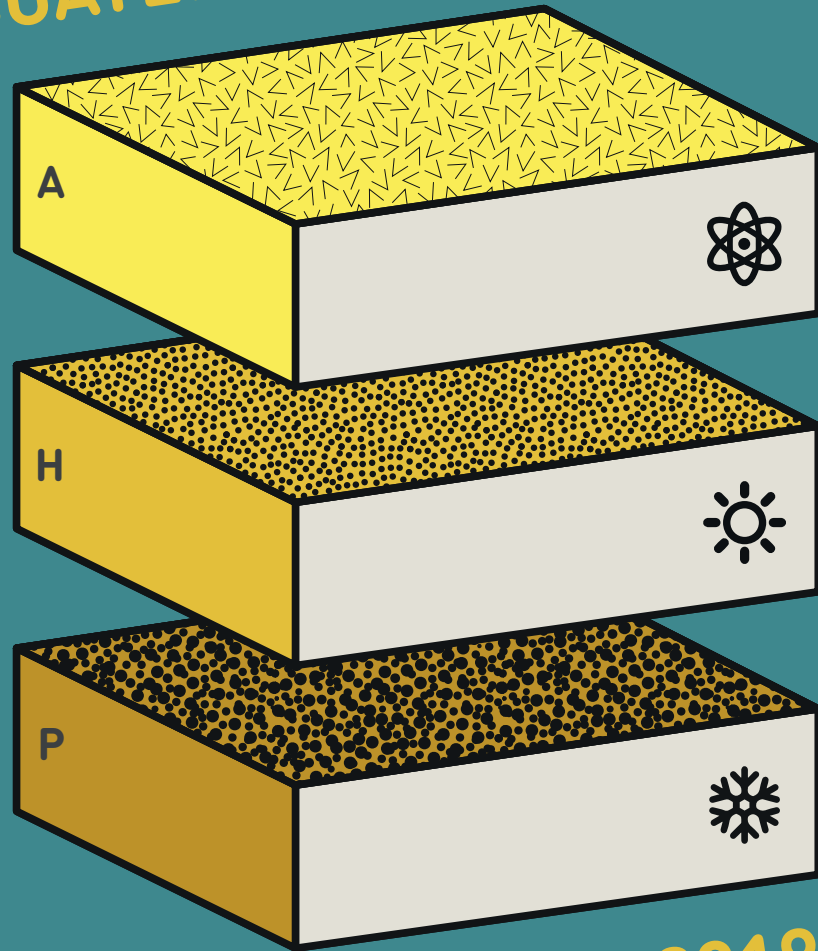
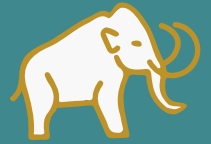


# XV REUNIÓN NACIONAL de CUATERNARIO



**Bilbao 2019**  
1-5 Julio / Uztaila  
Bizkaia Aretoa

## LIBRO DE RESÚMENES

# XV REUNIÓN NACIONAL DE CUATERNARIO

Bizkaia Aretoa - Bilbao, 1-5 Julio 2019

## LIBRO DE RESÚMENES



XV REUNIÓN NACIONAL  
CUATERNARIO  
Bilbao 2019

## PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LA RÍA DE BILBAO: UN RELATO DE CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL Y RECUPERACIÓN POSTINDUSTRIAL EN EL ANTROPOCENO



V. Villasante-Marcos <sup>(1)</sup>, M.J. Irabien <sup>(2)</sup>, A. Cearreta <sup>(3)</sup>

(1) Observatorio Geofísico Central, Instituto Geográfico Nacional, Real Observatorio de Madrid, C/ Alfonso XII, 3, 28014 Madrid.

[villasante@fomento.es](mailto:villasante@fomento.es)

(2) Dpto. de Mineralogía y Petrología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao.

[mariajesus.irabien@ehu.es](mailto:mariajesus.irabien@ehu.es)

(3) Dpto. de Estratigrafía y Paleontología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Apartado 644, 48080 Bilbao.

