

Flysch

El susurro de las rocas

La Tierra tiene unos 4.600 millones de años y su historia está escrita en la mayor enciclopedia del mundo: las rocas. Algunos tomos de esta gran obra brillan con luz propia y susurran a los oídos de quien busca respuestas en el pasado para entender el presente. Uno de estos grandes santuarios geológicos se sitúa en la costa vasca: el Flysch de Zumaia.

Texto: Asier Hilario Fotos: José Barea

**ATARDECER
EN ITZURUN**
En los atardeceres de primavera y verano la luz frontal del sol acentúa aún más los colores y las formas de este gran capricho geológico. Itzurun es uno de esos lugares mágicos escondidos en el mundo.

TRAS LA PISTA

Un geólogo observa rastros de vida del Eoceno. Los fósiles contenidos en las rocas son la principal fuente de información para los investigadores.



El Flysch de Zumaia es un libro: en sus páginas se leen los eventos climáticos y biológicos más importantes de la historia geológica reciente

La historia reciente de la humanidad está escrita en libros que habitualmente ocupan polvorientos estantes de nuestras bibliotecas. Los antiguos manuscritos conservados en los museos nos trasladan a civilizaciones ya desaparecidas, e incluso, el arte rupestre o los restos antropológicos de nuestra especie pueden darnos una idea sobre la forma de vida de nuestros antepasados más lejanos. En cualquier caso, la historia escrita nunca va más allá de algunos miles de años y los restos humanos más antiguos pueden llegar a unos pocos millones de años, apenas un 0,1% de la historia de nuestro planeta. Nuestra especie es una mera anécdota en la historia geológica, una anécdota intensa y violenta, pero solo una anécdota.

¿Qué sucedió antes? ¿Cómo era la Tierra antes de la expansión de nuestra especie? El registro rocoso de nuestro planeta representa un gran puzle que forma la mayor enciclopedia de historia jamás escrita: la historia de la Tierra. Cuidar e investigar este legado es, además de una responsabilidad científica e institucional, una manera de situarse en el mundo.

Viajamos a la costa vasca, Zumaia. Diez kilómetros de acantilados y 50 millones de años (Ma) de historia geológica constituyen una de las grandes maravillas de la geología internacional y atraen anualmente a numerosos científicos que, como detectives del pasado, buscan pistas que nos ayuden a comprender

mejor el funcionamiento de nuestro planeta en el pasado. La peregrinación científica a estos acantilados comenzó ya en la primera parte del siglo XX, y desde entonces, algunos de los grandes nombres de la investigación geológica mundial han visitado este lugar. La historia se repite, y aprender de ella nos sitúa ante problemas ambientales presentes con una perspectiva diferente y sorprendente. Toda una cura de humildad, en un apasionante viaje en el tiempo geológico.

Cuando uno se acerca por primera vez a estos acantilados queda sobrecogido por su belleza y la perfección geométrica de sus formas. Las capas del Flysch se asemejan a un gran hojaldré o a un gran libro donde capa a capa, página a página, los geólogos pueden leer algunos de los eventos climáticos y biológicos más importantes de la historia geológica reciente. Pero, ¿qué son estas capas? ¿Cómo se formaron? ¿Qué información guardan?

En aquel periodo llamado Cretácico y Paleógeno (entre hace 110 Ma. y 50 Ma) la zona Pirenaica estaba sumergida bajo el mar y los sedimentos provenientes del continente europeo y la península Ibérica, junto con las conchas de los organismos marinos que caen al fondo al morir, se iban depositando lentamente en el lecho marino. Pero la península Ibérica se movía hacia el norte empujada por grandes fuerzas tectónicas y este movimiento, lento pero poderoso, provocó finalmente el choque entre Iberia y Europa. Este gran

UN LIBRO DE ROCA
Las capas verticales del Flysch de Zumaia son páginas de la enciclopedia sobre la historia de la Tierra. Las dimensiones de este afloramiento sobrecogen al visitante desde el primer momento.



