunamíticas definidas (Fig. 1). Estas fuentes sísmicas son de características similares a las responsables de los terremotos de Al-Asnam, en el año 1980 y de Boumerdes-Zemmouri, en el año 2003. Las fuentes representan fallas inversas de bajo ángulo hacia el N y NW, capaces de generar terremotos de magnitud 7,3. Estas fallas forman el límite N del cinturón de deformación de los materiales del Atlas del Norte de África que empuja sobre la cuenca argelino-balear. Como se muestra en la Figura 1, las fuentes generadas en el mar de Alborán tienen poco impacto sobre las islas Baleares y no son capaces de generar suficiente energía para representar un riesgo en el Archipiélago balear y en la costa oriental de la Península Ibérica. En el caso de las fuentes situadas al N de Argelia, las más occidentales, sí representan una amenaza para la costa suroriental de la Península Ibérica, mientras que las situadas en el NW de Argelia afectan principalmente a las islas de Ibiza y Formentera, con una ola de elevación de poco más de 0,5 m en la costa de Formentera y elevaciones máximas de 1 m en Ibiza.

El grado de influencia de las fuentes S-2 y S-3 respecto a la Península Ibérica es mucho menor, causando elevacio-

nes locales de aproximadamente 0,5 m entre Cartagena y Benidorm. El tsunami que viaja desde la fuente S-1 tarda en llegar a Formentera unos 25 minutos, desde la fuente S-2 tarda unos 30 minutos y desde la fuente S-3 alrededor de 35 minutos en su llegada a Mallorca. El tsunami generado por estas fuentes alcanza la isla de Formentera en 30 minutos, que es la más cercana de las islas a la costa de Argelia, mientras que el tiempo estimado para llegar a Menorca, la isla más remota, es de aproximadamente 40 a 50 minutos. Estas estimaciones de tiempo coinciden con los modelos de llegada de ola elaborados por Roger y Hébert (2008) y Sahal *et al.* (2009).

En el marco geográfico de las islas Baleares, el conocimiento científico de las costas rocosas es considerable y dilatado en el tiempo (Gómez-Pujol, 2006; Balaguer, 2006), especialmente en la última década. Por su parte, la temática que aborda la presencia de bloques de tormenta y tsunamis en las costas rocosas de Mallorca, ha sido un tema reciente en la producción científica (Bartel y Kelleat, 2003; Kelleat *et al.*, 2005; Scheffers y Kelleat, 2003), donde relacionan los bloques depositados sobre plataformas carbonatadas a procesos mixtos de oleaje y tsunamis. Gómez-Pujol y Roig-Munar (2013) realizaron una primera aproximación del origen de los bloques en la costa Sur de Menorca, atribuyéndolo a oleaje. Posteriormente Roig-Munar *et al.* (2014, 2015), realizaron estudios sobre bloques en las costas de Menorca y Mallorca (Fig. 2), para ampliarlo a todas las islas Baleares (Roig-Munar, 2016). En ellos, se han aplicado diferentes ecuaciones para distinguir entre bloques asociados a tormentas y bloques de tsunamis, y la relación de estos últimos con las trayectorias de tsunamis provenientes del Norte de África (Álvarez *et al.*, 2011).

Tradicionalmente, las litologías más utilizadas en la construcción en las islas Baleares han sido los materiales extraídos de canteras del Mioceno y del Cuaternario, denominados localmente como “marés” (Mateos *et al.*, 2011). Estas litologías también se encuentran en forma de bloques sobre gran parte del litoral rocoso estable y que permite conservar el registro sedimentario en forma de

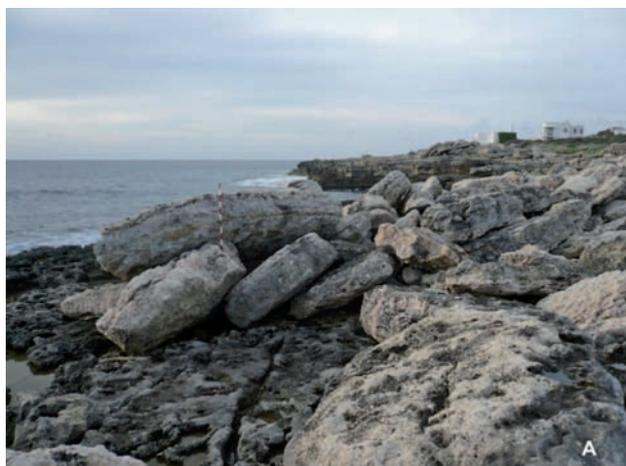


Fig. 2.- Ejemplos de bloques de tsunami depositados sobre las costas rocosas de Baleares. **A:** Bloques imbricados asociados a tsunamis en la costa rocosa de Alcafar, Menorca, y **B:** Bloques de tsunamis re trabajados por tormentas en la costa rocosa de Sant Antoni, Ibiza.

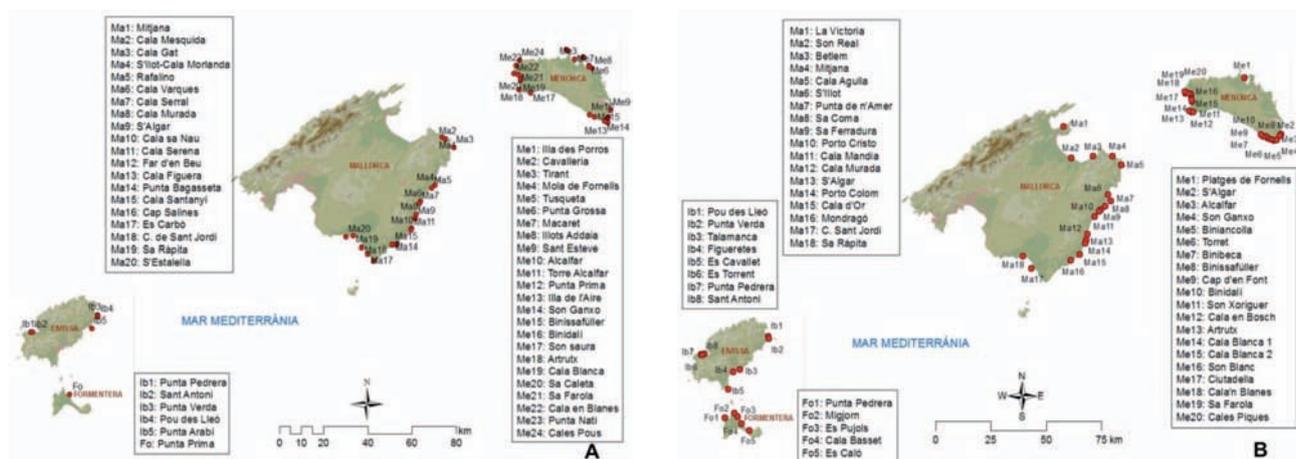


Fig. 3.- A: Localización de las 50 áreas analizadas como bloques de tsunami (Roig-Munar, 2016). **B:** Localización de áreas donde los bloques presentan síntomas evidentes de desaparición o alteración (ver Tabla I).

bloques (Roig-Munar, 2016), asociados a las trayectorias de tsunamis (Fig. 1). La presencia de estos campos de bloques sobre costas rocosas asociadas a fincas rurales, vías de comunicación o zonas urbanas, supuso la disponibilidad de una materia prima de fácil acceso (Cuerda *et al.*, 1991), sin coste económico, de fácil manejo y sin necesidad de trabajos de extracción de cantería, hecho que afectó en cierta medida a la conservación del registro sedimentario en forma de bloques asociados a flujos de gran intensidad.

Objetivos y metodología

A partir del trabajo realizado por Roig-Munar (2016), que definió 50 áreas de estudio con presencia de bloques asociados a las trayectorias tsunamíticas en las costas rocosas de las islas Baleares, se da a conocer el aprovechamiento y uso que se les ha dado a algunas áreas de deposición de bloques. El presente estudio amplía el 32% de las áreas analizadas por Roig-Munar (2016) que presentaban síntomas evidentes de antropización.

Para la selección de las áreas analizadas, se realizó una consulta histórica de la fotografía aérea, determinando áreas con presencia de bloques entre los años 1956, 1986 y 2010. El trabajo de gabinete se apoyó con un trabajo de campo entre los años 2012 y 2015 para la localización e identificación de áreas con presencia de bloques en las islas de Mallorca, Menorca, Ibiza, Formentera y siete islotes del Archipiélago balear. Además de la consulta fotográfica y la fotointerpretación, el trabajo de campo se vio reforzado por fuentes orales que aportaron información sobre algunos de los usos recientes en algunas áreas antropizadas, donde los bloques han desaparecido de su emplazamiento original a lo largo del último siglo, principalmente en las últimas décadas debido a tareas o acciones relacionadas con la construcción o el urbanismo litoral. Para discernir unos usos de otros se han visitado las áreas de bloques, intentando identificar los usos más comunes en las últimas décadas, especialmente asociados al auge turístico y de construcción urbana litoral. A raíz de las observaciones de campo, la identificación de bloques utilizados asociados a sectores y áreas tsunamíticas, y las informaciones orales a