[alejandro.cearreta@ehu.es](mailto:alejandro.cearreta@ehu.es)

**Abstract (Magnetic properties of recent Bilbao estuary sediments: a tale of industrial pollution and postindustrial recovery in the Anthropocene):** Rock magnetic properties of 13 samples of surficial materials and 160 samples of recent sediments obtained from 7 sedimentary cores along the Bilbao estuary have been analyzed in order to investigate the magnetic fingerprint of anthropogenic pollution in this area. The results have been correlated to previously published heavy metal concentrations, main and trace element geochemistry and benthic foraminiferal data, revealing a strong relationship between magnetic properties and industrial pollution, but also a highly complex spatial-temporal interplay of different sources and types of pollutants. Magnetic data are indicative of a progressive but spatially heterogeneous decrease of ferromagnetic pollution in sediments after the deindustrialization of the Bilbao area, with two hotspots of persistent pollution remaining at the mouths of two of the main tributary creeks of the estuary (Galindo and Gobelas).

**Palabras clave:** Magnetismo ambiental; metales pesados; Antropoceno; contaminación industrial

**Key words:** Environmental magnetism; heavy metals; Anthropocene; industrial pollution

### INTRODUCCIÓN

El magnetismo de rocas persigue la detección, identificación y caracterización (abundancia, distribución de tamaños y formas de grano/cristal, etc.) de los minerales ferromagnéticos presentes en muestras geológicas mediante la medida de sus propiedades magnéticas. La aplicación del magnetismo de rocas a problemas ambientales y paleoambientales, comúnmente denominada magnetismo ambiental, se fundamenta en la dependencia crítica de estos aspectos de la fracción ferromagnética frente a diferentes variables y procesos ambientales. Los minerales y materiales ferromagnéticos son ubicuos y su distribución y características dependen de procesos tanto naturales como antropogénicos, por lo que sirven como trazadores potenciales tanto de procesos sedimentarios y sus causas ambientales y climáticas, como de procesos de autigénesis (p.ej. diagénesis temprana) o de contaminación antrópica (Maher y Thompson, 1999; Evans y Heller, 2003; Liu et al., 2012). El impacto humano sobre la distribución, abundancia y tipo de los minerales y materiales ferromagnéticos presentes en los distintos reservorios del sistema terrestre presenta dos facetas: por un lado, las perturbaciones antrópicas de los procesos naturales que determinan la abundancia y distribución de los minerales ferromagnéticos naturales; y por otro, la emisión y dispersión de fases ferromagnéticas antropogénicas como subproducto de diferentes actividades industriales, mineras o de tratamiento de residuos. La quema de biomasa y especialmente de combustibles fósiles son fuentes conocidas de

cenizas ricas en microesférulas magnéticas, que pueden dispersarse sobre grandes áreas alrededor de centrales de generación eléctrica, industrias metalúrgicas, fundiciones e incluso carreteras, estaciones ferroviarias, puertos y ciudades. La contaminación directa por residuos metálicos procedentes de la actividad minera, metalúrgica y de eliminación de residuos domésticos está asimismo ampliamente extendida y provoca la dispersión de partículas y fragmentos altamente magnéticos, originalmente en forma de hierro metálico que posteriormente se oxida para originar diferentes óxidos y oxi-hidróxidos de hierro. Todas estas fases ferromagnéticas antropogénicas pueden encontrarse asociadas a elevadas concentraciones de metales pesados, observándose diferentes grados de correlación en función de las fuentes precisas de ambos tipos de contaminantes. Estas fases son fácilmente detectables debido a sus propiedades fuertemente magnéticas y a que habitualmente se encuentran en concentraciones muy superiores a las de las fases ferromagnéticas naturales. La dispersión de cenizas ricas en microesférulas magnéticas ha dejado una huella magnética diacrónica en el registro sedimentario reciente de lagos y turberas, y posiblemente también de estuarios y ambientes marinos, que ha sido propuesta como herramienta complementaria para la definición de la base del Antropoceno (Snowball et al., 2014). Esta huella se caracteriza por un incremento progresivo de contaminantes magnéticos en Europa y Norte América a partir de 1800, alcanzando un máximo alrededor de 1900 (el denominado "evento de 1900") y extendiéndose gradualmente a otros continentes

hasta alcanzar un carácter global a partir de 1950 en paralelo a la industrialización del este de Asia.