Helminthorhaphe



Paleodictyon



Scolicia

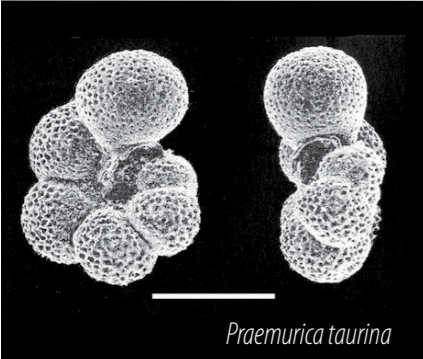
LOS ICNOFÓSILES

Así se denominan las huellas dejadas en los antiguos fondos marinos por diversos grupos de organismos que en la mayoría de los casos desconocemos. La existencia de estas impresiones y su modo de conservación nos revela muchas circunstancias ambientales del fondo marino: nivel de oxígeno y nutrientes, turbidez, corrientes, tasa de sedimentación, cohesividad del sustrato... Y también nos deja observar su evolución en el tiempo geológico.

VIAJAR EN EL TIEMPO
El mar erosiona y limpia diariamente los acantilados dando lugar a algunas de las plataformas de abrasión más importantes del Cantábrico. Los geólogos pueden pasear por su base y viajar en el tiempo.



Eoglobigerina



Praemurica taurina

LOS MICROFÓSILES

No se ven a simple vista, pero son los personajes principales de esta historia. Estos pequeños organismos (foraminíferos planctónicos principalmente) habitaban los mares del pasado y, cuando morían, su pequeña concha caía al fondo del mar y quedaba atrapada en el sedimento que hoy forman las capas del Flysch. La barra blanca que marca la escala tiene un tamaño de cien micras.

Los ritmos climáticos son registrados en las rocas.
Cada pareja de capas supone unos 20.000 años

accidente, que se produce durante más de 20 Ma, comprime, deforma y levanta todos los sedimentos depositados en el fondo marino para dar lugar a la cadena Pirenaica y los afloramientos de la costa vasca. La cima del Monte Perdido tiene 3.355 metros de altitud y está formada por rocas calizas llenas de fósiles marinos, buena prueba de que las geografías son cambiantes, igual que las civilizaciones.

Los fósiles contenidos en las rocas son la principal fuente de información para los investigadores. Los amonites, los inocerámidos o las huellas fósiles son muy llamativas a simple vista, pero la gran mayoría de los caparazones contenidos en estas rocas pertenecen al mundo de los microfósiles, pequeñas y complejas conchas que apenas superan las cien micras y que solamente pueden ser vistos con ayuda de una lupa o un microscopio. Una sola muestra de mano de roca puede contener miles y miles de caparazones de estos pequeños organismos planctónicos. Su estudio es fundamental ya que las diferentes especies de estos microfósiles van apareciendo y desapareciendo a lo largo de las capas, como si fueran personajes de un libro que aparecen en momentos puntuales de la novela para cumplir su función en

la historia y después desaparecer. Cada una de estas especies marca unas condiciones ambientales determinadas, y por lo tanto su evolución en el afloramiento permite reconstruir escenarios y tendencias ambientales pasadas con bastante fiabilidad. Además estos microfósiles sirven también para saber la edad aproximada de la roca. Los micropaleontólogos estudian especies diminutas ya extinguidas, pero a partir de ahí son capaces de reconstruir eventos climáticos y biológicos de gran importancia en la historia de la tierra. Esta información se complementa además con estudios estratigráficos, geoquímicos, isotópicos y magnéticos que permiten obtener un espectro más amplio de los escenarios y los grandes eventos del pasado. La naturaleza no tiene fronteras y la cooperación interdisciplinar se hace fundamental para avanzar en el conocimiento de nuestro planeta.

Los ritmos climáticos de la Tierra han sido registrados en estas rocas. Capas duras y blandas se intercalan repetidamente a lo largo de la sección con una ciclicidad muy sospechosa. Cada pareja de capas (caliza/marga) representa aproximadamente 20.000 años y estas a su vez se agrupan cada una en 4-6 parejas, mostrando una ciclicidad de orden superior aproxi-

Fotografía: Estibaliz Apellaniz



RITMOS CLIMÁTICOS
Las rocas duras y blandas de los acantilados se alternan y repiten con una periodicidad que responde a los ciclos astronómico-climáticos de Milankovitch. El clima de hace 60 millones de años ha quedado registrado en este gran libro.

El clima ha sufrido variaciones a lo largo de la historia de la Tierra.
Comprender su funcionamiento es básico para entender el cambio actual

**DESCUBRIMIENTO
IMPACTANTE**

Vista de los estratos del Eoceno de la playa de Itzurun al anochecer y con la marea baja. En la cercana cala de Algorri, una fina y oscura capa escondida ofreció una de las claves para desarrollar la teoría del impacto meteorítico y explicar la gran extinción de finales del Cretácico.





LLEGA EL GRAN DÍA Stanley Finney, presidente de la International Commission on Stratigraphy, se dispone a colocar el *Golden Spike* (clavo dorado) y a destapar la placa conmemorativa de los estratotipos.

Los dos estratotipos definidos en Zumaia están situados en la playa de Itzurun y distan entre ellos apenas 30 metros

madamente cada 100.000 años. La mayor o menor dureza de las capas tiene que ver básicamente con la proporción de sedimento arcilloso más blando y conchas cálcneas más duras que decantó en aquellos fondos marinos, ¿pero quién controla esta obstinada repetición?

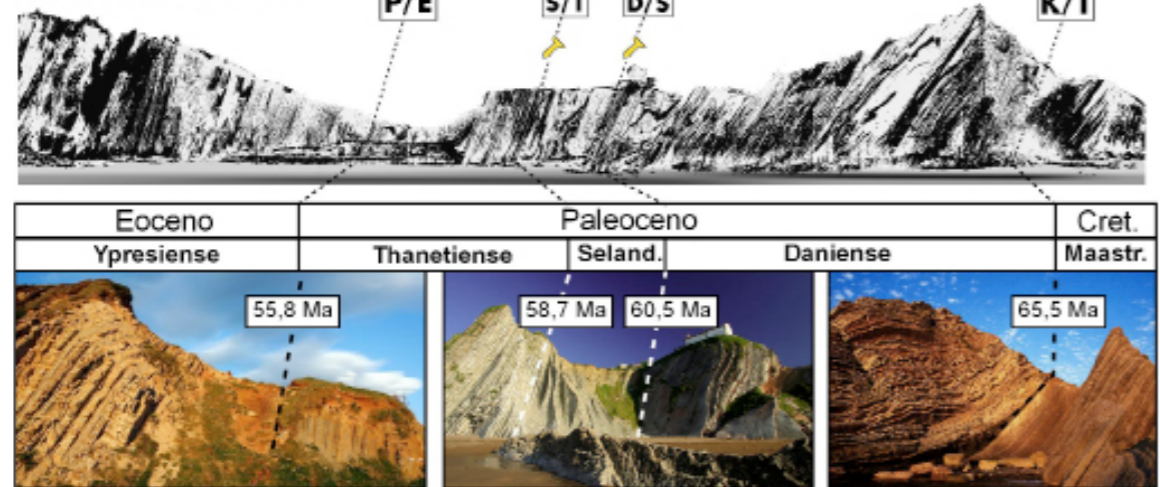
Esta ciclicidad se relaciona claramente con los ciclos astronómicos de precesión y excentricidad definidos por Milankovitch en 1941. La interacción de estos movimientos astronómicos controla la orientación y la distancia entre la tierra y el sol y ejerce un control capital en el clima de nuestro planeta, que a su vez controla la decantación de un tipo u otro de sedimentos en los fondos marinos. Actualmente esta misma ciclicidad está muy bien representada en los testigos de hielo de la Antártida y coincide con las glaciaciones e interglaciaciones

nes de los últimos dos millones de años en la Tierra. El clima ha sufrido grandes variaciones a lo largo de la historia de la Tierra. Comprender su funcionamiento es básico para contextualizar con criterio científico el momento de cambio actual.

Seis de mayo de 2010, Zumaia pasa a formar parte de la historia geológica oficial de la Tierra y ocupa las portadas de gran parte de los medios de carácter geocientífico y divulgativo. Los medios convencionales también se hacen eco de la noticia: La International Commission on Stratigraphy (ICS-IUGS) define dos Estratotipos mundiales en la playa de Itzurun. Un hito sin precedentes en la geología nacional. ¿Qué significado tiene este acto? ¿Cómo se divide el tiempo geológico? El paisaje, el clima y la vida han ido va-

riando constantemente a lo largo de los 4.600 Ma que tiene nuestro planeta y en base a estos cambios el tiempo geológico se divide en diferentes capítulos y subcapítulos. Así, los límites temporales entre diferentes edades coinciden normalmente con eventos bruscos que los geólogos pueden reconocer y estudiar en las rocas. De esta manera, un límite geocronológico concreto puede aparecer en diferentes lugares del planeta, pero la International Commission on Stratigraphy (ICS) debe elegir un afloramiento concreto como referencia internacional para el estudio de dicho evento. Este punto recibe el nombre de Estratotipo o GSSP y se marca con un clavo dorado o *Golden Spike* en recuerdo a los clavos dorados que se clavaban en el antiguo oeste al finalizar los trabajos de construcción de la vía ferroviaria

Sección de Zumaia



MOMENTOS CLAVE Cuatro eventos marcan el tiempo geológico en 200 metros de acantilado. Itzurun es el único afloramiento del mundo con dos estratotipos globales, flanqueados, además, por dos grandes catástrofes ambientales de la historia: el supercalentamiento invernadero del límite P/E y la extinción de dinosaurios del K/T (foto dcha: prueba de esa desaparición).

Fotografía y gráfico: Asier Hilario

Flysch de Zumaia: investigar, entender, divulgar y conservar

Tres de los mayores expertos del mundo en Paleontología y Estratigrafía comparten con GEO sus impresiones, certezas y deseos con respecto a los acantilados de Zumaia y su importancia científica.



Xabier Orue-Etxebarria
Catedrático de Paleontología.
Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

■ Cuando acudí por primera vez, hace unos 35 años, a muestrear la sección de Zumaia, quedé impresionado de la espectacularidad de sus acantilados y de las facilidades que presentaba la serie para su estudio y muestreo.

■ Desde los años sesenta se conocía una sección de Gubbio en los Apeninos, en la que había un nivel de arcilla que marcaba un cambio neto entre los foraminíferos planctónicos del Cretácico, por debajo del nivel y los del Terciario, totalmente diferentes por encima. Y fue precisamente el estudio de la arcilla de Gubbio, el origen de la hipótesis del impacto de un meteorito para explicar la extinción de los dinosaurios y de otros grupos en el límite K/T. Una de las primeras y más importantes secciones que se investigó para confirmar la hipótesis del impacto fue la de Zumaia, cuyos datos, junto con los de una sección de Donostia, ya aparecen en una publicación de Alvarez et al. (1982).

■ El hecho de que en 2008 fuera ratificado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas el establecimiento de los estratotipos del Selandiense y Tanetiense en la playa de Itzurun, supuso uno de los momentos de mayor satisfacción en mi trayectoria científica.

■ Afortunadamente, el patrimonio geológico es cada vez más valorado por la sociedad y prueba de ello es el Geoparque que incluye los municipios de Mutriku, Deba y Zumaia.

■ La dinámica costera hace que los afloramientos se renueven cada año y las rocas te sorprendan siempre con algo nuevo. Saber que ninguna de tus visitas va ser igual que las precedentes tiene algo de sobrecogedor.

■ El principal activo científico de la sección es la capacidad que tiene de "reinventarse" a cada momento. El desarrollo de técnicas analíticas punteras, o de nuevos modelos conceptuales a nivel global, siempre va a ser aplicable en Zumaia, donde sus conclusiones locales acaban marcando pautas para una correlación internacional más precisa.

■ Zumaia constituye la localidad tipo donde fueron definidas numerosas huellas famosas, por vez primera en el registro mundial.

■ Los modernos batiscafos o vehículos robotizados siguen descubriendo a más de 3.000 metros de profundidad huellas comparables a las conocidas en las rocas cretácicas a eocenas de Zumaia, dejadas por animales a los que se creía extintos, pero que siguen siendo enigmáticos, a menos que algún día se les consiga fotografiar *in fraganti* en el momento de generar las huellas.

■ La huella conocida como *Rotundusichnium zumayensis* (un icnofósil planoespiral) ha sido fotografiada hace poco a gran profundidad en el Índico, pero sus precursores los acabamos de descubrir en rocas ordovícicas de Portugal, con más de 480 millones de años de antigüedad. ¡Y su interpretación sigue siendo problemática!

Juan Carlos Gutiérrez
Paleontólogo e investigador.
Instituto de Geociencias (CSIC-UCM).



Stanley Finney
Presidente de la International Commission on Stratigraphy.

■ Pocas zonas del mundo se pueden comparar geológicamente a Zumaia y prácticamente ninguna puede igualar la belleza de su entorno.

■ En Zumaia los científicos pueden obtener ideas sobre la respuesta de la Tierra y sus habitantes a grandes eventos climáticos, biológicos o geológicos del pasado, comprendiendo así el funcionamiento de la Tierra, y lo que es más importante, el papel que puede desempeñar nuestra especie alterando su dinámica en el presente y el futuro.

■ Todavía puedo sentir la excitación y el orgullo de todos los asistentes a la ceremonia de los Estratotipos de Zumaia. Colocar los GSSP en Zumaia representa el punto culminante del trabajo realizado durante muchos años por investigadores y gestores locales para el reconocimiento de esta sección. Personalmente me quedo con la profesionalidad, calidez y simpatía de todos los que acudieron al acto.

■ Debido a la colocación de los Estratotipos en Zumaia, esta sección debe ser protegida y adecuadamente gestionada por su interés científico, ya que estos límites solamente tienen sentido en su contexto estratigráfico.

■ Realizar una divulgación de calidad es esencial para sensibilizar a la gente sobre el valor de la sección y las maravillas de la Tierra. Esta sensibilización popular debe ser tomada como una apuesta por la geoconservación, ya que es vital para mantener el apoyo institucional.

La gran extinción de los dinosaurios y el límite K/T son investigados en la pequeña cala de Algorri

ria transcontinental, como símbolo del trabajo terminado y bien hecho.

Los dos estratotipos definidos en Zumaia se sitúan en la playa de Itzurun y distan apenas 30 metros. El primero de ellos marca la base del piso Selandiense (60,5 Ma) y está definido por una gran caída del nivel de mar, mientras que el segundo define la base del piso Thanetiense (58,7 Ma) y se identifica por una inversión de los polos magnéticos. Además de los dos estratotipos esta sección es muy conocida porque muestra también los archiconocidos límite K/T (Cretácico-Paleogeno) y límite P/E (Paleoceno-Eoceno).