Código	Isla	Ubicación	Estado	Código	Isla	Ubicación	Estado	Código	Isla	Ubicación	Estado
1	Menorca	Tirant	Parcial	18	Menorca	Cala'n Blanes	Parcial	35	Mallorca	Cala d'Or	Desaparecido
2	Menorca	s'Algar	Desaparecido	19	Menorca	Sa Farola	Parcial	36	Mallorca	Mondragó	Parcial
3	Menorca	Alcaifar	Parcial	20	Menorca	Cales Piques	Desaparecido	37	Mallorca	Colonia Sant Jordi	Parcial
4	Menorca	San Ganxo	Parcial	21	Mallorca	La Victoria	Desaparecido	38	Mallorca	Sa Ràpita	Desaparecido
5	Menorca	Biniancolla	Desaparecido	22	Mallorca	Son Real	Parcial	39	Eivissa	Pou d'es Lleó	Parcial
6	Menorca	Torret	Desaparecido	23	Mallorca	Betlem	Parcial	40	Eivissa	Punta Verda	Parcial
7	Menorca	Binibeca	Desaparecido	24	Mallorca	Mitiana	Parcial	41	Eivissa	Talamanca	Desaparecido
8	Menorca	Binissafuller	Desaparecido	25	Mallorca	Cala Agulla	Desaparecido	42	Eivissa	Figueretes	Desaparecido
9	Menorca	Cap d'en Font	Desaparecido	26	Mallorca	s'Illot	Parcial	43	Eivissa	Es Cavallet	Parcial
10	Menorca	Binidali	Parcial	27	Mallorca	Punta Son Amer	Parcial	44	Eivissa	Es Torrent	Parcial
11	Menorca	Son Xariguer	Parcial	28	Mallorca	sa Coma	Desaparecido	45	Eivissa	Punta Pedrera	Parcial
12	Menorca	Cala'n Bosch	Desaparecido	29	Mallorca	Sa Ferradura	Desaparecido	46	Eivissa	Sant Antoni	Parcial
13	Menorca	Artrutx	Parcial	30	Mallorca	Porto Cristo	Desaparecido	47	Formentera	Punta Pedrera	Parcial
14	Menorca	Cala Blanca 1	Parcial	31	Mallorca	Cala Murada	Parcial	48	Formentera	Migjorn	Desaparecido
15	Menorca	Cala Blanca 2	Parcial	32	Mallorca	Cala Mandia	Parcial	49	Formentera	Es Pujols	Desaparecido
16	Menorca	Son Blanc	Parcial	33	Mallorca	S'Algar	Parcial	50	Formentera	Cala Bassot	Desaparecido
18	Menorca	Ciutadella	Desaparecido	34	Mallorca	Porto Colom	Desaparecido	51	Formentera	Es Caló	Parcial

Tabla I.- Relación de áreas con presencia de bloques antropizados y/o desaparecidos a lo largo de las costas rocosas de las islas Baleares (ver también la Figura 2).

lo largo de las diferentes campañas de campo, se describen los usos más comunes detectados en el litoral balear.

Resultados

Los resultados obtenidos a lo largo de la costa rocosa de las islas Baleares ofrecen un nuevo dato, la presencia de 51 áreas donde los bloques han desaparecido o bien han sido parcialmente modificados como campo de registro sedimentario (Fig. 3). En el caso de los segundos, parcialmente antropizados con evidencias, los bloques presentan características geomorfológicas de imbricación y orientación (Mastronuzzi y Sanso, 2000) que sirven como testimonio sedimentario asociado a flujos de gran energía. Los resultados muestran una buena correlación entre las áreas que se encuentran afectadas por la trayectorias de tsunamis (Fig. 1), definidas por Álvarez *et al.* (2011), y analizadas morfométricamente por Roig-Munar (2016), y las localizaciones de las áreas antropizadas (Fig. 3A y B). Estas alteraciones han podido ser de diferente orden y magnitud a lo largo del tiempo, diferenciando aquellos usos que han permitido la conservación del registro y los usos más recientes y de mayor impacto asociado a las nuevas urbanizaciones litorales y a la adecuación de playas y dunas. Estos usos permiten diferenciar áreas donde han quedado algunos bloques como testigos sedimentarios evidentes sobre las plataformas rocosas y áreas donde su desaparición ha sido total sin evidencias morfométricas actuales (Tabla I).

En la Tabla I se aprecia el estado en que se encuentran los depósitos sedimentarios en forma de bloques, diferenciando entre desaparición parcial de los bloques o desaparición total de los mismos. De las 51 áreas analizadas, el 52,9% presentan síntomas de alteración, mientras en un 47,1% de las áreas, los bloques han desaparecido totalmente, encontrando solo algunos bloques recientes de orden métrico y atribuibles a tormentas que han afectado la costa y que son posteriores a las tareas de desaparición de los registros, como es el caso de Cap d'Artrutx (Fig. 3).

Por islas, Mallorca presenta un 50% de áreas antropizadas y un 50% de áreas donde el sedimento ha sido retirado. De las áreas de Menorca se conservan sedimentos de

bloques en el 55%, mientras que las áreas donde los bloques han desaparecido son del 45%. La isla de Ibiza presenta unos datos que no se corresponden con su acelerado proceso urbano litoral, aunque también hay que mencionar que la tipología de sus costas rocosas no permite la conservación de los registros sedimentarios en forma de bloques, debido a su inestabilidad (Farriol *et al.*, 2013), conservando el 62,5% de los registros parcialmente antropizados y con un 37,5% de áreas donde han desaparecido. La isla de Formentera conserva el 40% de los registros, donde el 60% de las áreas han sido eliminadas como registros sedimentarios asociados a tsunamis.

Algunas de las alteraciones detectadas en áreas con presencia de bloques se remontan a miles de años, como es el uso de bloques para la construcción de muros de defensa del yacimiento arqueológico de sa Ferradura (Manacor, Mallorca), datado en 1800-800 a.C. (Anglada *et al.*, 2015). Este yacimiento presenta en sus muros de defensa bloques de tsunamis asociados a plataformas tabulares sobre acantilados de 8,5 m s.n.m, y que presentan idéntica litología y morfometría de los bloques asociados al acantilado. En la Figura 4A, dónde se marca la posición del yacimiento, se ha apreciado que los bloques utilizados en el yacimiento son de similares características morfométricas y litológicas a las de los bloques presentes en la plataforma litoral tabular asociada al yacimiento. En la Figura 4B se aprecia como algunos bloques de materiales del Cuaternario han sido usados para la extracción de piedras manuales de molino, datadas entre los siglos X y XIII, y atribuidas al período andalusí (Sánchez, 2011).

Así mismo se han detectado áreas con alteraciones de bloques asociadas a finales del siglo XVIII y principios y mediados del siglo XIX, donde estos bloques se utilizaron para la creación de paredes secas o bien casetas de barraca litorales (Fig. 5A y B) como es el caso de Mallorca y Menorca, donde estos bloques fueron fragmentados y posteriormente utilizados para la construcción de elementos. También se utilizaron materiales procedentes de la fragmentación de bloques para la construcción de infraestructuras militares (Fig. 5C) a lo largo de toda la costa balear. Estos bloques se encuentran en áreas con acantilados de al-

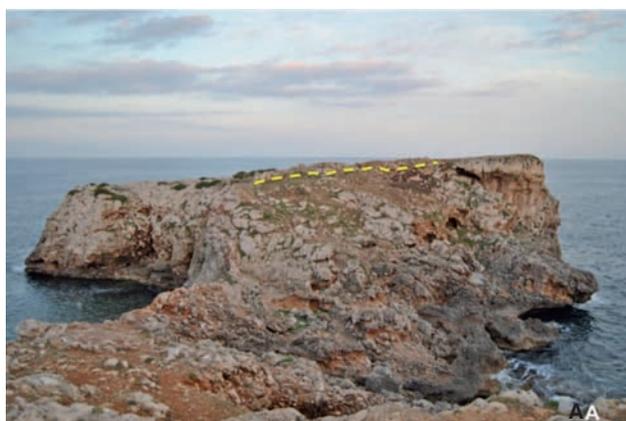


Fig. 4.- A: Uso de bloques en las murallas de defensa (línea discontinua en amarillo) del yacimiento arqueológico de sa Ferradura (Portocristo, Manacor, Mallorca). **B:** Uso de bloques para la extracción de piedras de molino ubicados en la costa Norte de la isla de Menorca.

turas medias comprendidas entre 6,5 y 8 m. s.n.m., y con presencia de bloques a distancias medias, tierra adentro, de 80 m de la cornisa del acantilado. Muchos de los bloques utilizados pertenecen a estratos inferiores del Plioceno y Pleistoceno que fueron arrancados de su posición inicial y se encuentran sobre estratos superiores (Cuerda *et al.*, 1991; Juárez, 2014), permitiendo de este modo su uso sin tareas de cantería. Estas zonas hoy disponen de abundante sedimento en forma de bloques aislados, cordones de bloques imbricados y orientados, hecho que ha permitido el estudio de estas áreas a pesar de su alteración. Destacan algunas prácticas, como es el intercambio o trueque de bloques con fines constructivos, que han sido trasladados lejos de sus zonas originales de deposición e intercambiados por alimentos. Es el caso de Formentera, donde a principios del siglo XIX existía un canje de bloques de “marés” depositados sobre la costa rocosa de Formentera por alimentos de Ibiza. Estos bloques eran trasladados con barcasas entre ambas islas; es el caso de la embarcación “Reina del Mar” (Fig. 5D), que explica que Formentera sea la isla con un mayor porcentaje de áreas con bloques desaparecidos, un 60%.

En las áreas donde los bloques han sido antropizados o han desaparecido en las últimas décadas asociadas al

proceso de litoralización de los años 70-80, destacamos las siguientes prácticas comunes en todas las islas Baleares, donde los bloques ubicados sobre el litoral rocoso era una materia prima de fácil acceso, gratuita y sin costes de transporte y cantería. Los usos más relevantes son los siguientes:

1. El uso de bloques para levantamientos de terraplenes y rellenos de carreteras o calles de las urbanizaciones junto al mar.

Esta práctica era habitual en zonas litorales urbanas asociadas a acantilados bajos. Consistió en la retirada de los bloques de las zonas cercanas a la línea de costa y la creación de taludes para el levantamiento de viales usando los bloques como substrato (Fig. 6A). La eliminación del material favoreció que el oleaje no encontrara obstáculos morfológicos o rugosidad, acelerando los procesos erosivos en estas zonas desnudas y agravando procesos de tipo destructivo sobre los frentes urbanos litorales al crear un muro vertical donde el oleaje impacta con fuerza. Otro modo de utilizar los bloques sin fragmentación fue la estabilización de taludes asociados a nuevos emplazamientos urbanos,



Fig. 5.- A: Uso de bloques para la construcción de paredes secas y viales militares, marcado en línea amarilla, (Cap d'Artrutx, Menorca). Se aprecian al fondo cordones de bloques imbricados. **B:** Uso de bloques para la construcción de barracas. Apreciamos campos de bloques de fondo asociados al acantilado (Rafalino, Mallorca). **C:** Construcción de búnkers en la costa Sur de Menorca (Son Saura del Sur). **D:** Imagen de la embarcación “Reina del Mar” con un viaje de transporte de bloques y arena, imagen de principio de siglo XX (Formentera).

como es el caso de la estabilización de taludes de carreteras en el contacto con estacionamientos (Fig. 6B). Estos bloques también fueron utilizados en algunas urbanizaciones fragmentándolos en tamaño gravas para el relleno de nuevos viales, como fue el caso de Alcafar y s'Algar (Menorca). Cabe destacar también la modificación de campos de bloques asociados a las zonas litorales arenosas con

presencia de afloramientos del Pleistoceno que dieron lugar a campos de bloques en forma de cordones en la parte alta de playa. Estos afloramientos han sido progresivamente retirados y eliminados de forma mecanizada para el uso en construcción (Cuerda *et al.*, 1991) y para la adecuación de las playas al uso turístico-recreativo (Morey y Cabanellas, 2007; Morey, 2008). Estas retiradas sistemáticas de bloques



Fig. 6.- **A:** Construcción de terraplenes con bloques litorales como matriz (Cap d'Artrutx, Menorca). **B:** Construcción de terraplenes y estabilización de viales con bloques litorales asociados a aparcamientos (cala Torret, Menorca). **C:** Uso de bloques enteros para la construcción de paredes (Cala en Bosch, Menorca). **D:** Uso de bloques para delimitar zonas públicas de las de titularidad privada (Tirant, Menorca). **E:** Uso de bloques para la construcción de rompeolas asociado a puertos (Puerto de Fornells, Menorca). **F:** Uso de bloques como cimientos en servicios públicos litorales, en este caso una estación de bombeo de agua (Sant Antoni, Ibiza).



Fig. 7.- A: Bloques utilizados para ajardinamientos (Cala en Blanes, Menorca). **B:** Utilización de bloques como núcleos duros en actuaciones de recuperación de sistemas dunares delanteros (Playa de Es Migjorn, Formentera).

asociados al sector de playa alta en Baleares ha favorecido la reactivación de procesos dinámicos sobre el sistema interno y la desprotección de la playa alta (Roig-Munar *et al.*, 2013).

2. El uso de bloques enteros para construir paredes y espigones en puertos deportivos.

En el litoral balear algunos hoteles ubicados en zonas de influencia tsunamítica y con depósitos de bloques de grandes dimensiones utilizaron los bloques enteros para construir paredes que delimitan la zona pública marítimo terrestre (ZMT) de las zonas colindantes de titularidad privada (Fig. 6C y D). Otros usos asociados fueron la creación de espigones en puertos deportivos, como fue el caso de Betlem y Sa Ràpita, en Mallorca, y el puerto de Fornells en Menorca (Fig. 6E) o la creación de cimientos en edificios de servicios públicos asociados a áreas con presencia de bloques (Fig. 6F).

3. El uso de bloques con fines ornamentales.

La creación de paramentos ornamentales en jardines ubicados en urbanizaciones litorales asociados a bloques de tsunamis fue práctica habitual en los años 80 y 90 del siglo XX, donde se pueden apreciar que la jardinería de viviendas unifamiliares asociadas a localizaciones de bloques (Fig. 3, Fig. 7A) o bien en zonas públicas y rotondas.

4. El uso de bloques con finalidades de recuperación de sistemas dunares degradados.

Los bloques fueron utilizados en la isla de Formentera para la recuperación y estabilización de morfologías dunares delanteras y semiestabilizadas. Su uso fue concebido como núcleos duros para la creación y cohesión de dunas en los sistemas dunares de Illetes y Migjorn (Fig. 7B). La técnica consistió en el uso de bloques de tsunami y/o tormenta de las costas rocosas de la isla utilizados como núcleo del sistema dunar a recuperar, recubierto posteriormente con arena, restos de *Posidonia oceánica* y tareas de

revegetación conjuntamente con la instalación de captadores de retención sedimentaria y vallados de protección. Estos bloques actualmente afloran en algunos puntos erosionados al frente dunar, en su contacto con la playa alta, debido a que la aportación de material rocoso sobre un sistema dinámico, como son los sistemas playa-duna, favorece la creación de morfologías erosivas a lo largo del sistema debido a la reducción de dinamismo y la aportación de material sólido, dando lugar a morfologías incipientes de tipo, *blowouts* que progradan tierra adentro reactivando el conjunto del sistema playa-duna (Roig-Munar *et al.*, 2015).

Conclusiones

La valorización turística del espacio litoral origina una compleja intervención antrópica sobre los recursos naturales que sustentan la actividad. Los datos de campo, las consultas de fotografía aérea y las fuentes orales han puesto de manifiesto que los bloques de tsunami y/o tormenta, depositados como material sedimentario sobre el litoral rocoso han sido utilizados como materia prima para la construcción, especialmente en las últimas décadas, asociados a la urbanización del litoral.

Las zonas con alteración y eliminación de bloques asociadas a actividades anteriores al auge turístico presentan sedimentos que permiten su estudio como áreas de bloques y su relación con diferentes flujos marinos de fuerte energía, en cambio las áreas antropizadas asociadas a nuevos espacios turísticos litorales presentan pocos ejemplos de bloques o bien han desaparecido totalmente. La antropización del medio litoral balear no permite conservar los sedimentos de tsunamis anteriores al siglo XVI, destacando que sólo se encuentran los últimos cordones de bloques imbricados, ya que los cordones más internos, correspondientes a posibles tsunamis de gran intensidad (Roig-Munar, 2016), han desaparecido debido a la antropización, hecho que solo permite disponer de registros sedimentarios de los tres últimos siglos. Este contexto de antropización costera adquiere importancia como fuente de información de las áreas asociadas a trayectorias de tsunamis de las islas Baleares, donde se han dado procesos de alteración y desaparición de bloques asociada a la activi-

dad industrial y turística. Este hecho ha dado lugar a la desaparición de bloques en muchas áreas o en la transformación y antropización de algunas otras que han sido estudiadas por Roig-Munar (2016).

Los resultados expuestos enfatizan la necesidad de mantener en este tipo de estudios el trabajo de campo, actualmente fuertemente desplazado por el uso de nuevas tecnologías, y que aunque permiten una buena interpretación del territorio, no tienen presente el carácter esencial de la investigación geológica y geomorfológica ni las consultas documentales básicas, como son las fuentes orales y la cartografía antigua. El trabajo conjunto, la localización y caracterización morfométrica de bloques y la identificación de bloques antropizados, ha permitido la confección de un mapa de ubicaciones sedimentarias asociadas a trayectorias tsunamíticas en las islas Baleares. Los resultados obtenidos en áreas con presencia de bloques no antropizados y con morfometrias propias del flujo tsunamítico sobre el área (orientación, imbricación, posición, arranque, inclinación), y ubicados en áreas naturales protegidas o en zonas no clasificadas como urbanas han de permitir la propuesta de creación de lugares o puntos de interés geológico o por su interés y valor geológico y geomorfológico manifestado como sedimento asociado a tsunamis y por su interés científico y/o educativo.

Agradecimientos

A Javier Gómez, Raül Luna y Antoni Tur por la información referente a intercambios de bloques entre Formentera e Ibiza. A José Ramón Mateos por la información del uso de bloques en Formentera. Los testimonios de Miquel Pons y Albert Moragues por su experiencia en la fragmentación de bloques en las urbanizaciones de Alcafar y s'Algar, Menorca en los años 70. A Damià Ramis por su información sobre los bloques en yacimientos arqueológicos en Mallorca. El trabajo ha mejorado con respecto a la versión inicial gracias a los comentarios de dos revisores anónimos.

Referencias

Álvarez-Gómez, J.A., Olabarrieta, M., González, M., Otero, L., Carreño, E. y Martínez-Solares, J. M. (2010): The impact of tsunamis on the Island of Majorca induced by North Algerian seismic sources. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19 (3): 367–383.

Álvarez-Gómez, J.A., Aniel-Quiroga, I., González, M., y Otero, L. (2011): Tsunami hazard at the Western Mediterranean Spanish coast from seismic sources. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 227–240.

Anglada, M., Ferrer, A., Ramis, D. y Salas, M. (2015): Les llars de foc en els caps costaners de Sa Ferradura (Manacor) i Es Coll de Cala Morell (Ciutadella). En: *L'enterixit del temps, Miscelania d'Estudis en Homenatge a Lluís Pantalamor Massanet*, (C. Andreu, Ed). Govern de les Illes Balears, Palma de Mallorca, 59–72.

Balaguer, P. (2006): Tipus i evolució de les costes rocoses de Mallorca. Tesis Doctoral inédita, Universitat de les Illes Balears, 287 p.

Bartel, P. y Kelletat, D. (2003): Erster Nachweis holozäner Tsunamis im Westlichen Mittelmeergebiet (Mallorca, Spanien)

mit einem Vergleich von Tsunami und Sturmwellenwirkung auf Festgesteinsküsten. *Ber. Forsch. Technol.-Center Kiel Büsum*, 28: 93–107.

- Boyd, R., Suter, J. y Penland, S. (1989). Relation of sequence stratigraphy to modern sedimentary environments. *Geology* 17: 926–929.
- Carter, R.W. (1988): *Coastal environments, an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press, London, 617 p.
- Chica, J.A. (2008): *Conservación y desarrollo en el litoral español andaluz: planificación y gestión de espacios protegidos*. Ediciones Universidad de Cádiz, 281 p.
- Copeiro, E. (1980): Sobre la progresiva ruina de nuestras costas. *Revista de Obras Públicas*, 127 (3179): 307–319.
- Cowell, P.J. y Thon, B.G. (1994): Morphodynamics of coastal evolution. En: *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*, (R.W.G. Carter y C.D. Woodrofe, Eds). Cambridge University Press, Cambridge, 33–86.
- Cuerda, J., Vicens, D. y Gràcia, F. (1991): Malacofauna y estratigrafía del Pleistoceno Superior marino de Son Real (Santa Margalida, Mallorca). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 34: 99–108.
- Farriol, S., Mateos, R.M. y Vilaplana, J.M. (2013): Análisis de la susceptibilidad a los desprendimientos rocosos en la isla de Ibiza. Identificación de las zonas de mayor riesgo. En: *Actas VIII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Volumen I*, (E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann, Eds), 363–374.
- Finkl, C.W. (2004): Coastal classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research*, 20: 166–213.
- Gómez-Pujol, Ll. (2006): Patrons, taxes i formes d'erosió a les costes rocoses carbonatades de Mallorca. Tesis doctoral inédita, Universitat de les Illes Balears, 200 p.
- Gómez-Pujol, Ll. y Roig-Munar, F.X. (2013): Acumulaciones de grandes bloques en las crestas de los acantilados del sur de Menorca (Illes Balears): observaciones preliminares. *GeoTemas*, 14: 71–74.
- Hebert, H. y Alasset, P. J. (2003): The Tsunami Triggered by the 21 May 2003 Algiers Earthquake. *EMSC Newsletter, Centre Sismologique Euro-Méditerranéen*, 20: 10–12.
- Hernández Calvento, L., Ruiz Flaño, P., Alonso Bilbao, I., Alcántara Carrió, J., Pérez-Chacón Espino, E. y Suárez Rodríguez, C. (2003): Transformaciones inducidas por el desarrollo turístico en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). *GeoFocus*, 3: 127–142.
- Juárez, J. (2014). Cymatium (Monoplex) trigonum (Gmelin, 1791), Gastropodatonnoidea, nuevo registro de fauna 'senegalesa' en el OIS 5e de la isla de Mallorca (Islas Baleares, España). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 57: 129–136.
- Kelletat, D., Whelan, F., Bartel, P. y Scheffers, A. (2005): New Tsunami evidences in Southern Spain Cabo de Trafalgar and Mallorca Island. En: *Geomorfologia Litoral I Quarternari, Homenatge al professor Vincenç M. Rosselló i Verger*, (E. Sanjaume y J.F. Matheu, Eds.), Universitat de València, Spain, 215–222.
- Lahousse, P. y Pierre, G. (2003): The retreat of chalk cliffs at Cape Blanc-Nez (France): autopsy of a erosional crisis. *Journal of Coastal Research*, 19: 431–440.
- Larson, M. y Kraus, N. C. (1995): Predictions of cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales. *Marine geology*, 126: 111–127.

- Lee, E.M. (2008): Coastal cliff behaviour: observations on the relationship between beach levels and recession rates. *Geomorphology* 101: 558–571.
- Mastronuzzi, G. y Sanso, P. (2000): Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (Southern Italy). *Marine Geology*, 170: 93–103.
- Mateos, R.M. (2000): Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad. Tesis Doctoral inédita, Universidad Complutense de Madrid, 300 p.
- Mateos, R.M., Duran, J. y Robledo, P. A. (2011): Marès Quarries on the Majorcan Coast (Spain) as Geological Heritage Sites. *Geoheritage*, 3: 41–54.
- Morey, B. (2008): El Patrimoni paleontològic del Pleistocè superior marí de Mallorca: catalogació, caracterització, valoració i propostes per a la gestió i conservació. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 51: 229–260.
- Morey, B. y Cabanellas, M. (2007): Los yacimientos del Pleistoceno superior marino mallorquín como puntos de control del litoral. *Territoris* 7: 69–86.
- Peña, C. (1989): Los efectos de los puertos deportivos sobre la estabilidad de playas mediterráneas. *Revista de Obras Públicas*, 11: 98–105.
- Pardo, J.E. y Rosselló, V.M. (2001): El medio litoral en una perspectiva geográfica y aplicada. In: Los espacios litorales y emergentes. *Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles*. Departamento de Geografía de la Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 15–37.
- Rodríguez-Perea, A., Servera, J. y Martín-Prieto, J. A. (2000): *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial: Informe METADONA*. Col·lecció *Pedagogia Ambiental*, 10. Universitat de les Illes Balears, 110 p.
- Roger, J. y Hébert, H. (2008): The 1856 Djiielli (Algeria) earthquake and tsunami source parameters and implications for tsunami hazard in the Balearic Islands. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8: 721–731.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A. y Pons, G.X. (2009): Soft Management of Beach-Dune Systems as a Tool for their Sustainability. *Journal of Coastal Research*, SI 56: 1284–1288.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X., Vilaplana, J.M. y Gelabert, B. (2013): Processos erosius als penya-segats de la Mola de Maó, Menorca. En: *VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears 2013*. (G.X. Pons, Ed.), 72–74.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. A., Vilaplana, J.M. y Gelabert, B., Pons, G.X. y Mir-Gual, M. (2014): Morfometría de bloques de tsunami en las costas rocosas del sur de Mallorca (I. Balears). En: *Una aproximación multidisciplinaria al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico*. (J. Álvarez-Gómez y F. Martín-González, Eds.). Segunda Reunión Ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Lorca (Murcia, España), 109–112.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A., Vilaplana, J.M. y Gelabert, B. (2015): Morfometría de bloques de tsunami en las costas rocosas del Este de Mallorca (Islas Balears). VIII Jornades de Geomorfologia litoral, *Geo-Temas*, 15. (G. Málvarez, et al., Eds.): 229–232.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A. y Rodríguez-Perea, A. (2015): A critical view of different restoration measures on beach-dune systems. The case of the Balearic Islands and Costa Brava. *Geotemas*, 15, 1–84.
- Roig-Munar, F.X. (2016): Blocs de tempesta i tsunami a les costes rocoses de les Illes Balears. Anàlisi geomorfològica i morfomètrica. Tesis doctoral inédita. Departament de Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona. 410 p.
- Sahal, A., Roger, J. y Allgeyer, S. (2009): The tsunami triggered by the 21 May 2003 Boumerdès-Zemmouri (Algeria) earthquake: field investigations on the French Mediterranean coast and tsunami modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 1823–1834.
- Sánchez, J. (2011): Les meulières de l'île de Minorque: trente-neuf sites industriels de l'époque andalouse (Xe-XIIIe siècles). En: *Bread for the people: The archaeology of mills and milling. Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome, 4th-7 November 2009*. (E. Peacock y D. Williams, Eds), University of Southampton, Southampton, 193–204.
- Scheffers, A. y Kelletat, D. (2003): Sedimentologic and geomorphic tsunami imprints worldwide - a review. *Earth-Science Review*, 63: 83–92.
- Sunamura, T. (1992): *The Geomorphology of Rocky Coasts*. Wiley & Sons. Chichester, UK. 302 p.
- Woodroffe, C.D. (2003): *Coasts. Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, 640 p.
- Young, A.P., Flick, R.E., O'Reilly, W.C., Chadwick, D.B., Crampton, W.C. y Helly, J.J. (2014): *Estimating cliff retreat in southern California considering sea level rise using a sand balance approach*. *Marine Geology* 348: 15–26.

MANUSCRITO RECIBIDO EL 17-05-2016

RECIBIDA LA REVISIÓN EL 2-09-2016

ACEPTADO EL MANUSCRITO REVISADO EL 5-09-2016