En este contexto, el trabajo que aquí presentamos investiga las propiedades magnéticas de los sedimentos más recientes (Antropoceno) de la hasta hace poco extremadamente contaminada Ría de Bilbao, que históricamente ha estado sometida a los efectos de casi todas las formas posibles de contaminación ferromagnética, pero que en las últimas décadas se ha visto beneficiada por un rápido proceso de desindustrialización y por la implementación de normativas y planes de protección y recuperación ambiental.

### MATERIALES

Esta contribución presenta resultados sobre las propiedades magnéticas tanto de muestras de sedimentos superficiales como de otras procedentes de testigos sedimentarios a lo largo de la Ría de Bilbao (estuario del Río Nervión). El estudio superficial incluye 13 muestras de los materiales sedimentarios más recientes en 13 puntos a lo largo de la zona intermareal de la Ría. Estas muestras superficiales se recolectaron en febrero de 2017 y corresponden a la campaña más reciente de un programa de control a largo plazo iniciado en 1997, consistente en el muestreo periódico, cada 3 años, de los mismos puntos seleccionados a lo largo del estuario (Leorri et al., 2008; Irabien et al., 2018). Desde 1997, estas muestras de sedimentos superficiales se han analizado sistemáticamente desde el punto de vista geoquímico y micropaleontológico (foraminíferos bentónicos), con el objetivo de seguir la evolución temporal de las condiciones ambientales y de contaminación de la Ría, tal y como quedan reflejadas en los sedimentos. El de febrero de 2017 es el primer muestreo que ha incluido medidas de magnetismo. Nuestro estudio incluye también 160 muestras procedentes de 7 testigos sedimentarios recientes cortos (~20 cm) distribuidos a lo largo del estuario (Irabien et al., 2018). Además de todos estos materiales recientes, se han analizado dos tipos de muestras de control. Por un lado, se han examinado 20 muestras procedentes de 3 testigos sedimentarios largos de materiales preindustriales, para establecer los valores de fondo típicos de los diferentes parámetros magnéticos. Estos testigos largos, recogidos y estudiados previamente por Leorri y Cearreta (2004), se localizan en los tramos alto, medio y bajo de la Ría. Por otro lado, se han estudiado 3 muestras recogidas en el depósito de sedimentos antropogénicos (beachrock) de la playa de Tunelboca, justo al este de la desembocadura de la Ría, como ejemplo extremo de materiales ferromagnéticos de origen industrial.

### METODOLOGÍA

Las medidas de magnetismo se han realizado en el Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas de la Universidad Complutense de Madrid. La susceptibilidad magnética, tanto total como dependiente de la frecuencia, se ha medido 10 veces

para cada muestra y se ha promediado (equipos KLY4-Agico y MS3-Bartington). En todas las muestras se han medido ciclos de histéresis y remanencia hasta 0,5 T con un equipo Coercivity Spectrometer. Se han medido ciclos termomagnéticos hasta 700-800° C para todas las muestras superficiales de 2017 y las de Tunelboca, así como para una selección amplia de muestras procedentes de los testigos recientes y los preindustriales, con el objetivo de constreñir su mineralogía magnética (instrumentos VFTB-Petersen Instruments y KLY4/CS4-Agico). Los resultados magnéticos obtenidos han sido comparados con los datos geoquímicos y micropaleontológicos (Irabien et al., 2018), trabajo en el que se incluían también datos de susceptibilidad magnética pero no del resto de parámetros magnéticos, que presentamos aquí por primera vez.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta un resumen de los resultados para los parámetros magnéticos más importantes en las muestras procedentes de testigos sedimentarios cortos y en las muestras superficiales de 2017. La susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) y la imanación de saturación ( $M_s$ ), ambas normalizadas por la masa, correlacionan fuertemente entre sí y son indicativas de la abundancia de material ferromagnético en estas muestras. Por otro lado, el cociente entre la coercitividad de la remanencia y la coercitividad ( $B_{cr}/B_c$ ) sirve en primera aproximación como indicador del tamaño de grano/cristal de la fracción ferromagnética, observándose una cierta correlación positiva con la susceptibilidad y la imanación de saturación, lo que indica que las concentraciones elevadas de fases ferromagnéticas tienden a estar asociadas con tamaños de grano/cristal mayores. Los experimentos termomagnéticos apuntan a la presencia de magnetita original en las muestras, aunque han sido en bastantes casos inconcluyentes. Esto se debe a que casi todas ellas presentan una importante alteración irreversible y la generación de magnetita secundaria durante el calentamiento por encima de ~450° C, a temperaturas compatibles con las propias de la transformación térmica de la siderita en magnetita. Este comportamiento es explicable al ser la siderita un componente típico, e históricamente explotado como mena de hierro, en las Calizas de *Toucasia* urgonianas (Aptiense-Albiense inferior-medio) que afloran en el Anticlinal de Bilbao, al oeste-sudoeste de la Ría, y que son erosionadas y lavadas por los afluentes sudoccidentales del estuario (ríos Kadagua, Castaños y Galindo). Estas calizas ricas en siderita afloran también alrededor de la estación de muestreo Erribera (situada ligeramente aguas abajo del punto de transición entre las condiciones fluviales y estuarinas en La Peña) y son erosionadas por el propio Río Nervión. A pesar de ello, los ciclos de histéresis e IRM por sí mismos, así como la coercitividad de las muestras y los valores absolutos de la susceptibilidad y la imanación de saturación, apuntan claramente a la magnetita como la fase ferromagnética original