El límite K/T y la gran extinción de los dinosaurios se investigan en lugares como Zumaia gracias a una fina y oscura capa arcillosa situada en la pequeña cala de Al-

gorri. Este nivel marca un cambio paleontológico muy importante en las capas del Flysch, ya que más de la mitad de las especies de microfósiles observadas hasta ese momento desaparecen para siempre coincidiendo con una fina capa de color oscuro. Los amonites, reyes y señores de los mares del Cretácico, y los dinosaurios se extinguen también repentinamente al llegar a este nivel. Algo realmente importante debió de ocurrir el último día del Cretácico para que más de la mitad de la fauna abandonara este planeta para siempre. Es como si la mayoría de los personajes de nuestra novela desaparecieran de la historia coincidiendo con una página de color negro. ¿Qué sucedió? ¿Quién fue el culpable de semejante catástrofe?

La respuesta se esconde en este enigmático nivel arcilloso que marca la extinción. Esta capa contiene elevados porcentajes de iridio, microesférulas ricas en níquel y hollín en su interior, anomalías que sugieren que esta catástrofe biológica tuvo algo que ver con el impacto de un gran meteorito que la mayoría de las especies no pudieron soportar. Esta teoría fue propuesta a principios de los años ochenta por Walter Álvarez y Jan Smit entre otros, y después de diez años de intensa investigación pudo ser confirmada al ser encontrada la huella principal del crimen: el gran cráter enterrado de Yucatán, un cráter de impacto de unos 180 kilómetros de diámetro y 65 Ma de antigüedad. Entre las consecuencias más importantes del impacto están grandes *tsunamis*, bastos incendios forestales, falta de luz por contaminación atmosférica, enfriamiento brusco y finalmente un gran calentamiento y lluvia ácida.

La gran extinción del K/T es la quinta gran extinción masiva del registro fósil y es posiblemente la más conocida ya que supuso la extinción de los dinosaurios y el comienzo de la era de los mamíferos. Actualmente, la biodiversidad está sufriendo una

TRAS LAS PISTAS DE LA GRAN EXTINCIÓN
Juan Carlos Gutiérrez y su equipo buscan huellas fósiles en los últimos estratos del Cretácico. Parece que estos enigmáticos organismos de los fondos marinos no se vieron demasiado afectados por la gran extinción.



CATÁSTROFE BIOLÓGICA

Jan Smit, coautor de la teoría del impacto, trabaja en Zumaia.



Conservación y Geoturismo, un afloramiento espectacular

El Flysch de Zumaia fue declarado Biotopo protegido en Febrero de 2009, y por lo tanto su conservación está en principio garantizada por ley. Desde entonces, la Diputación Foral de Guipúzcoa trabaja intensamente en la coordinación científica del afloramiento, como fuente inspiración para una divulgación de calidad basada en los contenidos. Zumaia presenta además de un patrimonio geológico variado y valioso, unas condiciones para la divulgación realmente excepcionales. Para ello se han realizado varios productos entre los que cabe destacar el laureado documental *Flysch, el susurro de las rocas*, donde 25 grandes expertos mundiales reflexionan sobre el clima, la vida y la Tierra, el libro *Flysch, Algorri Mendata*, donde se funde fotografía y contenido, y la Red de Senderos Temáticos y Guía de Campo del biotopo en la que se trabaja actualmente. Esta red permitirá al visitante conocer los rincones más

interesantes del entorno desde un punto de vista diferente. La zona ha sido incluida recientemente en la Red Europea de Geoparques con el objetivo de direccionar una promoción turística unificada y dar cabida a una amplia gama de salidas guiadas enfocadas al geoturismo. Actualmente existe un variado programa de salidas que combina excursiones a pie y en barco y que funciona todo el año. El biotopo y el Geoparque cuentan también con dos centros de interpretación que atienden al visitante y trabajan en la educación ambiental de los más pequeños. El centro Algorri, situado en Zumaia, es el centro de información principal del Flysch de Zumaia, que se complementa con el pequeño museo Nutilus de Mutriku, donde se pueden ver espectaculares ejemplares de amonites recogidos en el Flysch negro del Cretácico inferior, característico de la parte occidental del parque. (Más información: www.flysch-zumaia.com, www.algorri.eu y www.geoparkea.com)

PASEAR POR EL FLYSCH

Técnicos de la diputación diseñan la red de senderos temáticos del biotopo, una gran oportunidad para aprender y disfrutar.



