

El Cosmos, la Tierra, el Hombre y la Vida

Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Blanca Bauluz Lázaro
- Javier Fernández López
- Ángel Francés Román
- Josefina Jiménez Villar
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

Edita

Facultad de Ciencias,
 Universidad de Zaragoza.
 Plaza San Francisco, s/n
 50009 Zaragoza

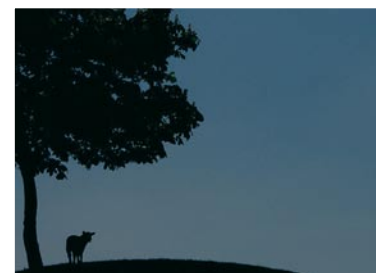
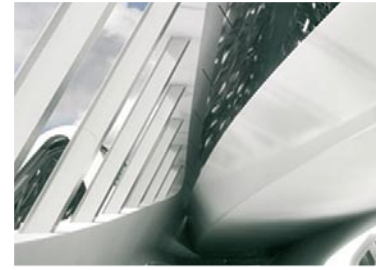
e-mail: web.ciencias@unizar.es

IMPRESIÓN: Gráficas LEMA, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848

La revista no comparte necesariamente
 las opiniones de los artículos firmados.



[Fósiles del universo primitivo](#)

[Proyecto SSETI](#)

[2008, Año Internacional del Planeta Tierra](#)

[Día de la Tierra en la Facultad de Ciencias](#)

[Las edades de la Tierra](#)

[Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones](#)

[El hombre de Atapuerca del siglo XXI](#)

[¿Qué es la vida?](#)

[Vida extraterrestre](#)

[Vida y Geología](#)

[Impresiones sobre mi vida científica](#)

[Noticias de la Facultad](#)

El Cosmos, la Tierra, el Hombre y la Vida

conCIENCIAS.digital, en su segundo número, se lanza al ESPACIO con un tema ambicioso: **El Cosmos, la Tierra, el Hombre y la Vida**. Hemos querido, en éste monográfico, presentar un contenido "globalizante" que sobrepasara, de forma arrolladora, el ámbito de la Facultad de Ciencias. Sólo nos hemos fijado en el Cosmos.

Desde que el hombre existe ha manifestado su preocupación por conocer el mundo que le rodea, y esta inquietud se sigue manteniendo en la actualidad. Es inherente a nuestra naturaleza. Desde la Antigüedad, el hombre miraba al cielo e interpretaba los movimientos de los astros buscando respuestas. Nuestros ancestros crearon sus ritos, calendarios, pautas vitales, regidos por las observaciones de la naturaleza. Incluso las religiones son un claro reflejo de los ciclos que el hombre descubrió e interpretó en su

Cosmos. Desde su origen, el hombre investigaba su entorno buscando el porqué de las cosas. Hoy en día, después de siglos de observación y desarrollo de múltiples teorías científicas, nos encontramos inmersos en el estudio de la evolución de nuestro planeta **Tierra**, conjunto de delicados equilibrios que permite la existencia de la **vida**, tal y como la conocemos. Equilibrios que son modificados continuamente por la Naturaleza y, en excesivas ocasiones, también por el Hombre.

En este primer monográfico de conCIENCIAS.digital, y en el año que disfrutamos, 2008, **Año Internacional del Planeta Tierra**, nos sentíamos obligados, desde la Facultad de Ciencias, a hacer una pequeña incursión en el mundo que conocemos. El estudio del Universo, las edades de la Tierra, las primeras huellas que los hombres primitivos nos dejaron como herencia, nuestra responsabilidad con nuestro planeta... son algunos de los temas que se van a desarrollar en este número.

Esta revista es una tribuna de expresión libre de todos aquellos que han dedicado su vida a pensar. Mi agradecimiento más sincero a todos los

colaboradores de este nº 2 de conCIENCIAS, profesores y alumnos de la Universidad de Zaragoza, que aceptaron desde el primer momento, con una gran ilusión y empeño, la encomienda que les hice hace sólo unas semanas.

"Esa inquietud se sigue manteniendo en la actualidad. Es inherente a nuestra naturaleza. Desde la antigüedad, el hombre miraba al cielo e interpretaba los movimientos de los astros buscando respuestas."

Quiero destacar el esfuerzo realizado para expresar sus conocimientos y experiencias en un lenguaje sencillo y sincero. En este sentido, quiero expresarles mi enhorabuena por haber alcanzado el objetivo genérico que nos planteamos con el lanzamiento de conCIENCIAS: "ser una ventana abierta a toda la sociedad". La transmisión del conocimiento, la divulgación de la Ciencia, exige por nuestra parte un esfuerzo que permita comunicarnos en un mismo lenguaje.

Es motivo de especial satisfacción indicar que, al cierre de este número, hemos recibido colaboraciones que no han podido ser publicadas. Gracias a los que nos habéis enviado estos trabajos. Seguro que los publicamos en los siguientes números. Pero lo importante es que las propuestas recibidas son mayores que la capacidad de publicación. Estas cosas son las que animan a continuar el trabajo.

Con un sentimiento especial de cariño, mi más profundo agradecimiento a los miembros del **Senatus Científico**. Fue en un homenaje a Horacio Marco cuando, de forma espontánea y pública, surgió la idea de que nos ilustraran acerca de LA VIDA. Con este nº 2 de **conCIENCIAS**

aparecen los primeros legados de sus miembros: un tesoro de vivencias y sabiduría.

Como ya hemos dicho antes, las colaboraciones están siendo realmente entusiastas. Y creo que temas no nos van a faltar. Seguid enviando vuestras ideas. No nos dejéis parar.

Deseo que disfrutéis con la lectura de nuestra revista y que descubráis, durante la misma, una visión complementaria del mundo que nos rodea.



ANA ISABEL ELDUQUE PALOMO
Decana de la Facultad de Ciencias

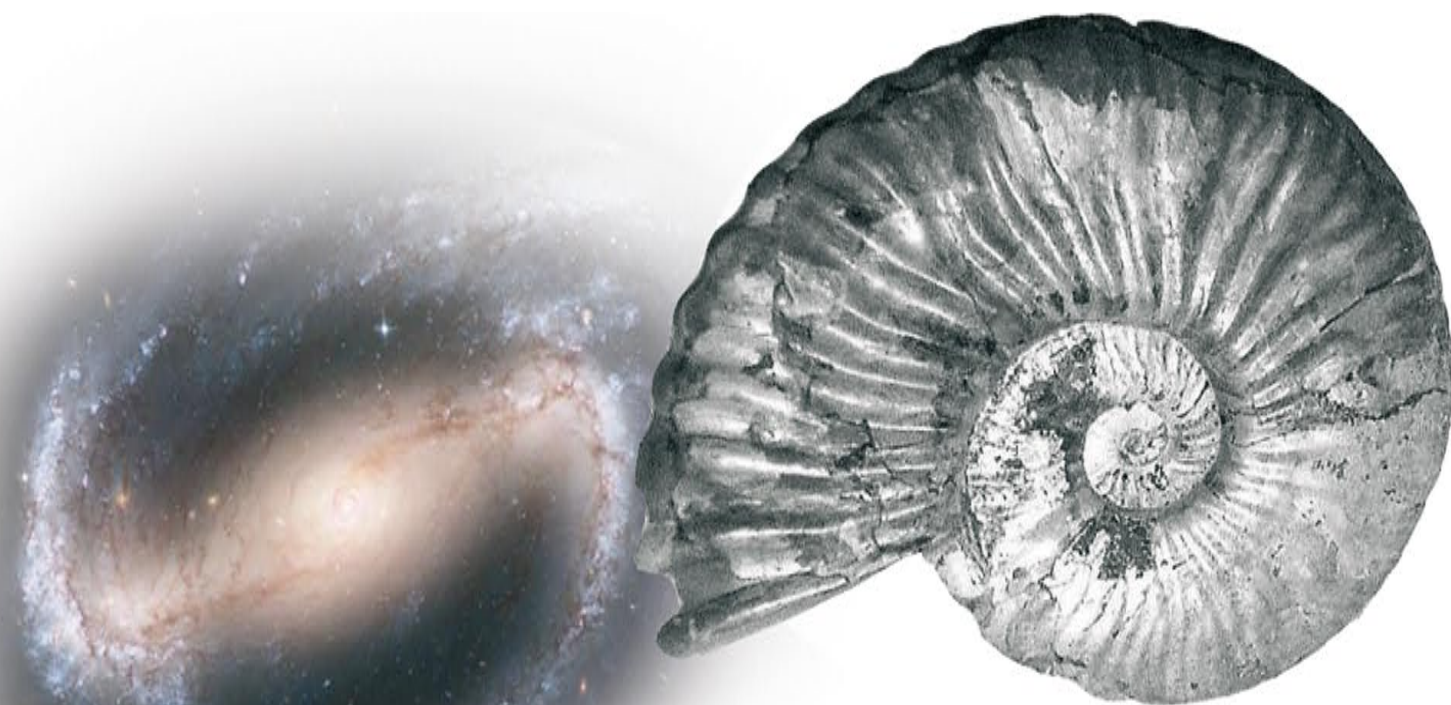


"Sólo nos hemos fijado en el Cosmos."



Fósiles del universo primitivo

Por Marisa Sarsa y Eduardo García

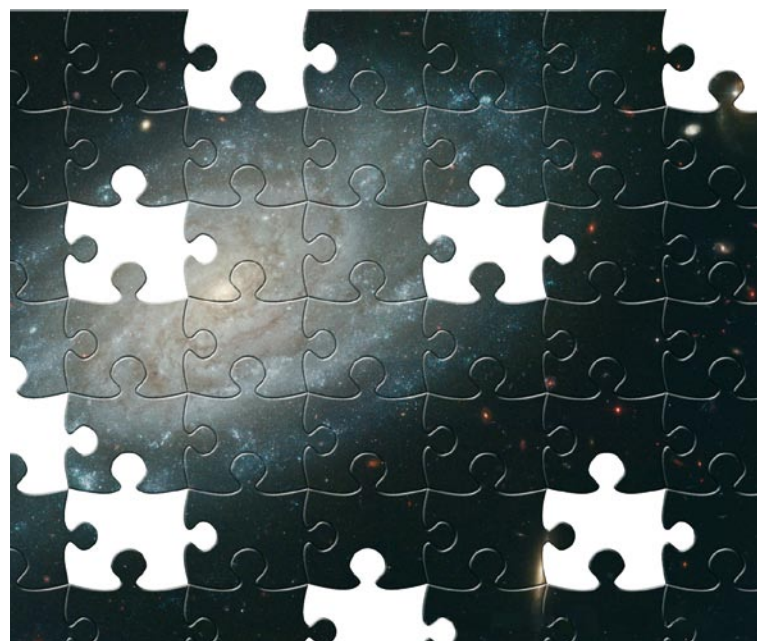


Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), notable astrofísico, cuyo nombre se asocia a la expedición que estudió el eclipse del año 1919 y proporcionó una de las primeras confirmaciones de la teoría de la relatividad general de Einstein, resumió su experiencia de largos años de estudio del Universo en una sugerente frase:

“No sólo el Universo es más extraño de lo que imaginamos, es más extraño de lo que podemos imaginar”.

A comienzos del siglo XXI, esta frase sigue describiendo perfectamente la situación que afrontamos todos los que investigamos en campos próximos a la Astrofísica y Cosmología. A lo largo del siglo XX se ha producido un progreso vertiginoso en la comprensión del Universo, posibilitado por la gran cantidad de observaciones y datos experimentales procedentes de los ámbitos más diversos y recabados mediante las más variadas técnicas. Y, sin embargo, nuevas incógnitas han aparecido en el marco cosmológico

de forma paralela a los avances conseguidos. La interpretación de los datos acumulados requiere disponer de marcos teóricos plausibles (en la actualidad el preferido es el modelo del Big Bang inflacionario) pero el reto que se afronta es comparable a intentar reconstruir un puzzle sin estar seguros de que estén todas las piezas, y considerando que podrían faltar piezas clave. La frase de Eddington nos recuerda que en el trabajo científico es imprescindible tener la mente abierta a nuevas soluciones para los problemas que la realidad plantea, más allá del marco que imponen las teorías establecidas.



Al interpretar y tratar de compatibilizar todas las observaciones astronómicas y cosmológicas en el marco cosmológico estándar se configura un modelo sorprendente de Universo: el 96% de su contenido en materia y energía se encuentra en formas desconocidas e invisibles para los métodos de observación convencionales. Sólo sus efectos gravitatorios las han puesto en evidencia y, a causa de ello, se las denomina materia oscura y energía oscura. La materia oscura no emite ningún tipo de radiación electromagnética, pero contribuye de forma dominante a la masa total de galaxias y cúmulos de galaxias, por lo que ha desempeñado un papel fundamental en los procesos de agregación gravitatoria que dieron lugar a las estructuras que se observan en el Universo actual. La energía oscura se introduce en el modelo cosmológico al tratar de explicar la aceleración observada en el ritmo de expansión del Universo desde hace algunos miles de millones de años: se precisa alguna nueva forma de energía capaz de contrarrestar la atracción gravitatoria que experimenta la materia y que frena dicha expansión.

Investigar la naturaleza de la energía oscura requerirá disponer de datos muy precisos de la distribución y las velocidades de recesión de galaxias muy lejanas en esfuerzos observacionales dedicados específicamente a este fin. En esta línea, uno de los proyectos destacados instalará su telescopio en la Sierra de Javalambre, Teruel. Si nos centramos en la investigación de la naturaleza de la materia oscura, los cálculos de la nucleosíntesis primordial, que en los primeros tres minutos de la vida del Universo configuró más del 99% de su composición química, descartan a los bariones (materia ordinaria) como responsables de esta materia oscura, en cualquiera de las formas que los pudiéramos combinar. La ausencia de emisión electromag-

Son muchos los argumentos que conducen a la existencia de grandes cantidades de materia oscura en las galaxias, en los cúmulos de galaxias y a escala cosmológica. Como ejemplos podemos citar, en primer lugar, la dinámica de los cúmulos de galaxias. Las velocidades internas de las mismas y la temperatura del gas que los cúmulos contienen son demasiado elevadas para permitir su estabilidad, de acuerdo con la masa total que su luminosidad permite atribuirles. Una solución a este problema, conocido desde 1933, plantea que la masa total de los cúmulos es mucho mayor que la visible de forma que el pozo de potencial gravitatorio es lo bastante intenso para mantener ligadas las galaxias y el gas. Podríamos compararlo con un líquido que adopta una forma determinada y, sin embargo, no vemos ningún recipiente que lo contenga; todo nuestro conocimiento acumulado nos diría que es imprescindible un continente aunque no lo veamos. La materia oscura sería el continente que no vemos en los cúmulos de galaxias.



La estabilidad de los cúmulos de galaxias es un argumento a favor de la existencia de la materia oscura.

A escala galáctica, los principales indicios de la existencia de materia oscura provienen de las observaciones de altas velocidades de rotación de estrellas y nubes de hidrógeno a grandes distancias de los núcleos galácticos que concentran la mayor parte de la masa visible de las galaxias. La dinámica newtoniana no permite entender estas altas velocidades sin la incorporación de grandes cantidades de materia oscura que, en forma de halos galácticos, se extiendan hasta distancias del orden de 10 veces el radio de la galaxia visible.

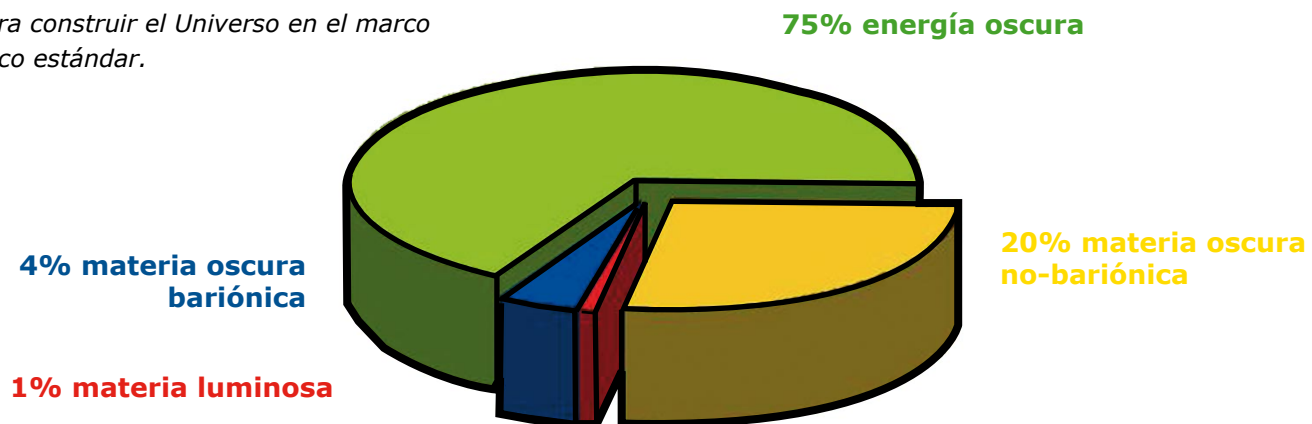
Fósiles del universo primitivo



El 96% del Universo parece encontrarse en formas de materia y energía desconocidas para los métodos de observación convencionales.

nética por parte de la materia oscura apunta a que, además de masivas, se trate de partículas neutras y que interactúen débilmente, por lo que sólo los neutrinos podrían resolver el problema dentro del modelo estándar de la Física de Partículas. Sin embargo, la contribución de los neutrinos a la materia oscura no puede ser elevada ya que su baja masa, recientemente acotada (aunque no determinada) por los experimentos de oscilaciones de neutrinos, habría hecho imposible la formación de estructuras del tamaño de las galaxias. Entre los posibles can-

Receta para construir el Universo en el marco cosmológico estándar.



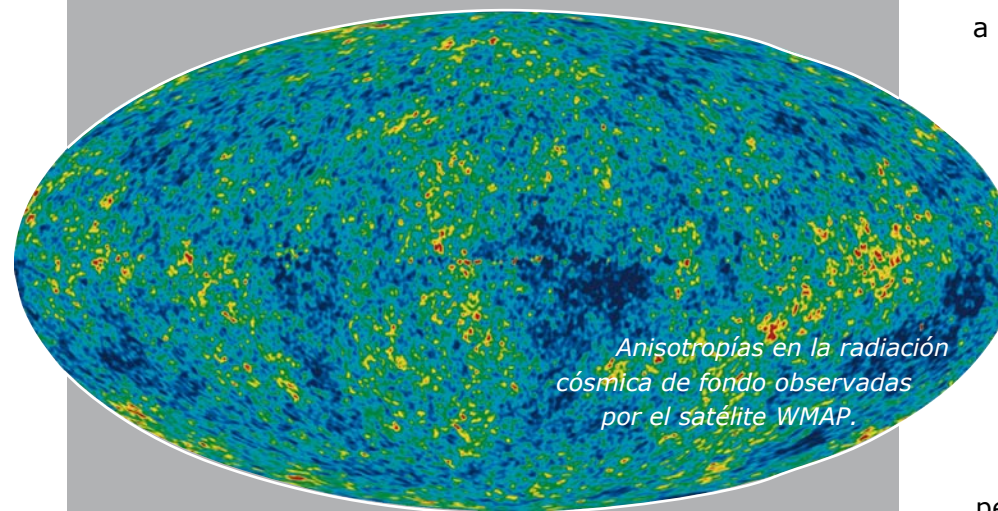
didatos a materia oscura destacan los llamados WIMPs (acrónimo de Partículas Masivas que Interaccionan Débilmente) que surgen, de forma natural, en muchas de las ampliaciones propuestas al modelo estándar de la Física de Partículas como, por ejemplo, las supersimétricas.

Estas partículas constituyentes de la materia oscura serían reliquias del Universo primitivo, de la misma forma que lo es la radiación cósmica de fondo (CMB) de microondas que, detectada en 1965 de forma accidental por Penzias y Wilson, fue calificada en su día como "eco" del Big Bang. Al igual que los paleontólogos, los cosmólogos reconstruyen la historia del Universo a partir de las huellas que han dejado en el Universo actual las partículas que lo poblaron en su pasado más lejano y de aquellos restos fósiles que han perdurado hasta nuestros días, como serían los WIMPs o la radiación CMB. Esta última es, en la actualidad, una herramienta imprescindible para poner a prueba las teorías sobre el Universo y, por el momento, supone uno de los principales apoyos sobre los que se construye el modelo cosmológico estándar.

La interacción de los WIMPs con la materia es tan poco probable, que sólo una pequeñísima fracción de los WIMPs que llegan a un detector produce una señal en el mismo. Por eso, para que un experimento de detección directa de materia oscura pueda tener éxito es imprescindible proteger los detectores adecuadamente



A nivel cosmológico, uno de los apoyos más importantes a los modelos de Universo con energía y materia oscura lo proporciona la medida de anisotropías en la radiación cósmica de fondo de microondas. Proporcionan una "foto" del Universo tan sólo 380000 años tras el Big Bang y las variaciones en la temperatura de la radiación que se observan en ella ponen de manifiesto la existencia de fluctuaciones en la distribución de la materia que fueron el germen de las actuales galaxias.



Otras explicaciones que no incorporen energía y materia oscuras como ingredientes imprescindibles del Universo requieren la modificación de las leyes de la dinámica en el régimen de pequeñas aceleraciones o una nueva teoría de la gravitación. Por el momento, aunque se trabaja en ellas, la hipótesis de la materia y energía oscuras reproduce de forma más satisfactoria las observaciones.

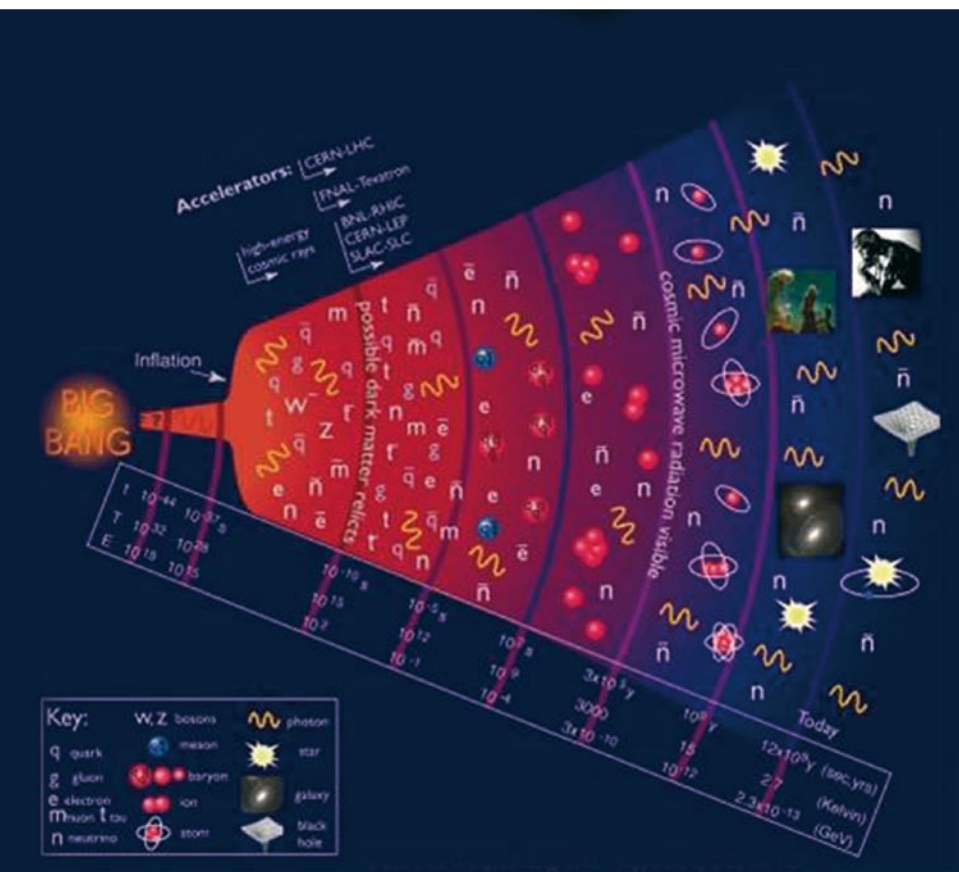


Interior del Túnel del Somport, Canfranc (Huesca), en el que se encuentra el Laboratorio Subterráneo de Canfranc.

de la radiactividad medioambiental, que produciría señales similares a las esperadas para los WIMPs y, por tanto, enmascararían la tenue señal que se busca. El primer paso para esto es trabajar en un laboratorio subterráneo, como el de Canfranc, una instalación singular en España y de las pocas, a nivel mundial, con las características adecuadas para dedicarse a la detección directa de la materia oscura del Universo, de la que este laboratorio fue pionero a finales de los 80. La montaña, en este caso El Tobazo, actúa como paraguas frente a los rayos cósmicos, que bañan continuamente la superficie terrestre. Las instalaciones subterráneas del Laboratorio de Canfranc se encuentran bajo un cubrimiento equivalente a 2450 metros de agua, el máximo que permite el perfil orográfico del túnel.

Los detectores utilizados son sensibles a los pequeños depósitos de energía que producen en su interacción las partículas: fotones, electrones, partículas alfa, muones o WIMPs. En ellos se convierte la energía depositada por la partícula en su interacción en una señal visible que, dependiendo del tipo de material, puede

Fósiles del universo primitivo

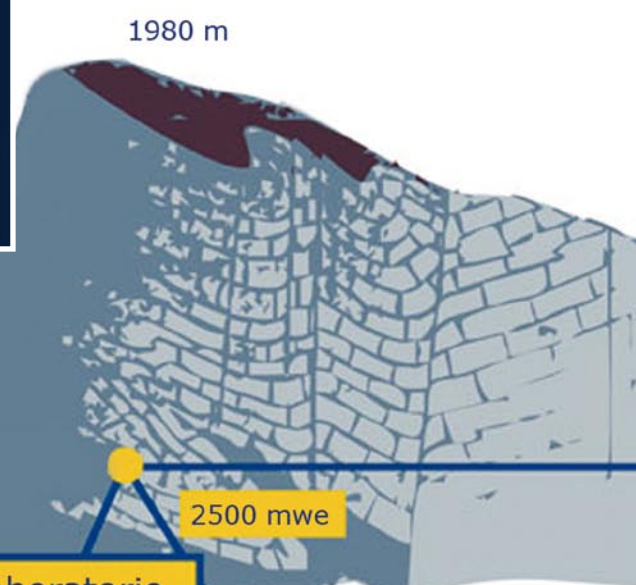


Viaje hacia el pasado: podemos utilizar los grandes aceleradores de partículas que reproducen las condiciones del Universo primitivo o estudiar las partículas-fósiles que han perdurado hasta nuestros días.

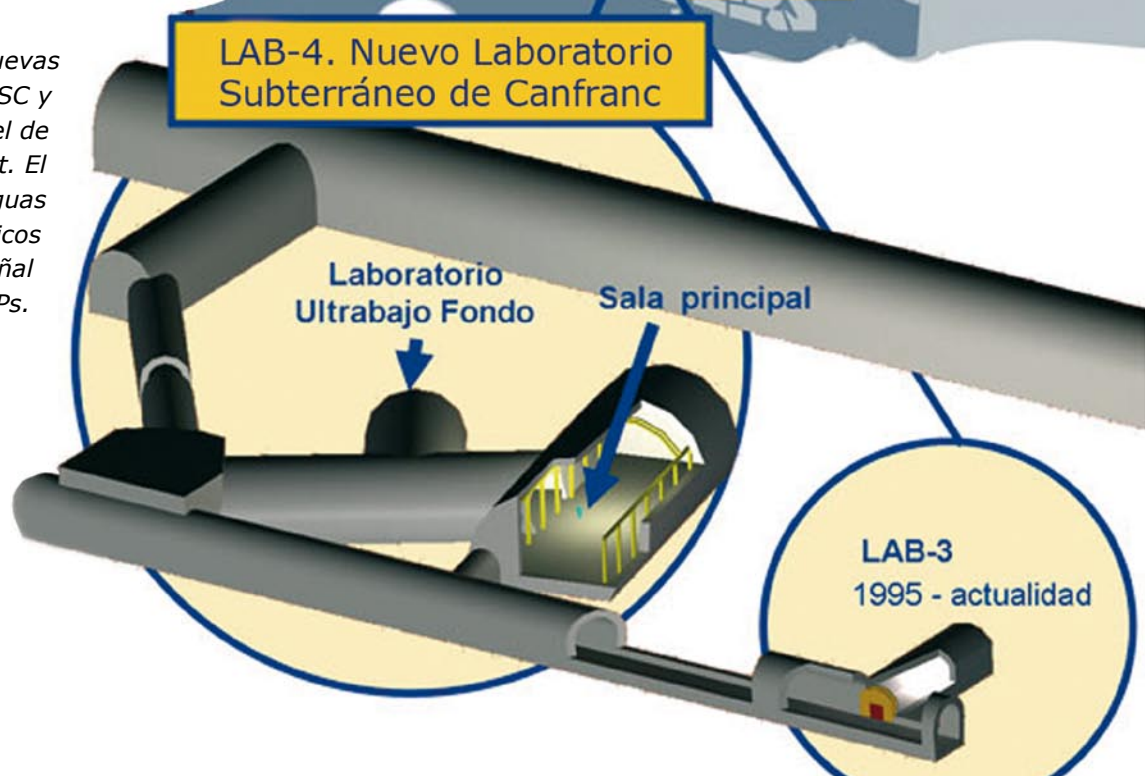
ser luz, carga libre o calor. Por ejemplo, ANAIS, uno de los principales proyectos en la actualidad en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, utiliza yoduro de sodio, un material centelleador bien conocido, como blanco para la materia oscura. En ROSEBUD, una colaboración con el Instituto de Astrofísica Espacial de Orsay (Francia), se mide la elevación de temperatura que se produce en un cristal enfriado a 20mK tras la interacción de una partícula y, en el nuevo tipo de bolómetros en desarrollo, la medida simultánea de la energía convertida en luz, por un lado, y la convertida en calor, por otro, permite discriminar el tipo de partícula que ha interactuado y, gracias a ello, eliminar una buena parte del fondo radiactivo.

En la interpretación estándar, la materia oscura supone del orden del 20% del presupuesto energético del Universo. Su descubrimiento supondría un gran hito en los campos de la Astrofísica, la Cosmología y la Física de Partículas y se aborda desde distintas direcciones complementarias:

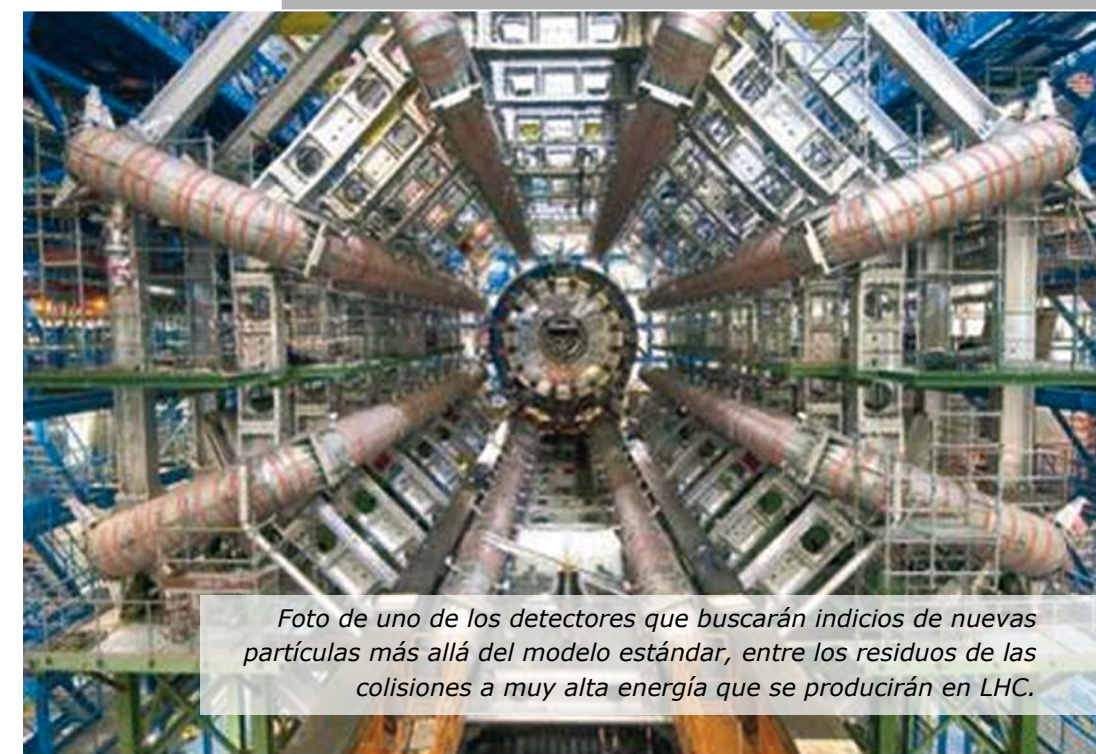
- Los aceleradores de partículas permiten reproducir las condiciones del Universo primitivo: a partir de las interacciones de partículas elementales a nivel subatómico podemos aprender sobre el origen y evolución del Universo. La puesta en operación del Large Hadron Collider (LHC) en el CERN permitirá, buscar indicios de nueva física más allá del modelo estándar y, en particular, pondrá a prueba algunas de sus ampliaciones en el marco de la Supersimetría, que proporciona algunos de los candidatos a WIMPs más plausibles desde el punto de vista teórico.
- La detección indirecta se basa en la búsqueda en los rayos cósmicos de los productos resultantes de la aniquilación de los WIMPs en los halos galácticos: positrones, antiprotones, neutrinos y fotones.



Esquema de las nuevas instalaciones del LSC y perfil orográfico del túnel de ferrocarril del Somport. El Tobazo actúa como paraguas frente a los rayos cósmicos que enmascararían la señal de los WIMPs.

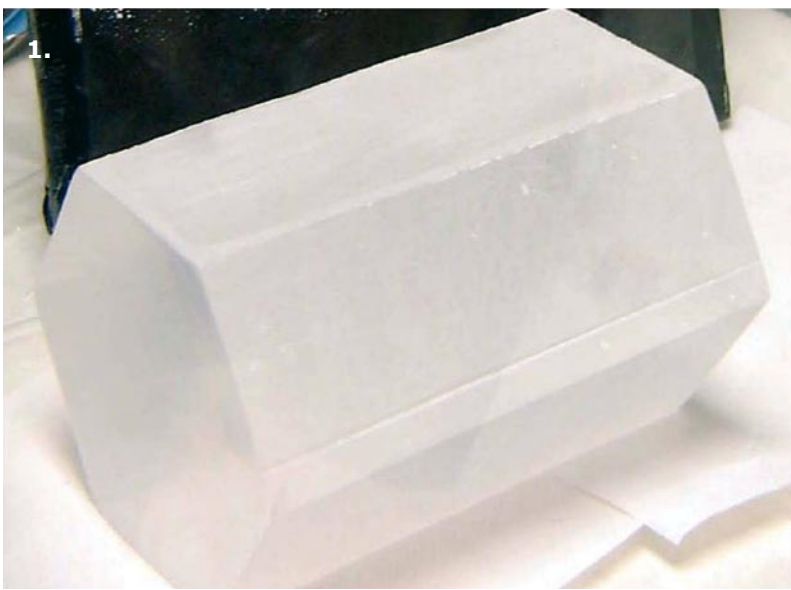


La contribución de las emisiones procedentes de la radiactividad medioambiental puede ser reducida fabricando detectores con materiales de extrema radiopureza y apantallando la contribución de todos los posibles contaminantes externos mediante blindajes convenientemente elegidos: plomo, agua, polietileno, cadmio, etc. En particular, hay que proteger los experimentos del Radón, elemento radiactivo en estado gaseoso que se acumula con facilidad en lugares mal ventilados como son los túneles.



- La detección directa consiste en la detección de la interacción de los WIMPs con los núcleos de un detector adecuado, principalmente mediante mecanismos de dispersión elástica.

Fósiles del universo primitivo



qué está compuesto el 96% de nuestro Universo? ¿Qué hay más allá del modelo estándar de la Física de Partículas? Y que para responderlas se utilice toda la tecnología y propiedades de los materiales a nuestro alcance en la fabricación de detectores de partículas cada vez más sensibles y versátiles. De hecho, temperaturas tan bajas como las que se usan en la operación de los bolómetros de ROSEBUD, se producen en muy pocos otros lugares en España. Considerando

- 1) Cristal de 10,7 kg de NaI utilizado en uno de los prototipos del experimento ANAIS.
- 2) Bolómetro centelleador de 46 g de BGO utilizado en el experimento ROSEBUD.
- 3) Blindaje del experimento DM32 en Canfranc a comienzos de los años 90.
- 4) Trabajando en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc con uno de los prototipos de ANAIS.



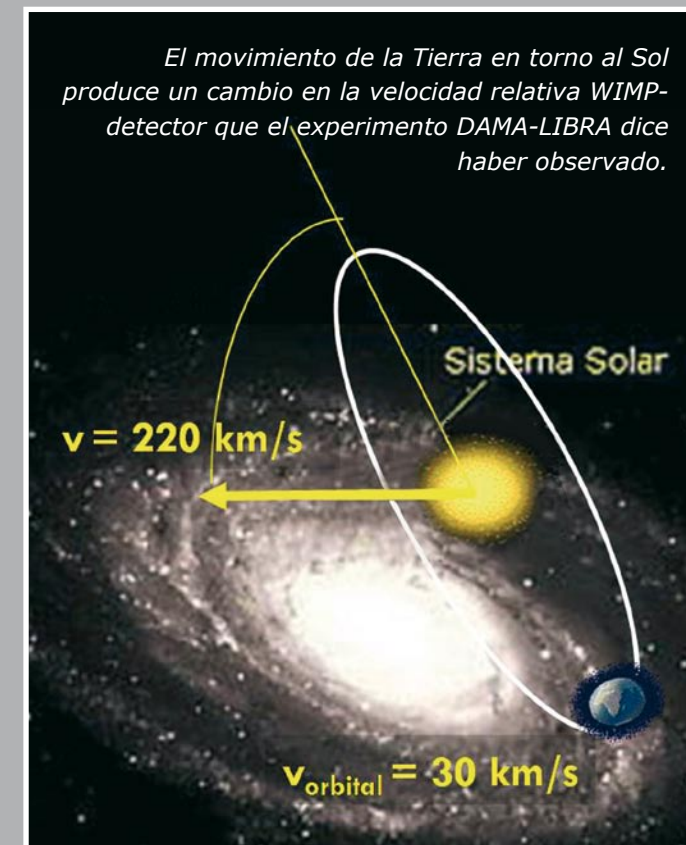
ando que la temperatura de la radiación cósmica de fondo de microondas que llena el Universo es, en la actualidad, 2,7K podemos afirmar que en Canfranc se encuentra uno de los lugares más fríos del Universo.

María Luisa Sarsa y Eduardo García son profesores del área de Física Atómica, Molecular y Nuclear y trabajan en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc en los experimentos ANAIS y ROSEBUD.



El experimento DAMA-LIBRA, en el Laboratorio Nacional del Gran Sasso, en Italia, ha presentado recientemente datos que confirman resultados previos del mismo equipo investigador y que interpretan como una señal inequívoca de la detección de la materia oscura del halo galáctico. Esta detección se basa en la observación de una modulación con periodicidad anual en los ritmos de interacción de la materia oscura con los núcleos del detector, debida al cambio en la velocidad relativa WIMP-detector que resulta del movimiento de traslación de la Tierra en torno al Sol.

El análisis de esta modulación es también el objetivo fundamental del experimento ANAIS que podría corroborar el resultado de DAMA-LIBRA y ayudar en el análisis de los efectos sistemáticos que pudieran afectar a la señal de la materia oscura buscada.



Proyecto SSETI

Por Julia Marín-Yaseli

En el año 2000 surgió una propuesta de la Agencia Espacial Europea (ESA) para formar a jóvenes estudiantes en el ámbito espacial. El proyecto se denominó SSETI (Student Space Exploration and Technology Initiative) y pretendía agrupar universidades de toda Europa formando equipos que serían capaces de diseñar, construir y lanzar satélites. La novedad consistió en que todo el proyecto estaría dirigido y formado exclusivamente por estudiantes, contando con el apoyo de expertos de la Agencia y profesores de las universidades.

Debido a la cantidad de papeleo, necesidad de recursos materiales y de una gestión del proyecto SSETI surgió la **Asociación para la Promoción Social de la Investigación y el Desarrollo Espacial (APSIDE)** dos años después. De manera casi inmediata se comenzaron a realizar actividades alternativas a SSETI, tales como la divulgación social de los proyectos de la ESA por centros de secundaria, la promoción dentro de la Facultad de Ciencias de proyectos educativos y la captación de nuevos miembros.

El 27 de octubre de 2005 fue lanzado el primer satélite, denominado SSETI Express. Más de doscientas apariciones en prensa, radio y

televisión del equipo de Zaragoza, mostraron la importancia del acontecimiento y dieron a conocer a lo largo de todo el mundo el primer satélite diseñado por estudiantes. A día de hoy, todavía se registran más de veinte mil entradas en Internet con el nombre de SSETI Express.

Durante todo este tiempo APSIDE ha participado en cuatro campañas de vuelos parabólicos, que son otra iniciativa estudiantil de la ESA consistente en el desarrollo de un experimento a bordo de un avión Airbus 300 de la empresa Novaspace. Su mayor particularidad: la experimentación de ingravidez en su interior en períodos de 20 segundos durante treinta parábolas.

Además, APSIDE ha participado en tres congresos del IAF, ha organizado dos congresos internacionales y uno nacional, ha recibido cinco becas de colaboración con el Observatorio Astronómico "El Castillo" situado en Borobia, ha colaborado con el centro Joaquín Roncal en el desarrollo de charlas científicas, participa activamente en el proyecto SSETI y en actividades de la Facultad de Ciencias, en proyectos educativos de la DGA...

Actualmente, APSIDE trabaja en el diseño en fase de construcción del segundo satélite de SSETI denominado ESEO (European Student Earth Orbiter) que planea lanzarse el 21 de noviembre de 2009. El grupo de Zaragoza es el encargado de calcular las órbitas del satélite, así como diferentes estudios de viabilidad de la misión.

APSIDE ha sido seleccionada para participar en el proyecto Success de la ESA consistente en un diseño de experimentación y, de ser ganadora, se llevará a cabo en la Estación Espacial Internacional ISS.

En este último trimestre APSIDE se ha adherido a una asociación española de renombre, denominada Laboratorio para Experimentación en Espacio y Microgravedad (LEEM). Gracias a esta unión, APSIDE participará en una red de estudiantes global distribuida en las ciudades más importantes de España (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Zaragoza) interactuando con estudiantes de diversas carreras científico-técnicas. Por otro lado, realizará los cálculos del análisis de misión en el nuevo CubeSat español, llamado LEEMSat. El proyecto del LEEMSat I consiste en el desarrollo del primer CubeSat de la Asociación que servirá como base para el futuro desarrollo de picosatélites y fomentar la cooperación entre universidades para la realización de proyectos de gran envergadura.

Por si fuera poco, la asociación está abierta a nuevos retos en el sector espacial y a cualquier proyecto que un estudiante de la Facultad de Ciencias desee llevar a cabo, proporcionando toda la experiencia y recursos necesarios.

Julia Marín-Yaseli
Asociación APSIDE

“Más de doscientas apariciones en prensa, radio y televisión del equipo de Zaragoza, mostraron la importancia del acontecimiento y dieron a conocer a lo largo de todo el mundo el primer satélite diseñado por estudiantes.”



La celebración del Año Internacional del Planeta Tierra (AIPT) es una decisión de la Asamblea General de las Naciones Unidas, a propuesta de la IUGS y de la UNESCO. La decisión fue adoptada como una resolución de la 33ª Conferencia General de la UNESCO en Octubre de 2005.

La proclamación del Año Internacional del Planeta Tierra tuvo lugar en la Asamblea General de Naciones Unidas el 22 Diciembre de 2005. Las premisas de la Resolución: La IUGS (Internacional Union of Geological Sciences) considera que existe, por un lado, un escaso aprovechamiento de la abundante información científica sobre el Planeta Tierra y, por otro lado, un insuficiente conocimiento de esta información por parte del público y de los responsables de adoptar políticas y decisiones adecuadas.

La IUGS está convencida de que la enseñanza de las Ciencias de la Tierra proporciona instrumentos beneficiosos para el uso sostenible de los recursos naturales y para construir la infraestructura científica esencial para el desarrollo sostenible.

La IUGS asume que el Año Internacional del Planeta Tierra puede desempeñar un papel fundamental en la sensibilización de los ciudadanos sobre el desarrollo sostenible de los procesos y recursos de la Tierra así como la prevención, reducción y mitigación de los desastres.

Bases de la propuesta del Año Internacional del Planeta Tierra con el ánimo de sensibilizar a la sociedad en general, del potencial de las Geociencias para un desarrollo sostenible y seguro:

- Las geociencias pueden contribuir significativamente a conseguir un mundo más seguro, saludable y próspero.
- Esta contribución está seriamente infrutilizada por la sociedad y debería ser incrementada sustancialmente.
- La proclamación del año internacional bajo la cobertura de los estados miembros de la ONU.
- Ayudará a que las Ciencias de la Tierra realicen su plena contribución al desarrollo sostenible del planeta.
- La Tierra es única, no sólo en el Sistema Solar sino en todo el Universo conocido. No sólo es el planeta que tenemos sino que es el único planeta vivo que conocemos y que quizás conozcamos.
- La Tierra nos proporciona muchas riquezas naturales sobre las que tenemos mucho que aprender, como nuevas técnicas de investigación que permitan un uso sostenible.
- Lo que debemos aprender, y lo que debemos entender, es que es necesario cuidar y mantener la Tierra para que nuestros hijos tengan la Tierra en condiciones de poder vivir y mantener el desarrollo.
- Hasta hoy los geólogos han trabajado para comprender todas las interacciones entre tierra, vida, agua, y aire llegando a construir un modelo global del Sistema Tierra.
- Las Ciencias de la Tierra, la Geología, ahora no sólo busca explicar el pasado de la Tierra, sino prestar su ayuda en predecir y gestionar su futuro de manera sostenible.

EL PLANETA TIERRA EN NUESTRAS MANOS.

Debemos ser conscientes de que el Planeta no nos pertenece, de que el ser humano es una especie más de las muchas que han surgido en la Tierra a lo largo de sus 4500 millones de años de existencia. Y que nuestra capacidad como seres inteligentes nos obliga a mantener nuestro desarrollo en equilibrio con el planeta que nos alberga.

La raza humana necesita de su planeta. Dependemos por completo de él ya que evolucionamos desde él, permanecemos por siempre como parte de él y, únicamente, podemos existir por cortesía de la autosostenibilidad del Sistema Tierra”.

DIEZ TEMAS PRIORITARIOS PARA EL AÑO INTERNACIONAL DEL PLANETA TIERRA.

La Comisión Internacional, que promueve la celebración de este evento, ha desarrollado 10 temas prioritarios para hacer llegar a la Sociedad el grado de conocimiento existente actualmente en Geología y todas las posibles contribuciones para el desarrollo futuro, dentro del marco ineludible de respeto hacia el propio Planeta Tierra.

“La IUGS asume que el Año Internacional del Planeta Tierra puede desempeñar un papel fundamental en la sensibilización de los ciudadanos sobre el desarrollo sostenible de recursos de la Tierra así como la prevención, reducción y mitigación de los desastres.”

1.- EL AGUA SUBTERRÁNEA: RESERVAS PARA UN PLANETA SEDIENTO.

Todos los habitantes del planeta dependen del agua. La demanda de agua potable crece cada día igual que crece la población. Mucha gente no dispone de agua potable, sin embargo es esencial para sobrevivir. Suministrar todas las demandas de agua potable y para la agricultura e industria es imposible sin el agua subterránea. En Europa y Rusia más del 80% del agua potable es agua subterránea. También lo es cada vez más en Norte de África y Medio Este.

Puesto que el agua subterránea no es un bien inagotable, se hace necesaria la investigación tanto en nuevos acuíferos como en su uso racional y sostenible.

No existen razones, al menos todavía, para creer que la Tierra no pueda continuar suministrando nuestras necesidades. Y lo podrá hacer siempre que realicemos una gestión sostenible de los recursos.

2.- RIESGOS NATURALES: MINIMIZARLOS Y AUMENTAR LA PREVENCIÓN.

Los riesgos naturales incluyen los riesgos geológicos, tales como deslizamientos, volcanes inundaciones, marejadas, terremotos y tsunamis. Todos los procesos de la Tierra que ponen en peligro la vida humana son riesgos geológicos, desde la caída de piedras de un talud hasta los impactos meteoritos o cometas, o la erupción de supervolcanes.

Nuestra Madre Tierra puede parecer una madre deshumanizada. El impacto de los desastres naturales en nuestras vidas y economías es muy grande y no parará. Cada año asistimos a inundaciones, tsunamis, tormentas, sequías, fuegos, volcanes, terremotos, deslizamientos y hundimientos que se cobran miles de vidas, y devastan poblaciones y modos de vida.

El papel de las ciencias de la tierra y sus científicos es anticiparse a los riesgos inducidos por la obra humana. Determinar los riesgos para futuras emergencias.

Identificar sus consecuencias. Modelizar los hechos para poder prevenir. Determinar las acciones que puedan mitigar sus efectos y comunicar los resultados de los estudios a quien lo necesite y a quienes deban conocerlos.

¿Cómo ha alterado el ser humano la geoesfera, la biosfera y el paisaje, propiciando de ese modo la existencia de riesgos y aumentando la vulnerabilidad social ante ellos? ¿Cuáles son las barreras que impiden a los gobiernos y otras instituciones, con acceso a toda la información sobre riesgos y vulnerabilidad, crear políticas y planes para reducirlos y en su caso evitarlos?

“En los dos últimos millones de años ha habido diversos episodios de expansión del hielo. El último máximo glaciar, hace 21.000 años, cubrió Norteamérica y el Norte de Europa.”

3.- TIERRA Y SALUD: CONSTRUYENDO UN MEDIO SALUDABLE.

Las rocas de la superficie contienen muchos minerales y elementos químicos que pasan, a través de las aguas y el aire, a los suelos, a los cultivos, animales y al ser humano siguiendo la cadena alimenticia. Muchos de los gases y del polvo contenido en la atmósfera tienen un origen geológico.

La presencia de elementos nocivos o ausencia de elementos fundamentales para nuestra salud debe ser identificada por los científicos de las Ciencias de la Tierra.

Cuando identificamos altos y bajos geoquímicos en los suelos, sedimentos o agua, podemos estar ante un potencial riesgo para la salud.

La presencia de altos niveles de arsénico en el agua de uso humano es un serio problema para muchos millones de personas. Es necesario conocer la fuente del arsénico y su movilización que contamina los acuíferos. El bajo contenido en selenio es el causante de la enfermedad de Keshan (cardiomiopatía endémica) que degenera el músculo del corazón, o la enfermedad de Keshan-Beck (osificación excesiva de los huesos). La presencia de carbón (lignito) en las aguas es la responsable de una enfermedad irreversible: la Nefropatía endémica. El flúor es necesario en nuestro organismo y su falta provoca caries dentales e incluso puede afectar a nuestro esqueleto.

El polvo en suspensión es uno de los grandes problemas de salud. El vulcanismo aporta directamente a la superficie elementos procedentes del interior profundo de la Tierra. Introduce nuevos elementos en el medio ambiente y puede incrementar la toxicidad en la cadena alimenticia. Las tormentas de arena del Sahara llegan a los Alpes. El polvo movilizado en Asia llega a las costas Californianas en pocas semanas. El polvo proviene, en gran parte, de la removilización de sedimentos finos y volcanes. Provoca cambios en el balance energético de la radiación solar, transporta bacterias nocivas, reduce la calidad del aire.

4.- CAMBIO CLIMÁTICO: EL REGISTRO DE PIEDRA.

Los cambios climáticos que tuvieron lugar, a lo largo de la historia de la Tierra, están registrados en las rocas y en los sedimentos.

A lo largo de los 4.600 millones de años de su historia, la Tierra ha sufrido diversos episodios de glaciación y de efecto invernadero. En los dos últimos millones de años ha habido diversos episodios de expansión del hielo. El último máximo glaciar, hace 21000 años cubrió Norteamérica y el Norte de Europa.

Estudios recientes en fondo marino, en hielo, en el polvo y en los suelos fósiles muestran que todos estos eventos fueron simultáneos en toda la Tierra, y fueron atribuidos a variaciones en la órbita solar.

Investigaciones recientes muestran variaciones en lapsos de tiempo cortos (100 a 1000 años). Éstas no pueden interpretarse debidas a variaciones orbitales. Debemos investigar su relación con otros procesos del sistema de la Tierra.

El factor humano influye en la disminución de la biodiversidad y en la química de la atmósfera y en la superficie de la Tierra.

Los cambios climáticos en el pasado, junto a otros factores, llevaron al colapso a antiguas civilizaciones. A lo largo del Holoceno los pueblos han luchado contra las inundaciones, y han emigrado a causa de las sequías. En la actualidad, la combinación entre variaciones climáticas y la presión ejercida sobre el suelo para uso agrícola han llevado a la desertización en algunas regiones del globo.

La investigación en variaciones paleoambientales recientes puede ayudar a predecir hacia dónde puede evolucionar el clima del inmediato futuro.

5.- RECURSOS NATURALES: HACIA UN USO SOSTENIBLE.

Casi todo lo que construimos y casi toda la energía que usamos, proviene de la Tierra. La sociedad moderna es cada vez más dependiente de minerales, rocas y energías fósiles.

Estos recursos no son renovables, su disponibilidad depende de costes de producción y de distribución geográfica. Sólo el conocimiento de estos recursos, a nuestro alcance, es la única solución posible para su aprovechamiento sostenible en el futuro.

El incremento de la demanda requiere una exploración continuada para desarrollar nuevos yacimientos aún no conocidos. Las nuevas explotaciones deberán prevenir que su explotación sea sostenible.

Deberán tener en cuenta la economía, la distribución y las consecuencias medioambientales.

El carbón es un recurso no renovable. Las explotaciones y las escombreras dejan una huella importante en el paisaje, a la vez que son un potencial peligro contaminante.

Los hidrocarburos son la principal fuente energética, pero sus reservas son limitadas. En su

desarrollo industrial se desaprovechan grandes cantidades de gas metano. El desarrollo de nuevas técnicas de investigación y prospección en geología han puesto en valor muchos yacimientos no considerados anteriormente.

La extracción de recursos naturales requiere un claro en-

fo- que hacia su desarrollo sostenible que incluye aspectos económicos, medioambientales, sociales y culturales.

Estos recursos incluyen: generación de energía: petróleo, gas, carbón, uranio, thorio, energía geotérmica, eólica y solar. Hidratos de metano. Minerales metálicos: cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, tung-



teno zinc, plomo, oro, plata, estaño, platino, y paladio. Industrias minerales especiales: rocas industriales, cementos, tierras raras, diamantes. Agua: tanto superficial como subterránea.

El Patrimonio Geológico debe considerarse como un recurso social y de alto valor cultural de la historia de nuestro Planeta.

6.- MEGACIUDADES: NUESTRO FUTURO URBANO GLOBAL.

En 1950 vivía en las ciudades el 30% de la población. En el año 2000 era el 47%. En 2007 es mas de la mitad de la población mundial: más de 3000 millones.

Para el año 2030 podría superar el 60% Para el año 2015 las previsiones científicas calculan unas 60 megaciudades (de más de 5 millones de habitantes), que albergarán mas de 600 millones de personas.

Las grandes ciudades son grandes consumidoras de recursos naturales, son un pozo sin fondo en demanda de materiales de construcción.

Para su funcionamiento urbano, social, industrial y familiar requieren ingentes cantidades de agua y de energía. Suministrar todo el abastecimiento necesario necesita de una gran labor de previsión y estudio de los recursos.

El conocimiento exhaustivo del subsuelo se revela como clave en la seguridad. Tanto en la construcción de edificios como vías subterráneas. El conocimiento de las condiciones y de los riesgos geoambientales es fundamental para asegurar su seguridad y subsistencia.

7.- TIERRA PROFUNDA: DESDE LA CORTEZA HASTA EL NÚCLEO.

En los últimos 35 años la geología ha evolucionado rápidamente y, ahora, somos capaces de

generar modelos científicos que pueden ayudar a reconstruir el pasado y a pronosticar el futuro de los procesos de la Tierra. Esto incluye el pronóstico del futuro comportamiento de los sistemas geológicos y, también, la predicción de futuros modelos geológicos.

La estructura y los procesos de la Tierra profunda pueden parecer alejados de lo que cada día nos afecta, pero ambos tienen relevancia para las necesidades de la humanidad, como son: el abastecimiento de agua, la explotación de recursos minerales y fósiles, la protección contra riesgos naturales y el control en la degradación del medioambiente.

Desde la Geología se plantean dos cuestiones fundamentales:

- ¿Cómo podemos entender mejor la transferencia de masa en la superficie y su realimentación con el reciclado en profundidad?
- ¿Cómo podemos aumentar el conocimiento y comprensión de los procesos de la Tierra para adelantarnos en nuestras predicciones?

La información actual de la estructura por debajo de la superficie, y en el interior a distintas escalas, es la llave para una sólida geología. La observación de procesos activos, y de aquellos que han dejado recientemente de serlo, contribuye al mejor conocimiento de éstos y permite la interpretación pasada y ayuda a la predicción.

La predicción del comportamiento de los sistemas geológicos requiere dos cosas: conocimiento global del proceso y alta calidad de los datos.

El progreso cuantitativo de la predicción vendrá de la confrontación entre modelos o hipótesis y de las observaciones y cuantificación de las mismas. Estas interacciones son necesarias para el desarrollo de nuevos modelos conceptuales.

“El suelo es el soporte de la vida humana y del bienestar. Proporciona el sustento de las raíces y aloja el agua necesaria para la vida de las plantas. Sin el suelo, el paisaje de la Tierra sería como el de Marte.”

8.- LOS OCÉANOS: LOS ABISMOS DEL TIEMPO.

Los océanos comenzaron a estudiarse hace escasamente 200 años. En la segunda mitad del siglo XX se incrementa su conocimiento y éste se revela como la base para la nueva geología.

Los océanos albergan en los fondos y suelos oceánicos la clave de la dinámica de la Tierra. La energía interna de la Tierra es la responsable de la creación y movimiento del suelo oceánico. La expansión del fondo oceánico es la base de la Deriva continental y de la Tectónica de placas, paradigma actual de la Geología.

Queda mucho por investigar:

- Uso del océano en beneficio de la humanidad y del medio ambiente.
- Mitigación de desastres en los márgenes (alrededor del 21% de la población del mundo, 1147 millones de personas, vive a menos de 30 Km de la costa.
- En los sedimentos de los fondos marinos se halla el registro del clima de los últimos 200 m.a.

Existen muchas preguntas por contestar. Estas dos cuestiones pueden ser claves:

- ¿Cómo interaccionan litosfera, hidrosfera y biosfera en las dorsales y qué papel tuvieron estas relaciones en el origen de la vida en la Tierra?

- ¿Qué procesos afectan a la formación y evolución de los márgenes continentales y qué beneficios y amenazas presentan estos márgenes para el género humano?

El océano alberga 60000 Km de dorsales mediooceánicas, en un enorme sistema volcánico. Salvo en Islandia, en donde afloran en superficie, están a profundidades entre 2 y 4 Km.

Aquí surgen las erupciones de rocas fundidas, magma generado a profundidades entre 20 y 80 Km. En estos fondos oceánicos, entre emanaciones calientes y tóxicas en ausencia de luz, prosperan multitud de seres vivos. ¿Qué papel juega la actividad volcánica en la producción de depósitos minerales, en el control de la composición química del océano, en la cadena alimenticia de las profundidades y en el origen de la vida?.

Los márgenes continentales acumulan sedimentos que son, potencialmente, fuente de recursos como petróleo y gas y albergan diversidad biológica. Presentan riesgos potenciales como deslizamientos que pueden desencadenar tsunamis que afecten a las comunidades costeras. Los márgenes continentales reciben los residuos de la actividad humana que tienen efectos en los procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan en estas zonas más someras del océano.

Los márgenes de subducción están sometidos a riesgos volcánicos, terremotos y tsunamis que tienen, igualmente, efectos devastadores sobre las costas y sus habitantes.

9.- EL SUELO: LA VIDA EN LA PIEL DE LA TIERRA.

El suelo es el soporte de la vida humana y del bienestar. Proporciona el sustento de las raíces y aloja el agua necesaria para la vida de las plantas. Sin el suelo el paisaje de la Tierra sería como el de Marte.

Es el habitat de miríadas de microorganismos encargados de realizar transformaciones bioquímicas, desde fijar el Nitrógeno atmosférico a descomponer la materia orgánica. Alberga muchos animales microscópicos y otros como gusanos hormigas y termitas. La mayor parte de la biodiversidad vive en el suelo no sobre él. El suelo se forma como resultado de la interacción entre roca madre, clima, relieve y seres vivos a lo largo del tiempo, y así fue descrito hace 125 años por el edafólogo ruso Vasily Dokuchaev. En el paisaje y en el suelo hay que introducir al ser humano como parte de esa ecuación, con su capacidad de modificarla, regando, mejorando, desecando, fertilizando o estropeando.

Nuestra preocupación debe ser la de incrementar el conocimiento del suelo y de la interacción de todos los factores para conseguir una explotación del suelo que produzca beneficios para la sociedad de manera sostenible, esto es, manteniendo el equilibrio con el medioambiente.



10.- TIERRA Y VIDA: LOS ORÍGENES DE LA BIODIVERSIDAD.

La vida actual sobre la Tierra, el origen de toda la biodiversidad, es el resultado de la evolución geológica a través de 4500 millones de años. Desde la aparición de la vida, hace 4200 millones de años, pero sobre todo desde hace 2700 millones de años. la interrelación entre seres vivos, atmósfera, océanos y litosfera ha sido constante.

La historia de los seres vivos es una larga historia de 4200 m.a. desde que aparecieran las primeras bacterias.

- 2700 m.a. para las cianobacterias más antiguas productoras de oxígeno.

- 2000 m.a. para atmósfera oxigénica.
- 600 m.a. para primeros restos de seres pluricelulares.
- 542 m.a. Explosión de vida cámbrica en medio acuático.
- 440 m.a. al final del Ordovícico con la aparición de los primeros peces acorazados.
- La conquista de tierra firme, primero las plantas, luego escorpiones y miriápodos y los primeros anfibios al final del Devónico (360m.a.).
- La aparición de los insectos y las plantas vasculares en el Carbonífero (330 m.a.).
- Y los tetrápodos y coníferas en el Pérmico (270 m.a).

- Las extinciones masivas de finales del Pérmico con la desaparición del 90% de especies marinas y 70% de especies terrestres, y del Cretácico que alcanzó a un 65%, inducen importantes renovaciones faunísticas.
- Las importantes radiaciones adaptativas y evolutivas durante el Mesozoico comprende a los dinosaurios y a los cefalópodos.
- Las del Cenozoico incluye mamíferos y gimnospermas.

La biodiversidad actual es el resultado de una larga historia evolutiva de los seres vivos íntimamente relacionada con el planeta dinámico que los sustenta.

El estudio de todas las variables que han hecho posible la vida y la biodiversidad actuales a través del registro sedimentario, debe ser la clave para su mantenimiento actual y futuro.

LAS CIENCIAS DE LA TIERRA: LA LLAVE DE LA SOSTENIBILIDAD.

Los geólogos han desenmarañado muchos de los secretos de la Tierra y han hecho grandes progresos para llegar a entender su funcionamiento.

Toda esta información no esta siendo, a menudo, utilizada correctamente. Frecuentemente se construye en sitios equivocados y se extraen recursos de manera insostenible. Sin embargo somos capaces de pronosticar todos estos tipos de riesgos geológicos con precisión.

La comunidad neocientífica actual constituye una importante base de datos sobre la historia, evolución y tendencias futuras de la dinámica terrestre. Está preparada para ayudar a construir un futuro mas seguro, saludable y sostenible y un medio ambiente mejor para todos, siempre y cuando los responsables de la toma de decisiones y la sociedad, en último término, la escuchen.

En 1830 Charles Lyell, uno de los padres de la geología, resumió así el Principio del Actualismo: "El conocimiento de los procesos actuales es la llave para conocer los procesos del pasado"

Ahora en 2008 el lema del Año Internacional del Planeta Tierra: "Ciencias de la Tierra para la Sociedad" puede leerse como: "El conocimiento de los procesos del pasado es la llave para conocer los procesos futuros y poder planificar un desarrollo sostenible".

"El conocimiento de los procesos del pasado es la llave para conocer los procesos futuros y poder planificar un desarrollo sostenible."

Día de la Tierra en la Facultad de Ciencias

Por José Luis Simón

La Asamblea General de Naciones Unidas, a iniciativa de la UNESCO y de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), proclamó 2008 Año Internacional del Planeta Tierra. Bajo el lema 'Ciencias de la Tierra para la Sociedad', esta iniciativa trata de advertir de la todavía escasa percepción que la población tiene sobre la dinámica y el 'pulso' de nuestro planeta, y del insuficiente aprovechamiento que la sociedad y quienes la representan hacen del conocimiento científico que tenemos sobre él.

Este Año Internacional es una buena ocasión para que los científicos de la Tierra traten de sensibilizar a las nuevas generaciones sobre la situación de nuestro planeta, y ofrezcan soluciones a los problemas reales de las sociedades desarrolladas y de las que no lo están tanto. En particular, los geólogos quieren mostrar su contribución a la gestión sostenible del territorio y sus recursos, a la prevención y mitigación de las catástrofes naturales y a la seguridad de las edificaciones y obras públicas. Buscan también que el conocimiento de la dinámica y la evolución de la Tierra sea valorado como parte de la cultura que todo ciudadano debe adquirir y cultivar.

En las últimas décadas, la Geología ha ido ocupando su lugar en el ámbito

tanto académico como aplicado. Sus profesionales ejercen competencias que tiempo atrás correspondían a algunas especialidades de ingeniería, demostrando su capacidad para estudiar y resolver problemas complejos aportando una comprensión global de los mismos. Y ello, a pesar de que algunas de esas competencias (por ejemplo, alertar sobre problemas del terreno o sobre el riesgo de desastres naturales) no son siempre bien comprendidas por la sociedad.

Se ha avanzado, asimismo, en la consideración de la geología como hecho cultural, en la valoración del componente geológico del medio físico y el paisaje, y en la comprensión del registro geológico que da profundidad a nuestra perspectiva sobre la evolución biológica y sobre el desarrollo de la humanidad. La última década ha visto surgir en Europa la geología popular, fruto de la concurrencia de intereses y sensibilidades de los geólogos (que han descubierto el potencial de la divulgación científica directa sobre el terreno) y de algunos territorios rurales que han apostado por el turismo cultural y han encontrado en la geología un producto de calidad que pueden incorporar a su oferta. Las administraciones públicas han contribuido también a este movimiento, con la declaración de los denominados Puntos de Interés Geológico en muchas regiones y estados europeos, o la incorporación del concepto de geodiversidad a las legislaciones de protección del medio natural. La Red de Geoparques

Europeos es otra muestra de cómo la labor conjunta de divulgadores de la geología y gestores de desarrollo rural puede crear cultura científica y generar expectativas económicas.

El 22 de abril de 2008, el Departamento de Ciencias de la Tierra de nuestra Facultad celebró el Día de la Tierra. Los actos se iniciaron con una mesa redonda, sobre el Año Internacional del Planeta Tierra y el papel social de la Geología, en la que intervinieron los profesores Alfonso Meléndez (presidente de la Sociedad Geológica de España), Josep Gisbert y José Luis Simón. Continuaron con una conferencia del Dr. Emilio Pueyo, de la oficina del Instituto Geológico y Minero en Aragón, sobre 'El papel de la geología en el almacenamiento de CO₂ como solución provisional al calentamiento global'. Continuando con esta temática, se proyectaron por la tarde dos películas antagónicas ('Una verdad incómoda' y 'El timo del cambio climático'), a las que siguió un interesante debate en el que se puso de manifiesto la importancia de la perspectiva geológica, tanto para la comprensión de los procesos y mecanismos del cambio global como para la búsqueda de soluciones.

Durante el día se realizaron, asimismo, visitas guiadas para grupos de escolares, proyección de fotografías retrospectivas de la historia de la sección de Geología, un taller de 'reparación de dinosau-



rios' y actuaciones musicales. Fue, en suma, una jornada de celebración, reflexión y convivencia en la que nuestra Facultad se sumó a una iniciativa mundial en pos de objetivos que a todos nos conciernen.

José Luis Simón
Departamento de Ciencias de la Tierra



Las edades de la Tierra

Por Eladio Liñán, José Antonio Gámez y María Eugenia Dies

Los estudios geológicos de nuestro planeta se iniciaron en el s. XIX, pero aún hoy día se muestran insuficientes para conocer detalladamente la evolución del mismo. Se necesita todavía mucho trabajo para lograr una cronología precisa que nos permita conocer los fenómenos físicos, químicos y biológicos que operaron en la Tierra en cada momento hasta producir su faz actual.

Al igual que ocurre con la cronología histórica, el tiempo geológico se mide con diversas unidades de tiempo que no son homogéneas; es decir, no tienen todas la misma duración. La mayor de todas estas unidades es el eón, que alcanza varios miles de millones de años (a excepción del actual en que nos encontramos, que comenzó hace algo más de quinientos cuarenta millones de años). Los eones se subdividen en eras, las eras en periodos, los periodos en épocas, las épocas en edades y éstas en crones (también llamados zonas por los fósiles que contienen las capas que las representan).

EL EÓN HADEICO.

Hace al menos 4.500 millones de años (Ma), el planeta Tierra que habitamos debió de constituirse por condensación de polvo interestelar y posterior

bombardeo cósmico, como una gran bola de fuego. Al enfriarse, iría formándose una débil e inestable corteza (protocorteza) sobre la que una primitiva atmósfera, con sus beneficiosas lluvias, produciría zonas húmedas permanentes donde pudieran tener lugar fenómenos de condensación y reacciones químicas. Nada sabemos de este tiempo sobre la Tierra porque las rocas más antiguas que conocemos son posteriores a él, de unos 4.000 Ma. de antigüedad, lo que indica que esta protocorteza no se conservó. Los únicos datos del Hadeico son los deducidos a partir del estudio de rocas lunares, con una antigüedad de unos 4.200 Ma.

EL PRECÁMBRICO.

Este intervalo de tiempo –de nombre informal– anterior al Cámbrico comprende dos eones: el Eón Arcaico (de -3.800 a -2.500 Ma) y el Eón Proterozoico. Este último empezó hace 2.500 millones de años y duró hasta hace 542 Ma, cuando comenzó nuestro Eón Fanerozoico.

Los datos geológicos nos indican que, durante el tiempo del Eón Arcaico, ya existían rocas solidificadas y que los organismos serían primitivas bacterias, puesto que se ha encontrado materia orgánica producida por arqueobacterias en rocas de Groenlandia de una edad de 3.800 Ma. Ello apunta a que la vida habría aparecido antes. Formas de arqueobacterias y estructuras construidas por ellas y llamadas estromatolitos aparecen en varios puntos del planeta hace 3.500 Ma.

En el Eón Proterozoico (literalmente, el de la vida animal primitiva)

se registran ya fósiles constituidos por una nueva célula llamada célula eucariota. Parece lo más probable que la sencilla célula bacteriana diera lugar, por simbiosis entre dos bacterias diferentes, a una nueva célula con un núcleo central al abrigo de una membrana. La emergencia de esta nueva célula eucariota debió de tener lugar hace 2.700 Ma, a tenor de la presencia de esteroides en rocas de esta edad y, por lo tanto, antes del inicio del Eón Proterozoico donde se desarrolla y evoluciona. La célula eucariota va a permitir que nuevas formas de vida florezcan en contacto con una atmósfera cada vez más rica en oxígeno, gas que en exceso es venenoso, pero que permitió a estas nuevas células su utilización como una nueva fuente de energía.

La unión íntima de células eucariotas dará lugar a los primeros animales hace al menos 1.000 Ma, que se diversificarán en la biota de Ediacara hacia los 600 Ma. Al final del Precámbrico, todos los continentes se encontraban reunidos en uno solo.

EL EÓN FANEROZOICO.

Su nombre significa "eón de la vida animal visible". Es llamado así porque los estratos de la corteza depositados en este tiempo geológico



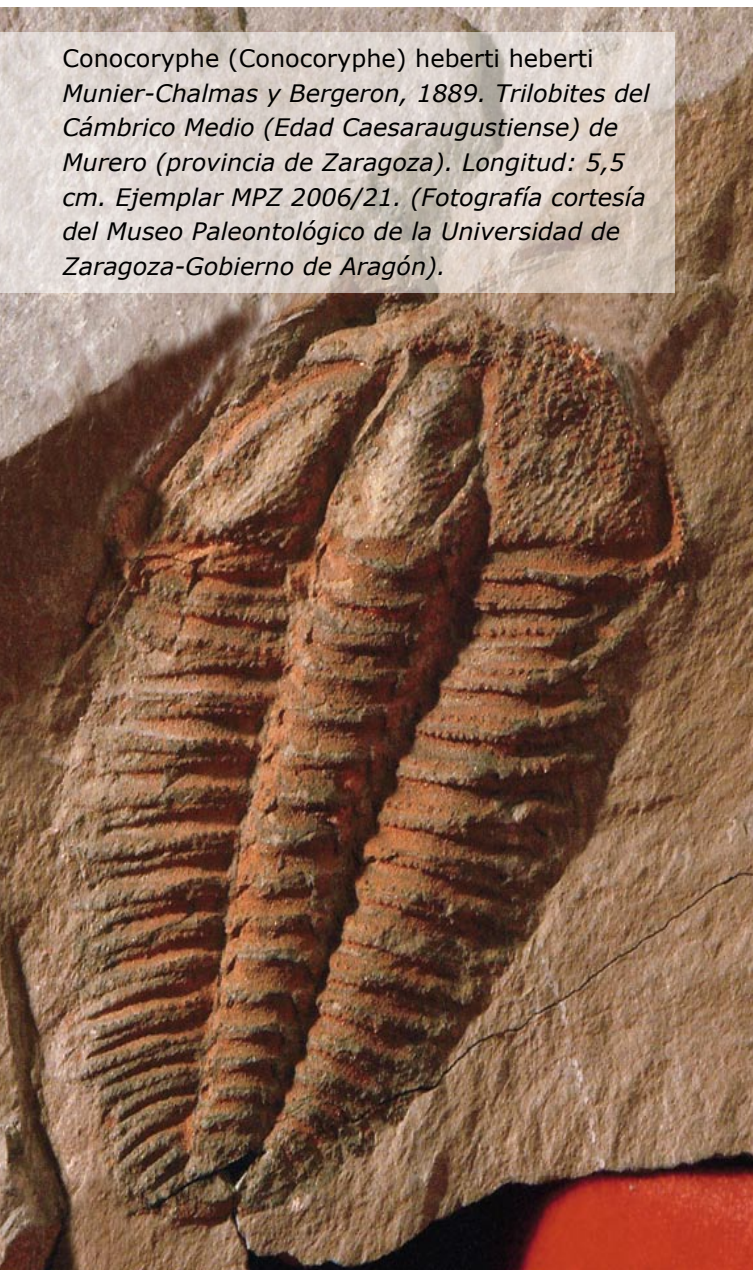
Paisaje hipotético de la Tierra durante el Eón Arcaico. En primer término, estromatolitos.

Las edades de la Tierra

aparecen poblados de fósiles que recuerdan a los animales que componen la biosfera actual (capa de vida que envuelve la Tierra).

Al final del Precámbrico había tenido lugar el inicio del proceso de biomineralización; un proceso por el cual los organismos son capaces genéticamente de sintetizar sustancias minerales para formar un esqueleto. Este proceso seguramente vino acompañado de un cambio químico en las aguas de los mares. Las ventajas sugeridas para los organismos portadores de un esqueleto fueron la protección frente a los depredadores y los rayos ultravioleta (en una atmósfera donde la capa de ozono no era aún densa) y el poseer un soporte para nuevos sistemas musculares.

Conocoryphe (Conocoryphe) heberti heberti Munier-Chalmas y Bergeron, 1889. Trilobites del Cámbrico Medio (Edad Caesaraugustense) de Murero (provincia de Zaragoza). Longitud: 5,5 cm. Ejemplar MPZ 2006/21. (Fotografía cortesía del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza-Gobierno de Aragón).



LA ERA PALEOZOICA.

La Era Paleozoica o Primaria se divide en seis periodos y comienza con el Periodo Cámbrico (comprendido entre -542 y -488 millones de años). Ahora el gran continente precámbrico se ha roto y ya hay varios continentes, siendo Gondwana uno de los más grandes. Éste es el momento en el que se da el mayor episodio de radiación evolutiva de la historia de la vida: la Explosión Cámbrica. Los seres vivos han evolucionado mucho más, son más complejos y hay muchos más tipos de animales y plantas.

Este gran cambio viene marcado por la generalización del proceso de biomineralización. Por supuesto, no todos los animales adquirieron partes duras, ya que muchos siguieron llevando una vida más discreta, de los que sólo sabemos por los vestigios que dejaron: las pistas fósiles.

De entre todos los animales del Cámbrico destacan los trilobites. Pertenecen al gran grupo (filo) de los artrópodos (animales con su cuerpo dividido en partes que se articulan entre sí) y fueron muy abundantes durante toda la Era Paleozoica, razón por la que se habla de ellos como "los reyes del Paleozoico". La forma de los trilobites es muy típica y deben a ella su nombre (cuerpo dividido en tres partes o lóbulos, una central y dos laterales).

Otros artrópodos presentes son los ostrácos, pero éstos, a diferencia de los trilobites, presentan dos valvas dentro de las que vive el animal. Pero en el reino de los trilobites cámbricos también había otros seres vivos. Así, por ejemplo, las algas eran ya más sofisticadas que las existentes en el Precámbrico, con formas que podían ir de simples filamentos a complicadas espirales, adornando el paisaje marino.

Otros animales cámbricos son las esponjas, cuyo aspecto nada tenía que envidiar al de las algas y que se alimentaban filtrando el agua, tal y como hacen las esponjas actuales. Además,

había organismos francamente extraños como *Wiwaxia*, recubierto de largas espinas huecas, o como los hielitos, animales muy curiosos que vivían en una concha cónica cerrada con una tapadera.

Compartiendo protagonismo con los trilobites, entran en escena los primeros braquiópodos, animales que vivían dentro de conchas con dos valvas y poseían un aparato filtrador muy ingenioso para alimentarse. Dicho aparato tiene una forma típica que se ha conservado hasta los braquiópodos actuales.

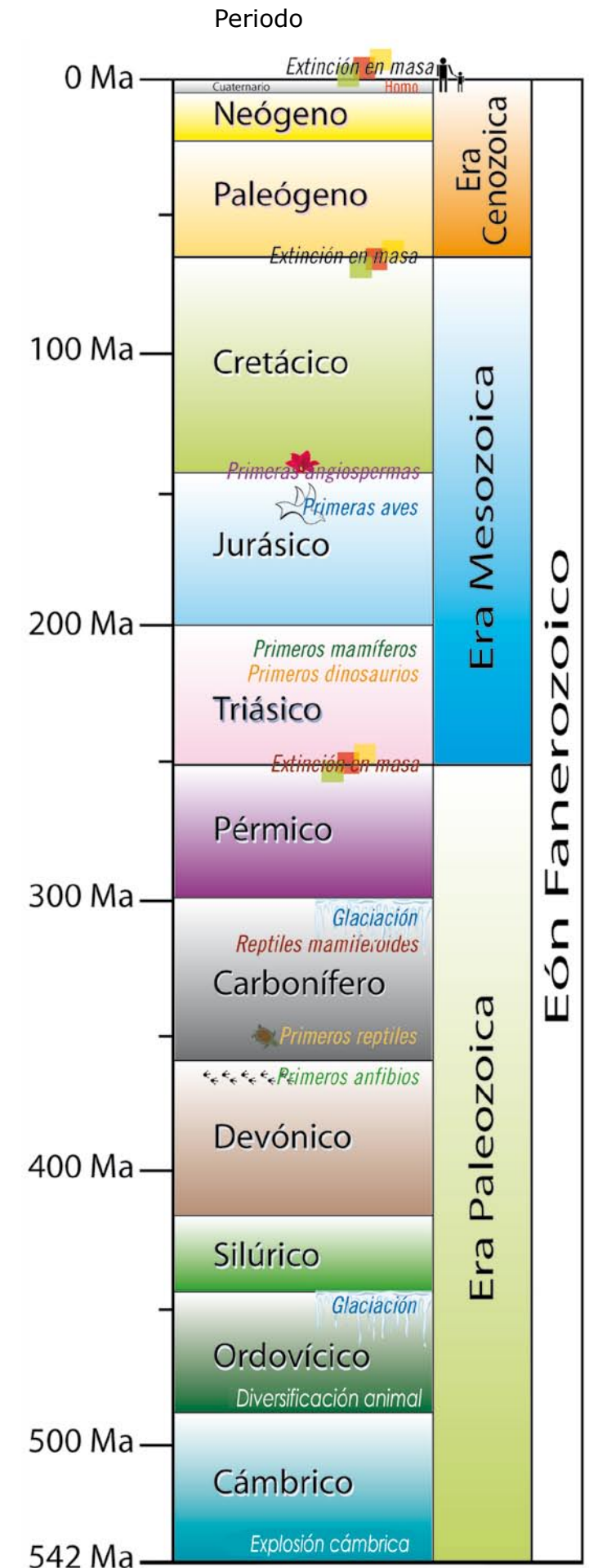
No hemos de olvidarnos de otros grupos de animales como los carpoideos, antiguos equinodermos (los actuales erizos de mar también lo son) que estaban formados por numerosas plaquitas de carbonato cálcico perfectamente ensambladas entre sí.

El Periodo Ordovícico comprende entre -488 y -444 millones de años. Durante él continúa el florecimiento de los trilobites, con formas diferentes a sus antepasados cámbricos. En muchas ocasiones producían surcos en el fondo marino al escarbar en él, formándose pistas fósiles llamadas *Cruziana*.

Pero ahora los trilobites no se mueven sólo entre braquiópodos, equinodermos, algas y esponjas, sino que existen otros animales. Así, los primeros moluscos gasterópodos (o caracoles) ya habitaban el fondo del mar en este tiempo. Y otros moluscos, los bivalvos, parecidos a simple vista a los braquiópodos, también aparecen. Su cuerpo no tiene el aparato filtrador de éstos, sino que está formado por una masa muscular de la que salen sifones que les permitirán alimentarse mediante la toma de agua, tanto si viven enterrados como si viven sobre el fondo del mar.

Por su parte, otro gran grupo o filo, el de los briozoos, aparece en el Ordovícico. Son animales de pequeño tamaño que vivían en colonias arborescentes o bien pegadas al fondo o a otros

COLUMNA DE LOS TIEMPOS GEOLÓGICOS



animales, tapizando el fondo marino a modo de praderas. Al igual que los braquiópodos, se servían de un aparato filtrador para alimentarse de las partículas suspendidas en el agua. También hacen su entrada ahora los corales, aunque son formas bastante diferentes de las que conocemos actualmente.

Los crinoideos aparecen al final del Ordovícico. Eran muy abundantes y formaban verdaderas praderas. Su forma típica los hace pasar por plantas, y de hecho hay quien los llama "lirios de mar", pero se trata de animales del grupo de los equinodermos compuestos por placas calcíticas articuladas entre sí. Su "tallo" está formado por una fila de plaquitas, con un orificio en el interior, que suelen encontrarse sueltas con mucha facilidad. Sus "brazos" les servían para atrapar el alimento que contenían las aguas en que habitaban.

"Durante el Periodo Silúrico, el clima mejoró debido a que los continentes volvieron a moverse hacia el norte y el casquete polar se descongeló."

Generalmente flotando en la columna de agua, vivían otros seres que ya no existen hoy en día, los graptolitos. Estos animales formaban colonias cuya forma se asemeja a peines. Su nombre deriva de la forma en que se conservan fosilizados, ya que suelen aparecer aplastados en rocas pizarrosas, lo que les hace parecer dibujos hechos en la roca. Las formas de los graptolitos pueden ser muy variadas, desde una simple fila de tecas (en cada una de las cuales habitaba un organismo), hasta complejas espirales.

Otro tipo de animal misterioso, que ya existía en el Periodo Ordovícico, es el portador de

unos fósiles casi microscópicos conocidos como conodontos. Probablemente eran vertebrados primitivos, quizás peces, cuyo aparato masticador estaba compuesto de estas estructuras.

Un acontecimiento muy importante fue la aparición de las primeras plantas terrestres a mediados del Ordovícico, fenómeno que, posteriormente, permitió la colonización del medio terrestre por los animales.

Al final del Ordovícico, hace 444 millones de años, los continentes se habían acercado tanto al polo sur que el clima se enfrió muchísimo produciéndose una glaciación, por lo que hubo otro gran cambio en la fauna y la flora y se extinguieron muchas especies.

Durante el Periodo Silúrico (entre los -444 y los -416 millones de años) el clima mejoró debido a que los continentes volvieron a moverse hacia el norte y el casquete polar se descongeló, por lo que el nivel del mar subió muy rápidamente. Durante este periodo abundan en los mares los graptolitos y ciertos cefalópodos. Éstos se tratan de un grupo de moluscos emparentados con los calamares, los pulpos y las sepias, pero con concha externa, recta, que vivían nadando cerca del fondo del mar cazando sus presas.

En el Periodo Devónico (de -416 a -359 millones de años) continúa un clima benigno en todo el mundo. Los trilobites y los braquiópodos son ahora mucho más vistosos. También se encuentran esponjas y unos parientes suyos que desconocemos actualmente, los estromatopóridos. Junto a los anteriores encontramos corales tabulados, gasterópodos, briozoos y crinoideos. Además hay más cefalópodos como los ortocefalídeos, con su típica concha alargada. Incluso peces acorazados como los placodermos. En tierra firme, aparecen los anfibios y las plantas son ya muy abundantes. Así, vemos cómo la vida se va haciendo cada vez más rica y diversa a lo largo de este viaje en el tiempo.

En el Periodo Carbonífero (entre -359 y -299 millones de años) abundan pequeños organismos marinos unicelulares con concha llamados foraminíferos, así como los ya conocidos conodontos. Los arrecifes de corales, estromatopóridos y briozoos siguen estando muy extendidos. En tierra se desarrollan inmensos bosques de gigantesco helechos que, con el tiempo, dieron lugar a los yacimientos de carbón más importantes que se conocen. A su sombra aparecieron los primeros reptiles y los insectos. Al final de este periodo el clima se enfrió, teniendo lugar una importante glaciación.

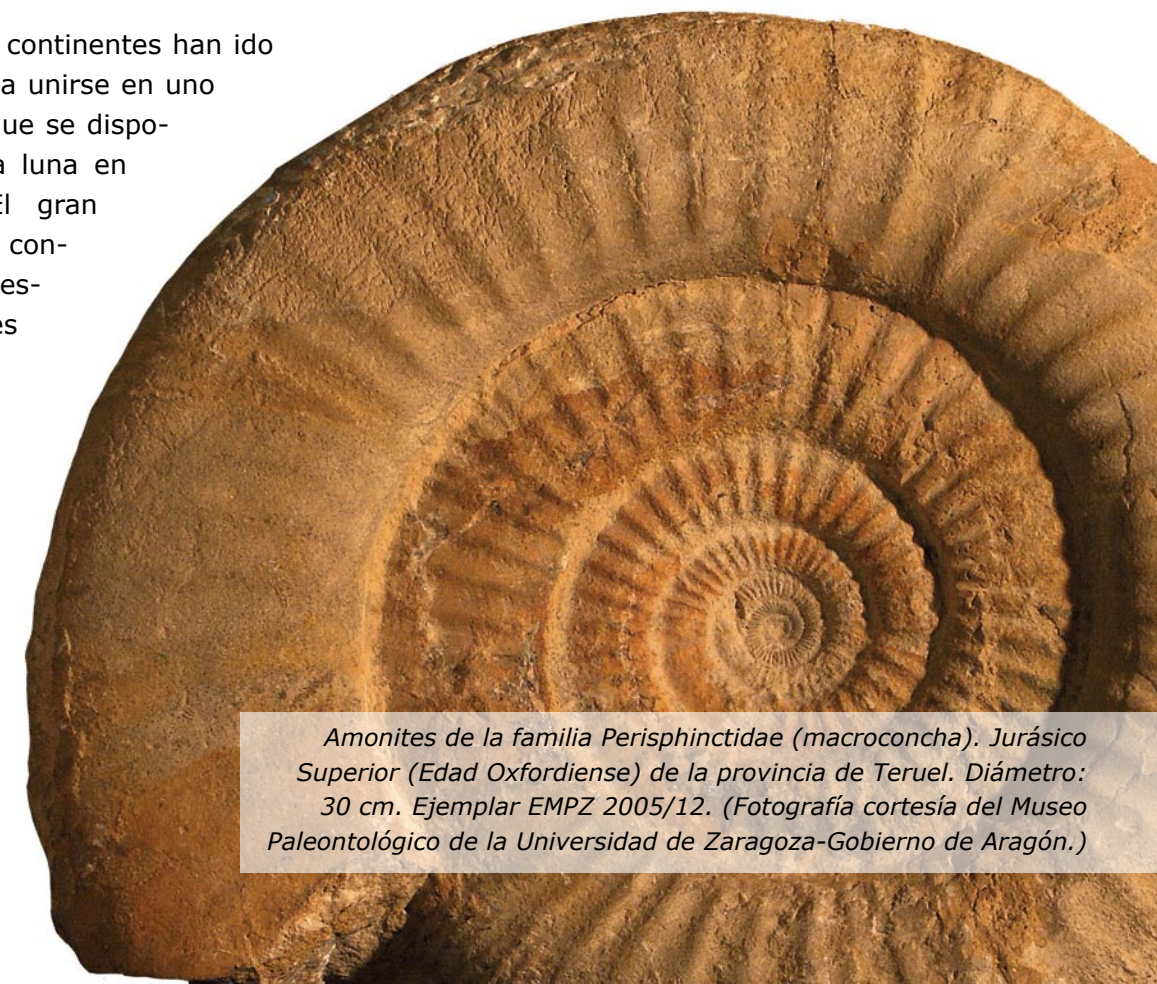
El último periodo de la Era Paleozoica se denomina Pérmico (entre los -299 y los -251 millones de años). El clima se recupera después del último episodio frío, y las plantas continúan con su gran desarrollo sobre los continentes emergidos. A su abrigo proliferan los reptiles mamíferoides, en especial los cinodontos, que aparecen al final del periodo y de los que con el tiempo evolucionarán los primeros mamíferos, nuestros ancestros.

Al final del Pérmico los continentes han ido migrando hasta volver a unirse en uno sólo llamado Pangea, que se dispone en forma de media luna en posición ecuatorial. El gran aislamiento del interior continental hizo que se desencadenaran terribles fenómenos para la vida, produciéndose la mayor extinción en la historia de la Tierra: desaparecieron más del 90% de las especies conocidas, entre ellas todas las de trilobites y corales y casi todas las de anfibios y helechos.

LA ERA MESOZOICA.

La Era Mesozoica o Secundaria se divide en tres periodos. Puede afirmarse que la Era Mesozoica es "la era de los reptiles". En ella este grupo alcanzó un enorme desarrollo evolutivo, colonizando todos los medios (terrestre, marino y aéreo) y aprovechando una infinidad de nichos ecológicos. En ocasiones es difícil encontrar huesos fósiles de estos animales en el medio terrestre, pero abundan las huellas fósiles que dejaron a su paso por zonas embarradas.

El primero de los tres periodos mesozoicos es el Triásico, comprendido entre -251 y -200 millones de años. En los mares vivían los descendientes de los gasterópodos, bivalvos y cefalópodos paleozoicos. También había corales (aunque ya no eran como los del Paleozoico, sino de tipo moderno) y organismos de cuerpo blando que nos han dejado sus pistas. Entre los vertebrados, había reptiles marinos (ictiosaurios) y peces. La vegetación continental triásica es muy



Amonites de la familia Perisphinctidae (macroconcha). Jurásico Superior (Edad Oxfordiense) de la provincia de Teruel. Diámetro: 30 cm. Ejemplar EMPZ 2005/12. (Fotografía cortesía del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza-Gobierno de Aragón.)

abundante, con plantas como los helechos, las coníferas, las equisetales y las cicadales. Es en este entorno donde aparecieron, a finales del Triásico, los primeros dinosaurios y mamíferos. En el Periodo Jurásico (de -200 a -145 millones de años) se da un gran florecimiento de la vida tanto en los océanos como en los continentes. Uno de los grupos más abundantes en los mares son los amonites, moluscos cefalópodos depredadores con concha externa, que nadaban propulsándose a chorro gracias a su sifón. Algunos tenían una "puertecita" u opérculo que les permitía esconderse dentro de sus conchas para protegerse de enemigos reptilianos como los cocodrilos marinos y los plesiosaurios.

Los belemnites eran otros moluscos cefalópodos que, al igual que los calamares o las sepias actuales, poseían esqueleto en el interior de su cuerpo. El esqueleto de los belemnites suele conservarse fosilizado y es muy fácil de reconocer por su forma de bala.

Mientras los amonites y belemnites nadaban, en los fondos marinos había también otros tipos de invertebrados como los braquiópodos, los gasterópodos, los bivalvos (que ganan terreno frente a sus competidores los braquiópodos), los crinoideos, corales solitarios y coloniales, los gusanos serpúlidos y las esponjas, así como equinodermos más evolucionados como los equinoideos o erizos de mar. Resulta curioso que las ostras aparecen ya en el Jurásico y se han mantenido sin apenas cambios hasta nuestros días, constituyendo auténticos "fósiles vivientes".

En tierra firme, el Jurásico es un momento de esplendor de los dinosaurios y los bosques de gimnospermas. Los pterosaurios (reptiles voladores) también se hacen abundantes, pero ven aparecer unos nuevos competidores: las aves.

En el Periodo Cretácico (entre -145 y -65 millones de años), en los mares abundaban

animales semejantes a los ya citados (sobre todo amonites), junto con artrópodos crustáceos y un tipo especial de bivalvos, los rudistas, que tienen forma de una copa con tapadera y vivían agrupados formando arrecifes. Éstos también podían estar formados por corales coloniales. Entre los reptiles marinos destacan los mosasaurios, grandes depredadores.

En los continentes emergidos dominan los dinosaurios, que vieron aparecer las primeras angiospermas o plantas con flores. Éstas se diversificaron muy rápidamente, desplazando a las coníferas y a las cicadales.

Al final del Cretácico tiene lugar una extinción en masa en la que desaparecen animales emblemáticos como los reptiles marinos, los amonites y los dinosaurios, entre otros muchos. Los científicos todavía discuten el papel que tuvieron en esta extinción dos eventos catastróficos, como fueron el impacto de un gran meteorito sobre la Tierra y un episodio de vulcanismo masivo en la actual India.

LA ERA CENOZOICA.

Comprende dos periodos, el Paleógeno (de -65 a -23 millones de años) y el Neógeno (de -23 millones de años hasta la actualidad). La parte más reciente del Periodo Neógeno recibe el nombre de Cuaternario (desde -1,8 millones de años hacia nuestros días).

Entre los organismos marinos cabe

destacar un tipo de fósiles unicelulares ya citados en el Periodo Carbonífero, los foraminíferos, algunos de los cuales flotaban y otros vivían sobre el fondo. Todos ellos tienen formas muy curiosas, como los numulites que parecen monedas y alcanzan gran tamaño. A su lado nadaban peces óseos, tiburones y cocodrilos. Mientras tanto, en el fondo marino florecían los bivalvos, gasterópodos, corales (que dan lugar a importantes arrecifes) y crustáceos.

En muchas partes del mundo se desarrollan paisajes parecidos a la actual sabana africana, donde pastaban grandes mamíferos antepasados de los ciervos, caballos, cerdos y elefantes (los mastodontes), intentando sortear a los carnívoros que los acechaban, como el "tigre dientes de sable".

La banquisa polar antártica se instala a partir de la Época Oligoceno y permanece aún hoy. Las fluctuaciones climáticas durante el Cuaternario se conocen en detalle, identificándose varias

glaciaciones (actualmente nos encontramos en un intervalo interglacial). En estos intervalos de clima frío vivían animales muy adaptados al mismo, como mamuts y rinocerontes lanudos. También en el Cuaternario ocurre algo muy importante para nosotros: aparecen los homínidos y la especie humana.

EPÍLOGO.

Una buena parte de los organismos que han poblado nuestro planeta han llegado hasta nosotros a través del registro fósil. Somos afortunados de poseer un patrimonio fosilífero rico, que permite hacer un seguimiento completo de la evolución de los seres vivos. Es tarea de todos ayudar a valorarlo, protegerlo y divulgarlo.

Eladio Liñán, José Antonio Gámez y
María Eugenia Dies
Área y Museo de Paleontología
linan@unizar.es, gamez@unizar.es
medies@unizar.es

"También en el Cuaternario ocurre algo muy importante para nosotros: aparecen los homínidos y la especie humana."



Zanthopsis dufouri Milne-Edwards, 1850. Cangrejo del Paleógeno (Época Eoceno) de la provincia de Huesca. Anchura del caparazón: 7 cm. Ejemplar EMPZ 2005/12. (Fotografía cortesía del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza-Gobierno de Aragón).

Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones

Por José Ignacio Canudo

Los Pirineos oscenses, hace 65 millones de años, estaban ocupados por un gran golfo del océano Atlántico que se adentraba en la Península desde el Cantábrico. En su costa tropical vivían unos grandes vertebrados que hoy conocemos como hadrosáuridos. Estos dinosaurios, así como sus parientes más cercanos, no se encuentran actualmente en la Tierra porque se han extinguido. La evolución de la vida en nuestro planeta no se puede entender sin la extinción de los organismos, en un proceso que ha funcionado desde el mismo comienzo de la vida terrestre.

La causas de la extinción, en general, y de los dinosaurios, en particular, es uno de los debates más enriquecedores de la Ciencia. Dos son las razones. Una es más científica ya que es una investigación abordada desde múltiples disciplinas y que permite colaborar a investigadores tan aparentemente alejados como un astrofísico, un químico y un paleontólogo. La segunda es más popular. Si algo pudo extinguir a unos colosos como los dinosaurios que domi-

naron la Tierra durante más de 200 millones de años, también podría hacerlo con nosotros... Las evidencias más importantes para poder estudiar la extinción de los dinosaurios son precisamente sus restos fosilizados, y mejor si son de los últimos que vivieron en la Tierra. Uno de esos lugares privilegiados, donde se pueden estudiar, son los Pirineos oscenses. Desde el año 1997, el grupo Aragosaurus de nuestra universidad viene desarrollando un proyecto de investigación que ha permitido recuperar varios cientos de huesos de hadrosaurios en los alrededores de Arén (Huesca). La excavación de sus restos no fue sencilla y rompe con la idea de un paleontólogo trabajando con un pincel. De hecho, se realizó con amoladoras y martillos pilones. Horas al sol y extracción de casi una tonelada de fragmentos de rocas con fósiles en su interior. Han sido necesarios cientos de horas de preparación con medios mecánicos y químicos (ácidos) para la separación de los fósiles de su matriz. Estos métodos se basan en la diferente composición y consistencia del hueso fósil de la roca. El esfuerzo vale la pena ya que los fósiles recuperados son, en su conjunto, una de las mejores colecciones del mundo de los últimos dinosaurios.

Precisamente, ese es el lema del Museo de Arén donde pueden verse algunos de estos huesos, y esa es la importancia de estos fósiles. Estos animales habrían vivido unos 200.000 años antes del límite (o un poco menos), esto lo conocemos gracias a los estudios magnetoestratigráficos. Como bien se conoce, la Tierra tiene en la actualidad un Polo Norte y un Polo Sur. Sin embargo, la posición relativa de estos polos ha cambiado numerosas veces a lo largo de la historia terrestre. Esta información queda reflejada en los minerales magnéticos que

“La evolución de la vida en nuestro planeta no se puede entender sin la extinción de los organismos, en un proceso que ha funcionado desde el mismo comienzo de la vida terrestre.”

tienen las rocas, de manera que conocemos cuándo la disposición de los polos era igual que en la actualidad o al contrario. En diferentes partes del mundo se ha datado, con exactitud, los instantes de los cambios de polaridad y, de esta manera, se ha podido tener una escala válida en todo el mundo. Nuestro colega, el geólogo Oriol Oms de la Universidad Autónoma de Barcelona, ha sido el encargado de realizar el estudio magnetoestratigráfico. Su estudio ha permitido situar a los fósiles de los dinosaurios de Arén en el mismo cambio de polaridad que el límite Cretácico-Terciario con una antigüedad de 65 millones de años, es decir, menos de 200.000 años del límite.

En Geología no solemos usar los millones de años para referirnos a la edad de unas rocas, sino que hablamos de periodos de tiempo. Algunos bien conocidos por las películas como es el Jurásico que forma, junto al Triásico y el Cretácico, la era Mesozoica (era en que vivieron los dinosaurios). Precisamente en el final del Cretácico es cuando se produjo la extinción de los dinosaurios. Pero ¿cómo se conoce esto?. Uno de los grandes problemas en Geología es situar, en el campo, los límites de las grandes unidades temporales, a partir de criterios que permitan correlacionarlos en diferentes partes del mundo. Una de las maneras es que suceda en la Tierra un acontecimiento instantáneo, que quede registrado en los sedimentos como un impacto extraterrestre.

José Luis Barco del grupo Aragosaurus excavando en el yacimiento de Blasi 3 (Arén, Huesca). La técnica usada no es la habitual, debido a la dureza de la roca.

Cráneo de *Tyrannosaurus rex* (final del Cretácico, Norteamérica), terópodo de los más grandes que se han descubierto. Se extinguió muy cerca del impacto meteorítico, por lo que puede considerarse uno de los "últimos dinosaurios".

Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones

Al final del Cretácico se produjo el impacto de un gran meteorito al norte de la península de Yucatán (Méjico). El violento impacto formó un enorme cráter de unos 250 Km de diámetro y de varios kilómetros de profundidad. Hoy en día, este cráter se encuentra enterrado debajo de sedimentos más modernos y no puede verse en la superficie. Los efectos locales y regionales debieron ser devastadores con la destrucción del entorno en varios miles de kilómetros. Además, la expulsión a la atmósfera de gran cantidad de polvo en suspensión y elementos contaminantes, fruto de la vaporización de las rocas, afectaron, de una u otra manera, a la mayor parte de la Tierra.

Hay numerosas evidencias encontradas especialmente en el hemisferio norte que ratifican este hecho. Se trata de concentraciones anómalas de elementos raros en la corteza terrestre como el iridio; pequeñas esferas llamadas microtectitas formadas por la solidificación de gotitas fundidas expulsadas por el impacto; microdiamantes, espinelas de níquel, cuarzo formado a gran presión, todo ello en un nivel estratigráfico de pocos centímetros de espesor. En fin, es posiblemente el impacto extraterrestre mejor documentado en la historia de la Tierra.

Pero la pregunta surge rápidamente: ¿cómo pudo afectar a la vida, especialmente a los dinosaurios?

Para comenzar a dar respuesta nos tenemos que fijar en unos organismos microscópicos con caparazón calcáreo y que forman parte del plancton marino. Los foraminíferos son muy abundantes en las rocas sedimentarias marinas, siendo muy sensibles a los cambios medioambientales. El grupo de investigación de Micropaleontología de la Universidad de Zaragoza liderado por Eustoquio Molina lle-

va más de 20 años buscando la relación entre las evidencias del impacto del límite Cretácico – Terciario con la distribución de los foraminíferos. Sus conclusiones, a partir de estudiar el límite en España, Francia, Méjico, Túnez y Cuba, son contundentes: coincidiendo el nivel geológico con las evidencias del impacto del límite Cretácico – Terciario se produce la mayor extinción de los foraminíferos planctónicos de su historia evolutiva, de hecho casi se extinguieron. Esta conclusión, por parte de nuestros colegas de Facultad, está en la línea de las teorías catastrofistas que relacionan la extinción de los dinosaurios con el impacto. Estas teorías surgen de un clásico trabajo del investigador norteamericano Álvarez y sus colaboradores publicado el año 1980, a partir del estudio de la sección de Gubbio. Esta bella ciudad del centro de Italia ha pasado a la historia por ser el primer lugar donde se relacionó una anomalía de iridio con la extinción, en masa, de los foraminíferos planctónicos del Cretácico. Con todos los respetos a estos microfósiles (de hecho el autor hizo su tesis sobre foraminíferos), el trabajo de Álvarez no hubiese tenido la trascendencia que tuvo si solo hubiera explicado su extinción. Estos investigadores fueron un poco más allá y relacionaron al impacto extraterrestre con la extinción de los dinosaurios. La polémica estaba servida y continúa hasta la actualidad entre los defensores de una muerte catastrofista

de los dinosaurios y una desaparición más gradual a lo largo del final del Cretácico.

En Gubbio, así como en los demás cortes del mundo donde se han estudiado los foraminíferos planctónicos, no hay fósiles de dinosaurios. Estos tetrápodos tenían un modo de vida terrestre y sus restos se encuentran mayoritariamente en rocas formadas en los medios continentales. Esto tiene una gran desventaja respecto a los organismos marinos. El potencial de conservación de los dinosaurios como fósiles es mucho menor, por dos razones: la primera es por ser más es-

Serie de vértebras caudales en conexión anatómica de un dinosaurio hadrosaurio del yacimiento de Blasi 3. Los fósiles se han preparado con parte de la matriz para que sea más atractiva en la exposición. Estos fósiles se encuentran depositados en el Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza. Actualmente se pueden ver en el Museo de Arén (Huesca).



casos que los marinos. La segunda es que si no se entierran rápidamente, las carcasses de los dinosaurios se destruían por las inclemencias del tiempo.

Esto se traduce en que el registro fósil de los dinosaurios del final del Cretácico sea muy escaso a nivel mundial. De hecho, sólo se han registrado sus fósiles en algunos lugares de EEUU, en la India, Rumanía y en los Pirineos. Esa es la gran importancia de los yacimientos de Arén, lo que los hace singulares a nivel mundial, como los últimos dinosaurios europeos.

Especialmente en el centro de EEUU, se ha realizado un gran esfuerzo por buscar una relación clara entre la extinción de los dinosaurios y el nivel con las evidencias de impacto. Esta relación nunca se ha encontrado.

Conjunto de flamencos fotografiados en el Zoológico de Madrid. Los flamencos, junto al resto de las aves, son los representantes de los dinosaurios, ya que un grupo de terópodos (dinosaurios carnívoros) emplumados sobrevivieron a la extinción. Son los que conocemos como las aves.



Aspecto de campo de una sección vértebra cervical de un dinosaurio hadrosaurio en el yacimiento de Blasi 3. Este es el aspecto que presentan los huesos en campo, antes de la extracción.

Dinosaurios, meteoritos, cambio climático y extinciones

Dicho de otra manera, el investigador que encuentre un esqueleto de dinosaurio coincidiendo con el nivel de impacto, pasará a la historia de la Ciencia. El argumento de los catastrofistas es que es un problema del sesgo (tafonómico) del registro fósil, por tanto no es argumento la ausencia de fósiles de dinosaurios, coincidiendo con el límite, para descartar una extinción instantánea por el impacto meteorítico.

El escenario sería sencillo: final del Cretácico (Maastrichtense) no se produce un descenso gradual de especies de dinosaurios, sino que se extinguen coincidiendo con el límite (geológicamente hablando). Sin embargo, para los gradualistas el escenario es bien diferente. Según estos investigadores, al final del Cretácico se produce una extinción gradual de las especies debido a una serie de cambios medioambientales, es decir, por un cambio climático que empieza a manifestarse antes del límite. El papel del impacto meteorítico sería un añadido más a los efectos asesinos, pero no el único y quizás tampoco el más importante.

Para entender este concepto se puede usar un ejemplo de extinción actual. El bucardo es (mejor dicho era) una subespecie de la *Capra*

hispanica que se extinguió al final del siglo pasado. El último ejemplar era una hembra que vivía en el Parque Nacional de Ordesa y murió aplastada por un abeto en el transcurso de una tormenta. Se podría decir que el bucardo se extinguió por la caída de los abetos pero, sin duda, sería atrevido ya que, en realidad, la extinción de esta especie se debió a otros factores como la fragmentación de su territorio, la caza excesiva etc. Por tanto, hay que diferenciar al agente asesino de las especies, del último factor ("efecto bucardo") que puede terminar con la vida de las últimas poblaciones de una especie. Para los gradualistas, los efectos medioambientales del impacto meteorítico podrían ser el efecto bucardo que terminó con los últimos dinosaurios, pero no sería el verdadero asesino.

Las ideas gradualistas sustentadas, además del registro fósil de dinosaurios, también tienen datos geológicos que indican un deterioro medioambiental al final del Cretácico. En ese momento se produjo un importante reajuste de las placas tectónicas que se tradujo en la modificación del nivel del mar y en el mayor episodio de emisiones volcánicas de la historia de la Tierra. Hay zonas, como en el Deccan (India), donde hay varios kilómetros de capas volcánicas.

Es fácil de comprender que la gran cantidad de elementos contaminantes emitidos a la atmósfera tuvo que afectar al clima terrestre. Términos que nos suenan muy familiares como lluvia ácida, efecto invernadero etc., pudieron producirse en relación con este vulcanismo.

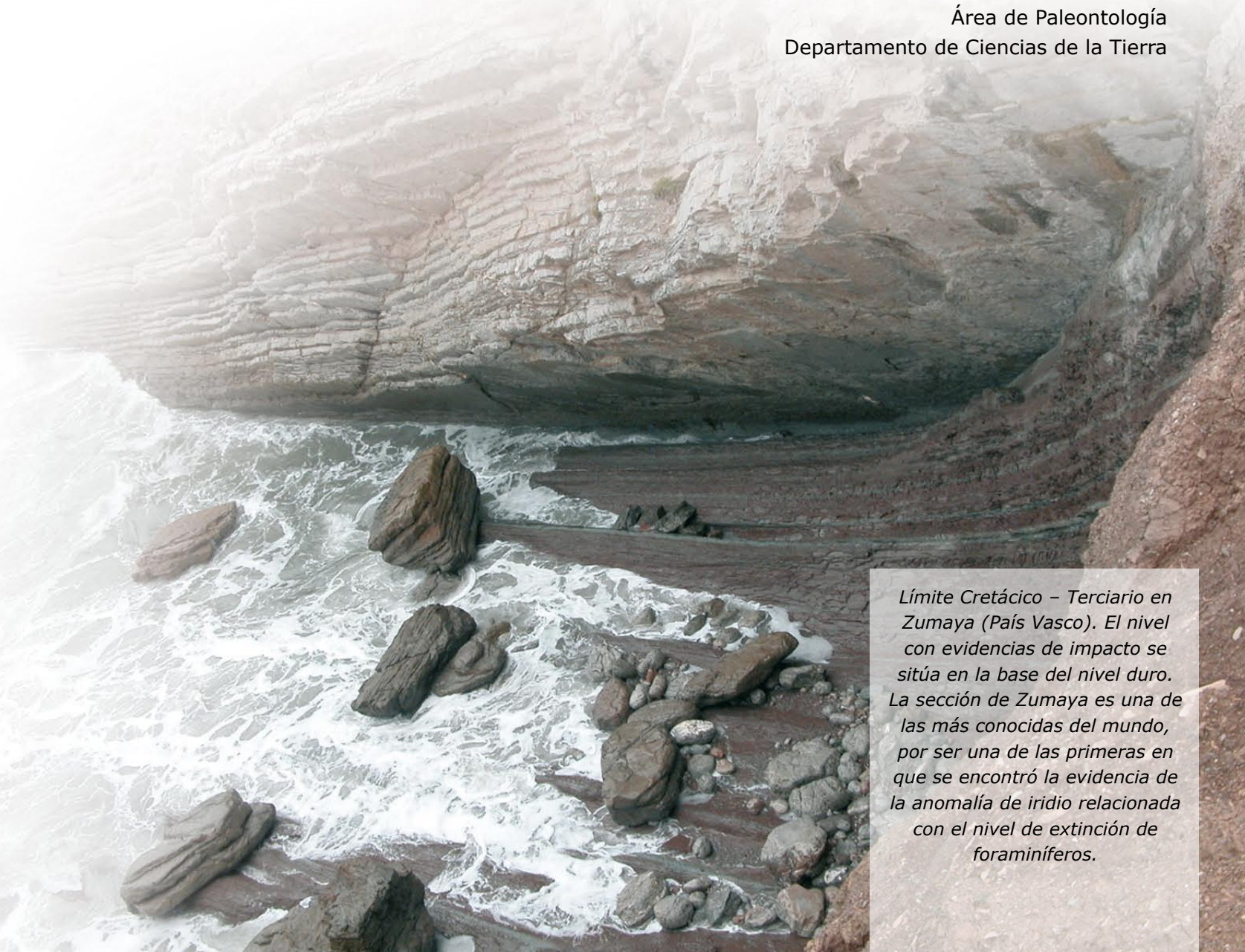
En este escenario, los dinosaurios irían extinguiéndose de una manera gradual en pocos cientos de miles de años (geológicamente casi instantáneamente). De alguna manera, el mundo de los dinosaurios, con unas condiciones climáticas tropicales en la mayor parte de la Tierra, había cambiado y terminaron por extinguir a los hadrosaurios de Arén y a la mayoría de los dinosaurios.

"Nuestros gorriones o los bellos flamencos son la evidencia viva de animales tan fantásticos como los grandes saurópodos extinguidos hace 65 millones de años."

Independientemente de cuál de las dos teorías nos parezca más correcta, no ha sido una equivocación el párrafo anterior donde se ha apuntado "la mayoría de los dinosaurios". En realidad, hubo un grupo de pequeños dinosaurios carnívoros (terópodos) que fueron capaces de sobrevivir a este conjunto de eventos encadenados. Se trata de las aves que, en realidad, son dinosaurios emplumados. La máquina de la evolución trabaja deprisa y el cambio orgánico puede producir estas paradojas. Nuestros pequeños gorriones, o los bellos flamencos, son la evidencia viva de la existencia de animales tan fantásticos como los grandes saurópodos extinguidos hace 65 millones de años. Ni el mejor escritor de ciencia ficción podría habérselo imaginado.

José Ignacio Canudo
Grupo Aragosaurus (www.aragosaurus.com)
Área de Paleontología
Departamento de Ciencias de la Tierra

"Según estos investigadores, al final del Cretácico se produce una extinción gradual de las especies debido a una serie de cambios medioambientales, es decir, por un cambio climático. El papel del impacto meteorítico sería un añadido más a los efectos asesinos, pero no el único."



Límite Cretácico - Terciario en Zumaya (País Vasco). El nivel con evidencias de impacto se sitúa en la base del nivel duro. La sección de Zumaya es una de las más conocidas del mundo, por ser una de las primeras en que se encontró la evidencia de la anomalía de iridio relacionada con el nivel de extinción de foraminíferos.

¿Os habéis preguntado alguna vez cuántas especies de hombres habitaron en la Península Ibérica antes que nosotros?, ¿cómo eran? y ¿de qué tipo de humanos se trataba?. ¿Cómo se amaban, o se temían, o se respetaban?, ¿cómo, en una palabra, se relacionaban?. ¿Podemos los científicos responder a estas cuestiones?. Y si podemos, ¿cómo?.

Cráneo de un *Homo antecessor*, el más completo del mundo, hallado en la Sima de los Huesos de Atapuerca.

Tres especies humanas: *Homo antecessor*, *Homo heidelbergensis* y *Homo neanderthalensis* vivieron en Iberia antes que la nuestra, *Homo sapiens*. Desde hace cerca de un millón y medio de años hasta hace algo menos de 30.000, las tres especies fueron sucediéndose en el tiempo. *Homo antecessor* pudo ser la especie de la que se originaron, por una parte, la línea de los neandertales y, por otra, la nuestra propia. La última en extinguirse, *Homo neanderthalensis*, coexistió con *Homo sapiens*, aunque no necesariamente tuvieron que verse, enfrentarse o amarse como tantas novelas y películas de ciencia ficción han mostrado.

El número de especies fósiles, su aparición y su extinción, las relaciones de parentesco entre ellas así como su edad (geológica) relativa y su ecología se estudian utilizando métodos morfométricos, cladísticos, bioestratigráficos y paleoecológicos; desarrollados en paleontología para reconstruir la vida y las relaciones de parentesco de los organismos del pasado, así como su forma y aspecto aproximado cuando estuviera vivo.

Gracias a esto sí podemos responder, al menos parcialmente, a las preguntas de cómo, cuántas y durante cuánto tiempo existieron las especies humanas anteriores a nosotros, y cómo vivieron, y qué relación había entre los distintos individuos que componían la población, o la tribu, o el clan. Pero para esto necesitamos buenas secuencias estratigráficas que documenten el período de tiempo en el que existieron; así como poder estudiar la asociación de fósiles de otros organismos, animales y plantas que, unidos al contexto geológico, nos permitan reconstruir el entorno y el paisaje en el que vivieron nuestros parientes humanos más cercanos. ¿Dónde podemos tener semejante fortuna?.

Atapuerca es la llave de las salas del tesoro. El privilegio de abrir estas salas del pasado permite a los hombres del siglo XXI atisbar, en

estas cuevas, fósiles del Pleistoceno; habitadas o visitadas ocasionalmente y en distintos momentos por diferentes especies humanas. Los estudios sobre los yacimientos arqueológicos y paleontológicos de Atapuerca nos permiten conocer más sobre nuestros ancestros y responder a algunas de las cuestiones sobre su evolución y ¿también? sobre nuestro futuro.

El equipo de investigación de Atapuerca de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza se dedica, exclusivamente, a estudiar la fauna de los yacimientos de Atapuerca con un doble objetivo: conocer la edad relativa de los distintos niveles y reconstruir el paisaje y el clima en el que vivieron los seres humanos. La edad relativa consiste en situar un acontecimiento en una escala de sucesos ordenada temporalmente. Así, la antigüedad queda establecida en términos de "ocurrió antes de, y después de", pero no implica el conocimiento de la edad exacta. La reconstrucción del clima y el paisaje de Atapuerca son también relativos, generalmente están en relación con el clima y el paisaje actual (antes de la intervención humana en el neolítico).

Para hacernos una idea de la riqueza biológica de la Atapuerca del Pleistoceno, quiero resaltar que hasta ahora hemos identificado más de 100 especies de mamíferos, cerca de 30 de anfibios y reptiles y otras tantas de aves. Esta biodiversidad no es constante en todos los niveles, algunos son muy pobres, con menos de 20 especies, lo que indica un deterioro en las condiciones climáticas y en el ecosistema en general en determinados momentos de la historia de Atapuerca. Uno muy significativo es el que se produce hace unos 400.000 años, en el que el análisis de la fauna indica una disminución de las especies de mamíferos ligadas al bosque y el aumento de las especies de espacios abiertos, lo que implica un clima más seco y frío. Esta edad coincide con una mayor cantidad de yacimientos con restos de fósiles humanos en el resto de Europa. ¿Es la desaparición del bosque lo que le permite al hombre expandirse?

El hombre de Atapuerca del siglo XXI

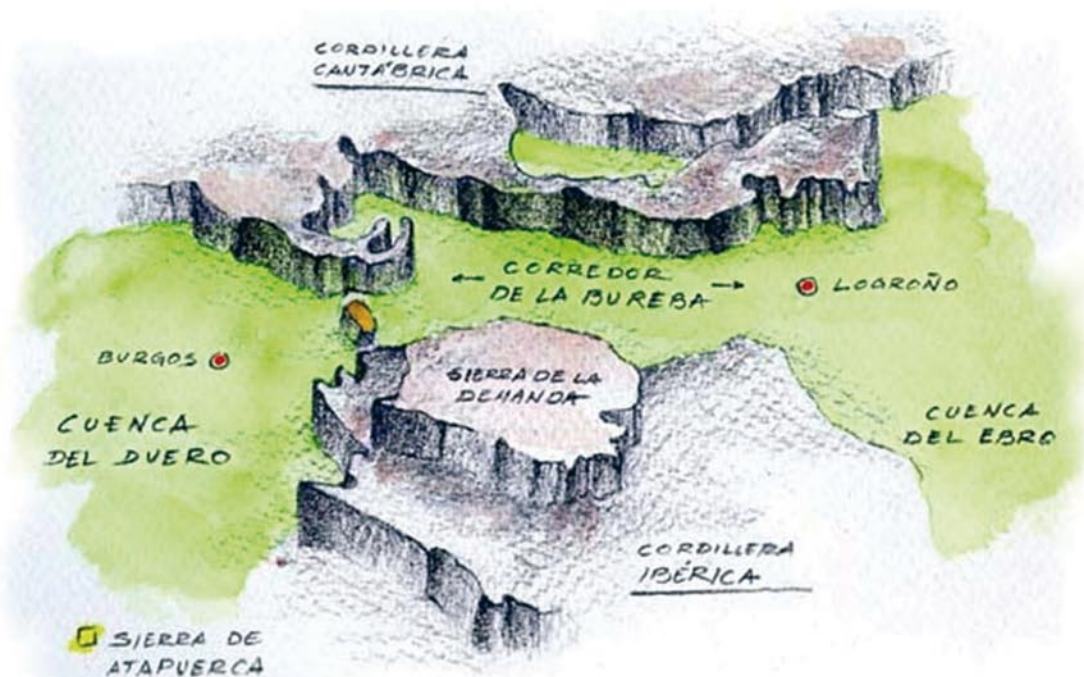
SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LOS YACIMIENTOS DE ATAPUERCA.

Atapuerca es una pequeña sierra situada al este de la ciudad de Burgos. A unos trece kilómetros en dirección Logroño, la carretera pasa por una pequeña localidad llamada Ibeas de Juarros desde la que se accede fácilmente a la sierra, por caminos de tierra. La mayoría de las cuevas se abren en su vertiente sur. La sierra está formada por calizas del Cretácico superior (el final de la era de los dinosaurios) sedimentadas en ambientes marinos.

Durante el terciario (la era de los mamíferos), la región dejó de ser marina y los sedimentos cretácicos se plegaron formando lo que conocemos ahora como cordillera Ibérica, de la cual la Sierra de Atapuerca forma una pequeña pero significativa parte: es un pequeño relieve calcáreo, de techo ahora plano (rasa) que desde el inicio del Pleistoceno (la llegada del hombre a Europa) sobresalía ligeramente en la llanura terciaria. La caliza se karstificó, probablemente, a finales del terciario y, finalmente, se abrieron al exterior las cuevas que fueron luego rellenándose paulatinamente de sedimentos, bloques que



Sierra de Atapuerca
Ciudad



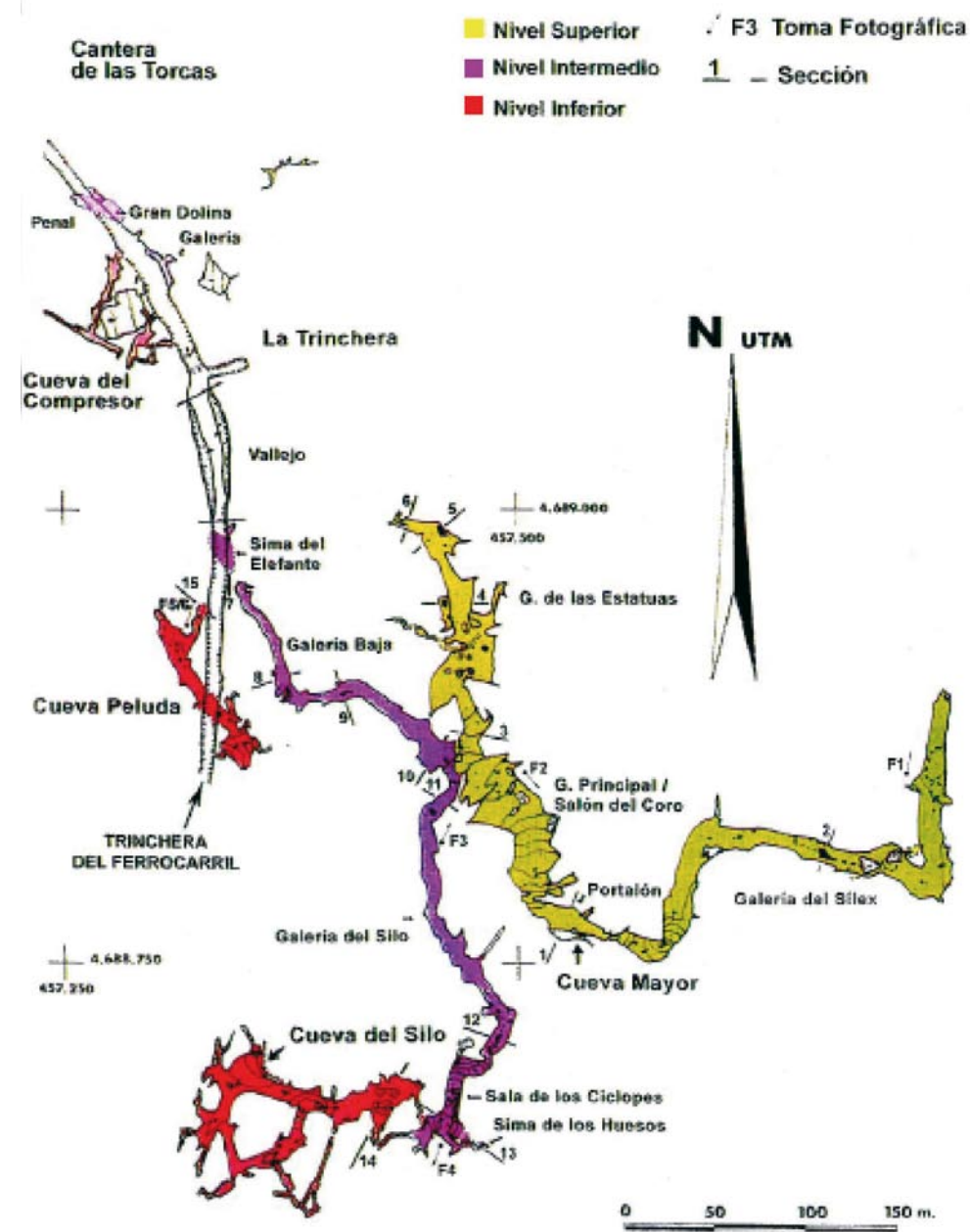
se desprendían de las paredes y el techo y esqueletos de animales arrastrados a las cuevas por los hombres y otros animales durante sus estancias en las cuevas. Los humanos abandonaban, también, sus herramientas de piedra y restos de talla en las cuevas. Así, en Atapuerca tenemos asociaciones únicas de fósiles de animales, restos arqueológicos y fósiles humanos como no hay prácticamente en ningún otro sitio del mundo.

EVOLUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y DE LOS HUMANOS QUE HABITARON EN LAS CUEVAS DEL PLEISTOCENO DE ATAPUERCA.

La bioestratigrafía nos permite ordenar el contenido fósil de los sedimentos en una sucesión temporal, en la que podemos anotar apariciones y desapariciones (o extinciones) de los animales, plantas y fósiles humanos que encontramos.

Para poder hacer esto, primero se hace un estudio geológico sobre los sedimentos que rellenan la cueva, los cuales se agrupan por estratos, dependiendo del tipo de roca que los forman así como del tamaño de grano, organización y geometría del relleno, color... Una vez definidos los estratos, se analiza el contenido fósil de cada estrato y, en algunas ocasiones, se subdivide en función de éste.

La Sierra de Atapuerca tiene dos sistemas de cuevas distintos, el llamado Cueva Mayor-Cueva del Silo donde se encuentra el yacimien-



to de la Sima de los Huesos y las Cuevas que quedaron al descubierto gracias a las obras de un ferrocarril minero construido a finales del siglo XIX, los yacimientos de la Trinchera del Ferrocarril: Gran Dolina, Galería-Zarpazos y Sima del Elefante. Por esto los niveles estra-

“Los grandes mamíferos se hallan en todos los niveles estratigráficos de los rellenos kársticos de Atapuerca: carnívoros, herbívoros, primates, y proboscídeos.”

tigráficos de estos yacimientos tienen siempre una T delante por trinchera, TD es Trinchera Dolina, TE es Trinchera Elefante, etc. Cuando unimos, en una única columna estratigráfica, los yacimientos de Atapuerca, obtenemos una magnífica secuencia evolutiva de lo que ha sucedido a la fauna, a la flora y al hombre en este último millón y medio de años.

Como vemos, en Atapuerca se registra la primera entrada del hombre, *Homo antecesor*, en Europa como indican los restos fósiles de Sima del Elefante. El primer caso de canibalismo en los fósiles humanos de *Homo antecesor* de Gran dolina, con evidencias de cortes semejantes a los de los herbívoros asociados, que indican procesos de extracción de tendones y músculos. El primer caso de un enterramiento intencionado, el de *Homo heidelbergensis* en la Sima de los Huesos, con una ofrenda asociada, una hermosa pieza de industria lítica del tipo Achelense, a la que llamamos Excalibur.

FAUNA DE GRANDES MAMÍFEROS.

Los grandes mamíferos se hallan en todos los niveles estratigráficos de los rellenos kársticos de Atapuerca: carnívoros, herbívoros, primates, y proboscídeos.

Entre los ungulados, o grandes mamíferos con pezuñas, destacan el rinoceronte *Stephanorhinus* que se encuentra en Gran Dolina, siendo pequeño en los niveles TD4-TD8. El caballo, *Equus*, es de tipo estenoniano en TD4-8 y caballino en TD10, 11.

El jabalí, *Sus scrofa*, está mal representado, sólo un premolar en TD6. El hipopótamo, *Hippopotamus amphibius*, se encuentra en TD8 y en los niveles inferiores de la Sima del Elefante (TEURI). El gamo, Dama, y el ciervo *Cervus*, se encuentran en toda la secuencia de Gran Dolina. Otro gran ciervo, el gran ciervo de astas planas, *Megaloceros*, se encuentra

únicamente en TD4 y en TEURI. Unos huesos pequeños de TD6 han sido atribuidos al corzo (*Capreolus*). Los grandes bóvidos se encuentran muy bien representados en TD7, en donde hay miembros en conexión anatómica. Éste es un nivel de arenas calcáreas en las que hay pocos restos pero que se encuentran muy completos. Los bisontes, *Bison*, se encuentran en todos los niveles de Gran dolina aunque los de la parte superior son de mayor tamaño.

El elefante (Proboscídea) está representado por un fragmento de diente decíduo o de leche en TD6 y en los niveles inferiores de la Sima del elefante.

Entre los carnívoros destaca el ancestro del oso de las cavernas, *Ursus deningeri*, que se encuentra en todos los niveles superiores de los rellenos de Atapuerca. En los niveles inferiores de Dolina y Elefante se ha definido una nueva especie de oso, *Ursus dolinensis*. Además de *Homo heidelbergensis* y *Ursus deningeri*, en la Sima de los Huesos se han encontrado, también, félidos como el león, *Panthera leo*, el linco, *Lynx pardina spelaea*, y el gato montés, *Felis silvestris*. Entre los pequeños carnívoros tenemos a la marta, *Martes*, y a un pequeño mustélido. Entre los "perros" se destaca el lobo, *Canis lupus*, el cuon *Cuon alpinus*, y el zorro, *Vulpes vulpes*. La hiena, *Crocuta*, no se encuentra en la Sima pero sí en Galería. En los niveles inferiores de la Dolina se encuentra la primera hiena de Europa.

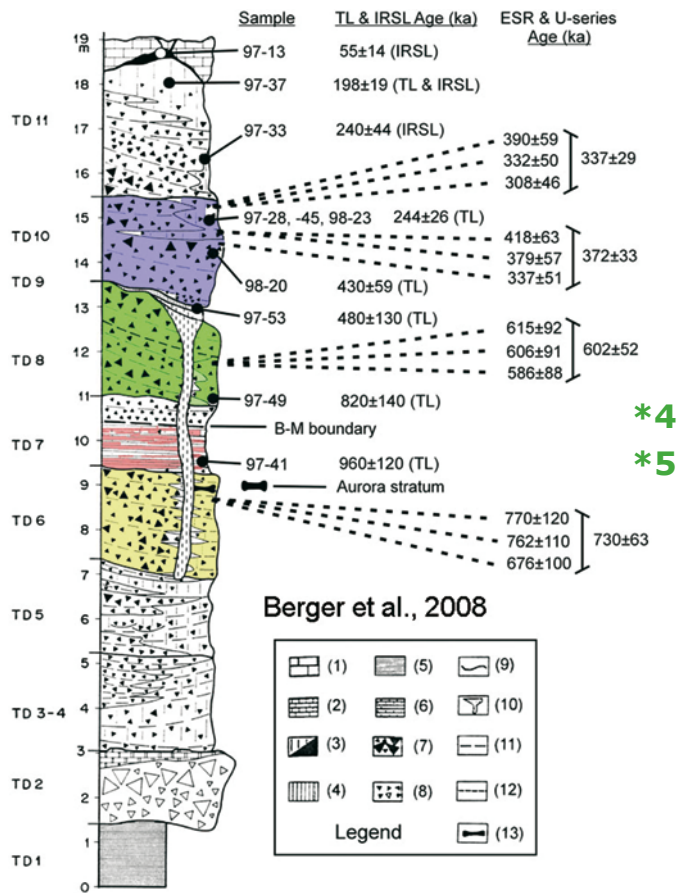
FAUNA DE PEQUEÑOS VERTEBRADOS: LA PRINCIPAL TAREA DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO DE ATAPUERCA DE ZARAGOZA.

Junto a los restos humanos y de grandes mamíferos se encuentran abundantísimos restos de vertebrados de pequeño tamaño que sólo pueden ser obtenidos mediante técnicas del lavado-tamizado de sedimentos. Por ello, estos vertebrados reciben el nombre informal de microvertebrados, ya que se estudian con microscopía

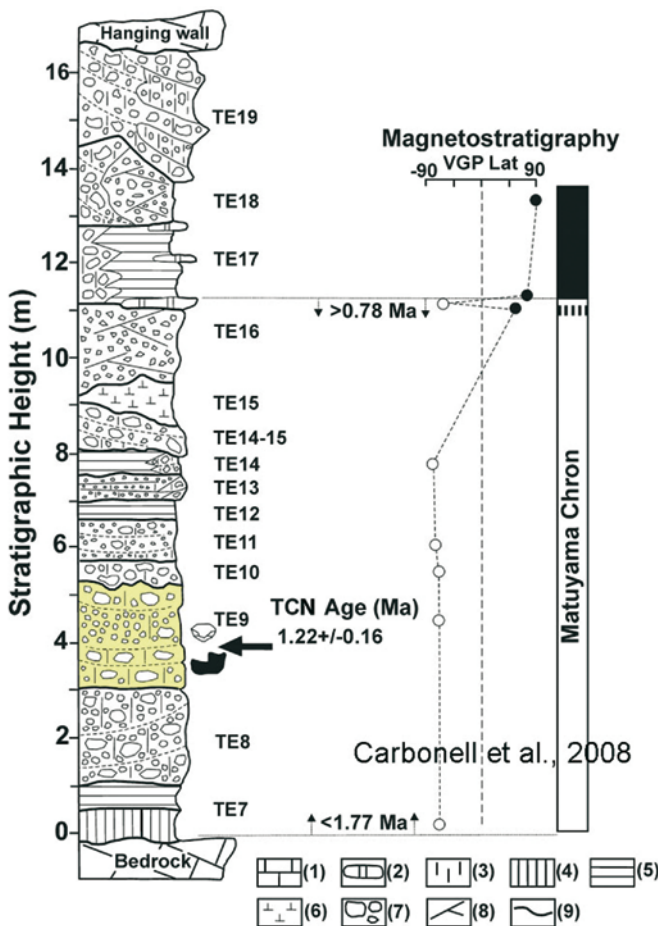
óptica y electrónica, láminas delgadas, y microfotografía. Los pequeños mamíferos son conocidos, también, como micromamíferos y, aunque es un término informal, se incluyen en él a todos los miembros de los órdenes Rodentia (ardillas, ratas, topillos, marmotas, castores, puercoespines, ratones), Insectívora (erizos, musarañas, musgaños, topos), Quiróptera (murciélagos) y Lagomorpha (conejos, liebres, pikas).

Los pequeños mamíferos son una de las herramientas más útiles a la hora de correlacionar y conocer la edad relativa de los yacimientos con restos humanos. Para obtenerlos, durante las campañas de excavación (todo el mes de Julio de cada año), el sedimento que es excavado por los paleontólogos y arqueólogos se tamiza y se lava en el cercano río Arlanzón. Esto se realiza con la ayuda de tamices de luz de malla de 0,5 mm, el más pequeño, a 2 cm, el más grande, lo que permite eliminar la arcilla estéril y concentrar los huesos. De esta forma se obtienen unos concentrados que se analizan en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. Durante la campaña de campo, se mueven y lavan, por este procedimiento, unos 2.000 kilos diarios de sedimentos, ¡unas 30 toneladas por campaña!. Los fósiles se separan en el laboratorio con la ayuda de lupas binoculares y pinzas. Los fósiles pertenecen a muy distintos grupos de vertebrados: mamíferos, aves, reptiles, peces, anfibios. A su vez se separan en huesos del esqueleto craneal y del post-craneal. Del esqueleto craneal se preparan los dientes y mandíbulas con una técnica especial que permite su estudio con el microscopio binocular. Las piezas que van a ser estudiadas con el microscopio electrónico se vuelven a lavar y se montan en materiales conductores.

PLEISTOCENO							Super	Chronología
Temprano			Medio			ATP_MIR		
FU 1	FU 2	FU 3	FU 4	FU 5	FU 6	FU 7	Unidades Faunísticas	
TELURU	TD 3-4	TD 5	TD 6a	TD 6b	TD 7	TD 8a	yacimientos & niveles	
-1.4-1.2	-0.9		0.85	0.78	0.6	0.45	Millones de años BP	
X	X						<i>Allophaiomys lavocati</i>	
X	X						<i>Allophaiomys nutiensis</i>	
X	X						<i>Allophaiomys burgondiae</i>	
X	X						<i>Ungaromys</i>	
X	X						<i>Arvicolidae nov. gen. nov. sp.</i>	
X	X						<i>Castillomys rivas</i>	
X	X						<i>Sciurus</i>	
X	X						<i>Eliomys quercinus</i>	
X	X						<i>Castor fiber</i>	
X	X						<i>Apodemus sylvaticus</i>	
X	X						<i>Allophaiomys chalinei</i>	
X	X						<i>Stenocranius gregaloides</i>	
X	X						<i>Hystrix refossa</i>	
X	X						<i>Terricola arvaldens</i>	
X	X						<i>Microtus seseae</i>	
X	X						<i>Pliomys episcopalis</i>	
X	X						<i>Miomys savini</i>	
X	X						<i>Iberomys huescarensis</i>	
X	X						<i>Marmota</i>	
X	X						<i>Allocricetus bursae</i>	
X	X						<i>Micromys minutus</i>	
X	X						<i>Microtus ratticepoides</i>	
X	X						<i>Terricola atapuerquensis</i>	
X	X						<i>Iberomys brecciensis</i>	
X	X						<i>Allocricetus corezensis</i>	
X	X						<i>Microtus arvalis</i>	
X	X						<i>Microtus agrestis</i>	
X	X						<i>Pliomys lenki</i>	
X	X						<i>Acanthion vinogradovi</i>	
X	X						<i>Arvicola sapidus</i>	
X	X						<i>Myodes</i>	
X	X						<i>Microtus oeconomus</i>	
X	X						<i>Terricola duodecimcostatus</i>	
X	X						<i>Terricola pyrenaicus</i>	
X	X						<i>Chionomys nivalis</i>	
X	X						<i>Iberomys cabreræ</i>	



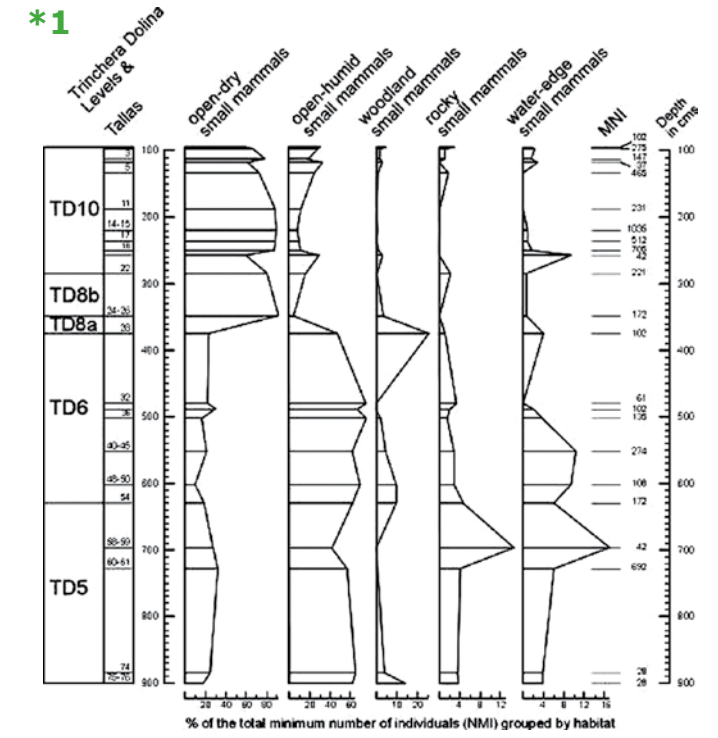
■ Niveles de Homo antecessor
 ■ Niveles de Homo heidelbergensis



Atapuerca: principales eventos de geología, paleontología y prehistoria

12-10.000	Grandes bloques indican cierre parcial de las cuevas y comienzo de la sedimentación holocena.
30.000	Campamentos al aire libre en el Valle de las Orquídeas, cerca de las cuevas.
90-70.000	Aparece <i>Homo neanderthalensis</i> , no en Atapuerca pero sí en el cercano yacimiento de Valdegoba.
350.000	El paisaje se vuelve más abierto, desaparecen los bosques y el clima en general es más frío y seco. Evidencia de gran actividad humana en la parte alta de Gran Dolina. Herramientas de tipo Musteriense. *1
500.000	Aparición de <i>Homo heidelbergensis</i> *2: lenguaje, funerales y sociedad compleja en la Sima de los Huesos. Excalibur Industria Achelense en Galería-Zarpazos. *3
600.000	Extinción de las faunas del Pleistoceno inferior: <i>Miomys savini</i> , las musarañas venenosas gigantes, <i>Homo antecessor</i>
780.000	Cambio de polaridad magnética Matuyama/Brunhes: nivel TD7 de Gran Dolina. *4
900-800.000	Primeros caníbales: los fósiles de <i>Homo antecessor</i> de Gran Dolina presentan marcas de corte. Las herramientas de piedra que utilizaron son del tipo Olduvayense. *5
1200-1400.000	<i>Homo antecessor</i> descubre Europa: primeros fósiles humanos en Sima del Elefante. *6 Herramientas tipo Olduvayense. Faunas de borde de agua, castores, nutrias, musarañas y águilas pescadoras.

*1



*2: huesos del oído del *Homo heidelbergensis*.



*3

El análisis de la microfauna se centra fundamentalmente en la morfología de la superficie oclusal de los dientes, sobre la cual se hace hasta una treintena de medidas y, en el caso de los topillos con raíces (*Mimomys*, *Pliomys*), se miden también la altura de la corona y el desarrollo de las diferentes alturas de la línea sinuosa. En el caso de los insectívoros, se estudia la región coronoides y articular. Los dientes son los elementos esqueléticos más resistentes, por lo que tienen

una conservación diferencial con respecto al resto de los elementos esqueléticos. Además, la morfología, tamaño y fórmula dentaria son caracteres exclusivos de cada especie: se pueden determinar las relaciones filogenéticas o de parentesco, así como su evolución a partir del registro de los dientes fósiles. Por ejemplo, los insectívoros y quirópteros tienen las fórmulas dentarias más completas que los roedores, con varios incisivos (los roedores sólo tienen un par superior y otro inferior y los lagomorfos dos arriba y uno abajo), caninos (roedores y lagomorfos no tienen) y premolares (bastante reducidos en la mayoría de los roedores). Además, los insectívoros y quirópteros tienen dientes agudos, con filos cortantes propios de predadores, mientras que los lagomorfos y roedores tienen las superficies oclusales planas, con una amplia superficie preparada para la molienda de los vegetales, frutos y granos que consumen.

Como herramientas de correlación, destacan los roedores como las ratas de agua (*Arvicola* y *Mimomys*) que se han utilizado para hacer una datación relativa de los fósiles humanos y correlacionar TD6 con otros yacimientos del Pleistoceno Inferior europeo (780.000 años es el límite superior del Pleistoceno Inferior y coincide con la inversión

“La morfología, tamaño y fórmula dentaria son caracteres exclusivos de cada especie: se pueden determinar las relaciones filogenéticas o de parentesco, así como su evolución, a partir del registro de los dientes fósiles.”

del campo magnético terrestre, llamada Matuyama/Brunhes).

Otros roedores importantes son los topillos (*Microtus* s.l.), los hámsters (*Allochromys*), los lirones (*Eliomys*), los ratones (*Apodemus*, *Micromys*), las marmotas (*Marmota*), los castores (*Castor*), los puercoespines (*Hystrix*).

¿CÓMO SE DATA CON MICROVERTEBRADOS?

La primera fase consiste en verificar una hipótesis de trabajo básica en bioestratigrafía con roedores: las especies de roedores evolucionan lo suficientemente rápido como para poder detectar eventos o cambios en la composición de las faunas que nos permitan reconocer zonas, o intervalos de tiempo, caracterizados por un conjunto de especies o una especie de roedor.

En el registro geológico, estas zonas se materializan en los conjuntos de niveles, estratos o unidades de una secuencia estratigráfica en los que siempre vamos a encontrar la especie, o conjunto de especies, que caracterizan a una determinada zona porque son exclusivas de ella. Así, en la Trinchera del ferrocarril sabemos que los niveles rojos de la Trinchera de Elefante se caracterizan por la presencia de *Allophaiomys lavocati* y *Ungaromys* sp., que no encontramos en los niveles de la Trinchera Dolina TD3-base de TD6 en los que, sin embargo, hay *Allophaiomys*

chalinei y *Stenocranium gregaloides*, lo que los diferencia del nivel TD8a (base) en el que hay *Microtus* cf. *oeconomus* y, asimismo, de los niveles TD8b, TD10, TD11 en los que aparecen roedores muy diferentes: *Microtus jansoni*, *Iberomys brecciensis* y otros ausentes en los niveles anteriores. Si además sabemos que TD7 tiene una edad de 780.000 años (porque en este nivel se ha detectado la inversión Matuyama/Brunhes) podemos hacer una correlación cronoestratigráfica – bioestratigráfica y utilizar los datos paleontológicos para hacer una datación relativa.

En los niveles inferiores de la Sima del Elefante encontramos una fauna tan distinta que hemos tenido que definir una nueva unidad faunística, la Atapuerca Faunal Unit 1.

LA CAMPAÑA DE 1994: LOS RESTOS HUMANOS MÁS ANTIGUOS DE EUROPA Y SU DATACIÓN.

Durante la campaña de excavaciones de 1994, se alcanzó el nivel 6. En él se encontró una pequeña muestra de restos humanos con caracteres muy primitivos en el contexto de la evolución humana en Europa. Junto a estos restos, una rica asociación de pequeños mamíferos que podía ayudar a precisar la edad de estos restos. En concreto, interesaba situar los restos humanos de TD6, con respecto a dos puntos de referencia en la cronología del cuaternario: por un lado, la edad de los primeros restos humanos conocidos en Europa hasta ese momento, con los restos de Mauer en Alemania y Boxgrove en Gran Bretaña datados con una edad máxima de 450-500 ky. Por otro, situarlos con respecto al límite Pleistoceno Inferior – Medio, definido a partir de la inversión de la polaridad magnética Matuyama/Brunhes que se produjo hace 780 ky. Para precisar la edad de los restos de TD6, con respecto a los primeros restos humanos conocidos en Europa hasta entonces, es posible recurrir a la línea evolutiva de la especie *Mimomys savini*. La desaparición definitiva de esta especie



Yacimiento encontrado en la sierra de Atapuerca, uno de los más importantes del mundo.

se produjo hace, entre 600 y 500 ky, y es sustituida, probablemente, por la especie *Arvicola cantianus* (por migración o evolución, es una discusión todavía sin resolver). Por lo tanto, la presencia de *Mimomys savini* permite, por sí sola, asignar a los restos de TD6 una edad mayor que la de los restos humanos más antiguos de Europa conocidos hasta 1994, una edad mayor de 500 ky.

El segundo punto de referencia es el límite Pleistoceno Inferior – Medio. Como hemos indicado anteriormente, este límite está definido a partir de un suceso paleomagnético, la inversión de polaridad magnética conocida como Matuyama/Brunhes (cronos 1r-1n en terminología magnetoestratigráfica). Esta inversión de la polaridad geomagnética no coincide con ningún acontecimiento biológico, como podrían ser extinciones o primeras apariciones de especies. La mayor parte de las especies de micromamíferos del final del Pleistoceno temprano traspasan este límite en su distribución temporal como, por ejemplo, *Stranska-Skala* en la república Checa, *Karlich* en Alemania, *Trincherá Dolina* niveles 6-8base en Atapuerca, Burgos. Por ello, hay que recurrir a estudios de la evolución de los caracteres de las especies de roedores que se encuentran en el intervalo del límite y utilizar, para ello, especies adecuadas. Algunas especies de arvicólidos varían poco en el tiempo (o desconocemos todavía las modificaciones producidas por la evolución) como el caso de *Pliomys*, *Microtus* y *Terricola*. En otros casos, la reducida extensión geográfica de algunas especies (los endemismos ibéricos tan interesantes en biogeografía y evolución) tampoco permiten establecer comparaciones con otros yacimientos europeos de edad bien establecida, como es el caso de *Iberomys* y *Allophaiomys chalinei* (aunque esta última especie ha sido recientemente hallada en un yacimiento del Pleistoceno temprano de Italia, *Pietralfitta*). En ambos casos, la datación radiométrica nos permitirá un instrumento de correlación con otros yacimientos ibéricos que tengan estas especies.

El caso de *Mimomys savini* es diferente. *Mimomys savini* es una especie de amplia distribución en Europa, habiendo sido citada en más de 60 yacimientos.

LA CAMPAÑA DE 2007, RESTOS HUMANOS MÁS ANTIGUOS TODAVÍA: LOS NIVELES INFERIORES DE LA SIMA DEL ELEFANTE.

Desde hacía varios años estábamos encontrando en los niveles inferiores de la Sima del Elefante restos mal conservados de industria lítica. En 2005 aparecieron los primeros fósiles de herbívoros con marcas de corte por instrumento de piedra. ¡Los humanos habían estado allí! ¡En un yacimiento cuya microfauna apuntaba a una edad muy antigua, mucho más antigua que la de Gran Dolina, cercana al millón y medio de años!.

Y el año pasado, en el 2007, se produjo el esperado descubrimiento de fósiles humanos, un diente aislado primero y un fragmento de mandíbula después, el primer europeo, *Homo antecessor* había pasado por la Sierra de Atapuerca y se sintió atraído por la laguna llena de vida y de caza que se encontraba cerca de la boca de una cueva, la que los hombres del Siglo XXI llamarían la Sima del Elefante porque unos restos fósiles de elefante se habían encontrado allí, durante las primeras campañas de prospección

de los yacimientos de la Sierra, por el profesor Emiliano Aguirre quien fue, también, durante un par de años, profesor de paleontología de vertebrados del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza.

BIBLIOGRAFÍA.

Nuestro trabajo en Atapuerca y cientos de trabajos y tesis doctorales han servido de base para escribir este pequeño artículo sobre Atapuerca. Los que quieran saber más pueden consultar las secciones de publicaciones de varias páginas web como: <http://www.aragosaurus.com/> y <http://www.atapuerca.tv/>

Gloria Cuenca
Área de Paleontología
Departamento de Ciencias de la Tierra

“ Los humanos habían estado allí!
En un yacimiento cuya microfauna era mucho más antigua que la de Gran Dolina, cercana al millón y medio de años!.”

¿Qué es la vida?

Por Rafael Usón

No lo sé. Existen varios centenares de definiciones de vida, pero el hecho de que ninguna se haya impuesto parece probar que cada una se funda en algunos aspectos parciales e insuficientes.

Puede ser que la vida que conocemos sea sólo un trozo de algo más amplio y profundo y que existan otra u otras formas de vida, por ejemplo, extraterrestre de las que no tenemos ningún conocimiento. Los intentos de la NASA por confirmar o denegar la existencia de vida en Marte no han dado resultado, quizá porque se ha hecho mediante ensayos diseñados para ver si había vida como en la Tierra y las respuestas pueden evaluarse como positivas o negativas, de modo que la cuestión sigue sin resolverse.

Otra cosa es la existencia de seres vivos. La vida de un ser vivo es el intervalo que media entre su nacimiento y su muerte, incluyendo el conjunto de actividades desarrolladas o soportadas por cada ser vivo durante este periodo. Así, los seres vivos se alimentan, eliminan residuos, crecen, se reproducen (no todos: los mulos, no) y mueren. No solamente entre especies distintas, sino entre individuos de la misma especie, existen diferencias que dan lugar a una notable diversidad de comportamientos. En las personas, estas diferencias son tanto físicas como intelectuales y mientras las primeras pueden medirse o diferenciarse con el uso de distintos parámetros, las segundas carecen de unidades de medida, lo que hace difícil cualquier comparación. Es verdad que ha habido intentos (por ejemplo, el cociente de inteligencia) pero tan burdos que su utilidad es muy escasa.

No hay una separación absoluta entre ambos tipos, sino predominio de uno u otro. Las actividades predominantemente físicas tienen su origen en que el ser humano está generalmente satisfecho de su cuerpo y quiere mostrarlo: tiene que moverse para llamar la atención y que

lo miren. Desde paseos por zonas concurridas con vestidos de categoría o desnudos atrevidos, hasta la realización de ejercicios inusuales, cuyo logro requiera de un cuerpo superior. Todo lo que sirva para que los demás se fijen en uno es bienvenido.

Y esto explica el interés que suscitan los deportes de todo tipo. Todos tienen normas que permiten decidir quién –individuo o equipo– es “mejor que los demás”. Pero el ser humano está lejos de la perfección y, por ejemplo, los mejores tenistas del mundo mandan a la red su primer saque, con desesperante frecuencia, y los mejores delanteros de fútbol rematan fuera de los tres palos la mayor parte de sus intentos de gol. Pero es igual: sólo se trata de mostrar el cuerpo ventajosamente y cualquier excusa vale. Por eso, los fallos son perdonables. Pero el que los comete, se reconcome.

En cuanto a las actividades intelectuales, todo el mundo utiliza su mente y también quiere mostrar sus productos, aunque sólo sea en forma de una carta a un periódico. Para aumentar las opciones, el conocimiento se ha dividido y subdividido en trozos cada vez más estrechos, de manera que hoy abundan los expertos en casi nada, de modo que dedicar la vida a adquirir conocimiento estrecho y participar en el desarrollo de algún aspecto es una actividad del ser humano. Y eso, a pesar de los fracasos que se producen y de las críticas, fundadas o no, que se reciben constantemente. Por ejemplo, Napoleón decía que “la música –la de su tiempo– era el menos molesto de los ruidos”. ¿Qué diría de la de ahora?

Las relaciones (amorosas, amistosas, profesionales y un largo etcétera) entre seres humanos son también fuente de satisfacción, o de frustración, y hay que acostumbrarse a vivir con ellas y disfrutar o soportar los resultados.

Así, la vida somete a los seres humanos a una tensión continua, más o menos acentuada

“No solamente entre especies distintas, sino entre individuos de la misma, existen diferencias que dan lugar a una notable diversidad de comportamientos.”

según las personas y las diferentes situaciones de la vida, pero siempre presente. Y como no parece haber solución en este mundo, muchos se han inventado otro, al que se puede llegar a través de una u otra de las religiones que se ofrecen como panacea. Es verdad que para obtener el premio se precisa aumentar voluntariamente las limitaciones de esta vida, a veces de manera extrema. Pero, en fin, quién lo haga –no todos– disfrutará para siempre de la gloria, sin embargo, como condición previa tendrá que morirse. No tiene gracia.

Rafael Usón

Departamento de Química Inorgánica
Miembro del Senatus Científico

UN PROBLEMA CIENTÍFICO

Si creemos que la Vida se originó en la Tierra espontáneamente, al poco de su formación, tras una etapa muy caliente, necesariamente abiótica, hay que descubrir y entender los procesos físico-químicos que condujeron a su aparición. Sabemos hoy, además, que, aparte de los ocho planetas de nuestro sistema solar (cuatro "terrestres" y cuatro "jovianos") en los que fuera de la Tierra la vida es poco probable (aunque la posibilidad de alguna forma presente o pasada de vida en Marte no está absolutamente excluida), existen numerosos planetas extrasolares, varios centenares, que la observación detallada los últimos doce años ha puesto en evidencia.

El origen mismo de la Vida es hoy un problema científico más, como el origen del sistema solar o el de las galaxias. El ruso Oparin propuso los primeros escenarios realísticos hacia 1924: una atmósfera reductora, coacervados proteínicos, etc. Se convocan hoy día, por ejemplo, reuniones trianuales del ISSOL (International Society for the Study of the Origin of Life), donde se discuten los avances en el campo, como cualquier otra sociedad científica (se celebró una reunión este verano 2008 en Florencia). La gran paradoja que presenta la Vida en el Universo es la coexistencia del desorden (azar, entropía grande y creciente) con el orden y el progreso biológico, de las bacterias al Hombre (F. J. Dyson). La paradoja está mitigada por el hecho de que no es la aparición de la Vida en la Tierra la única "transición de fase" tipo desorden-orden: la separación de la materia de la radiación, en el Universo primitivo, ocurrida unos 400.000 años tras el Big Bang, es otro conspicuo ejemplo.

Es, por tanto, un reto importante la indagación sobre la vida extrasolar. De hecho, diversos programas científicos están buscando señales de vida inteligente desde hace decenios; se investigan las señales

de radio que nos llegan y que podrían contener información (programas tipo SETI = Search for Extraterrestrial Intelligence, etc.). La vida inteligente en forma de "humanos", sin embargo, sería sólo una posibilidad remota, y la búsqueda de vida fuera de la Tierra debe comenzar por encontrar restos biológicos incontrovertibles. Por ejemplo, sabemos que el oxígeno de la atmósfera terrestre es de origen biológico, y que la vida en la Tierra se originó en una atmósfera anoxigénica como es, por ejemplo, la atmósfera actual de Marte. Por ello, un descubrimiento primordial sería encontrar oxígeno en abundancia en alguno de los planetas extrasolares. Ni que decir tiene que no se ha detectado nada parecido aún; sí que se ha detectado metano, por ejemplo, en algunos planetas extrasolares pero es, seguramente, de origen abiótico (ver Nature 452, 20-III-2008).

Hay otras posibles claves, empero, y, en este ensayo, vamos a recorrer algunas de ellas. La presencia de moléculas orgánicas de complejidad grande en el material interestelar sería, quizás, una indicación de vida fuera de la Tierra.

HISTORIA BIOLÓGICA DE LA TIERRA.

Vamos a proceder, por analogía, considerando las etapas que transcurrieron en la evolución de la vida sobre la Tierra, y ver si las condiciones en que esto ocurrió son verosímiles de ocurrir de nuevo en algún planeta de algún sistema solar observable. En particular nos preguntamos: ¿fueron las etapas de la evolución terrestre forzosas, o aleatorias? ¿Es inevitable que la evolución, una vez desencadenada y contando con tiempo suficiente, avoque en el Homo Sapiens? ¿Habrá Superhombres, mucho más inteligentes que nosotros (!), en algún rincón del Universo?

A grandes rasgos, describimos la historia de la vida sobre la Tierra de la siguiente manera. El Universo tiene unos 13 mil millones de

años (desde el Big Bang), el Sol unos seis mil millones, y la Tierra y los demás planetas solares se formaron de la nube protoplanetaria que acompañó a la condensación del Sol, hace unos cuatro mil quinientos millones (todo se dará en millones de años = Ma. de ahora en adelante, salvo indicación expresa de lo contrario).

Las rocas más antiguas de la Tierra (formación Isua en Groenlandia) tienen una antigüedad de unos 3800 Ma. Hay cierta evidencia, algo controvertida, de concentración isotópica en el ^{12}C , indicativa, posiblemente, de una primitiva acción fotosintética (que favorece la asimilación del ^{12}C sobre el ^{13}C). Pero los primeros restos indudables de estructuras que fueron vivas parece que son ciertos estromatolitos en Australia occidental, con una antigüedad de unos 3.550 Ma: los trabajos y descubrimiento de W. Schopf, por ejemplo. Se trata, aparentemente, de bacterias quimiotróficas, alimentadas por supuestos compuestos químicos ricos en energía y generados abióticamente (¿radicales libres?) en la atmósfera altamente reactiva y en la superficie sólida y acuosa de la Tierra.

“La presencia de moléculas orgánicas de complejidad grande en el material interestelar sería, quizás, una indicación de vida fuera de la Tierra.”

Para su origen invocamos vulcanismo, un Sol si bien más pálido que hoy día, pero con componente ultravioleta no apantallada por la ausencia de oxígeno (y por tanto de ozono), terremotos, mareas violentas, etc., son escenarios que se citan para la formación de las moléculas o biomoléculas necesarias para los primeros seres vivos. Suscribimos la hipótesis de W. Gilbert de un mundo ARN, pues esa plástica molécula reúne las condiciones

de fenotipo y genotipo necesarias para la conservación y reproducción de las formas vivientes, tal como las contemplamos hoy: la estructura terciaria del ARN con sus hairpins etc., puede producir polímeros relativamente estables frente a la hidrólisis, y las cadenas de ARN se duplican por el mecanismo de Watson y Crick (1953) de bases complementarias.

Los ingredientes bioquímicos para la vida son al menos tres: un tipo de molécula autorepro-

ductora, un mecanismo de conservación de la estructura externa (que en las células evolucionadas son las membranas lípidas) y una capacidad catalítica que, hoy en día, la tienen las enzimas proteínicas.

Creemos que el ARN puede ofrecer un panorama plausible al poder cumplir, aunque primitivamente, las tres condiciones. Las cadenas más cortas de ARN que observamos hoy tienen menos de 100 nucleótidos (por ejemplo, los ARN de transfer); es concebible una vida primordial con viroides y luego virus, con el ARN

formándose y deshaciéndose continuamente esperando, digamos, una oportunidad para formar una configuración más estable, capaz de

transmitir su conformación y su genoma a la siguiente generación. Los viroides que hoy conocemos (por ejemplo el de la patata) poseen cadenas de unos pocos cientos de nucleótidos, y del mismo tamaño son los ARN del núcleo celular, los ARN mensajeros, etc.

Es una idea bien compartida hoy que las numerosas e imprescindibles funciones de los ARN celulares actuales son un "recuerdo" de un mundo ancestral dominado por el ARN (W. Gilbert, 1985).

Para esta etapa, desde el incipiente mundo ARN hasta los estromatolitos, contamos con un tiempo de 300 Ma., y no es absurdo que, durante

ese tiempo, los ensayos random de la naturaleza abocasen a algunas configuraciones estables y transmisibles. El paso del mundo exclusivamente ARN al actual, dominado por el ADN, es fundamental por la mayor estabilidad del segundo. La asociación D&RNA con aminoácidos primero, y con proteínas, después, es una incógnita, pero no es imposible que las hebras crecientes de ARN fijasen selectivamente, aminoácidos hidrófilos que, eventualmente, sirviesen de "cubierta" a los nacientes virus: la aposición podría favorecer, quizá, la formación de enlaces peptídicos. Si con los viroides estamos hablando de cientos de nucleótidos, los virus de ARN más pequeños tienen cadenas de miles y, seguramente, tiene que ocurrir una estabilización de esas cadenas, frente a la degradación, para pasar de cientos, en los viroides, a miles en los virus (el primer virus que se secuenció, por Walter Fierz, tiene 3.500 bases) y a millones en las bacterias (E. Coli tiene más de cuatro millones de bases).

“La evolución tiene lugar por la imperfección de la reproducción biológica: las mutaciones, responsables de la evolución, ocurren por infidelidades en la reproducción, por acción de agentes externos...”

La asociación virus-aminoácidos es importante por sus muchas consecuencias: la molécula de ARN tiene propiedades catalíticas (los ribozimas) y puede que las primeras proteínas, o secuencias de aminoácidos (polipéptidos), se formasen catalíticamente. Después, la mayor versatilidad de las proteínas toma el relevo, y ellas son las responsables de la mayor parte de las reacciones que regulan hoy día el comportamiento biológico, son los enzimas por excelencia. Hay que exigirles, en particular, que seleccionen catalíticamente el ADN a partir

del ARN por desoxigenación (y eventualmente, cambio de la base uracil por la timina; el enlace AU y luego el AT tiene dos puentes de hidrógeno, pero el más estable CG tiene tres: éste se ha mantenido desde la etapa ARN).

Hay quien habla de un "progenote", el primer "individuo" vivo capaz de subsistir aislado y de reproducirse. ¿Qué tamaño tendría? Las bacterias más sencillas, tipo micobacterias, tienen genomas próximos al millón de bases, un factor de mil con respecto a los virus: no es razonable el "salto" de 10^3 a 10^6 a no ser por el descubrimiento, por parte de la naturaleza, de los enzimas correctores, (tipo Eco RI, muy abundante hoy día) que garantizan la fidelidad de la reproducción hasta la escala 1: 10^9 : está claro que los virus de ARN deben limitarse a unos 10.000 bases como mucho, pues la infidelidad en la reproducción es del orden de 10^4 . Parece ser que los enzimas correctores y la reproducción sexual tienen grandes ventajas evolutivas, pues se adoptaron muy pronto en el decurso de la evolución (lo segundo para regocijo nuestro, diríamos).

Otra idea interesante es que la evolución tiene lugar por la imperfección de la reproducción biológica: las mutaciones, responsables de la evolución, ocurren por infidelidades en la reproducción, por acción de agentes externos, etc. Los seres vivos actuales son imperfectamente perfectos: ocurren mutaciones y las especies progresan pero, localmente, el hijo se parece mucho a la madre...

Este escenario, o uno parecido, debió ocurrir en la Tierra entre 3.800 y 3.500 Ma., pues los estromatolitos que encontramos representan bacterias suficientemente sofisticadas, con su membrana bilípida, sus enzimas intracelulares y su largo cromosoma único enrollado. Se alcanzó así un cierto nivel de estabilidad pues, para el siguiente paso, la célula eucariota, han de pasar mil (millones) más de años. La evidencia de las primeras algas eucariotas unicelulares

se remonta a hace 2.300 Ma., y los primeros metazoos aparecen más mil Ma. después.

Hay muchas lecciones en todo esto pero, entre ellas, quizás la más importante es la "serendipity", el hecho del carácter casual, *at random*, de la evolución de la vida terrestre: una lección de la ciencia moderna, en especial de la Física, es el poder morfogenético del azar. Si tomamos literalmente el tiempo de consolidación de las bacterias (unos doscientos Ma.), el paso a eucariotas (mil) Ma. y a metazoos (mil Ma. más), la tentadora conclusión es que la vida es relativamente fácil de formarse, una vez dadas las condiciones geomorfológicas pertinentes, pero que la evolución posterior es mucho más improbable y aleatoria. Uno incluso estaría tentado a señalar el origen de los eucariotas o de los metazoos como sucesos casuales, transiciones de fase, debidos quizás a alguna causa externa que rompió el equilibrio en que vivían las bacterias, tan ricamente, durante mil Ma.

Sí que es verdad que la mitosis, característica de la célula eucariota, requiere más energía, y que es difícil que se presente en una etapa de la vida sin oxígeno: éste es al principio un tóxico para la célula, y sin embargo el HCN, por ejemplo, hoy intolerable, era un compuesto importante en las primeras síntesis nitrogenadas. Y hay una cierta correlación entre el florecimiento de las plantas fotosintéticas y el enriquecimiento de la atmósfera terrestre en oxígeno... Hay aquí, también, una lección de humildad: no debemos desesperarnos si sólo encontramos bacterias en el primer planeta con Vida...

Sea como fuere, hacia hace 540 Ma. aparece la explosión del Cámbrico que uno, naturalmente, tiende a asociar a un cambio geológico importante (abrirse los océanos, por ejemplo; otro desarrollo importante en la ciencia moderna es la correlación entre evolución biológica y transformaciones geológicas: tectónica de placas, etc; hoy sabemos, ciertamente, que el Himalaya se originó por el choque del subcontinente indio con Eurasia).

Desde el Cámbrico aparecen los animales con huesos que dejan fósiles duraderos. En la formación canadiense Burgess Shale describe S. J. Gould cómo, por ejemplo, se encontró Picaya, un pez precursor de todos los cordados y (luego) vertebrados. Parece ser que faunas parecidas se han encontrado en China y en Sudáfrica. La catástrofe del Pérmico (gran extinción, hacia 270 Ma.) produjo la desaparición de la mayor parte (95%) de las especies, pero así se hizo lugar a otras nuevas: una lección para los ecologistas, la desaparición de especies no es, necesariamente, una mala cosa con una perspectiva a largo plazo.

“Hay muchas lecciones en todo esto pero, entre ellas, quizás la más importante es la serendipity, el hecho del carácter casual, *at random*, de la evolución de la vida terrestre: una lección de la ciencia moderna, en especial de la Física, es el poder morfogenético del azar.”

Hay varias catástrofes geológicas bien determinadas en el registro paleontológico y geológico, pero aquí queremos sólo referirnos en singular a la llamada divisoria K/T (cretácico-terciario): el sistema solar posee el cinturón de Kuiper y la nube de Oort, además de la concentración de asteroides entre Marte y Júpiter. Hace 65 millones de años un cuerpo celeste o meteorito, atraído hacia el Sol, fue probablemente desviado por Júpiter y cayó en la Tierra: es el meteorito de Yucatán, que dejó su huella en la costa sur mejicana. La nube de polvo levantada cegó el sol, arruinó los grandes bosques de plantas verdes y produjo, en consecuencia, la extinción

de los dinosaurios y de muchas otras especie. Esto está bien documentado hoy día, pero el descubrimiento ocurrió sólo en 1981, por los Álvarez, padre Luis (Premio Nobel de Física) e hijo Walter, geólogo (la anomalía del iridio es una buena prueba; hay por ejemplo evidencia en Guetaria, España).

¿Puede uno creer que la evolución estaba "pensada" para los dinosaurios como reyes de la creación que, a lo mejor, devenían inteligentes con el paso de la evolución selectiva pero que, al truncarse "el designio original", dieron paso a que unas insignificantes ratitas y lemures evolviesen hacia el Homo Sapiens? En todo caso, otra lección de humildad: el Hombre está hoy aquí "por causalidad", nada hace pensar en una "ortogénesis" que lleva de los viroides a nosotros en línea recta. ¿Cabe pensar en dinosaurios inteligentes en algún planeta extrasolar?

EVOLUCIÓN GENERAL DE LA VIDA.

En el Universo hay unos 10^{20} estrellas-soles (mil millones de galaxias con billones (10^{11} - 10^{12}) de estrellas por galaxia), de los que hay que pensar que haya "muchos" Soles como el nuestro, con planetas o, al menos, con un planeta de temperatura y composición parecidas a las de la Tierra: si bien los planetas descubiertos

hasta hoy son más bien "jupiterianos", las nuevas técnicas de observación detectarán planetas mucho más pequeños pronto (si los hay, por supuesto). Sabemos que hay ya cierta evidencia de planetas "terráqueos", aunque están demasiado cerca de su "sol" para poder albergar vida.

Un aplauso a la tecnología actual: ya se han detectado planetas, incluso con atmósfera, a más de mil quinientos años de luz de nosotros, que subtienden, por tanto, desde aquí un ángulo de 10^{-14} radianes! En esos planetas "terrestres" la vida se podría originar "automáticamente", como en la Tierra (?). Al menos, la formación de moléculas orgánicas de complejidad media se ha detectado en los componentes interestelares, incluyendo algunos aminoácidos, nucleótidos, vitaminas, etc. No sabemos, de hecho, si esos compuestos orgánicos extraterrestres se han originado en un planeta con vida, pero lo más probable es que no: desde Oparin, Haldane, Stanley Miller y Juan Oró sabemos de líneas factibles para la síntesis abiótica de péptidos y nucleótidos (aunque el escenario de una atmósfera reductora no se mantiene en la actualidad: la atmósfera primitiva terrestre era anoxigénica, pero neutra). El problema no es tanto la formación de moléculas orgánicas, sino el ensamblaje de ellas para formar estructuras automantendidas en forma primero de viroides, por ejemplo.

¿Son 200 Ma. un tiempo prudencial, u ocurrió la Vida más deprisa en otros lugares, pero sólo lo detectamos al cabo de ese tiempo?

¿Qué pauta siguió la vida después? Son forzosos (?) los pasos observados:

Viroides → virus → bacterias heterótrofas → id. autótrofas → algas procariotas → algas eucariotas (ya hay oxígeno) → plantas pluricelulares



levaduras y hongos, no fotosintéticos → primeros gusanos (eucariotas pluricelulares) → fauna tipo Ediacara, que se extinguió → explosión del Cámbrico ??

La evolución tiene también sus líneas ciegas, sus regresiones, sus intentos fallidos...Ediacara es un ejemplo de ello. ¿Cuántas líneas, potencialmente de progreso evolutivo, habrán abortado por falta de sustento?

La idea más contemplada es que cada vez que nos alejamos del principio del origen de la Vida, el azar, más que la necesidad, domina la evolución. Es un antropomorfismo lo que he apuntado más arriba, que asocia evolución con aumento "automático" de complejidad y de tamaño del organismo: no debemos olvidar que las plantas verdes actuales tienen cianofíceas en simbiosis (los cloroplastos) de modo que, en cierto sentido, como ya ha señalado alguien, las bacterias clorofílicas son las más exitosas de las formas vivientes (hay muchos bosques aún)... pero no saben mecánica cuántica (!).

La especie humana desciende de los primitivos mamíferos que coexistieron con los dinosaurios en la Era Secundaria. Aquéllos aprovecharon los nichos dejados vacíos por éstos para proliferar exitosamente en el Terciario; se impusieron a los reptiles remanentes y a las aves pero, es bueno recordar que, en el subcontinente sudamericano, son las grandes aves (ñandú etc.) las que triunfaron, y los avanzados mamíferos actuales en los Andes etc. bajaron por el istmo de Panamá tras cerrarse éste, hace no más de diez millones de años. ¿Por qué triunfaron los mamíferos frente a las aves cuando éstas pueden volar, lo que sin duda les da enormes ventajas, compárese v.gr. con los insectos? Sea como fuere, los primitivos primates del final del Secundario evolucionaron hacia los monos antropomorfos (El Proconsul parece que vivió hace 25 Ma.), y se cree, con fundamento, (registro fósil, evidencia geológica y análisis cromosómico) que el chimpancé y el Homo Sapiens di-

vergieron hace no más de 6 Ma. El bonono, una especie de chimpancé enano, divergió del tronco de antropomorfos después que lo hiciera Homo, hace "solo" 2 Ma., y es curioso que ciertas tribus africanas no lo cazan por su parecido humano que incluye el apareamiento tête a tête, como (algunos de) nosotros hacemos.

En Atapuerca acaban de encontrar restos humanos con más del millón de años, un record para Europa. Situamos a los Neanderthal hacia el medio millón de años, y la emigración africana del Homo Sapiens Sapiens parece que ocurrió hace unos 300000 años. Es el Hombre de Cromagnon que convive en Europa, un breve tiempo, con el Neandertal, el cual acaba por desaparecer. Desde hace unos treinta mil años, el Hombre no parece que haya evolucionado anatómicamente mayormente: hoy día nosotros somos Cromagnones recientes, en anatomía, capacidad craneal etc., pero vivimos más años.

"Es plausible encontrar vida fuera de aquí, pero esperar *marcianitos* es hoy, aún, ciencia-ficción."

SEÑALES DE VIDA EXTRATERRESTRE.

La idea es que la Vida se forma espontáneamente en cuanto se dan las condiciones geológicas y químicas para ella pero, que a partir de eso, la evolución es totalmente impredecible. Para resumir diríamos que, si bien la Vida debe ser un fenómeno universal, ligado a la materia, el que haya plantas y animales, o respiración por oxígeno, o dinosaurios en vez de hombre dominando el planeta, es un hecho fortuito. En la Tierra ha sucedido así, pero en los planetas de Sirio será, quizás, de otro modo: a lo mejor

no se ha pasado del nivel de las bacterias. Una objeción a considerar es si la Vida se origina en contra del segundo principio, en el sentido de ser muy improbable, pero que se dió. Creemos que no, que debe ser inevitable. Como hemos dicho, hay un poder morfogenético en el azar, el hecho de que la formación de estructuras es perfectamente posible (y mandatario) en un mundo originariamente caótico. Por ejemplo, nadie diría que el sistema solar nuestro está "desordenado" y, sin embargo, los planetas se formaron por acumulación al azar de planetesimales. En ese sentido, la fuerza de la gravitación es un desafío permanente al segundo principio, como lo es la Vida: vivimos, pero moriremos, y no hay equilibrio termodinámico en un sistema gravitatorio.

En física hay una frase "selforganizing criticality", para indicar que la autoorganización es compatible (de hecho, se sigue) con unas condiciones iniciales erráticas...Dyson gusta de hablar de la morfogénesis como una transición de fase, que se da tanto en el mundo inanimado (paso del gas desordenado al cristal ordenado,

por ejemplo) como en Biología (paso de procarionota a eucariota, por ejemplo).

En este escenario es donde debe buscarse la Vida fuera de la Tierra: moléculas orgánicas, atmósferas oxigenadas, meteoritos con sustancias orgánicas, etc. Queremos creer que todo ello constituirá un campo de investigación importante en este incipiente siglo XXI. Pero también hay un campo de experimentación en la propia Tierra: por ejemplo, ya podemos modificar genéticamente las bacterias, y hacerlas que produzcan enzimas aprovechables. Si la manipulación genética se desarrolla, cabe preguntarse por teratologías, es decir, modificar los genomas para producir seres vivos diferentes de los actuales (de momento, gusanos u otros invertebrados primitivos).

Veríamos así por qué la evolución en nuestro planeta siguió unas líneas y no otras... aunque nos tememos que estos experimentos encontrarán objeciones éticas en seguida. Como resumen, la búsqueda de Vida es un programa de investigación que puede iniciar ya, con nuestros conocimientos actuales y nuestra tecnología; pero sus resultados son impredecibles, tanto más cuanto más exigentes seamos: es plausible encontrar (¿pronto?) vida fuera de aquí, pero esperar "marcianitos" con brazos y manos como nosotros, es hoy aún ciencia-ficción.

Luis J. Boya
Departamento de Física Teórica
Miembro del Senatus Científico
luisjo@unizar.es

El comienzo de la Vida en la Tierra se puede deducir a través de los fósiles más antiguos, encontrados principalmente en Australia y en Groenlandia. Se trata de estromatolitos de hace alrededor de 3.6 Ba (billones de años), aunque su carácter orgánico es discutido por algunos científicos.

El origen inorgánico-químico de la Vida fue, entre otros, defendido por Wächtershäuser (4). Según este autor, la vida habría surgido cuando algunas moléculas se unieron en la superficie de algunos minerales, como la pirita, en donde tuvieron lugar procesos químicos-bioquímicos. Un modelo análogo para el origen de la Vida, donde los minerales arcillosos son los que catalizan los procesos químicos-bioquímicos, es defendido por Ferris (5).

Parece haber cierto acuerdo entre los bioquímicos y los geólogos en el sentido de que gran parte de la Vida surgió en los fondos oceánicos en relación con la actividad geológica de hace aproximadamente 3.9 Ba. En las primeras etapas estaría formada por microorganismos anaeróbicos debido a que éstos se generarían a grandes profundidades (ej. 2000-500 m) añadido a la falta de oxígeno en aquellos tiempos geológicos.

Con el crecimiento de la corteza oceánica, que acarrió la disminución en espesor del nivel de las aguas (500-20 m), la fotosíntesis producida por la proliferación de la micro-macroflora, principalmente diversas especies de algas, junto con una temperatura adecuada (80-40°C), facilitó la proliferación y evolución de organismos aeróbicos (6). Estas condiciones adecuadas

para la Vida y su evolución se han dado en la Tierra en los fondos oceánicos poco profundos, definidos geológicamente como Dorsales Oceánicas activas desde hace al menos 3.6 Ba y en la actualidad. Como ejemplo de su presente actividad se pueden citar los trabajos sobre las dorsales, principalmente la Gran Dorsal Atlántica (7) en donde actualmente se pudieran estar generando formas de vida primitiva, análogas a las que existieron, por ejemplo, hace 3 Ba.

De esta pequeña introducción sobre la Vida se pueden plantear importantes preguntas, entre las que deben destacarse:

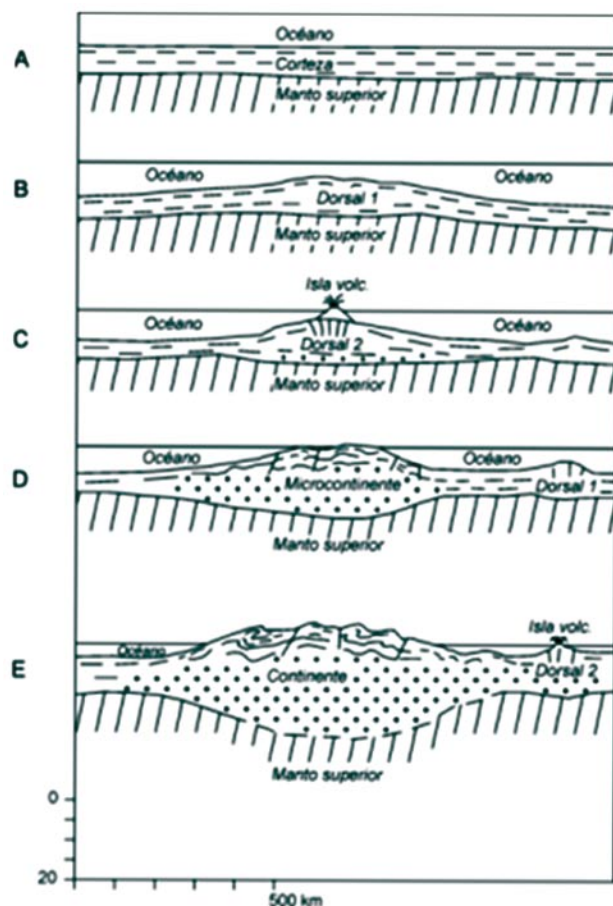
- ¿Qué relación puede tener un microorganismo oceánico anaeróbico con mamíferos inteligentes como el Homo sapiens? Esta pregunta, muy importante, que se sale de los objetivos de esta pequeña aportación, es abordada diferencialmente por aquellos que defienden el Creacionismo, que son minoritarios, y por aquellos que defienden, como Darwin, el Evolucionismo. Creemos que dentro de la teoría más racional, evolucionista, aún subsisten etapas, gaps, entre diferentes especies que, con el interés científico actual, podrán subsanarse en el futuro.
- ¿Vinieron los primitivos microorganismos del espacio exterior (ej. cometas, meteoritos), o fueron generados en la Tierra?. Sobre esta pregunta ya hemos adelantado que la inmensa mayoría de los científicos considera que las primeras formas de vida surgieron en la Tierra hace alrededor de 3.6 Ba, de reacciones químicas-bioquímicas en los fondos oceánicos poco profundos y activos geológicamente (dorsales). Entre las condiciones químicas-bioquímicas primordiales para formar especies celulares, debemos destacar las reacciones de componentes gaseosos para producir aminoácidos, formación de polipéptidos, que incluyen ARN y ADN, y la aparición de membranas.

“El comienzo de la Vida en la Tierra se puede deducir a través de los fósiles más antiguos, estromatolitos de hace alrededor de 3,6 billones de años”.

La primera pregunta que debemos hacernos es: ¿Qué entendemos por Vida?. La Vida podría definirse como un proceso continuo entre la geoquímica y la bioquímica en donde la síntesis de aminoácidos en ambientes oceánicos hidrotermales parece ser que fue muy importante (1,2,3).

La Vida está representada en la Tierra desde microorganismos (ej. bacterias) que viven en ambientes oceánicos con poco o nada de oxígeno, aguas sulfurosas calientes, etc, hasta los mamíferos continentales más evolucionados (primates-especie humana).

Origen y evolución de la corteza desde hace 3.9 billones de años (A) hasta la actualidad (E). Explicación en el texto.



primeros procesos geológicos, desde 4.6 hasta 3.9 Ba. Las características principales de estos aproximadamente 0.7 Ba son las de una Tierra afectada por una muy elevada energía térmica, liberada principalmente de la acreción dinámica en su origen (análoga a la de los impactos meteoríticos). A esta energía debemos añadir la liberada por los isótopos radiactivos de vida larga y corta. Esto hizo que gran parte del agua y otros compuestos estuvieran formando la atmósfera primitiva que envolvía una corteza primitiva no apta para la vida ($T > 400^{\circ}\text{C}$). Con el enfriamiento, esta atmósfera daría lugar a la formación de las capas acuosas terrestres, principalmente océanos, envuelta por una atmósfera sin oxígeno y donde los principales componentes fueron: H_2O , CH_4 , NH_3 , SH_2 y otros.

Debemos resaltar que la acreción dinámica de la Tierra facilitó el almacenamiento de una gran energía interna asociada a cambios de fase-polimórficos y cambios electrónicos, los cuales podrían explicar el origen de muchos procesos y fenómenos geológicos (8).

Nuestra siguiente pregunta es: ¿Cómo comenzaron los procesos geológicos hace alrededor de 3.9 Ba? Hay varias teorías pero las más importantes los relacionan directa o indirectamente con el origen de la Luna: impacto de un gran meteorito sobre la Tierra que al mismo tiempo que formó la Luna, por eyección de una gran masa terrestre, ésta quedó atrapada dentro del campo gravitatorio terrestre. Otros científicos opinan que la Luna es parte de una gran masa celeste que

durante su errática órbita solar-extrasolar fue atrapada por el campo gravitatorio de la Tierra hace 3.9 Ba.

Siguiendo el esquema geológico evolutivo de la figura podemos definir cinco grandes etapas geológicas:

- A) Después de la etapa pregeológica de la Tierra al comienzo de la Geología, hace 3.9 Ba, estaría formada, además de las capas internas del manto y núcleo, por una atmósfera primitiva (sin oxígeno) y grandes extensiones (océanos) de agua más o menos salada que cubrirían enteramente la parte externa de la Tierra (corteza). Este enorme océano tendría una profundidad media de 5-6 Km, el cual descansaba sobre un basamento de rocas graníticas o basálticas cuyo origen es muy discutido.
- B) Es una etapa geológica que podría situarse alrededor de los 3.6-3.0 Ba. En esta larga etapa surgen los primeros procesos geológicos en los fondos marinos que, en algunos casos más favorables, aparecen asociados al origen de primitivas formas de vida anaeróbica. Esta corteza, que se originó por segregación-transformación del manto superior, de unos 6-10 Km de espesor, estaba cubierta por una capa acuosa marina de 3-4 Km.
- C) Se intenta representar una amplia etapa geológica, 3.0-2.5 Ba, donde la corteza aparece cubierta por aguas oceánicas que no so-

brepasan el kilómetro de espesor, siendo lo normal de 0-200 metros. Aquí las condiciones para la generación y evolución de la vida son muy favorables: elevada oxigenación, temperatura adecuada, presencia de compuestos y minerales catalizadores, etc. Estas condiciones son las que se dieron y se dan actualmente en zonas oceánicas definidas como dorsales.

D) Sigue el engrosamiento durante esta etapa geológica (2.5-0.5 Ba), en donde la corteza media alcanza los 15-20 Km de espesor. Esto hizo que muchas zonas corticales afloraran sobre las aguas oceánicas formando desde islas hasta microcontinentes, al mismo tiempo que las diferentes formas de vida evolucionaban según sus particulares ambientes

- Otra importante pregunta es: ¿Cómo evolucionaron los primeros organismos desde zonas oceánicas, más o menos profundas, hasta zonas continentales de más o menos altitud? Esta pregunta, en gran parte, se podría contestar a través de un conocimiento geológico sobre el origen y evolución de la corteza terrestre a través de los tiempos geológicos.

“¿Cómo comenzaron los procesos geológicos hace 3,9 millones de años? Las teorías más importantes los relacionan con el origen de la Luna”

En la Tierra desde su origen, hace aproximadamente 4.6 Ba, se pueden diferenciar dos etapas temporales muy bien definidas. La primera, que podemos definir como pre-geológica, abarca desde su origen hasta el comienzo de los



geológicos-bioquímicos, como lo demuestra la abundancia y diversidad de restos fósiles. Muchas formas de vida fueron endémicas al haberse desarrollado en ambientes aislados. Esto ocurrió, entre otras islas, en Madagascar, Polinesia y la Isla de Pascua.

E) Esta amplia etapa geológica (desde hace 0.5 Ba hasta la actualidad) puede definirse como la de la explosión de la vida, donde la vida no sólo se caracteriza por la gran abundancia de sus formas sino por la existencia de cierto "parentesco evolutivo" entre muchas de ellas, como ocurre con la gran familia de los Eucariotas, en donde la principal atención está puesta en el origen y evolución de los homínidos en los últimos 3 millones de años. Durante estos últimos

500 millones de la historia geológica, la mayor parte de los continentes, formados en tiempos anteriores (desde 3.9 Ba), afloraron sobre las aguas oceánicas. Esto hizo que la vida evolucionara en diferentes ambientes geológicos-ambientales según tres tipos de cortezas terrestres:

- Cortezas continentales antiguas, espesor de 25 a 70 Km, en donde, entre otras formas de vida, se desarrollaron y evolucionaron los grandes mamíferos continentales.
- Cortezas oceánicas modernas, principalmente dorsales oceánicas, en donde formas de vida primitivas están generándose al mismo tiempo que otras más evolucionadas, por ejemplo grandes mamíferos oceánicos como la ballena.
- Cortezas intermedias en donde convergen formas de vida primitivas que están asociadas a otras de carácter más evolucionado.

Como una última reflexión sobre la vida podríamos plantear la siguiente pregunta: ¿Puede existir alguna forma de vida en el Universo extraterrestre? Creemos que sí, puesto que, de un simple dato estadístico, se puede deducir que, en los millones de estrellas que forman las galaxias, pueden existir sistemas planetarios donde alguno de ellos pudo haber reunido las condiciones favorables para el origen (y evolución?) de alguna forma de vida: oxígeno, océanos, activador geológico, etc (dorsales extraterrestres). La presencia de formas de vida más o menos evolucionadas, y principalmente de homínidos-Homo sapiens, no deja de ser especulativa.

REFERENCIAS

- (1) Chyba, C:F: & Sagan, C. (1992) Nature, 355, 125-132.
- (2) Wills, C. & Bada, J. (2000) Perseus Publ. Cambridge, 320 pp.
- (3) Nisbet, E.G & Sleep, N.H. (2001) Nature, 409, 1083-1091.
- (4) Wächtershäuser, G. (1988) Microbio. Rev., 52, 452-484.
- (5) Ferris, J.P. (2005) Elements, 1, 145-149.
- (6) Marshall, W.L. (1994) Geochim. Cosmochim. Acta, 58, 2099-2106.
- (7) Delaney, J.R. et al. (1988) Science, 281, 222-230. (8) Sánchez Cela, V. (2000) Univ. Zaragoza.

Vicente Sánchez Cela
Departamento de Ciencias de la Tierra
Miembro del Senatus Científico

¿Sólo en el Planeta Tierra se han
reunido las condiciones favorables para
la vida?

¿Podría ser ésta la imagen de otro planeta?

Impresiones sobre mi vida científica

Por Rafael Núñez-Lagos

Cuando terminé mi licenciatura en Física, estaban vivos y activos casi todos los creadores de la revolución de la física del siglo XX, sólomente Einstein acababa de fallecer un par de años antes. Al volver la vista atrás, como se puede hacer cuando la sociedad te aparta de tus obligaciones para con ella y tu cerebro no termina de asimilar bien el por qué de esa norma, se pueden recapitular todos los momentos científicos que se ha tenido la suerte de vivir. Me ceñiré fundamentalmente en lo que sigue a la física y a

España recordando situaciones pasadas, desconocidas para muchos, que justifican el presente.

Es cierto que el siglo XX ha sido el siglo de la física, igual que el XXI se apunta como el de la biología, en él se ha cambiado no sólo nuestro conocimiento del mundo que nos rodea, desde lo más pequeño y profundo a lo mayor que podemos conocer, sino lo que, desde mi punto de vista, es más importante, se ha cambiado la forma de pensar, plantear, abordar y resolver los problemas de la física. Nuestro pensamiento,

basado desde los filósofos primitivos en la elaboración de la observación de lo que nos rodea, esencialmente lo que vemos, ha sido la guía que se ha seguido en la elaboración de modelos teóricos que, desde que Galileo descartase definitivamente la filosofía Aristotélica basada únicamente en el criterio de autoridad, se han ido contrastando con los datos experimentales.

El siglo XX comenzó demostrando que el acuerdo con lo que vemos, con lo que nuestra lógica cotidiana nos indica como cierto y veraz, no tiene por qué ser así. Lo que parece lógico puede no serlo, lo que parece veraz puede ser falso. Ya en los albores del siglo XVII, Galileo, con el perfeccionamiento del telescopio, demostró que podemos "ver" lo que a simple vista no se ve. Había seguido fielmente las palabras de su padre, "Me parece que aquellos que sólo se basan en argumentos de autoridad para mantener sus afirmaciones, sin buscar razones que las apoyen, actúan en forma absurda". Galileo tuvo muchos enemigos simplemente por defender la matematización de la naturaleza, por establecer un procedimiento científico y por propiciar el divorcio iglesia - ciencia. Su forma de pensar queda bien reflejada en una respuesta a ideas defendidas por sus enemigos "La filosofía está escrita en ese gran libro del universo, que está continuamente abierto ante nosotros para que lo observemos. Pero

el libro no puede comprenderse sin que antes aprendamos el lenguaje y alfabeto en que está compuesto. Está escrito en el lenguaje de las matemáticas... Sin ese lenguaje, navegamos en un oscuro laberinto".

Aunque a Galileo también se atribuye la invención del microscopio, no se utilizó para descubrir lo invisiblemente pequeño hasta bien entrado en siglo XVII. Observación y matemáticas han sido la clave de desarrollo de la física hasta nuestros días. El gran avance reside en que hemos aprendido a "observar" lo que no se ve ni se puede ver y el siglo XX, con la relatividad restringida, puso de manifiesto que no es correcta la extrapolación de un modelo o teoría más allá de su ámbito de aplicación que es donde está comprobada. La mecánica de Newton explica "correctamente" lo que ocurre a pequeñas velocidades y no se puede extrapolar a altas velocidades, comparables a la velocidad de la luz. Si se hace, aparecen las paradojas y falsos problemas que surgen cuando utilizamos la relatividad con ojos de Newton. Pero aún la relatividad sigue "pensando" en un esquema clásico. Con ella se cambiaron algunas reglas matemáticas del juego pero no la forma de pensar.

El estudio de la estructura profunda de la materia, primero el átomo y posteriormente el núcleo, las partículas elementales y los constituyentes fundamentales de las mismas, ha supuesto una revolución total en el pensamiento físico. La mecánica cuántica, desarrollada por Schrödinger y Heisenberg en pocos meses en el año 1925, y puesta en forma teórica impecable por Dirac en 1929, ha significado el abandono de la causalidad y del determinismo. Ha supuesto el abandono de trayectorias bien definidas por los cuerpos en movimiento en lo que está basada toda la mecánica clásica, incluida la relativista, y nuestra experiencia diaria. Ha supuesto el desconocimiento simultáneo de variables canónicamente conjugadas como posición y momento. El mismo concepto de partícula material es cuestio-

"El siglo XX ha sido el siglo de la física. En él se ha cambiado no sólo el conocimiento del mundo que nos rodea sino también la forma de pensar, plantear y resolver los problemas."

Albert Einstein (1879-1955)

nable, no es necesario, se puede construir toda la mecánica sin ese concepto, la partícula puede ser una onda. Si se cree que se sabe donde se encuentra en un instante dado no se sabe cual es su velocidad y dirección en ese instante, por tanto tampoco sabremos donde estará un instante posterior. No se puede afirmar que una partícula esté aquí (posición bien definida) y parada (momento bien definido). Obviamente sí se puede afirmar de un cuerpo masivo material, como un satélite o una bola de billar, pero no de un electrón. Una vez más ocurre que no se puede extrapolar nuestra experiencia diaria fuera de su ámbito de aplicación, nuestra experiencia diaria no es extrapolable a lo muy pequeño. El milagro científico ha sido primero llegar a descubrir estos hechos y después cómo hemos sido capaces de hacer ciencia con estas bases tan difusas y aparentemente poco sólidas, al estar tan alejadas de nuestras vivencias diarias.

A mi generación nos ha costado sangre, sudor y lágrimas aprender, entender y utilizar la física cuántica. En España nuestros profesores en la Universidad, y menos aún los planes de estudio, no contemplaban temas de física del siglo XX. El retraso científico, tecnológico y mental, unido al aislamiento del resto del mundo que existía en España en la mitad del siglo XX, sólo era comparable a la desidia de las autoridades políticas, religiosas y de la sociedad misma que no veían en la investigación mas que una fuente de "problemas". Un reducido núme-

ro de físicos fuimos capaces de autoformarnos, salir al extranjero, alcanzar un nivel científico homologable, retornar y comenzar a enseñar física del siglo XX a los jóvenes universitarios.

Tuvimos suerte, mucha suerte, y pudimos contar con el apoyo de unos pocos científicos que ocupaban puestos relevantes en la escasa investigación que se hacía. La Junta de Energía Nuclear fue, en los años 60, el foco científico más importante y mejor dotado de España. En sus laboratorios se investigaba en física nuclear y de materiales, química y radioquímica y sus aplicaciones tecnológicas e industriales, geología y biología. La Junta, como nos referíamos a ella los científicos españoles, desarrolló ciencia y tecnología de primer nivel, siempre dio gran importancia a la investigación básica y mantuvo equipos de científicos trabajando en temas punteros de física teórica y física de partículas elementales. Envió a muchos científicos e ingenieros, fundamentalmente jóvenes, al extranjero y consiguió llegar a tener un plantel cuya investigación era perfectamente homo-

logable a la que se estaba realizando en países vecinos como Francia y el Reino Unido. Los laboratorios contaban con excelentes equipos, algunos fabricados en la propia Junta. La única pena es que eran los únicos existentes en el desierto científico español. No obstante, la labor de la Junta fue fructífera y a ella se debe, en gran parte, el nivel y desarrollo científico alcanzado en nuestro país en la actualidad.

La Junta realizó una exploración completa del territorio español para la búsqueda de minerales radiactivos, y puso en marcha su explotación y tratamiento para la obtención fundamentalmente del uranio en Andujar y en Salamanca. En las plantas piloto de la Ciudad Universitaria se realizó el enriquecimiento de isótopos por diversas técnicas, en las que los equipos de los profesores Justiniano Casas (+) y José María Savirón (+) de la Facultad de Ciencias de Zaragoza jugaron un papel importante con su espectrómetro de masas y sus técnicas de difusión. Si el gobierno español hubiese tomado la correspondiente decisión política, en la Junta se disponía la tecnología y los científicos e ingenieros necesarios para el desarrollo de un arma nuclear. Al abandonar este camino, que si siguieron Francia y el Reino Unido, se privó a nuestro país de un gran impulso a los estudios nucleares y sus aplicaciones científicas e industriales. No obstante se siguieron desarrollando las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y España fabricaba isótopos radiactivos para su consumo científico y médico y se construyeron centrales nucleares cada vez con mayor participación de la industria e ingeniería españolas. En las últimas centrales nucleares construidas, como Vandellós II, el 80% era español.

Por desgracia la Junta no era toda España, era un laboratorio singular en un desierto. Las Universidades, con honrosas excepciones como Zaragoza, seguían ancladas en la física del siglo XIX y formando físicos con esa mentalidad y esos conocimientos. El panorama no era

fácil ni prometedor pero en la Junta se siguió trabajando con un gran nivel y participando en colaboraciones científicas internacionales.

"A mi generación nos ha costado sangre, sudor y lágrimas aprender la física cuántica. El retraso científico, tecnológico y mental, unido al aislamiento que existía en España en la mitad del siglo XX, sólo era comparable a la desidia de las autoridades y de la sociedad misma que no veían en la investigación mas que una fuente de problemas."

El parón nuclear del año 1983 supuso una quiebra en el camino que hasta entonces se había seguido en la Junta. No sólo se trató de parar la construcción de nuevas centrales nucleares, algunas de las cuales estaban prácticamente terminadas, sino que se trató de dismantelar toda la ciencia y tecnología nuclear existente. Incluso la Junta de Energía Nuclear cambió de nombre y de objetivos y pasó a llamarse Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Veinticinco años de ignorancia y persecución de lo nuclear han sido muchos y, por desgracia, una buena parte de la ciencia y tecnología nuclear española se ha perdido. Los científicos e ingenieros de aquellos años ya están jubilados y solamente en unas pocas Universidades y Escuelas de Ingeniería se ha mantenido, a duras penas, una pequeña llama encendida. Para muestra basta un botón, la radioquímica ha desaparecido de los planes de estudio y no se enseña en prácticamente ninguna Facultad, tampoco en Zaragoza. Muchas empresas, especialmente de



ingeniería cerraron su sección nuclear, aunque hay que hacer constar que algunas empresas de ingeniería españolas siguen desarrollando una actividad en este campo tanto en España, para dar servicio a las instalaciones nucleares españolas, como colaborando en programas y proyectos internacionales.

El panorama de la física actual en España es, sin embargo, excelente en la ciencia básica. ¿Qué ha ocurrido para que esto sea así? Afortunadamente los científicos jóvenes, especialmente los físicos, formados en la Junta, o en sus ramificaciones universitarias a través del Instituto de Estudios Nucleares, pudieron seguir trabajando y muchos de ellos pasaron como Catedráticos y Profesores a la Universidad, formando, con nuevos planes de estudio, a generaciones de científicos en la física de nuestro siglo. En este punto hay que mencionar la iniciativa de Zaragoza en el año 1972 de hacer un nuevo plan de estudios de física, conocido como el Plan Javea, porque en el Parador Nacional de Javea (Alicante) nos reunimos los catedráticos de Física de Zaragoza, y alguno de Madrid, e hicimos un Plan de Estudios de Física, pensado para enseñar física a los alumnos, no para solucionar problemas de profesorado, como ocurre por desgracia con parte de los actuales. El Plan, que duró veinte años, introducía dos ciclos, con la asignatura de Física Cuántica como introducción a la Mecánica cuántica en el tercer curso, etc. Este Plan se fue adaptando paulatinamente en toda España e incluso en alguna Universidad de Estados Unidos y ha sido una de las claves que ha conducido al panorama científico actual español.

La segunda clave, quizá la más importante, se debió a las complicadas relaciones entre España y el CERN. La incorporación de España al CERN en 1961 y su posterior retirada al cabo de pocos años, al considerar las autoridades políticas que no se obtenía un retorno científico y tecnológico adecuado, paradójicamente, influyó positivamente en el desarrollo científico español. La retirada nos permitió a unos pocos

científicos, tras complicadas discusiones con las autoridades políticas, obtener una parte de los fondos que se dejaban de pagar al CERN para dedicarlos al desarrollo en España de la física que se hacía en el CERN. El objetivo era formar científicos que pudiesen obtener unos retornos adecuados en un plazo razonable de tiempo. Esto permitió la creación del GIFT (Grupo Interuniversitario de Física Teórica), que fue la obra de los cuatro catedráticos que nos habíamos formado en la Junta, Alberto Galindo, Pedro Pascual (+), Angel Morales (+) y yo mismo. El GIFT envió al extranjero a varias generaciones de físicos que, al incorporarse a su vuelta a las Universidades, fueron cambiando el panorama universitario español. Otros campos de la física, especialmente la física del estado sólido y la física de materiales, creados a partir del desarrollo cuántico del siglo XX pudieron también desarrollarse en España.

Cuando España se reincorporó definitivamente al CERN, contábamos con físicos tanto teóricos como experimentales capaces de colaborar, como uno más, en las experiencias que allí se realizaban y obtener retornos tanto científicos como industriales. Las empresas españolas comenzaron a poder participar en las experiencias del CERN de la mano de nuestros científicos y especialmente de la Junta, y posteriormente del Ciemat, que siguió manteniendo viva una pequeña llama de ciencia pura.

Hoy día el panorama de la física española es aceptable, en nivel científico es excelente, homologable al de cualquiera de nuestros vecinos, pero nos faltan instalaciones. Faltan laboratorios y centros de investigación, no tenemos aceleradores de media y alta energía, sólomente hay pequeños en Sevilla y Madrid, no tenemos reactores nucleares experimentales, los que había en la Junta de Energía Nuclear en Madrid, en Bilbao y en Barcelona fueron desmantelados con el parón nuclear, no tenemos fuentes de espalación, y no fabricamos isótopos radiactivos. Sólomente se fabrican desde hace

pocos años unos pocos isótopos para diagnóstico PET, prácticamente sólo Fluor-18. El resto, necesario para la medicina, tanto en diagnóstico como en tratamiento, para la ciencia e investigación pura y aplicada y para la industria tiene que ser importado, antes se podían fabricar. Esto implica que solamente se pueden utilizar isótopos de periodos relativamente largos con los consiguientes inconvenientes para los pacientes. Todo esto han sido las consecuencias del parón nuclear, que ha ido mucho más allá de la producción eléctrica, aunque sólomente esto último nos ha costado más de un billón de las antiguas pesetas. Los daños del parón en la ciencia, la industria y la tecnología han sido enormes, no se han cuantificado, nadie ha hablado de ello y no se previeron en absoluto. Cuanto más tiempo pase más difícil será la reparación.

Espero y deseo que vuelva la sensatez y la lógica a nuestro país y se retorne a una situación "normal", como han tenido y siguen teniendo nuestros vecinos franceses e ingleses con quienes hace tiempo estuvimos completamente homologados en conocimientos e instalaciones.

En la época de crisis energética en que estamos inmersos, es increíble que por lo que respecta a la energía nuclear estemos de nuevo casi siguiendo el pensamiento Aristotélico, sólo que con la ideología sustituyendo a la filosofía. Nuestros políticos siguen a rajatabla unas ideas a pesar de que está demostrado que son incorrectas y basadas en ideas falsas, de que los países de nuestro entorno no las siguen ni han seguido, y sabiendo que abandonarlas podría ser una solución a buena parte de nuestros problemas. Hasta que la opinión publicada, no la pública que sigue a la publicada, no cambie sus ideas y comience una larga campaña

de propaganda, impulsada por los políticos de quienes dependen los medios de comunicación, no espero ningún tipo de cambio hacia la lógica y el sentido común en el tema nuclear. Mientras tanto los pocos científicos e ingenieros que cultivamos este campo de la física seguiremos trabajando para mantener viva la llama de una ciencia y una tecnología que nunca debió de dejarse de lado en nuestro país.

Rafael Núñez-Lagos
Departamento de Física Teórica
Miembro del Senatus Científico

Nos visitaron...

El Equipo de Dirección de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del País Vasco.

El pasado 8 de Julio nos visitó el Equipo de Dirección de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del País Vasco con el objeto de conocer nuestras instalaciones e intercambiar opiniones, con el Equipo Decanal de nuestra Facultad, acerca de diferentes aspectos académicos de gran actualidad, entre los que se podría destacar: creación del EEES, diseño de estudios interuniversitarios, gestión y financiación universitaria, actividades académicas...

En la Facultad de Ciencia y Tecnología, con sede en el Campus de Leioa (Vizcaya), se imparten, en la actualidad, nueve titulaciones científico-técnicas: Licenciaturas en Biología, Física, Geología, Matemáticas, Química, Bioquímica (2º ciclo), Ciencias Ambientales (2º ciclo), Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica (2º ciclo).

La visita, que se extendió a lo largo de la mañana, supuso un intercambio de opiniones y experiencias, siempre enriquecedoras, y permitió establecer nuevos lazos de diálogos con un centro homólogo que, al igual que nuestra Facultad, se enfrenta a profundos cambios académicos.



Foto de "familia" de los dos equipos de dirección: en primera fila, junto a los vicedecanos y secretarios, las Decanas de la Facultad de Ciencia y Tecnología del País Vasco, Esther Domínguez, y de la Facultad de Ciencias de Zaragoza, Ana Elduque.

Hemos visitado...

EXPOQUIMIA 2008.

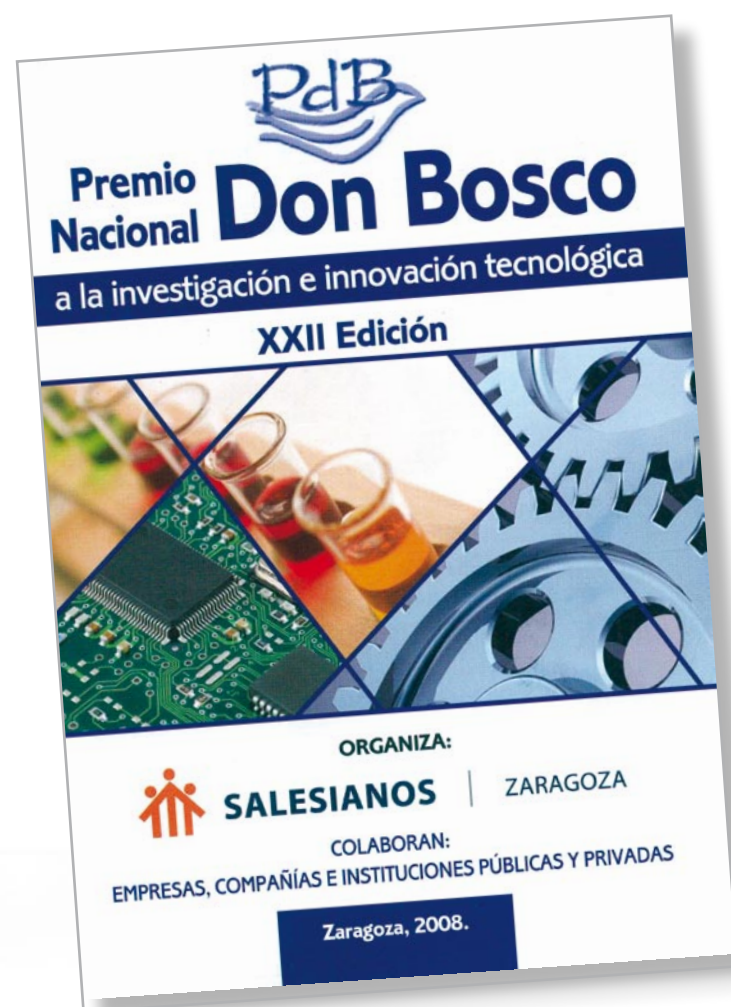
Una de las finalidades más importantes de las actividades que la Facultad organiza, en el marco de los ciclos de salidas profesionales de Ciencias, es potenciar el contacto entre la Universidad y la empresa. Participar en aquellos foros que posibilitan este contacto es una actividad enriquecedora que complementa el proceso formativo y facilita la incorporación de los titulados al mercado laboral.

Uno de estos foros es EXPOQUIMIA 2008, el salón internacional de la Química, un encuentro clave en el que científicos, empresarios y técnicos especialistas pueden encontrar soluciones, productos e innovación relacionados con todas las disciplinas y sectores de la química. Se trata del mayor encuentro de la química aplicada en el área del Mediterráneo que se celebró este año en Barcelona, del 20 al 24 de octubre.

El pasado 23 de octubre, más de 120 alumnos de la Licenciatura en Química se trasladaron a Fira Barcelona para visitar EXPOQUIMIA 2008. La actividad contó con la extraordinaria colaboración del Departamento de Química Inorgánica de nuestra Facultad.

Fue una jornada intensa pero muy enriquecedora. Los estudiantes pudieron ponerse en contacto con más de 1000 empresas del sector químico que estaban presentes con sus stands y conocer, directamente, aspectos tanto de tipo técnico (nuevos productos y materiales, últimas tecnologías, avances relacionados con la química sostenible y legislación medioambiental...), como aquellos otros relacionados con el mercado laboral al que, en breve, accederán.





Premio DON BOSCO.

La Escuela Profesional Nuestra Señora del Pilar de Zaragoza organiza, desde 1984, el **Premio Don Bosco a la Investigación e Innovación Tecnológica** que, en la actualidad, tiene carácter nacional.

Este año como novedad, se establece que pueden participar también alumnos de primer curso de la Facultad de Ciencias.

Más información:

<http://www.premiodonbosco.es>

Premio SAN ALBERTO MAGNO DE FOTOGRAFÍA.

La Facultad de Ciencias y la Junta Municipal Universidad del Ayuntamiento de Zaragoza ha convocado el **XI Concurso de Fotografía "San Alberto Magno"**, abierto a todos los miembros de la comunidad universitaria.

Al concurso se presentaron más de 70 obras pertenecientes a distintos centros de la Universidad de Zaragoza.

El jurado, tras una compleja deliberación, dada la alta calidad de las fotografías presentadas, resolvió conceder los siguientes premios:

Primer Premio:
"En blanco"
por José Ramón Moreno Fernández.

Segundo Premio:
"Cuarto Menguante"
por José Manuel Martín Casales.

Tercer Premio:
"Rincones CIENCIAcionales"
por Elena Francia Díaz.

Mención de Honor:
"Escalera con ciencia"
por Ricardo Hernández Arrondo.

Más información: <http://ciencias.unizar.es/web/proyeccion.do>

Premio SAVIRÓN (IV edición).

Desde el año 2005, la Sección Territorial en Aragón de la Real Sociedad Española de Química, la Sección Aragonesa de la Real Sociedad Española de Física, la Real Sociedad Matemática Española, los Colegios Oficiales de Químicos, de Geólogos, y de Físicos en Aragón, la Fundación Zaragoza Ciudad del Conocimiento, la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Aragón y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, han instaurado, con carácter anual, el **Premio José María Savirón de Divulgación Científica**.

Este premio, que lleva el nombre de un eminente científico y maestro excepcional, se concede

de a aquellas personas que, a juicio del Jurado, han realizado una meritoria labor para acercar la cultura científica y tecnológica a la sociedad.

Podrán optar a este premio personas individuales, colectivos o entidades que se hayan distinguido por algún proyecto o actividad concreta en el área de la divulgación científica o tecnológica.



Más información:
<http://ciencias.unizar.es/web/proyeccion.do>

Nuestra más sincera ENHORABUENA

A Ricardo Ibarra García, profesor del Departamento de Física de la Materia Condensada y director del Instituto Universitario de Nanociencia de Aragón, que fue reconocido, el pasado 2 de junio, como Doctor Honoris Causa por la Universidad de Cracovia.

A Miguel Ángel Ciriano López, profesor de investigación del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, por el "Premio a la Mejor Traducción". El pasado mes de julio, el Jurado de la XI edición de Premios Nacionales de Edición Universitaria concedió el citado premio a Prensas Universitarias de Zaragoza por la obra "Nomenclatura de Química Inorgánica. Recomendaciones de la IUPAC de 2005", traducida por Miguel Ángel Ciriano y Pascual Román.

A Luis Oro Giral, profesor del Departamento de Química Inorgánica y director del Instituto Universitario de Catálisis Homogénea, que fue nombrado, el pasado 10 de octubre, presidente de la Asociación Europea de Ciencias Químicas y Moleculares.

A Pablo Echenique Robba, becario postdoctoral del Departamento de Física Teórica y miembro del Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos, por ser merecedor del "Premio Romper Barreras 2008", convocado por Toshiba y BJ Adaptaciones, en su modalidad individual.

A Eva Elduque Laburta, estudiante de Matemáticas de la Facultad de Ciencias, por haber obtenido medalla de plata en la XIII Olimpiada Iberoamericana de Física, el pasado mes de octubre.

Nuestro recuerdo más entrañable...

No podemos concluir este segundo número de conCIENCIAS sin tener un recuerdo profundo de cariño y dolor hacia aquellos compañeros que nos han dejado recientemente: Julio Abad, Pedro Sarasa y Mariano Gracia.

En la creencia de que se sigue viviendo en el recuerdo de aquellas personas con las que compartimos nuestras vidas, aunque vuestra partida ha dejado un gran vacío en nuestra Facultad, vosotros siempre estaréis con nosotros.

CIENCIAS.digital
Revista digital de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

PATROCINAN:



Cátedra FIBERCOM