principal en los sedimentos recientes de Bilbao, tal y como es esperable para materiales muy afectados por contaminación industrial procedente de la quema

de carbón y la actividad metalúrgica sobre la que el Gran Bilbao construyó su riqueza industrial desde alrededor de 1850 hasta finales del siglo XX.

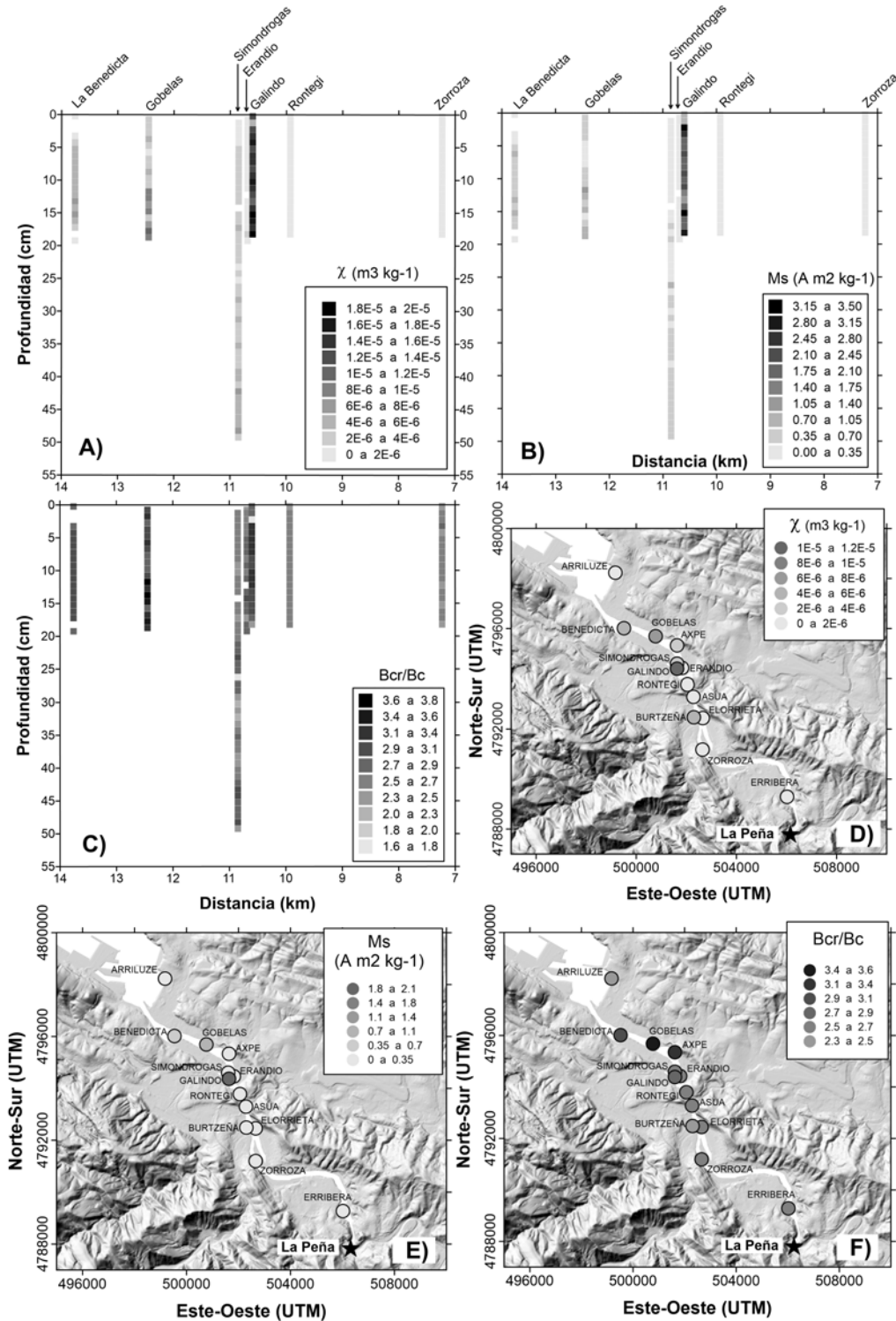


Fig. 1: Susceptibilidad magnética normalizada por la masa ( $\chi$ ; A- muestras de testigos, D- muestras superficiales), imanación de saturación ( $M_s$ ; B- muestras de testigos, E- muestras superficiales) y razón entre la coercitividad de la remanencia y la coercitividad ( $Bcr/Bc$ ; C- muestras de testigos, F- muestras superficiales), en función de la profundidad a lo largo de los testigos y de la distancia a lo largo de la Ría de Bilbao (medida desde el punto de transición de condiciones fluviales a estuarinas en La Peña) y en función de la localización para las muestras superficiales. Se han utilizado las mismas escalas de grises para las muestras de testigos y las superficiales, con el fin de facilitar su comparación.

Los valores de susceptibilidad magnética de las muestras superficiales y de los testigos recientes cortos son en todos los casos muy superiores a los valores de fondo preindustriales obtenidos de los testigos largos, observándose factores de incremento relativos a los valores preindustriales máximos de entre 3 (Asua) y 63 (Galindo) para las muestras superficiales de 2017 y de entre 4-8 (Zorroza y Rontegi) y 30-110 (Galindo) para los testigos recientes. De hecho, los valores de susceptibilidad en el testigo reciente de Galindo alcanzan valores máximos de  $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ , muy similares a los observados ( $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ) en las muestras antrópicas y fuertemente magnéticas de Tunelboca (depósito costero, formado por procesos naturales, a partir de escorias muy ricas en hierro