LOS GRANDES BIVALVOS DEL CRETÁCICO. Los inocerámidos son los fósiles más visibles del afloramiento (abajo). Estos grandes bivalvos se extinguieron también al final del Cretácico, unos pocos millones de años antes que la gran catástrofe del límite K/Pg. A la izda: catas de paleomagnetismo en los acantilados de Algorri.



La historia está escrita en las rocas. De nosotros depende leer en ellas y extraer consecuencias

crisis tan importante que algunos autores empiezan a llamarla la sexta gran extinción. Se calcula que hoy la tasa de extinción es aproximadamente mil veces superior a la extinción de fondo normal. Nuestros compañeros de viaje en la Tierra se sienten incómodos y no es para menos, cada vez les quedan menos espacios y recursos para vivir. Perder biodiversidad es perder nuestra propia capacidad de vivir en la Tierra.


Diez millones de años después de la gran extinción masiva del K/T, la Tierra sufrió uno de los mayores calentamientos de la historia geológica: el límite P/E. En Zumaia el límite P/E está definido por un tramo arcilloso de color rojizo de unos cuatro metros de espesor donde coinciden anomalías geoquímicas e isotópicas importantes con una extinción y diversificación sustancial de los microfósiles. Estas variaciones sugieren cambios composicionales y ambientales significativos en los mares y océanos del planeta.

Al parecer el gran calentamiento del límite P/E se produjo por la rápida descomposición de los hidratos de metano localizados en los fondos marinos, que reaccionaron con el oxígeno y produjeron también grandes cantidades de dióxido de carbono,

dando lugar a un efecto invernadero muy potente, y en consecuencia, a un gran calentamiento sobre la Tierra. Se calcula que la temperatura pudo subir hasta entre cinco y diez grados centígrados en un periodo relativamente corto.

Algunos expertos indican que hoy estaríamos en los primeros estadios de un calentamiento similar, de hecho el leve calentamiento antropogénico puede desestabilizar los grandes depósitos de hidratos de metano que actualmente existen en las regiones polares y subpolares. De ser así, el escenario sería ya mucho más difícil de controlar. Actualmente la temperatura ha subido aproximadamente 1 grado centígrado en el último siglo y las concentraciones de CO₂ en la atmósfera son muy superiores a las medidas durante todo el cuaternario. El estudio del límite P/E nos muestra que este calentamiento puede ser aún mucho mayor, y que puede tener consecuencias importantes en la vida del planeta, ya que cuando el dióxido del carbono se disuelve en el océano, este acidifica el agua del mar y dificulta la construcción de conchas y esqueletos carbonatados de los organismos, provocando una importante extinción de especies marinas. A escala

continental, la flora y la fauna sufrió también importantes variaciones y migraciones para adaptarse a las nuevas condiciones de calor. ¿Qué pasaría si nuestros campos de cultivo dejan de ser productivos y la pesca es cada vez más escasa? ¿Y si los bosques dan lugar a secarrales?

La historia está escrita en las rocas. Esto ha sucedido ya otras veces y las consecuencias han sido severas. En cualquier caso, la historia de la humanidad nos enseña también que entre todos hemos sido capaces de afrontar retos imposibles, que nuestra capacidad de pensar ha sido capaz de convertir estas rocas en páginas de un libro y que por eso hoy por hoy hay también razones para ser optimista. 



Gracias a los conocimientos de **Asier Hilarrio**, de 34 años (dcha), doctor en Geología y coordinador científico del Biotopo del Flysch de Zumaia desde hace tres años (flysch@gipuzkoa.net), la geología nunca le había resultado tan sencilla a **Jóse Barea**, fotógrafo habitual de GEO.