procedentes de fundiciones e industrias siderúrgicas y descargadas en el mar frente a las costas de Bilbao desde 1902 hasta 1995). Esto, que se observa igualmente para otros parámetros magnéticos, indica que todos los materiales recientes, incluso los menos contaminados, están muy enriquecidos en contaminantes ferromagnéticos si se comparan con las muestras preindustriales.

Observando la evolución temporal de los parámetros magnéticos a medida que se asciende a lo largo de los testigos recientes, se aprecia una tendencia general de descenso gradual, aunque no monótono, en casi todos ellos. Esto indica un descenso progresivo en el contenido de contaminantes ferromagnéticos en los sedimentos. Al tratarse de materiales tan recientes y debido a la elevada heterogeneidad de los procesos de sedimentación en la Ría, así como a los fenómenos de removilización antrópica recurrentes, su datación precisa es muy problemática, aunque los datos parecen indicar que la totalidad de los testigos corresponde a la fase de recuperación de la Ría iniciada en los años 1990 (Irabien et al., 2018). Esta tendencia decreciente correlaciona positivamente con la observada en el contenido de metales (Pb, Zn, Cd, Ni, Cu, etc.), mientras que correlaciona negativamente con la abundancia y diversidad de especies de foraminíferos bentónicos (Irabien et al., 2018). Igualmente, para las muestras superficiales de 2017 se aprecia una correlación positiva entre los parámetros magnéticos indicativos de la abundancia de material ferromagnético y la abundancia de metales, aunque esta correlación, así como la de los distintos metales entre sí, no es perfecta y presenta desviaciones importantes en algunos puntos. Esto es indicativo de una alta heterogeneidad espacial en la distribución de los distintos tipos de contaminantes, heredada probablemente de una alta heterogeneidad en la distribución de sus distintas fuentes a lo largo de la historia ambiental de la Ría.

Se observa que en la Ría de Bilbao persisten dos puntos (Galindo especialmente y en menor medida Gobelas) en los que la abundancia de contaminantes ferromagnéticos, reflejados en los parámetros magnéticos, así como de metales, sigue siendo muy elevada, y donde la recuperación de la abundancia y diversidad de foraminíferos bentónicos se muestra retardada. En el caso de Galindo, el punto más

contaminado de la Ría entre todos los analizados, aunque en los últimos centímetros del testigo se apunta un leve descenso del contenido en ferromagnéticos y metales, la muestra superficial de 2017 vuelve a mostrar valores elevados. Sin embargo, el caso de Burtzeña, junto a la desembocadura del Río Kadagua en el estuario, donde la muestra superficial de 2017 también presenta una susceptibilidad magnética elevada, es diferente: el resto de parámetros magnéticos, en especial los indicativos de la abundancia de fases ferromagnéticas (como la imanación de saturación), no presentan valores elevados frente a los de otros puntos muestreados, lo que indica que en este caso los valores de susceptibilidad no se deben a contaminantes ferromagnéticos sino a una elevada abundancia de fases paramagnéticas, probablemente de siderita (paramagnética a temperatura ambiente) arrastrada por el río.

Los datos disponibles (magnéticos, geoquímicos y micropaleontológicos) apuntan a la recuperación progresiva de las condiciones ambientales en la Ría de Bilbao, con la persistencia de al menos dos puntos altamente contaminados ("hotspots") en Galindo y Gobelas, cuyos sedimentos recientes pueden ser fuentes secundarias importantes de contaminantes en caso de ser removilizados.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación Antropicosta-2 (RTI2018-095678-B-C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE), MINECOR) y por el Instituto Geográfico Nacional. Agradecemos al Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de Rocas de la Universidad Complutense de Madrid por facilitarnos el uso de sus equipos e instalaciones.

## REFERENCIAS

- Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism*. Academic Press, San Diego, 299 pp.
- Irabien, M.J., Cearreta, A., Serrano, H., Villasante-Marcos, V. (2018). Environmental regeneration processes in the Anthropocene: the Bilbao estuary case (northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 135, 977-987.
- Leorri, E., Cearreta, A. (2004). Holocene environmental development of the Bilbao estuary, northern Spain: sequence stratigraphy and foraminiferal interpretation. *Marine Micropaleontology*, 51, 75-94.
- Leorri, E., Cearreta, A., Irabien, M.J., Yusta, I. (2008). Geochemical and microfaunal proxies to assess environmental quality conditions during the recovery process of a heavily polluted estuary: The Bilbao estuary case (N. Spain). *Science of the Total Environment*, 396, 12-27.
- Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoana, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, F. (2012). Environmental magnetism: principles and applications. *Reviews of Geophysics*, 50, RG4002.
- Maher, B.A., Thompson, R. (1999). *Quaternary climates, environments and magnetism*. Cambridge University Press, New York, 390 pp.
- Snowball, I., Hounslow, M.W., Nilsson, A. (2014). Geomagnetic and mineral magnetic characterization of the Anthropocene. En: *A stratigraphical basis for the Anthropocene* (C.N. Waters, J.A. Zalasiewicz, M. Williams, M. Ellis, A.M. Snelling, Eds.), Geological Society of London, Special Publication 395, 119-141.



**XV REUNIÓN NACIONAL  
CUATERNARIO**  
Bilbao 2019

[www.ehu.eus/xvreunioncuaternario](http://www.ehu.eus/xvreunioncuaternario)  
[xvreunioncuaternario.estrati-paleo@ehu.eus](mailto:xvreunioncuaternario.estrati-paleo@ehu.eus)

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



Unidad de Formación e Investigación  
en Cuaternario: Cambios Ambientales  
y Huella Humana



**aranzadi**  
zientzia elkartea

SOCIEDAD DE CIENCIAS  
SCIENCE SOCIETY  
SOCIÉTÉ DE SCIENCES



**ASOCIACION ESPAÑOLA PARA EL  
ESTUDIO DEL CUATERNARIO**



**EUSKO JAURLARITZA  
GOBIERNO VASCO**

HEZKUNTZA SAILA  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN