



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

Asistiendo al río «Madre de China», p. 16

# Un Mundo de **CIENCIA**

Boletín trimestral  
de información sobre las  
ciencias exactas y naturales

Vol. 7, No. 2  
Abril-junio 2009

## SUMARIO

### ENFOQUES ...

- 2 La emoción de perforar

### ACTUALIDADES

- 10 Los polos se calientan más rápido  
que lo previsto
- 10 Dinamarca apoya la educación  
para el cambio climático
- 11 Diez años para salvar  
los arrecifes coralinos
- 12 Premios científicos para mujeres  
excepcionales
- 12 2011 será el Año de la Química
- 13 Inauguración del observatorio  
Pierre Auger
- 13 Un Irán recibe un premio  
de óptica

### ENTREVISTA

- 14 Jacques Weber explica porqué  
la crisis financiera puede ser  
una oportunidad

### HORIZONTES

- 16 Asistiendo al río «Madre de China»
- 19 Restos de barcos, mundos  
sumergidos y saqueadores de  
tumbas

### BREVES

- 24 Agenda
- 24 Nuevas publicaciones

## EDITORIAL

### La otra crisis

**E**l agua es demasiado importante para abandonarla solamente en manos de quienes la administran. Tal es el mensaje que contiene *El Agua en un Mundo en Cambio*, tercer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, presentado por la UNESCO el 16 de marzo en el Foro Mundial del Agua, en Estambul (Turquía) en nombre de 26 organismos de las Naciones Unidas.

El informe espera convencer a los gobiernos para que se interesen más en su «oro azul». Las inversiones actuales en agua son mínimas comparadas con las sumas dedicadas a la crisis financiera y a la reducción de las emisiones de carbono –a pesar de que los recursos hídricos serán víctimas del cambio climático. «El agua debe ser puesta en el corazón de las políticas agrícolas, energéticas, sanitarias, educativas y de infraestructura» subraya el coordinador del informe Olcay Unver de la UNESCO.

Los autores explican que la crisis del agua se agravará en los próximos decenios si los problemas previsibles no son tratados a tiempo. Siendo ya muy elevadas, las necesidades de agua aumentarán aún más cuando la población mundial haya alcanzado los 9 000 millones en 2050 con mayor cantidad de habitantes urbanos que rurales, un aumento de la producción energética, un nivel de vida más elevado y la evolución de los hábitos alimentarios. Para 2030, cerca de la mitad de la humanidad (47%) vivirá en zonas sometidas a un importante estrés hídrico.

Los países ricos consumen mucha carne, por consiguiente mucha agua, porque nuestro consumo debe medirse por el agua que comemos y no por la que bebemos. La producción del kilo de trigo necesita entre 800 y 4 000 litros de agua y un kilogramo de carne de vacuno entre 2 000 y 16 000. En 2002 un sueco consumía 76 Kg de carne de bovino por año y un norteamericano 125 Kg. Los países emergentes, ellos también, desarrollan el gusto por la carne y los productos lácteos. Se estima que el consumidor chino, que comía 20 Kg de carne al año en 1985, consumirá 50 Kg en 2009, lo que necesitará 390 Km<sup>3</sup> más de agua. Como veremos en un estudio de caso extraído del informe, administrar la escasez de agua se ha convertido en una prioridad para el río Amarillo, por su extensión el segundo río de China. Además, está la energía que «cultivamos». Se necesita entre 1 000 y 4 000 litros de agua para producir un solo litro de biocarburante. Esta producción sigue siendo poca –la parte de etanol utilizada por los transportes fue estimada en 2008 en un 4,5% en los Estados Unidos, 40% en Brasil y 2,2% en la Unión Europea– pero aumenta constantemente. Después de haberse triplicado entre 2000 y 2008, deberá pasar de 77 mil millones a 127 mil millones de litros en 2017.

Las necesidades energéticas pudieran aumentar un 55% de aquí al 2030, siendo casi la mitad solo de China e India. A pesar de su fuerte huella ecológica y de su impacto social los embalses de agua tienen futuro: la producción hidroeléctrica deberá progresar de 1,7% por año entre 2004 y 2030, es decir un aumento global de 60%. El informe estima que en África, donde las retenciones de agua solo alcanzan el 4% del potencial –contra 70% en la mayoría de los países industrializados–, necesariamente deberán desarrollarse para responder a la producción de energía así como a todas las otras necesidades de agua del continente.

¿Cómo convencer a los gobiernos para que actúen? Para el economista Jacques Weber: mediante el argumento económico. En este número él explica por qué la crisis financiera actual es consecuencia de la creciente escasez de recursos naturales y por qué ello constituye una ocasión de oro para «reverdecen» la economía mundial.

W. Erdelen

Sub-director General para las Ciencias Exactas y Naturales

## La emoción de perforar

Estamos obligados a reconocer que después de más de 250 años de investigaciones geocientíficas, la *terra incognita* (o desconocida) comienza apenas a unas decenas de metros debajo de nuestros pies. El deseo por explorar este oscuro mundo subterráneo trasciende un interés académico de conocer las partes que lo componen, así como la estructura del planeta del cual habitamos su superficie. Las rocas que se encuentran bajo nuestros pies son causas de peligros ocultos que nos acechan, tales como los temblores de tierra y las erupciones volcánicas. Las capas profundas contienen información sobre la fisonomía de la Tierra hace millones de años, de los climas que existieron y acerca de la distribución geográfica de los océanos y de los continentes. Ellas guardan el secreto de cómo se formaron las rocas, de la acumulación de reservas de algunos minerales y de la dispersión de algunos otros. Todos estos conocimientos nos permitirían explotar los recursos de nuestro planeta de forma más sofisticada y sostenible.

«Cómo me gustaría poder descender a verificar». ¿Qué geocientífico no ha exteriorizado alguna vez esta frustración? Perforar es tal vez la única forma de comparar los modelos con la realidad, pero es también un propósito costoso. Las compañías de gas y de petróleo estiman que la perforación de un pozo estándar de 3 Km de profundidad les cuesta alrededor de 5 millones de dólares. ¿Cómo poder fundamentar tales costos ante una agencia de financiamiento si los resultados de una perforación puramente científica son aún más inciertos que los –bastante inseguros– del negocio de la perforación petrolera? Esto se preguntan frecuentemente los investigadores.

Es ahí que interviene el Programa Internacional de Perforaciones Científicas Continentales (ICDP siglas en inglés). Desde sus comienzos, en 1996, ha financiado 25 proyectos presentados por científicos del mundo entero. La UNESCO es miembro del Consejo Consultivo Científico que los ha aprobado. En las páginas siguientes describiremos algunos de estos proyectos fascinantes que marcan el fin del Año Internacional del Planeta Tierra, con un viaje a sus profundidades.

En la actualidad el más profundo de los pozos perforados alcanza 12 262 m. Este valor representa alrededor de un tercio de la distancia que nos separa hasta el fondo de la corteza terrestre (35 Km), 1/500<sup>ava</sup> parte de la distancia al centro de la Tierra (6 374 Km) y 1/1000<sup>ava</sup> parte del diámetro de la Tierra (12 748 Km). De esta forma la tecnología actual de perforación sólo araña la superficie de la Tierra. No obstante, al penetrar en las entrañas de la Tierra se adentra en un mundo completamente diferente. A menos de 4 Km de profundidad la temperatura de la roca alcanza los 100°C, punto de ebullición del agua en la superficie. A menos del 1% de la distancia al centro de la Tierra, la presión litoestática –el peso de

la roca por encima de nosotros– ya es suficiente para aplastar el acero más resistente. Acceder a profundidades incluso modestas, es por consiguiente una extraordinaria y difícil proeza técnica.

### El asteroide imprime su marca

Las estructuras ocasionadas por los impactos son uno de los ocho temas priorizados por el ICDP. Los asteroides atraviesan el espacio a la velocidad de varios millares de Km/h. La posibilidad de que en el curso de una vida humana uno colisione con la Tierra es extremadamente pequeña, pero no es sin embargo nula.



Perforadores conectando los tubos de la perforadora durante el proyecto de perforación del cráter de Chicxulub, en la península mexicana de Yucatán



## Un asteroide asesino revela sus secretos

Hace 25 años, Antonio Camargo, geólogo petrolero, llevó a cabo un estudio en el mar a la altura de la costa norte de Yucatán, en México. Los datos que colectó revelaban anomalías gravitacionales en forma de círculos gigantes que tenían alrededor de 100 Km de radio, cerca del pueblo costero de Chicxulub. Las formaciones rocosas ahí existentes no podían tener un origen volcánico pero ¿podían ser los vestigios de un cráter de impacto? Es el caso. Camargo dio por casualidad con un cráter de impacto que, progresivamente enterrado bajo la erosión durante 65 millones de años, había escapado a la atención de los geólogos de campo. Luego de este descubrimiento se multiplicaron los datos científicos que prueban que el cráter fue provocado por un asteroide asesino asociado a la desaparición de los dinosaurios.

En el cráter, el detritus producido por el enorme calor y presión ocasionados por el impacto, presentan un interés considerable para los científicos. Estos no están compuestos sólo de rocas terrestres de antes del impacto, transformadas y fundidas juntas por el calor y la onda de choque del impacto: contienen también fragmentos del propio cuerpo que provocó el

impacto. De particular interés son los raros isótopos muy abundantes durante la formación del Sistema Solar pero que poco a poco desaparecieron de las rocas terrestres en el transcurso de los tiempos geológicos.

Durante el invierno 2001-2002, el ICDP aprobó una proposición de perforación en el borde del cráter de impacto, alrededor de 62 Km de su centro. El pozo Yaxcopoil fue perforado a unos 40 Km al suroeste de Mérida, capital de Yucatán, sobre 1 510 m de profundidad. Los 795 primeros metros consistían en rocas carbonatadas del Terciario, que datadas después del impacto, y en los 615 m siguientes, la perforadora atraviesa las rocas cretácicas de antes del impacto. Presionada entre ellas, se encontraba una capa de impactitas de 100 m de espesor, roca compuesta de brechas de impacto fundidas y de suevitas. Estaban lejos de ser recientes, ya que habían sufrido importantes alteraciones químicas durante 65 millones de años.

Se extrajeron más de 900 m núcleos de muestras del pozo, y el mismo se estudió con instrumentos geofísicos para carotage con el objetivo de obtener una serie continua de datos petrofísicos in situ, de la pared del pozo. Las rocas recogidas y los datos de geofísica se convirtieron en tesoros para los geólogos.

Durante los 4,5 miles de millones de años de la historia de la Tierra, muchas colisiones han tenido lugar. El hecho, por ejemplo, de que el eje de rotación de la Tierra esté inclinado con relación al plano de la eclíptica encontraría una explicación muy elegante en un impacto sufrido por nuestro planeta en su primera juventud. En cuanto a la Luna, se explica su origen por la hipótesis de que es un fragmento desprendido de la Tierra ocasionado por la colisión con un asteroide cuando ésta era muy joven.

Los asteroides y los meteoritos han chocado contra la superficie de la Tierra, incluso recientemente, dejando huellas indudables. Hasta el momento los científicos han contabilizado 174 estructuras ocasionadas por impacto de este tipo, no sólo en los continentes sino también en el fondo de los mares (ver *Un asteroide asesino revela sus secretos y Lectura de los registros climáticos de un lago*).

Según la dimensión del objeto celeste, los efectos de una colisión con la Tierra pueden ser verdaderamente devastadores. Al momento del impacto, casi toda la energía cinética del asteroide se convierte en onda de choque, acompañada de una enorme cantidad de calor. El infierno ocasionado puede ser bastante potente como para vaporizar en unos minutos capa tras capa de la corteza de la Tierra. Las consecuencias son realmente atroces. La fusión de las rocas no deja solamente una profunda cicatriz en la superficie de nuestro planeta. También miles de millones de toneladas de polvo y cenizas son proyectadas hasta las capas más elevadas de la atmósfera, donde atenúan o bloquean completamente la luz del Sol, durante decenios.

### Conozca a los extremófilos

El record de altitud alcanzado por las aves de rapiña cuando se elevan sin apenas esfuerzo en las corrientes térmicas ascendentes es generalmente considerado como el límite superior de la Biosfera. Su límite inferior se sitúa allá donde el suelo rico en humus encuentra el substrato rocoso —la mayor parte de las veces a apenas unos pocos metros bajo la superficie. Pero ¿son correctas estas definiciones? Existen numerosos indicios que nos hacen pensar que la Biosfera se extiende mucho más profundamente en el interior de la Tierra que lo que generalmente se cree.

Los organismos extremófilos fueron descubiertos en los años 1970. Estos microorganismos viven en condiciones que se consideraban estériles o por lo menos muy hostiles para la vida. Los termófilos de los manantiales calientes del Parque Nacional de Yellowstone, Estados Unidos, estuvieron entre los primeros en ser reconocidos como tales. Estas bacterias y archaeas pueden sobrevivir a temperaturas de 50°C o más. Otro tipo de termófilos, algunas archaeas quimio-sintetizadoras, fue descubierto alrededor de las fumarolas hidrotermales submarinas del Rift de las Galápagos, Ramal del Dorsal del Pacífico Este. Estos microbios



## Lectura de los registros climáticos de un lago

Los mejores registros del clima se encuentran a veces en los sedimentos depositados en lagos de agua dulce. Estos sedimentos contienen una combinación de polen, detritos vegetales y minerales que permiten a los paleoclimatólogos reconstituir las condiciones climáticas de un lejano pasado.

Uno de los mejores ejemplos es el lago Bosumtwi de Ghana. Este lago, de forma circular casi perfecta, tiene un diámetro de 8 Km. Su máxima profundidad es de alrededor de 80 m, pero sus sedimentos se acumulan en más de 300 m por debajo del fondo del actual lago. Este lago se formó hace poco más de un millón de años, como consecuencia del impacto de un gran meteorito. Dos factores contribuyeron a preservar sus sedimentos sin alteración: la relativa elevación del borde de su cráter y el hecho de que no es atravesado por ningún río. Por consiguiente, es único e ideal para los estudios climáticos. Al estar situado en la zona de los monzones de África Occidental, el estudio de sus sedimentos debe esclarecernos sobre la evolución del clima en esta parte del mundo durante el último millón de años.

Entre julio y octubre de 2004, una plataforma de perforación flotante fue llevada a Ghana, y se perforaron en el lago más de 24 pozos. Se recolectaron más de 1800 m núcleos de muestras de sedimentos para el estudio del clima. El mayor núcleo muestreado contenía 294 m de barro laminado. El polen, los residuos y los minerales de cada capa anual suministran información sobre el clima y estado del medio ambiente durante un año. Para los científicos, estos núcleos se leen como un libro, cada página entrega los secretos del pasado clima.

Como el lago de Bosumtwi ocupa un cráter ocasionado por un impacto, se perforaron varios pozos a través de los sedimentos lacustres hasta las rocas subyacentes del cráter

de África Occidental de 2,2 mil millones de años de edad. Como en los casos del Chicxulub (ver *Un asteroide asesino revela sus secretos*), las capas que se encuentran entre el sedimento y la roca base revelaron informaciones sobre el propio impacto ocurrido.

Cerca de 10 000 Km al oeste del lago Bosumtwi, del otro lado del Atlántico, se encuentra otro pequeño cuerpo de agua que contiene la clave de la historia del clima de América Central tropical. Escondido en la selva de las bajas tierras del norte de Guatemala, el lago Petén Itzá cumple la función de un complemento del lago Bosumtwi, a medio mundo de distancia. Los dos lagos se ubican en la zona de convergencia intertropical, de clima húmedo, que se desplaza en el curso del año y ocasiona un patrón anual de precipitaciones marcadamente estacional en ambas localidades. Los investigadores esperan, al comparar las diferentes capas de sedimentos del lago Petén Itzá y las del lago Bosumtwi, determinar las similitudes y las diferencias entre los patrones climáticos de África tropical y de América Central.

Con una plataforma de perforación, al comienzo de 2006 se perforaron nueve pozos en los sedimentos del lago Petén Itzá. Estos revelaron que durante los 20 000 a 30 000 últimos años, el clima de las bajas tierras de Guatemala cambió muy rápidamente en varias ocasiones de seco a muy húmedo y viceversa. El más drástico de estos cambios tuvo lugar a finales del último período glacial, cuando los glaciares situados a miles de kilómetros más al norte se derritieron. Incluso los comienzos de la agricultura hace alrededor de 10 000 años y el ocaso de las culturas Mayas ocasionado por la sequía están archivadas en las capas de sedimentos del lago.



©Christian Koebert

Esta fotografía aérea del lago Bosumtwi, en Ghana, muestra la estructura circular y cerrada de su cuenca, creada por el impacto de un meteorito, hace alrededor de 1 millón de años

obtienen su energía para el metabolismo, no de la fotosíntesis, sino de la oxidación del metano o de moléculas inorgánicas, como el sulfuro de hidrógeno. Hasta hoy se han estudiado por lo menos una docena de diferentes clases de extremófilos, desde los acidófilos hasta los xerófilos. Los primeros son organismos que se desarrollan en líquidos extremadamente ácidos, cuyo pH es 3 o no pasa del mismo, mientras que los xerófilos pueden desarrollarse en condiciones totalmente secas o desecantes, como en el desierto de Atacama, entre las montañas de los Andes y el Océano Pacífico en la América del Sur.

El límite superior conocido en la actualidad para la temperatura soportada por un ser vivo en toda la Biosfera terrestre es de 121°C. Este límite superior ha aumentado progresivamente año tras año, a medida que se identifican nuevos termófilos provenientes de ambientes cada vez más calientes. Al tomar esta temperatura como base de cálculo, se puede estimar los límites de las condiciones de vida de los termófilos en la Tierra. Cualquiera que haya descendido en una mina profunda sabe que hace mucho más calor

### Microbios aficionados al metano



El metano es un hidrocarburo simple, que abunda en las regiones de congelación perpetua del suelo (permafrost) del Ártico, no bajo forma gaseosa sino mezclado con el agua, en forma sólida como un hidrato de gas. Para algunos, estos hidratos de gas constituyen una importante fuente de energía para el futuro. Otros lo ven como una amenaza para el clima actual ya que si estos hidratos se descongelan, una enorme masa de metano, gas de efecto invernadero, entrará a la atmósfera. Se especula que microbios extremófilos viven en estos hidratos.

Es para estudiar estas y otras cuestiones que los especialistas en ciencias de la Tierra perforaron en diciembre de 2001, con la ayuda del ICDP, tres pozos paralelos en el campo de hidratos de gas de Mallik, en el delta del Mackenzie en el noroeste del Ártico canadiense. En este yacimiento existe una capa de más de 200 m de espesor que contiene estos gases situada a 900 m de profundidad debajo del suelo congelado. Estos microbios aficionados al metano fueron encontrados en el 2002 en varios núcleos recogidos durante la campaña de perforación. Al ser la concentración de los mismos muy inferior a lo que se esperaba, los resultados aumentaron aún más el misterio de los extremófilos en las profundidades de la Biosfera.

Todavía más extraño que los microbios que viven en los hidratos de gas, es la hipótesis que concierne al Graben del Eger, estructura de fisura situada en la frontera entre Alemania y la República Checa. Los investigadores encontraron que ahí existe una fuerte correlación entre la intensidad de múltiples sismos y el contenido de metano de las aguas de los manantiales: cuanto más pequeños sismos ocurrían más aumentaba la concentración de metano en las aguas. El vínculo entre estos dos hechos aparentemente no relacionados es probablemente la presencia de bacterias que viven en las grandes profundidades. Con la ocurrencia de cada pequeño sismo, ligeras fisuras se forman en el granito subyacente de la región del Eger. El hidrógeno, que se forma cuando la radioactividad natural de la roca disocia el agua en sus dos elementos, puede entonces escaparse. Las bacterias de las profundidades lo consumen y produce metano como subproducto de su metabolismo. Mientras más sismos ocurren, según esta teoría, más hidrógeno se libera, las bacterias tienen más «alimento» y producen más metano. Encontrar estas bacterias y estudiar su metabolismo, tal es uno de los objetivos de un proyecto que se piensa para el Graben del Eger.



Recuperar los microorganismos presentes en las muestras de perforación exige una manipulación estéril y la extracción de los fluidos. Otras precauciones son indispensables durante la perforación para evitar que los microbios de la superficie contaminen el pozo

cuando se desciende más. Los gradientes geotérmicos, criterio o patrón para medir la elevación de la temperatura por la profundidad, son del orden de 10 a 60°C por Km. Si combinamos el límite superior de temperatura que pueden soportar los organismos vivos y los gradientes geotérmicos con el valor medio de la temperatura superficial entre 0°C y 25°C, encontramos que los organismos termófilos pueden existir hasta 12 Km de profundidad bajo la superficie. El metano es, muy probablemente, «el alimento» de estas bacterias (ver *Microbios aficionados al metano*).

### Jugando con el fuego

Uno de los objetivos de la vulcanología es reducir los riesgos que constituyen unas 600 «montañas de fuego» activas por el mundo. Los investigadores han situado medios de vigilancia bastante cerca de los volcanes capaces de detectar los signos de una erupción inminente. Desde hace una docena de años, numerosas vidas humanas han sido salvadas porque los científicos pudieron predecir la actividad de volcanes peligrosos. Sucede sin embargo, que aún a veces los científicos experimentados se han visto inmersos en la violencia de una erupción.

Raros son los vulcanólogos cuyos trabajos les exigen que estén en la proximidad de una montaña de fuego en erupción. La mayoría de nuestros conocimientos sobre el funcionamiento interno de los volcanes han sido deducidos del análisis de las rocas y depósitos creados por antiguas erupciones. Al estudiar la mineralogía y la petrología de las rocas volcánicas e ígneas, los investigadores pueden obtener información sobre la temperatura y la composición química de la lava existente en la antigua cámara magmática. El estudio geológico de los alrededores de un volcán permite determinar su alcance máximo. Conocer hasta donde las corrientes de lava y los flujos piroclásticos se abrieron camino en otros tiempos en el flanco del volcán, ayuda a determinar la extensión de las zonas de peligro potencial para futuras erupciones.

Las regiones volcánicas son orificios para atisbar el fuego infernal que arde en las entrañas de la Tierra. Perforar nunca es fácil, pero obligar a los volcanes a divulgar sus secretos penetrando en su interior constituye un singular reto técnico. ¿Cómo perforar en una roca que hace apenas unas semanas o unos meses estaba todavía fundida? ¿Cómo impedir al turbulento magma de las profundidades descubrir vuestro pozo y aprovecharlo como un conducto para una nueva erupción?

Los científicos y los operarios de perforaciones han jugado literalmente con el fuego al taladrar varios pozos en el volcán Kilauea de Hawai. En 1959 entró en erupción con espectaculares fuentes de lava, dejando un lago de lava en fusión. En unas semanas, el lago se cubrió de una fina corteza de roca solidificada. Apenas un año después del fin de la erupción, una plataforma de perforación estaba ubicada en esta capa de roca

## ZONAS VOLCANICAS ACTIVAS Y GRANDES PROVINCIAS IGNEAS

### ¿De donde viene Hawai?

En 1999, una plataforma fue instalada en la Gran Isla para tratar de resolver el misterio de los orígenes de Hawai. A finales de 2004, la lava proveniente de Mauna Kea, enfriada durante un largo periodo de tiempo, había sido perforada hasta la profundidad de 3340 m. La gran cantidad de muestras de rocas recuperadas en esta perforación constituye el mayor registro estratigráfico ininterrumpido jamás obtenido de un volcán en una isla oceánica, y que se remonta por lo menos a 600 000 años. Esta muestra representa no sólo la estructura del propio volcán, sino también una muestra detallada de su penacho. Consonantes con el lento desplazamiento de Mauna Kea por encima del penacho, se encontraron en su estructura diferentes capas apiladas unas sobre otras como tortas en un plato, provenientes de los ascensos del magma de edades diferentes y variadas profundidades. Cada capa tiene sus propias características que, consideradas en su conjunto, suministran una imagen precisa de la evolución de este «punto caliente».

Se estima que estos puntos calientes son los responsables del origen no sólo de las cadenas de islas y de montañas submarinas, sino también de los episodios de vulcanismo masivo que inundaron varias extensas zonas de los continentes. Las Trampas del Deccan, por ejemplo, cubren una gran región de la India central, en tanto que los basaltos de inundación constituyen la «roca base» de la mayor parte de la Siberia al norte de los 60° de latitud. Se considera posible que los penachos del manto hayan atravesado la espesa corteza continental, creando agujeros en la misma al quemarla por donde fluyó a la superficie grandes cantidades de lava máfica, dando lugar a lo que se llaman «Las Grandes Provincias Ígneas». Un área de este tipo cubre una parte de los estados de Idaho, Washington y Oregón, en el norte-oeste de los Estados Unidos. Según la Hipótesis de los Penachos, el origen de los basaltos de la Columbia y el Río Snake están asociados con el «punto caliente» que aún abastece los volcanes y los géiseres del Parque Nacional de Yellowstone.



*Cola de lava del Mauna Kea. Si se tiene en cuenta la distancia desde el fondo del Pacífico, ¡el volcán mide 11 km de alto!*

corteza terrestre por debajo del borde de otra penetrando en el manto. La corteza comienza entonces a derretirse, una vez fundidas las rocas y flota comenzando su camino de regreso a la superficie, donde su erupción crea los volcanes.

Incluso hay islas situadas en el medio del océano como Islandia que se sitúan en el límite de las placas entre Europa y América del Norte. Pero en este caso en un margen divergente, donde las dos placas se alejan la una de la otra, dejando detrás de ellas una zona de corteza muy fina. Las rocas del manto fundidas pueden penetrar fácilmente esta zona de poca resistencia y dar origen a islas como Islandia, o las Azores, también en el Atlántico. Bien sean convergentes o divergentes, los bordes de estas placas son como suturas en la corteza terrestre que una vez perforadas permiten al magma ascender hasta la superficie.

peligrosamente fina. Los investigadores querían saber si, debajo, la lava aún estaba líquida. Después de los siete primeros metros, la barrena de perforación encontraba la lava en fusión a una temperatura de 1 100 °C, record único que, en 40 años aún se mantiene.

Las perforaciones en una zona volcánica activa (un Punto Caliente) no sólo nos ayudan a comprender los modos de funcionamiento de estas montañas de fuego sino también a mitigar los efectos de las erupciones. Nos permiten explotar también los extensos depósitos geotérmicos y nos facilitan comprender cómo se forman los minerales como consecuencia directa del efecto del fuego en el interior de la Tierra (ver *Del carbón al diamante*).

### ¿Cómo el vulcanismo puede manifestarse lejos de las zonas volcánicas?

La mayoría de unos 600 volcanes activos del mundo se sitúan en los límites de las inmensas placas litosféricas que constituyen la corteza terrestre. Tome, por ejemplo, los volcanes italianos como el peligroso Vesubio, cerca de Nápoles. Ellos se localizan en la frontera de las placas africana y europea. El Monte Unzen de Japón, cuyo conducto fue perforado en 2004 por un proyecto del ICDP, se encuentra en la zona de contacto entre las placas del Pacífico y de Eurasia. Los volcanes de los Andes, como el gigantesco Cotopaxi de Ecuador y el Villarica de Chile meridional, se ubican en la línea de demarcación entre las placas del Pacífico y de América del Sur.

Según la teoría de la tectónica de las placas, el vulcanismo se presenta en estos márgenes convergentes, debido al hecho de que en estas áreas de subducción se desliza el borde de una placa de la

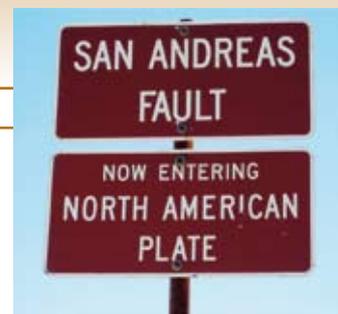
Sin embargo, Hawai se sitúa lejos de todas estas suturas. Entre la cadena de islas y la frontera de la placa más próxima, en California, no hay otra cosa que unos 3000 Km de la placa ininterrumpida del Pacífico. ¿Cómo diablos, se preguntan muchos científicos, el vulcanismo puede manifestarse tan lejos de cualquier zona volcánica conocida?

Una clave parcial a esta pregunta se encuentra al oeste y al norte de la Gran Isla de Hawai. Teniendo en cuenta la edad de sus hermanas del norte-oeste, los investigadores constataron que las islas se vuelven más viejas en proporción de su alejamiento de los volcanes actualmente en actividad. Las rocas de Maui, vecina inmediata de la Gran Isla, tienen alrededor de 1 millón de años, las de Honolulu, en Oahu, alrededor de 3,5 millones de años. Esta correlación entre edad y distancia se prosigue a lo largo de la serie de escollos, bajos, arrecifes y montañas submarinas del norte-oeste de Hawai, hasta alcanzar 81 millones de años en la extremidad de los montes submarinos del Emperador, cerca de la fosa de las Aleutianas.

### Un soplete magmático

Hace alrededor de 35 años, se emitió una hipótesis para explicar esta correlación. Un penacho de magma muy caliente, en estado de fusión, se elevaría de las profundidades del manto. Actuando como un soplete, su calor atravesaría la corteza oceánica subyacente. Aunque la placa se desplaza por encima de este «punto caliente», el penacho se mantiene extremadamente inmóvil y estable. De ello resulta una serie de huecos abiertos por el soplete,

©Ph. Boyssse (2007) Explícame La Tierra - Ediciones UNESCONANE



## Los geocientíficos hacen apuestas

**FALLAS  
ACTIVAS Y  
MECANISMOS  
DE LOS SISMOS**

En 1985, Hill Bacón y Allan Lindh, investigadores de terremotos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS siglas en inglés) hicieron una apuesta. Pronosticaron que antes de ocho años un terremoto de magnitud 6 con origen a lo largo de la falla de San Andreas, afectaría al pequeño pueblo californiano de Parkville, situado sobre esa falla y a medio camino entre San Francisco y los Ángeles. Más de 11 años después de que expirara este pronóstico, la ciudad fue finalmente sacudida por un evento de este tipo. Un martes por la mañana de finales de septiembre de 2004, un temblor de tierra, de la magnitud 6 prevista la afecta, felizmente sin provocar daños.

Debido a que el sismo se produjo tanto tiempo después de la fecha prevista, se podría decir que la previsión había fracasado totalmente. Pero visto en una retrospectiva, este fue tal vez el inicio de uno de los empeños más interesantes de las ciencias modernas de la Tierra. En 1985 este anuncio causó grandes expectativas, fundamentalmente porque los sismólogos experimentaban la euforia de la previsión. Constantemente descubrían signos o nuevos parámetros que podrían ser interpretados como indicios de la ocurrencia de próximos temblores de tierra. Estos podrían ser la conducta extraña del ganado o de los animales domésticos previa a un terremoto o cambios de la concentración de gases disueltos en las aguas subterráneas.

Parkfield parecía el lugar ideal para una verificación científica de estas hipótesis. Tras algunos años la ciudad se llenó de centenas de instrumentos instalados por los científicos de las universidades, instituciones de investigación y servicios gubernamentales. Desde el nivel del agua de los pozos hasta las tensiones de la corteza terrestre, los instrumentos median todos los parámetros geofísicos imaginables, de los que algunos no parecen tener ninguna relación con los terremotos.

La falla de San Andreas es considerada una de las zonas sísmicas más peligrosas del mundo. Provocó varias veces grandes y destructores temblores de tierra en la zona de San Francisco y de los Ángeles con sus suburbios. A lo largo de los casi 1 200 Km de extensión de esta falla, no se ha observado ningún patrón particular que se pueda sincronizar con estos eventos. Parkfield es la excepción, que presenta un patrón aparentemente regular en sus sismos. A pesar de los estudios efectuados

desde hace más de un siglo sobre la falla de San Andreas y muchas otras fallas sísmicas, los investigadores no tienen una buena comprensión de los procesos físicos que tienen lugar directamente en la zona de ruptura de un terremoto. Aunque las técnicas modernas de medición y modelación permiten a los sismólogos recrear la complejidad de la ruptura que haya provocado un sismo después de su ocurrencia, los investigadores no tienen instrumentos que pronostiquen cuándo, dónde y cómo la próxima sacudida tendrá lugar. Son insuficientes los conocimientos sobre las condiciones físicas y químicas en el interior de una zona sísmogénica de falla para que se pueda predecir lo que ocurrirá.

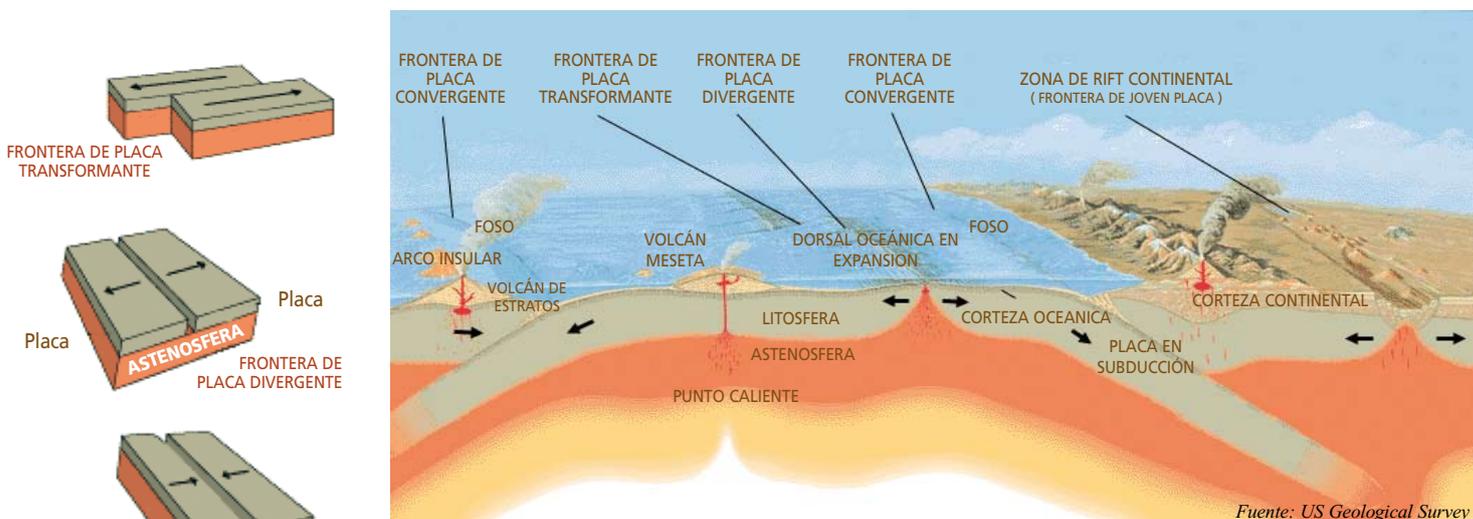
Durante los años en que la corteza terrestre bajo Parkfield no experimentó fuerte sacudida, un equipo de científicos de la Universidad Stanford, en los Estados Unidos y de la USGS –restringido pero decidido– elabora nuevos proyectos: perforar profundamente en la falla más célebre del mundo. Como ninguna otra sección de la falla había sido estudiada tan bien como la zona de Parkfield, el equipo la propuso como el lugar ideal.

La perforación propiamente dicha comenzó en el 2002 por un pozo piloto. Situado a 2 Km de la falla, alcanzando una profundidad de 2 200 m. En junio de 2004, la perforación del pozo principal comienza a unos metros solamente del pozo piloto. Cuando la herramienta llega a casi 2 Km de profundidad, los responsables apartan la dirección de la perforación de la vertical para orientarla hacia la falla. En agosto de 2005, a más de 3 Km de profundidad, penetra en la falla. Se sorprendieron al descubrir que no había una simple interfaz relativamente estrecha donde los vecinos bloques –la placa norteamericana y Pacífica– se deslizan la una con relación a la otra. Los desplazamientos ocurridos a lo largo de millones de años habían producido una espesa zona de rocas fragmentadas y de corteza suave.

En el 2007 se realizaron tres perforaciones a diferentes profundidades en la zona de falla de sismos. Algunas alcanzaron un bolsón donde se producen pequeños temblores de tierra a intervalos regulares. En el último de ellos se ubicarán instrumentos que van a registrar en sus orígenes, el nacimiento de los sismos. Este observatorio en las profundidades, en el seno mismo de una zona sísmogénica, constituye una primicia para los geocientíficos.



Una científica inspecciona los núcleos de muestras perforadas en la falla de San Andreas, en California (Estados Unidos)



Se piensa que la litosfera rígida flota o se desliza en la zona «flexible» del manto superior, la astenosfera, lo que provoca el movimiento de las placas en la corteza. (Para un esquema de las principales fronteras de placas, ver Un Mundo de Ciencia de abril 2005)

que han dado lugar a una cadena de islas con volcanes, alineadas como un collar de perlas. Ello parecería lógico, pero esto no es más que una hipótesis aún no probada.

### Colisiones subterráneas

La tectónica de las placas se conoce solamente desde hace medio siglo. Las formidables fuerzas internas que intervienen en la construcción y destrucción de las montañas desempeñaron un papel fundamental en la concepción de esta teoría. El motor que acciona estas fuerzas se encuentra en las poderosas corrientes de convección que –como el agua hirviendo que se mueve en una cacerola– circulan en

el manto de la Tierra. La corteza –actualmente constituida por una capa ultrafina situada en la superficie externa de esta vorágine de temperaturas y de presiones muy elevadas– está dividida por estas corrientes y seccionada en una docena de placas continentales.

Teniendo en cuenta el considerable calor almacenado en el interior de la Tierra, el manto es frecuentemente descrito como «un profundo océano de magma de rocas fundidas». Ahora bien si existen evidencias claras de la existencia de zonas de rocas en fusión, el manto como un todo no está completamente en estado de fusión. Sus rocas tienen, en efecto, la viscosidad del vidrio, sustancia que comúnmente se identifica como rígida y frágil. Pero el vidrio fluye, si se sabe esperar: después de 100 años o más, un panel de cristal se volverá más fino arriba que abajo, de forma no visible pero sí medible. En una escala de tiempo geológica, este flujo extremadamente lento termina por dar lugar a las corrientes de convección del manto. Las placas de la superficie de la Tierra, mucho más frías y menos densas, flotan en estas corrientes de roca caliente y viscosa.

Los científicos de la Tierra aún no comprenden perfectamente la naturaleza de las fuerzas que ocasionan el movimiento de las placas. No importan cuales sean las fuerzas motrices, las placas chocan entre sí, o desplazan a sus vecinas para avanzar en las zonas de colisión o –en términos técnicos– los márgenes convergentes. Cuando el borde de una placa se desliza por debajo de otra ocurre el proceso de subducción. La placa descendiente puede ser seguida hasta profundidades de 700 Km observando la ocurrencia de terremotos.

En estas zonas de subducción, cuanto más profundamente enterradas están las rocas de la corteza, más se calientan y son comprimidas por la presión de la roca subyacente y el momentum alcanzado en la colisión. Frecuentemente, la presión aumenta tanto que las rocas de la corteza cambian de naturaleza. Bajo el efecto de la presión y del calor, que transforman los minerales, su estructura cristalina es modificada o su composición química parcialmente alterada. Es el fenómeno del metamorfismo. Como existen por doquier rocas metamorfoseadas, sabemos que el fenómeno debió producirse a todo lo largo de la historia de la Tierra. Cada pedazo de mármol, cuarzo y todos los gneis son el resultado de estas transformaciones.

Gracias a la tectónica de las placas, los investigadores explican bastante fácilmente la forma en que los pedazos de la corteza se entierran en las profundidades donde la presión y la temperatura son tan elevadas que ocasionan su metamorfosis. Pero una de las piezas del rompecabezas queda sin respuesta: ¿Cómo las rocas

## Del carbón al diamante



Las rocas que experimentaron un metamorfismo a ultra altas presiones (UHP siglas en inglés) soportaron condiciones tan severas –más de 20 000 veces la presión normal del aire a nivel del mar, y temperaturas superiores a 500°C– que el carbón ordinario se transformó en diamante y el cuarzo común en coesita. Mientras que el proceso de metamorfosis normal, a baja presión, se produce por doquier, el proceso a UHP ocurre relativamente poco.

En la actualidad, sólo conocemos en el mundo 20 regiones que contienen rocas que, en un momento de su vida, sufrieron este tipo de hipermetamorfosis. Estos terrenos UHP se identifican por la presencia de eclogites procedentes del metamorfismo a altas presiones de rocas ígneas máficas (normalmente basaltos o gabros) arrastrados bajo el manto en una zona de subducción. Los eclogitos contienen cristales de granate, rojo oscuro, y un mineral muy resistente, el circón. Como estos cristales contienen microdiamantes y coesita como impurezas, los científicos están convencidos de que experimentaron experimentaron una transformación a UHP.

Entre las 20 regiones que contienen eclogitos UHP, la de China es la más grande. El cinturón montañoso Sulu-Dabie-Altun comienza al norte de Nanking, en el litoral del mar Amarillo. Se orienta primeramente hacia el sur antes de girar al oeste, y se estira hasta las montañas de Altun, en China occidental. Su largo total supera los 4 000 Km.

En el 2001, el Programa Chino de Perforaciones Científicas Continentales comienza a perforar en este cinturón con el objetivo de estudiar la complejidad de la metamorfosis a UHP y de resolver la interrogante de cómo estas rocas metamorfoseadas se hunden y suben de nuevo a través de la corteza. Se escogió un sitio en el cantón de Donghai, provincia de Jiangsu, cerca del extremo oriental de este gigantesco cinturón. Cuando finalizó el proyecto, cerca de cuatro años más tarde, había sido perforado un pozo en el corazón de la montaña de hasta 5,1 Km de profundidad. En muchos núcleos extraídos los investigadores encontraron circón y coesitas, productos del metamorfismo de UHP, que datan de alrededor de 230 millones de años. Esto debió producirse cuando dos bloques tipo placas de la corteza y del manto superior –las de China del Norte y del Yangtsé– entraron en colisión, en la era Mesozoica. Los productos de la metamorfosis a UHP fueron de nuevo trasladados de las profundidades mayores a otras menores en apenas 20 millones de años después de su formación. En las muestras extraídas de la perforación, los científicos encontraron más de 50 especies de minerales, entre ellos hierro, níquel y cromo nativo.

Si bien el cinturón de las UHP de China es un relicto de la era Mesozoica, muchas otras regiones del mundo experimentan hoy este proceso. En algún sitio, en las zonas de colisión activa, como las zonas de subducción de Japón y de los Andes, las rocas comprimidas hasta sus límites se metamorfosean en otras. Uno de los objetivos declarados del ICDP por estas regiones es no sólo excavar minerales UHP raros sino también observar los procesos de creación y elevación de las montañas en las zonas de colisión que transforman la faz de la Tierra.



La super plataforma de Donghai, en China

©Luigi Burlini



## Agua supercrítica y vapor gratis

Islandia, donde los volcanes lindan con los glaciares, se sitúa a horcajadas sobre la Cadena Media (dorsal) del Atlántico, que por otra parte constituye la frontera tectónica entre América del Norte y Europa. Los islandeses utilizan desde hace siglos el calor de la Tierra completamente gratis, gracias a la existencia de numerosas fuentes termales. Pero una cosa es bañarse en una fuente de agua mineral caliente, un día frío, justo al sur del Círculo Ártico, y otra es utilizar la energía geotérmica a escala industrial. En Islandia, se cavaron numerosos pozos para recoger el calor de la Tierra que, en esta isla se manifiesta bajo la forma de agua caliente o de vapor. Más de 80% de sus casas familiares aisladas, apartamentos, edificios y oficinas son calentadas mediante la geotérmica. Cerca del 20% de la electricidad producida en Islandia es de origen geotérmico. El resto proviene de la energía hidráulica, y sólo el 0,1% de la combustión de combustibles fósiles.

Incluso en un país como Islandia, donde los recursos en energía renovables son predominantes, aún queda por hacer. En realidad, queda por estudiar cuestiones fundamentales del punto de vista científico que concierne a la condición y al movimiento de los fluidos en la corteza terrestre. Es por ello que el ICDP colabora con el Proyecto Islandés de Perforaciones Profundas en la Península de Reykjanes al sur-oeste, y en el campo volcánico de Krafla, al norte-este del país. Este proyecto fue lanzado conjuntamente con el gobierno y la industria islandesa de la energía. El mismo tiene por objetivo rentabilizar la explotación de los recursos geotérmicos al aumentar el rendimiento de los pozos con relación al costo de la perforación.

Actualmente, los pozos típicos abastecedores de energía geotérmica de alta temperatura producen, en general, una mezcla de agua y de vapor a temperaturas en el rango que van de 200 a 320°C. En Islandia, cavar un pozo de 2,5 Km de profundidad, que produce por ejemplo vapor seco de unos 235°C y que puede suministrar poco más o menos 5 MW de electricidad, cuesta alrededor de 4 millones de dólares de E-U. Si se pudiera explotar un reservorio que tenga una temperatura y una presión muy superiores, la producción de energía eléctrica mejoraría considerablemente.

Una de las fuentes de esta energía «no convencional» es el agua supercrítica. Tales condiciones se alcanzan cuando se calienta el agua a más de 375°C bajo una presión de 22 Megapascales, es decir 220 veces la presión normal del aire en la superficie de la Tierra. En este punto desaparece la distinción entre líquido y vapor, ya que el agua alcanza una fase totalmente nueva: se vuelve supercrítica. Un pozo cavado en reservorio con estas características podría producir hasta diez veces más electricidad que un pozo convencional, para un flujo similar. Esta ganancia amortizaría muy rápidamente el aumento del costo adicional de la perforación que, en Islandia, es estimado en 9 millones de dólares.

Los geólogos piensan que el agua supercrítica juega un papel muy importante, y no sólo en la circulación de los minerales en el seno de la corteza terrestre. Interviene tal vez en la formación, incluso de los depósitos de minerales. Sus propiedades físicas y químicas son tan diferentes de las del agua caliente normal que lixivia los componentes minerales de la roca mucho más rápidamente y de formas totalmente diferentes. Es sólo mediante perforaciones en los depósitos de agua supercrítica que pueden estudiarse estos fenómenos. En este aspecto el proyecto de perforación de Islandia es un laboratorio natural, ya que está encaminado a estudiar estos fenómenos, porque el objetivo en la próxima década es perforar varios pozos de 4 y 5 Km de profundidad en condiciones supercríticas. En 2005, se terminó un pozo prueba de 3,1 Km. El agua del fondo no había alcanzado todavía exactamente el estado supercrítico, pero tenía al menos 300°C.

metamorfoseadas, terminan por regresar a la superficie de la Tierra? ¿Qué fuerza es capaz de elevarlas nuevamente desde una profundidad de 50 Km o más?

### Una pareja no tan extraña

Para todo el mundo, la idea de perforación en la Tierra evoca los pozos de petróleo y gas natural. Evidentemente, después que el primer boom petrolero en el Estado de Pennsylvania (EUA) impactó al mundo en 1859, la gran mayoría de los pozos, se perforan para la búsqueda de hidrocarburos o para la extracción del petróleo crudo de las profundidades y enviarlos a las refineras.

Cuando se totaliza la gran cantidad de pozos que se han abierto en busca de minerales como vetas de carbón o menas de minerales metálicos, es casi seguro que el 99% de los pozos profundos fueron perforados no para la investigación científica, sino para fines económicos. Dicho esto, y comparando las enormes inversiones de las industrias petroleras y mineras con los escasos financiamientos dedicados a las ciencias de la Tierra, uno se inclina a preguntar ¿por qué una organización dedicada al progreso de la ciencia y el conocimiento de la Tierra como la ICDP se lanza en la búsqueda de recursos naturales.



Géiseres como éste, en Islandia, dan fe de la enorme energía térmica almacenada en la Tierra

«No vamos a rivalizar con las industrias perforadoras de pozos con finalidad puramente económica» declara Rolf Emmermann, presidente del Comité Ejecutivo de la ICDP. Pero él subraya las sinergias inherentes cuando colaboran la ciencia con la industria. Las compañías y sus servicios técnicos de apoyo en el terreno poseen una innegable experiencia en la perforación y en el carotage (la diagraña) de pozos así como en la interpretación de resultados. Paralelamente, los geocientíficos tienen un apetito casi insaciable de conocer lo desconocido. Especialmente cuando se trata de perforaciones profundas en ambientes muy extremos con temperaturas elevadas, en rocas abrasivas o fluidos corrosivos sin dudas estas dos comunidades tienen mucho que aprender una de la otra.

### ¿Estaremos sentados sobre la solución de nuestros problemas energéticos?

Todos sabemos, que en lo sucesivo, extraer indefinidamente petróleo de los depósitos subterráneos no responderá a nuestras necesidades energéticas futuras. Es necesario que fuentes renovables sustituyan, donde sea posible, los combustibles fósiles. Como en el caso del carbón, el petróleo y el gas, los grandes reservorios de estas fuentes de energía renovables se encuentran también dentro de la Tierra. Según las estimaciones hechas en el 2004 por la Agencia Internacional de Energía, las cantidades de energía geotérmica explotables mediante las tecnologías actuales serán dos veces más elevadas que las que brinda el conjunto de las otras fuentes renovables –viento, sol, biomasa e hidráulica. Por otra parte, los científicos de esta agencia calcularon la cantidad de calor almacenado en los 3 Km superiores de los continentes:  $12 \times 10^{12}$  Gigawats/hora.



## Proyectos de perforaciones científicas ICDP

La fecha de terminación de los proyectos está dada entre paréntesis

Si este «calor continental» puede recuperarse en su totalidad, podría satisfacer las necesidades energéticas de la Humanidad para los próximos 100 000 años al ritmo actual del consumo incluso teniendo en cuenta que los continentes cubren sólo alrededor de la cuarta parte de la superficie de la Tierra.

Es evidente que este calor no puede ser explotado en su totalidad, pero es bastante fácil utilizar por lo menos una parte del calor que se encuentra bajo nuestros pies. En la actualidad, 24 países utilizan la energía geotérmica. El mayor consumidor

del mundo, los Estados Unidos, producen por lo menos un tercio del total (ver también *Agua supercrítica y vapor gratis*).

### Retorno al futuro

Incluso si se perforan con objetivos científicos, centenares de pozos, cada uno de ellos sólo sería como un pinchazo de aguja en la corteza terrestre. Por consiguiente es necesario que cada proyecto financiado por el ICDP represente a una «localidad tipo» que tenga un alcance mundial en materia de geociencias.

Toda una serie de preguntas urgentes y fundamentales sobre el pasado de la Tierra y los procesos internos de nuestro planeta pueden encontrar una respuesta en los pozos menos profundos. De la misma forma, los sedimentos pueden divulgar sus secretos, tales como un registro del clima, desde los primeros centenares de metros bajo el suelo. En algunos casos, las zonas donde se originan los sismos están a 3 o 4 Km bajo la superficie. A veces la propia Tierra es quien desplaza las rocas desde las profundidades de la litosfera y las acerca a la superficie, mediante un proceso mal elucidado. Existe otra limitación fundamental en las perforaciones, incluso las más profundas: recuerde que la Tierra tiene un diámetro de 12 748 Km, mientras que el pozo más profundo, hasta hoy, sólo alcanza 12 262 m, es decir la milésima parte de su diámetro. Por más espectacular que sea la evolución futura de la tecnología de la perforación, alcanzar los 15 ó 20 Km parece irrealizable a los observadores más optimistas.

A pesar de todas las dificultades, perforar en la corteza terrestre de nuestro planeta constituye actualmente una de las fronteras más apasionantes de las ciencias de la Tierra. Esta aventura puede permitirnos elucidar algunos de los numerosos misterios ocultos bajo nuestros pies desde hace millones de años en la oscura *terra incognita*.

Horst Rademacher<sup>1</sup>

Este artículo es una versión ligeramente modificada del cuaderno del ICDP publicado en 2007 y titulado: *The Thrill to Drill*.

1. Sismólogo y periodista científico freelance

## Cómo participar

Desde hace más de diez años, el Programa Internacional de Perforaciones Científicas Continentales pone en común los recursos de África del Sur, Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Islandia, Japón, México, Noruega, Polonia, y de la República Checa. La UNESCO es miembro del Equipo Científico Consultivo, que aprueba las proposiciones de proyectos a financiar y apoyar. La sociedad Schlumberger es miembro corporativo. Otros cuatro países negocian actualmente su adhesión.

Para ser elegible para el programa, un proyecto de perforación científica debe proponer investigaciones sobre uno o varios de los ocho temas ilustrados en el diagrama que aparece abajo. Los temas a investigar en las solicitudes de ayuda al ICDP deben ser de gran relevancia. Además, la localidad propuesta para perforar debe ser un buen ejemplo de otras estructuras similares de la Tierra, que aún no han sido suficientemente exploradas. En fin, toda proposición debe ser elaborada por varios investigadores especializados en diferentes campos de las Ciencias de la Tierra que cooperarían para obtener el mayor provecho de una sola perforación.



Para más detalles: [www.icdp-online.org](http://www.icdp-online.org); [icdp@gfz-potsdam.de](mailto:icdp@gfz-potsdam.de);  
O contactar a Ulrich Harms: [ulrich@gfz-potsdam.de](mailto:ulrich@gfz-potsdam.de) o [r.missotten@unesco.org](mailto:r.missotten@unesco.org)

## Los polos se calientan más rápido que lo previsto

**El Año Polar Internacional (API) culminó el 31 de marzo luego de dos años de intensas investigaciones, que revelaron que los polos se calientan más rápido que lo previsto. Los resultados de los trabajos fueron presentados en una declaración el 25 de febrero, por los dos padrinos del Año, la OMM y el Consejo Internacional para las Ciencias. La Comisión Oceanográfica Internacional de la UNESCO (COI) es uno de sus numerosos socios.**

Entre los conocimientos adquiridos durante el API se confirmó que tanto los montículos glaciares de Groenlandia como los de la Antártica pierden su masa, lo cual eleva el nivel del mar y que el ritmo de las pérdidas se acelera en Groenlandia.

Cuando se confrontaron los datos brindados por las boyas perfiladoras robotizadas –desplegadas en el marco del Sistema Mundial de Observación del Océano, coordinado por la COI de la UNESCO– con los que brindan los mamíferos marinos equipados de instrumentos y los de las embarcaciones de investigación de la API, se confirmó que el Océano Austral se calentó más rápidamente que el conjunto de los océanos del resto del mundo. Además de esto, las aguas profundas y densas que se forman en las proximidades de la Antártica, se enfriaron en algunos lugares debido a la fusión acelerada de los montículos glaciares y de las barreras de hielo de la Antártica y se calentaron en otros lugares.

En 2007 y 2008, la superficie de los hielos perpetuos del mínimo estival del Ártico, disminuyó alrededor de 1 millón de Km<sup>2</sup> para caer en su valor actual, el más bajo desde la instauración de los registros por satélites. Además, por primera vez desde el inicio de las observaciones, la región del Polo Norte solo estaba cubierta de una capa relativamente fina de hielo de primer año, en pleno invierno. Las expediciones del API registraron una deriva del hielo sin precedentes a través de la cuenca del Ártico. En el Atlántico Norte, cambios sutiles en el estado del océano y en los flujos térmicos y dinámicos entre la atmósfera y el océano demostraron el papel decisivo que estos cambios juegan en la fuerza y trayectoria de las tempestades. Estos sistemas de tempestades constituyen el principal aporte de calor y de humedad de la atmósfera hacia el Ártico. Estos conocimientos permitirán mejorar las previsiones de trayectoria e intensidad de las tempestades.

La modificación del calendario, la naturaleza y la altura de las precipitaciones invernales, debido al calentamiento del Ártico, obliga a los criadores tradicionales de renos del noroeste de Europa a adaptarse. Más hacia el este, las manadas de renos están presionadas a causa de la reducción de los pastos y el bloqueo de las vías de migración debido al cambio de utilización de los suelos y a la construcción de infraestructuras. Los insectos y los hongos se vuelven invasores. Varias comunidades locales han ayudado a las redes del API a recopilar, intercambiar y verificar las observaciones sobre las modificaciones del hielo de mar, la biota, la meteorología y el clima del Ártico.

Las bolsas de carbono prisioneras dentro de los suelos congelados permanentes son mayores de lo que se creía. Además, estos suelos se degradan mucho más rápido que lo previsto, liberando a la atmósfera otro gas con efecto invernadero: el metano. Los investigadores han descubierto que los hidratos de gas metano enterrados en el suelo oceánico, suben hacia la atmósfera más fácilmente en la misma medida que la capa de hielo retrocede. Las campañas de investigación del

API en las costas siberianas han revelado una importante actividad de desgasificación de metano proveniente de los sedimentos marinos.

Los investigadores han clasificado 7 500 especies animales en el Antártico y 5 500 en el Ártico, de los cuales varios centenares eran desconocidos para la ciencia. Los nuevos conocidos son fundamentalmente invertebrados. Una de las mayores sorpresas fue descubrir que ciertas especies microbianas presentan formas más o menos idénticas en los ecosistemas del Ártico y del Antártico, ¡distantes el uno del otro 11 000 Km! Algunas especies evolucionaron de forma muy diferente, mientras que otras se desarrollaron y expandieron en latitudes más bajas. Está probado ya, que numerosos pulpos que viven en los grandes fondos en latitudes menos elevadas provienen de ancestros comunes que viven aun en el océano Austral. El estudio de los ecosistemas actuales confirmó igualmente la reciente migración hacia los polos de especies terrestres y marinas, como reacción al calentamiento climático. Dos zonas de alrededor de 400 Km<sup>2</sup> cada una fueron declaradas Ecosistemas marinos vulnerable a título de la Convención sobre la Conservación de la Flora y la Fauna marina del Antártico, e inscritas en un registro internacional de protección.

*Para más detalles: [k.alverson@unesco.org](mailto:k.alverson@unesco.org); [www.ipy.org](http://www.ipy.org)*

## Dinamarca apoya la educación para el cambio climático

**El 14 de enero, Dinamarca comprometió 1,2 millones de dólares en tres iniciativas de la UNESCO sobre la educación del cambio climático. La Organización podrá así desarrollar su foro virtual mundial *On the Frontlines of Climate Change* y el Programa Sandwatch de educación en la vigilancia de los litorales. Esta financiará además un seminario internacional sobre la educación para el cambio climático, del 27 al 29 de julio.**

La alocución de Dinamarca manifiesta la inquietud general ante la rapidez y la gravedad del cambio climático. Su intervención se produce durante el año en que se decidirá si el mundo está o no preparado a comprometerse seriamente en este combate: los Estados partes en la Convención-Marco de las Naciones Unidas Sobre los Cambios Climáticos se reunirán del 9 al 17 de diciembre en la capital de Dinamarca, con el fin de redactar el proyecto de texto que dará continuación al protocolo de Kyoto. En ocasión del Seminario Internacional sobre la Educación para el Cambio Climático, los expertos del mundo se reunieron en la sede de la UNESCO en París, para preparar las directivas para la introducción del cambio climático en los programas escolares. Estas podrían más tarde ser objeto de un debate subsidiario durante la reunión de Copenhague.

Lanzado en junio último, el Foro en línea de la UNESCO da la palabra a los habitantes de los Pequeños Estados Insulares en vía de desarrollo y a las comunidades autóctonas que se encuentran en la primera línea del cambio climático. El apoyo financiero de Dinamarca permitirá al foro desarrollarse al crear una base de datos mundiales de observación referido al impacto del cambio climático y las estrategias locales de adaptación. Investigaciones en el terreno recogerán informaciones sobre los casos particularmente interesantes.

En cuanto a Sandwatch, lanzado en 2001 por la UNESCO, es un programa educativo que enseña a los alumnos, guiados por sus maestros, a vigilar el estado de sus playas aplicando métodos científicos: observar y medir. Con el decursar del tiempo, Sandwatch ha acumulado

datos e informaciones preciosas sobre la salud del medio costero. Con los fondos daneses, la UNESCO establecerá una base de datos en línea estandarizada, completada y analizada por los participantes, que permitirá finalmente evaluar el impacto del cambio climático y otros fenómenos litorales y elaborar mejores políticas de gestión. Por su parte, la UNESCO trabajará con los ministerios de educación y otras autoridades para extender aún más la red a las escuelas que participan en Sandwatch –presente hoy en 55 países– y comprometer a los gobiernos a integrar este programa en sus programas escolares.

Dinamarca aporta aproximadamente 3,7 millones de dólares al año a los programas de educación y de comunicación de la UNESCO, pero es la primera vez que este país apunta específicamente a la educación en el cambio climático.

Para más detalles: [d.nakashima@unesco.org](mailto:d.nakashima@unesco.org); sobre el foro: [www.climatefrontlines.org](http://www.climatefrontlines.org); consulte: [www.sandwatch.org](http://www.sandwatch.org) o ver *Un Mundo de Ciencia de enero 2007*



*En este campo de los Andes de Perú, a 3 800 m de altura, Julia cocina las papas, (patatas). Los glaciares de Los Andes retroceden y el régimen de lluvias pierde su regularidad. Desde los años 1980, los agrónomos crearon algunas variedades híbridas de papas más grandes, cuyo cultivo exige más agua. Con la fama de ser más apreciada en los mercados de las ciudades, estas papas híbridas sustituyen progresivamente las variedades locales. Ahora bien, ésta erosión de la agro-biodiversidad hace a los agricultores menos resistentes ante el cambio climático, ya que les será*

*más difícil adaptar sus cultivos a las nuevas condiciones climáticas. La educación para el cambio climático permite valorar el potencial de los métodos locales por y para hacer frente y atemperar las presiones ejercidas en las comunidades locales por las fuerzas exteriores con el objetivo de desviarlas de prácticas tradicionales eficaces*

## Diez años para salvar los arrecifes coralinos

Desde 1950 el mundo perdió 19% de sus arrecifes coralinos. Alrededor de un 15% de los arrecifes que quedan están en un estado crítico y corren el riesgo de desaparecer en los próximos 10 a 20 años y un 20% más en los 20 a 40 años. Estas previsiones provienen de 372 científicos y gestores de arrecifes coralinos de 96 nacionalidades. Están resumidas en el informe periódico 2008 del *Status of Coral Reefs of the World*, redactado por la Red Mundial de Vigilancia de Arrecifes Coralinos, en la cual participan la UNESCO, la NOAA, Reef Check y ReefBase, entre otros.

Solo 46% de los arrecifes coralinos del mundo están considerados como en buen estado y sin peligro inmediato. Por otra parte las categorías «seriamente amenazado», «crítico», y «con buena salud» no toman

en cuenta las amenazas relacionadas con el calentamiento climático mundial, previsto como ineludible pero sin precisión de fecha.

El calentamiento del océano y su creciente acidificación, así como la intensificación de las tempestades tropicales son hoy, según los grandes científicos y gestores del mundo, los más graves peligros para todos los arrecifes coralinos. Los satélites de la NOAA revelan que los océanos tropicales se calentaron a un ritmo cada vez más rápido durante estos últimos diez años, lo que hace pensar que solo quedan de 8 a 10 años para rectificar la situación, en la medida en que una concentración del CO<sub>2</sub> en el agua de mar superior a 450 ppm pone en peligro la supervivencia de los arrecifes coralinos tal y como los conocemos. Un tercio de todas las especies de corales del mundo están amenazadas de extinción.

En los países que se adhieren a la iniciativa del triángulo del coral, los arrecifes de Indonesia, Filipinas, Malasia, y Timor-Leste continúan debilitándose por causa de la pesca abusiva, de la creciente sedimentación y de la contaminación urbana e industrial. La mitad de los bosques de manglares han desaparecido. En Asia del noreste los arrecifes se debilitan por las mismas causas, a las cuales se le agrega el problema del blanqueamiento. Ahí al menos, se desarrolla una sensibilización hacia la naturaleza gracias a los progresos de las economías nacionales y de la cooperación regional. En el Medio Oriente, los arrecifes del mar Rojo y del golfo de Adán están sanos, pero los del golfo Pérsico del mar de Arabia y del golfo de Omán están aún vacilantes luego del potente ciclón del verano 2007. Los corales que se encuentran a lo largo de la península arábiga también han sufrido grandes pérdidas por causa de los grandes trabajos que se están realizando.

Las más vastas áreas marinas protegidas del mundo (AMP) acaban de ser establecidas en el Pacífico. Los Estados Unidos revisaron en el 2006 la clasificación del Monumento Nacional Marino de Papahânaumokuâkea para atribuir el status de alta protección a los 356 892 Km<sup>2</sup> de la reserva del ecosistema de arrecifes coralinos de las islas del noroeste de Hawái. Luego en enero 2009, el presidente norteamericano desafió a los jefes de empresas a crear un área protegida en tres regiones del Pacífico que cubren cerca de los 320 000 Km<sup>2</sup> de un rosario de islas aisladas y casi inhabitadas. Estas poseen arrecifes coralinos intactos, especies marinas en vía de desaparición y el más profundo abismo de la Tierra, la fosa de las Marianas. Estas tres regiones son: las islas Marianas, en el Pacífico Oeste, el Monumento Nacional de las islas lejanas del Pacífico y el atolón Rosado en las aguas de la Samoa americana. Las áreas protegidas extenderán sobre 80 Km. La mayor AMP del mundo establecida por el gobierno de Kiribati es la de las islas Phoenix que cubre 410 500 Km<sup>2</sup>. Sobrepasa la del parque marino de la gran Barrera de coral, creado en 1975 y clasificado nuevamente en el 2004, que declaró una zona de 115 395 Km<sup>2</sup> de absoluta prohibición a toda substracción, de un total de 344 400 km<sup>2</sup>.

Dos regiones se comprometieron a proteger de 20 a 30% de su hábitat marino y costero de aquí al 2020: el «Challenge de Micronesia», lanzado por Palau, los Estados Federados de Micronesia, las islas Marshall, Guam y las islas Marianas del Norte, y el «Challenge del Caribe», lanzado en el 2008 por Bahamas, la República Dominicana, Jamaica, Granada, San Vicente y las Granadinas<sup>2</sup>.

Cerca de 500 millones de personas dependen de los recursos de los arrecifes coralinos para alimentarse y mejorar sus ingresos, de los cuales 30 millones dependen totalmente de ellos para sobrevivir.

Para saber más, ver página 24; leer el informe: [www.gcrmn.org](http://www.gcrmn.org)

2. Sobre el estado de los arrecifes coralinos del Caribe, ver número de abril 2008

Becarias L'ORÉAL-UNESCO (por regiones)	Proyecto de investigación en ciencias de la vida	Institución que los recibe
Fina Kurreeman Isla Mauricio	Estudio de los genes específicamente asociados a la artritis reumatoide	Escuela Médica de Harvard y Hospital de la Mujer, Boston, Estados Unidos
Nonhlanhla Dlamini África del Sur	Medicina tradicional africana para el tratamiento del sarcoma de Kaposi, caracterizada por un crecimiento anormal de los vasos sanguíneos, seguido de lesiones de la piel (tumores); este cáncer es común en los enfermos de SIDA	Universidad de Florida, Gainesville, Estados Unidos de América
Joan Munissi Tanzania	Substancias antimicrobianas aisladas a partir de hongos marinos de Tanzania	Universidad de Göttingen, Alemania
Marie Abboud Líbano	Imagenología óptica no-invasiva de los vasos sanguíneos que se forman para irrigar un tumor naciente, con el fin de localizar el tumor y mejorar el diagnóstico	Universidad de Bretaña occidental, Brest, Francia
Khadijetou Lekweiry Mauritania	Estudio de la transmisión del paludismo en la capital, Nouakchott	Instituto de Investigación para el Desarrollo, Dakar, Senegal
Rima Al-Besharat Siria	Aislamiento e identificación de las células locales de bacterias probióticas para usarlas en los productos alimenticios	Universidad Técnica Münchens, Alemania
Jingyi Shi China	Genética de la leucemia mieloide aguda, cáncer de los glóbulos blancos	Instituto de Investigación del Cáncer, Sutton, Reino Unido
Yean Yean Chan Malasia	El uso de biocaptadores electroquímicos del ADN para detectar las enfermedades infecciosas en una muestra de líquido corporal. Concepción eventual de un material poco costoso y portátil para las enfermedades infecciosas	Universidad Nueva Gales Sur, Sydney, Australia
Ishrat Bano Pakistán	Concepción de nanopartículas magnéticas para la administración de medicamentos	Universidad de Cambridge, Reino Unido
Ivana Pešić Serbia	Estudio e identificación de las proteínas urinarias, una herramienta para diagnosticar y prevenir las enfermedades	Universidad de Georg-August, Göttingen, Alemania
Mareike Posner Alemania	Estudio de la resistencia de las estructuras de las enzimas para los organismos adaptados a condiciones extremas	Centro de Investigaciones Extremófilas, Universidad de Bath, Reino Unido
Lydia Lynch Irlanda	El estudio del omentum humano como herramienta del diagnóstico inmunológico. El omentum grasoso cubre los intestinos	Escuela Médica de Harvard, Boston, Estados Unidos
Paula Villar Argentina	Concepción de un modelo informático del corazón en 3D	Barcelona Supercomputing Center, España
Bertha Gonzales Frankenberger México	El desarrollo del lenguaje y de la voz en los recién nacidos y prematuros	Centro Médico Universidad de Santa Justina, Montreal, Canadá y Centro Hospitalario Universitario de Amiens, Francia
Cecilia Gonzales Marin Perú	Relación entre las infecciones bucales y las complicaciones médicas en las mujeres en cinta	Escuela Queen Mary de Medicina Dental, Londres, Reino Unido

## Premios científicos para mujeres excepcionales

Las cinco laureadas del año con el premio L'ORÉAL-UNESCO Para las Mujeres y la Ciencia recibieron cada una 100 000 dólares, el 5 de marzo, durante una ceremonia organizada en la sede de la UNESCO, en París. Igualmente, quince jóvenes investigadoras fueron retribuidas con 40 000 dólares cada una para la continuidad de sus trabajos en ciencias de la vida, en algún prestigioso laboratorio a su elección, en el extranjero (ver cuadro).

Las laureadas de este año son:

- **África y Estados Árabes:** Pr **Tebello Nyokong**, del Departamento de Química de la Universidad de Rodas en Sudáfrica, por su contribución a la utilización del potencial de las luces en el tratamiento del cáncer o para



- remediar los perjuicios causados por el medio ambiente
- **Asia-Pacífico:** Pr **Akiko Kobayashi**, del Departamento de Química, de la Nihon University de Japón, por su contribución al perfeccionamiento de los conductores moleculares y a la concepción y síntesis de un metal molecular de un solo compuesto.



- **América del Norte:** Pr **Eugenia Kumacheva**, del Departamento de Química de la Universidad de Toronto en Canadá, por la concepción y el desarrollo de nuevos materiales valiosos en numerosas aplicaciones, entre ellas la administración dirigida de medicamentos en el tratamiento del cáncer y de materiales que permiten una alta densidad de almacenamiento en datos ópticos.



- **Europa:** Pr **Athene M. Donald**, del Departamento de Física de la Universidad de Cambridge, en el Reino Unido, por haber esclarecido los misterios de la física de la materia desordenada, desde el cemento hasta el almidón.



- **América Latina:** Pr **Beatriz Barbuy**, del Instituto de Astronomía, de Geofísica y de Ciencias Atmosféricas en la Universidad de Sao Paulo en Brasil, por sus investigaciones sobre la vía de las estrellas, desde el nacimiento del Universo hasta la época actual.



El jurado estuvo presidido este año por el egipcio Ahmed Zewail, Premio Nobel de Química 1999.

Para más detalles: [rclair@unesco.org](mailto:rclair@unesco.org); [www.forwomeninscience.com](http://www.forwomeninscience.com)

## 2011 será el Año de la Química

La ONU declaró 2011 Año Internacional de la Química y designó a la UNESCO y a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) al frente de esta operación mediante una resolución de su 63 Asamblea General, celebrada en diciembre en Nueva York.

La resolución fue propuesta a la ONU por Etiopía, luego de ser avalada por el Consejo Ejecutivo de la UNESCO. El Año celebrará los descubrimientos de la química y su contribución al conocimiento, a la protección del medio ambiente y al desarrollo económico.

«Esperamos fortalecer la sensibilidad y la comprensión de la química por parte del público» declaró el Pr. Jung-Il Jin, presidente de la UICPA. «Despertar en el público el interés por la química es de gran importancia» añadió Koichiro Matsuura, Director General de la UNESCO, «debido a los retos por enfrentar en aras de un desarrollo sostenible. Ciertamente, la química va a desempeñar un papel importante en la explotación de fuentes energéticas alternativas y en la alimentación de una población mundial en pleno crecimiento». Las transformaciones moléculares son esenciales en la producción de alimentos, de medicamentos, del carburante y de un número infinito de productos manufacturados y minerales.

El Año, que marcará el centenario de la atribución, en 1911, del premio Nobel de Química a María Sklodowska Curie, será también una ocasión para rendir homenaje a la contribución de las mujeres a la ciencia. En 1911 se fundó también la Asociación Internacional de Sociedades de Química (IACS) con el fin de facilitar la comunicación y la cooperación científica internacional entre los químicos al estandarizar la nomenclatura y la terminología. En 1919, la UICPA sucedió a la IACS.

[secretariat@iupac.org](mailto:secretariat@iupac.org); [j.hasler@unesco.org](mailto:j.hasler@unesco.org); [www.chemistry2011.org](http://www.chemistry2011.org)

## Inauguración del **observatorio Pierre Auger**

**El 14 de noviembre, tuvo lugar la inauguración del observatorio Pierre Auger en Malargue, Argentina. Este explora los misterios de los rayos cósmicos de ultra alta energía que bombardean la Tierra de partículas cargadas de una energía 10 millones de veces superior a la del acelerador de partículas más poderoso del mundo. Lanzado hace más de 10 años bajo los auspicios de la UNESCO, el observatorio es una red de 1600 sondas repartidas en Argentina sobre 3 000 km<sup>2</sup>.**

El observatorio Pierre Auger es un «detector híbrido» que propone dos métodos diferentes. Uno de ellos detecta los rayos cósmicos de alta energía gracias a la interacción de estos con el agua recogida en tanques situados en la superficie. El otro investiga la formación de partículas atmosféricas observando la luz ultravioleta emitida en la alta atmósfera de la Tierra.

Fue en la sede de la UNESCO, en París en 1995, que la colaboración internacional creada para apoyar el proyecto se convirtió en realidad cuando todas las partes aceptaron con gratitud la oferta hecha por Argentina de acoger el observatorio austral. El 13 de octubre de 1998, el Comité Financiero del Proyecto Pierre Auger se reunió en la sede de la UNESCO con el fin de perfeccionar el acuerdo que determinaría la organización, gestión y financiamiento del proyecto. Carlos Ménem, entonces Presidente de Argentina, anunció a la reunión que la construcción podría comenzar desde principios del siguiente año. El proyecto fue firmado en marzo 1999, dos meses antes del inicio de la construcción del detector en Argentina.

El proyecto recibe el nombre de Pierre Auger, Director de Ciencia en la UNESCO entre 1948 a 1958, quien murió en 1993. Su mayor mérito es, quizás, el de haber orquestado el papel de la UNESCO en la fundación, cerca de Ginebra, de la Organización Europea de la Investigación Nuclear (CERN), que acaba de lanzar el 21 de octubre último, el Gran Colisionador Hadrons.



© Observatorio Pierre Auger

*Uno de los 1600 detectores de superficie, al fondo de la cordillera de los Andes. Cada uno de ellos funciona de forma autónoma con sólo 20 watts de energía solar. Las señales del detector son enviadas automáticamente por radio al observatorio central*

Pierre Auger era especialista en física experimental en la esfera atómica (efecto fotoeléctrico), nuclear (neutrones lentos) y radiación cósmica (partículas atmosféricas). Después de varios años de servicios en la UNESCO, fue Director del Servicio de Física Cósmica en el Centro Nacional de Investigación Científica (1959–1962) en Francia, y Director General del Consejo Europeo de Investigaciones Espaciales (1962–1967). La Colaboración Pierre Auger reúne unos 350 científicos de Alemania, Argentina, Australia, Bolivia, España, Estados Unidos, Francia, Italia, México, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Eslovenia, República Checa y Vietnam. James W. Cronin, de la Universidad de Chicago (Estados Unidos), Premio Nobel de Física, fue el creador del observatorio, con Alan Watson de la Universidad de Leeds (Reino Unido).

El proyecto entra ahora en su segunda fase, donde se prevé la creación de un observatorio en el hemisferio norte en Colorado (Estados Unidos), así como el perfeccionamiento del observatorio austral.

*Para más detalles: [www.auger.org](http://www.auger.org); [m.alarcon@unesco.org](mailto:m.alarcon@unesco.org)*

## Un Iraní recibe un **premio de óptica**

**El Dr Saifollah Rasouli, del Instituto de Altos Estudios en Ciencias Fundamentales de Zanjan (Irán) es este año, el laureado del Premio Gallieno Denardo, apadrinado conjuntamente por el Centro Internacional de Física Teórica (CIPT) de la UNESCO y la Comisión Internacional de Óptica (CIO).**

Este premio anual se le otorga a científicos menores de 40 años, originarios de países en desarrollo. Incluye una subvención de 1 000 dólares por parte de la CIO y la totalidad de los gastos, por parte del CIPT, para permitirle al laureado participar en un postgrado futuro e impartir un seminario sobre sus trabajos de investigación.

El Dr Rasouli recibió su premio durante el Colegio Anual de Invierno sobre la Óptica en Ciencias del Medio Ambiente destinado a los científicos de los países en vías de desarrollo, organizado por el CIPT del 2 al 13 de febrero de este año. Este premio recompensa la innovadora utilización de la interferometría láser en el estudio de la turbulencia atmosférica, que ofrece una resolución más fina que los otros métodos. Los trabajos del Dr Rasouli se aplican profusamente en la observación meteorológica, por ejemplo, al igual que en el mejoramiento del rendimiento de carburantes de aviones y de automóviles.

*Para más detalles: <http://prizes.ictp.it/ICO>; [pressoffice@ictp.it](mailto:pressoffice@ictp.it)*



Jacques Weber

## «La crisis puede ser la ocasión para reconsiderar la economía mundial»

Frente a la crisis financiera y económica, que no deja de extenderse en el mundo, se movilizan numerosos investigadores, organizaciones e instituciones. Mientras que los recursos naturales disminuyen, se escucha hablar de términos como Green Deal (Acuerdo Verde) o de Global New Green Deal (Nuevo Acuerdo Verde Global), de establecer impuestos sobre los bienes y servicios que prestan los ecosistemas. El economista y antropólogo Jacques Weber, Director de investigación del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD) en Francia, explica los entresijos de una idea que cada vez gana más terreno: el cambio hacia una economía mundial «verde» para que la economía mundial emerja de esta crisis fundamentada sobre bases más sanas.

### ¿Cómo analiza usted la crisis actual?

La presente crisis me parece no tener precedentes. La referencia a la crisis de 1929 es errónea. Los efectos de la actual crisis sobre la economía mundial aún no se han visto y nadie puede decir qué tiempo durará. Los países más pobres como siempre cargarán con el mayor peso. En la actualidad una creciente cantidad de países están cerca de la suspensión de pago, inclusive entre los más ricos, como Islandia e incluso Irlanda. Los bancos al borde de la bancarrota se multiplican, obligando a los Estados a nacionalizarlos; el desempleo aumenta por doquier; China perdió más de veinte millones de empleos entre septiembre 2008 y enero 2009, o sea casi la población activa de Francia. Existen reales temores de que la implosión de las economías y los dramas sociales que se engendran provoquen explosiones sociales.

Sin lugar a dudas, la crisis actual en su origen es financiera y habría ocurrido tarde o temprano. Pero el hecho de que se desate como consecuencia del alza considerable de los precios del petróleo, los minerales y los alimentos, hace pensar que estamos en una crisis de escasez objetiva de los recursos naturales, no renovables y renovables, cuya *expresión* es financiera.

### ¿Puede la crisis favorecer un desarrollo sostenible?

Si la crisis es realmente resultado de una creciente escasez de recursos naturales, esta fragilidad de la economía puede constituir una excelente oportunidad para afrontar directamente tal escasez de forma tal que el mismo problema no se presente en un futuro.

Tal vez pueda ser esta la ocasión de reconsiderar tanto la economía mundial como las nacionales y redefinir las instituciones internacionales para sirvan a este objetivo. En fin, esta podría ser la ocasión de concebir nuevos mecanismos de distribución a escala mundial de los beneficios a los países con menor consumo; lo cual sería el fin de la tan anunciada «ayuda» internacional al desarrollo, fruto de la buena voluntad, de la caridad, en otras palabras el fin de lo arbitrario y su reemplazo por mecanismos basados exclusivamente en el rigor y en la justicia. En el sistema capitalista tal y como lo conocemos, la riqueza es creada destruyendo la naturaleza (*capital natural*). Si yo destruyo un sitio, creo «valor agregado» y se aumenta el PIB. En el sistema capitalista «remodelado», la destrucción de la naturaleza sería muy costosa; contrariamente, mantener o aumentar el *potencial natural* sería muy rentable.

### ¿Las empresas están dispuestas a aceptar el principio de que el que contamina paga?

Este principio no es punitivo. Consiste en hacer pagar al que sigue contaminando para financiar aquellos que consienten en invertir para

reducir su contaminación. Es por lo tanto un principio de incentivos y de redistribución. Lo ideal sería fijar los impuestos en un nivel lo suficientemente alto como para hacer «rentable» las inversiones de reducción de la contaminación.

Al tomar conciencia de su dependencia con respecto al mundo en que se vive y de la escasez creciente de los recursos naturales que son los que generan sus ganancias, las empresas tratan de minimizar el impacto de sus actividades y de concebir un sistema específico de contabilidad que englobe sus actividades respecto a la biodiversidad y a los bienes y servicios que prestan los ecosistemas. Por mucho que estas compañías comprendan lo bien fundamentado de rediseñar la economía basada en el potencial natural, no es evidente que las mismas puedan evaluar todas las implicaciones potenciales sobre sus modos de organización a todos los niveles así como para sus mercados y la estructura de sus beneficios. Pero ¿quien lo podría en esta etapa? Es necesario hacer un importante esfuerzo de análisis colectivo de toda la situación.

### ¿Cómo cambiar hacia una economía verde?

Una medida sería la abolición de los impuestos sobre el trabajo y su sustitución por impuestos de naturaleza ecológica (ecotax). La instauración de un impuesto sobre la energía, que abarque todo el proceso desde su producción hasta el consumo final, que podría llamarse «impuesto sobre la energía agregada», es otro ejemplo. En el ejemplo anterior, se penaliza el consumo de energía en cada etapa del proceso, con el fin de estimular la economía de ahorro de energía y el desarrollo de energías «limpias»<sup>3</sup>. No se trata de sobrecargar con nuevos impuestos, sino de sustituir los actuales que tienden a estimular la destrucción del potencial natural, por impuestos a favor de la conservación de ese potencial.

### ¿Qué entiende usted por «abolición de los impuestos sobre el trabajo»?

Entiendo por ello todas las cargas que pesan sobre el trabajo. En Francia estas cargas representan cerca del 50% del salario bruto. Así el «impuesto profesional» pagado por las empresas alimenta las finanzas de los órganos locales; pero gravitan sobre los salarios. Cuando el Presidente Sarkozy anunció su supresión en febrero último y su sustitución por un impuesto de carácter ecológico, se trataba de la misma lógica que defiendo: se reemplaza un gravamen económico sobre el trabajo por un gravamen económico al uso de la naturaleza, incluyendo la fertilidad de los suelos, la pesca, los bosques, los espacios turísticos...

### ¿Qué permitiría este impuesto ecológico?

El impuesto directo o indirecto, —mediante los mercados de emisiones—, al consumo de los bienes y servicios que brinda la naturaleza, en parte complementaría el paquete de «cambio» de medidas orientadas a mantener o incrementar el potencial natural.

Hoy en día, el precio del pescado en nuestra mesa se fija con respecto al costo del trabajo para traerlo desde el mar. El pescado por sí solo no tiene valor propio. Un «sistema de cuotas transferibles» atribuye indirectamente un valor al pescado. En muchos países existen para la pesca, «cuotas individuales transferibles». Estos derechos transferibles pueden ser en forma de cantidades, zonas, temporadas de pesca, entre otras cosas. Para los suelos, la variación de un indicador de fertilidad puede servir de base a los impuestos; para los bosques, la puesta en subasta de derechos de tala revendibles con pérdida de estos derechos en caso de no respeto de las normas de manejo establecidas; para el turismo en zona sensible, puede ser a través de la puesta en subasta entre los operadores de un derecho de visita para una cantidad dada de turistas, con pérdida del derecho en caso de no respeto a las normas establecidas. En cada caso, todo o una parte de los recursos obtenidos por la venta de los derechos es utilizado para ayudar la reconversión o inclusión en el sistema de los grupos o sectores que permanecen «excluidos».

### En Alemania el desarrollo de la energía eólica tendría un efecto negativo sobre las emisiones de carbono de los países del Este, ya que las empresas alemanas venden sus créditos a las industrias contaminantes en Polonia y otros lugares. ¿Es eficaz este «mercado de derechos de emisión de carbono», que forma parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), creado por el marco del Protocolo de Kyoto?

Usted ilustra aquí el hecho bien conocido de que un mercado sin reglas, no es la «ley del mercado» sino... la ley de la selva. El MDL me parece que escapa ampliamente a todo control. Habría que evaluarlo. Para conseguir los objetivos que se buscan convendría que el mercado de emisiones sea objeto de una amplia regulación. El mercado de emisiones de carbono es una herramienta interesante. A condición de que las emisiones sean efectivamente controladas y no dejadas a la sola declaración de los países. Mi pensamiento es tratar de utilizar el mercado como una herramienta, no que se convierta en la herramienta del mercado. En fin, ninguna herramienta es perfecta ni suficiente por sí sola. En función de los objetivos, de los actores y de la naturaleza de los asuntos, se emplearía una combinación de instrumentos.

### El Presidente Correa de Ecuador propuso que la OPEP imponga un impuesto sobre el precio del petróleo que facilitaría a los países productores desarrollar energías alternativas, una idea del economista Herman Daly. ¿Qué piensa usted?

Esto puede formar parte del conjunto de herramientas. Pero se trata de algo diferente de lo que yo propongo: un impuesto a la energía, desde su producción hasta su consumo final. La medida propuesta por el Presidente Correa sólo comprende el precio del petróleo en su producción. La medida que yo propongo —no pretendo ser el único autor!— retoma la idea del señor Correa, pero ampliándola al conjunto de la economía mundial. La que tendría como resultado lo esperado por el señor Correa, pero además sería un fuerte estímulo para reducir el consumo de energía. Lamentablemente la búsqueda de energías «limpias» nos hace olvidar muy a menudo la urgencia del

ahorro de energía. Un «impuesto sobre la energía agregada», supone la existencia de una institución internacional que disponga del poder de coleccionar y redistribuir este impuesto internacionalmente, de forma inversamente proporcional al consumo de energía. Estos ingresos se redistribuirían entre aquellos países menos consumidores de energía, los más pobres, y de esta forma se obtendría un incentivo para ahorrar energía. Los organismos internacionales son indispensables para el debate entre las naciones. En ellos se han propiciado grandes proyectos como aquellos ejecutados por la UNESCO. Sin embargo estos no tienen poder para regular o implementar las normas decididas por los Estados, a *fortioris* cuando se llega al punto de la vigilancia o las sanciones sin las cuales no puede haber regulación.

Esperemos que en la próxima reunión del G-20 en Londres, en abril, se abordará este tema con decisión y se propiciará un sistema internacional que pueda manejar instrumentos económicos como los impuestos sobre la energía agregada, entre otros a nivel mundial. Sin esta profunda reflexión no habrá un rediseño de la economía y la próxima vez el sistema actual reproducirá la presente crisis a una escala mayor. Quizás necesitemos una nueva institución que resulte de la fusión de las existentes: PNUMA, FAO, PNUD... pero sobre todo necesitamos una institución investida de poder para implementar las decisiones tomadas por los Estados en el seno de un sistema de regulación mundial. Esto por sí mismo será algo radicalmente nuevo en nuestra economía globalizada.

### ¿Cómo ve usted el papel de la investigación y el de la UNESCO, de cara a estos cambios de un nuevo paradigma?

La investigación está en el corazón de todas estas reflexiones sobre la reformulación de la economía. Por el momento, esta reflexión internacional se ha desarrollado fuera de un marco que le permita ser verdaderamente eficaz y acumulativa. Es tiempo ya de crear un grupo de trabajo internacional de economistas reconocidos por sus competencias en economía de recursos y del medio ambiente, a escala local y mundial al cual se le formularían preguntas: ¿Cuál sería la viabilidad de un cambio del sistema de las regulaciones existentes hacia otro de una economía verde? ¿Cuáles serían las consecuencias de tal giro? ¿Cómo pensar regulaciones mundiales y redistributivas?

Sin la reconstrucción de las bases ecológicas indispensables a un desarrollo sostenible, países como Haití entre otros muchos, no saldrán de la espantosa miseria en la que se encuentran: lo dije hace ya varios años y lo mantengo hoy, que es ahí donde se encuentran los Abou Simbel<sup>4</sup> del siglo 21 para la UNESCO. La organización que inventó las Reservas de Biosfera tiene la oportunidad de adueñarse de este asunto, de ofrecer un marco de trabajo a este grupo de la reflexión. Ella demostraría ser de gran utilidad en esta crisis de la que saldría exitosa.

Entrevista realizada por Meriem Bouamrane

Leer también el informe provisional preparado después de la reunión del G8 en junio 2007: The Economics of Ecosystems and Biodiversity: <http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/>

3. La economía de energía en un lugar no debe esconder el gasto energético total. A menudo leemos que el auto eléctrico sería un auto «limpio». Efectivamente es limpia allí donde es usada, pero las baterías deben ser recargadas, ya sea a partir de centrales nucleares o a partir de centrales térmicas. Entre la energía fósil a la entrada de una central térmica y la utilización del auto, ¿se ha perdido 60% de la energía inicial!
4. La salvaguarda de este templo Nubio en los años 1960 fue uno de los más grandes éxitos de la UNESCO del siglo 20

# Asistiendo al río «Madre de China»

Por su extensión, el río Amarillo es el segundo de China después del Yangtsé y el sexto del mundo. Esta región, habitada por 110 millones de personas, es la cuna de la civilización de China del Norte y el corazón del actual desarrollo político y socio-económico: su cuenca produce el 6,8% del PIB nacional.

El río Amarillo, llamado afectuosamente «Madre de China», es sin embargo víctima de interminables sequías, inundaciones, sedimentaciones y de una grave contaminación. La sequía de este año amenaza con ser la peor desde hace medio siglo. ¿Qué efecto tendrá el calentamiento climático sobre el abastecimiento de agua, en una región donde la población en pleno crecimiento, podrá alcanzar los 121 millones de aquí al 2010? Mientras tanto la salud de estos ecosistemas se degenera debido a la expansión de los sectores agrícolas, industriales y urbanos que se disputan recursos entre ellos que se aproximan ya a sus límites.

El estudio de caso que se presenta a continuación, fue realizado por la Comisión para la Conservación del Río Amarillo (CCRA) para *El Agua en un Mundo en Cambio*, título del tercer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, publicado el 16 de marzo. La CCRA reconoce que deberá, en coordinación con los ministerios que corresponda, encontrar un equilibrio entre los sectores concurrentes y tomar medidas para remediar la situación si se quiere proteger al «Madre de China» y preservar el futuro de más de 120 millones de chinos.

El río Amarillo nace en la planicie Qinghai-Tibet, en el oeste de China. Luego recorre a lo largo de 5 500 Km la vasta llanura de China del Norte y atraviesa nueve provincias antes de desembocar en el mar de Bo Hai a unos 250 Km al sur de Beijing (*ver mapa*).

En esta zona montañosa, la temperatura media solo varía en el transcurso del año entre 4°C y 14°C. Más del 60% de las precipitaciones ocurren entre junio y septiembre durante la temporada de crecimiento de los cultivos. En los años 1990, la pluviosidad se mantuvo alrededor del 7,5% inferior a la media de los decenios precedentes por causa de la sequía (*ver: El decenio de la sequía*).

Xu y sus colaboradores<sup>5</sup> prevén que el aumento de la temperatura anual de la cuenca vertiente podría alcanzar 3,9°C de aquí al 2080 y la pluviosidad 8,7% mientras que el caudal del río podría disminuir durante el mismo período.



Lago de glaciación en el nacimiento del río Amarillo, en la meseta Qinghai-Tibet



Toma de una muestra de agua en el lago E-Ling, cerca del nacimiento del río Amarillo

La cuenca podría sufrir una grave escasez de agua durante el próximo siglo si esta no es mejor utilizada gracias a una gestión y a una adaptación tecnológica mejorada. He aquí algunas de las principales amenazas.

## Sobreexplotación de las aguas subterráneas

Las necesidades de agua dieron un salto entre 1949 y 2006 de 10 mil millones de m<sup>3</sup> a cerca de 38 mil millones de m<sup>3</sup>. Desde su puesta en servicio en 1950, hay actualmente 380 000 pozos revestidos. En el 2000 eran bombeados cada año 11 mil millones de m<sup>3</sup> de agua subterránea. Esta sobreexplotación, en particular en las grandes y medianas ciudades, crea un grave problema. Llamada en otros tiempos «la ciudad de los manantiales», Jinan por ejemplo, vio sus fuentes secarse durante los años 1990. En general, el nivel de las aguas subterráneas ha disminuido significativamente en 65 localidades por causa de los bombeos excesivos.

## El agua del río se vuelve «imbebible»

Fue la calidad del agua quien pagó más alto tributo por una economía floreciente y una industrialización acelerada, asociado a un crecimiento de la población. La cantidad de aguas usadas no tratadas, vertidas en el río Amarillo, duplicó desde los años 1980, hasta llegar a 4,2 mil millones de m<sup>3</sup> por año. En el río se vierten más de 300 contaminantes y solo un 60% de su curso contiene aguas apropiadas para el consumo. A título de la Ley de Lucha Contra la Contaminación, un marco jurídico se estaba preparando en 2009 con el fin de proteger los recursos hídricos. Las reglas y normas también conciernen a los afluentes. Al mismo tiempo, la Ley sobre la Protección de los Recursos Hídricos del Río Amarillo está en proceso de modificación.



La cuenca del río Amarillo se extiende sobre 795 00 Km<sup>2</sup>. En el 2000, cerca del 26% de su superficie estaba urbanizada. Posee dos zonas climáticas diferentes: árida y semi-árida de monzón continental al noroeste y semi-húmeda al sudeste

Sin embargo, sería difícil cultivar arroz en la cuenca sin irrigar. Con la irrigación los principales cultivos –trigo, maíz y soja– aumentan sus rendimientos en un 50% o más. Fueron estas ganancias de productividad lo que motivó la expansión del riego en la cuenca desde los años 1950. Pero en general se estima que esta alcanza ya sus límites y que en lo adelante haría falta estimular más la producción pluvial (45% de las superficies) durante la próxima etapa de revalorización de la cuenca, visto el enrarecimiento ineluctable del agua.

### Uso abusivo del agua para riego

Entre 1951 y 1987 numerosas obras fueron construidas sobre el río para limitar las inundaciones, producir energía hidroeléctrica e irrigar. En los años 1970 grandes represas fueron edificadas sobre el curso superior del río; en los alrededores del curso medio del río una campaña de protección de los suelos creó nuevas tierras agrícolas en terrazas sobre la meseta de loess; por último, con el objetivo de irrigar, en el curso inferior se desarrollaron considerablemente las desviaciones. En el 2000 había más de 10 000 retenciones operacionales, de las cuales 23 detrás de potentes embalses, para un volumen total de 62 mil millones de m<sup>3</sup> que sobrepasan el débito anual de la cuenca. La producción hidroeléctrica de la cuenca alcanza actualmente los 40 TWh por año.

La expansión del riego fue rápida: de 8 000 Km<sup>2</sup> en 1950 a 75 000 en el 2000. Aunque la demanda se estabilizó en los años 1980 y el uso del agua en la agricultura decreció después del 2000, en el Plan de Repartición de las Aguas del Río Amarillo, la agricultura sigue a la cabeza con el 84% del consumo total, seguida por la industria (9%), los hogares (5%) y el medio ambiente (2%). Cuando el consumo sobrepasa las disponibilidades, el déficit se cubre con el recurso a las aguas subterráneas fuera de la cuenca o mediante el reciclaje.

Frente al aumento de las necesidades de la industria y a la sensibilización del público con el medio ambiente cuando incluso las reservas llegan a su límite, se manifiesta la voluntad de mejorar el rendimiento del agua en la agricultura. La CCRA lanzó un plan orientado a reducir un 10% el consumo de este sector de aquí al 2010.



A mitad del recorrido del río Amarillo, en la meseta de loess, sobre sus pendientes dispuestas en terrazas, las alineaciones de plantas verdes retienen el suelo. Este método local tradicional previene la erosión del suelo y conserva el agua. Estas plantas brindan además a los poblados ingresos complementarios a la agricultura

### Administrar la sedimentación

El río Amarillo debe su nombre al color de los sedimentos que recoge en abundancia al atravesar la meseta de loes de 640 000 Km<sup>2</sup>. Enormes cantidades de este suelo movable, fácilmente erosionable, son transportadas por el río y sus afluentes, en particular durante las torrenciales lluvias de verano. La carga de sedimentos transportada por el río es como promedio, de 1,6 mil millones de toneladas por año. Solamente una cuarta parte llega al mar, el resto se deposita en la cama del río. La sedimentación sobre eleva la cama entre 5 y 10 cm por año, por lo que periódicamente ha hecho falta sobre elevar también los diques en esa misma proporción. El impacto de la sedimentación sobre la dinámica del cauce ha complicado la disposición del río, sobre todo en su parte inferior.

La CCRA consideró como una prioridad absoluta para el medio ambiente detener la pesada carga sedimentaria del río así como proteger la biodiversidad y salvaguardar las tierras húmedas y las pesquerías en la desembocadura. La circulación mínima necesaria para lograr la detención de los sedimentos está estimada en 14 mil millones de m<sup>3</sup>, a los cuales se agrega 5 mil millones de m<sup>3</sup> para garantizar las otras necesidades medioambientales. Pero es muy difícil garantizar ese débito mínimo para el medio ambiente cuando las aguas de superficie se explotan ya al máximo.

### Confrontar las inundaciones y la sequía

A través de la larga historia de la cuenca del río Amarillo, las inundaciones y la sequía han provocado millones de víctimas. Entre el 206 a. de J.C. y 1949 d. de J.C., han sido señaladas 1092 grandes crecidas, así como 1500 roturas de diques, 26 cambios de cauce y 1056 episodios de sequía. La llanura de China del Norte, muy llana, creada por los aluviones del río Amarillo, siempre ha estado sujeta a las inundaciones.

Desde el nacimiento de la República Popular China en 1949, los grandes planes de lucha contra las inundaciones, así como la construcción de grandes obras hidráulicas, han reducido fuertemente esta vulnerabilidad y las pérdidas provocadas por las inundaciones. El arreglo de las orillas, las reservas y las represas han contribuido a luchar eficazmente contra las inundaciones y a minimizar los efectos de la sequía. En China el sistema de lucha contra las inundaciones con la construcción de grandes obras, ha tomado como

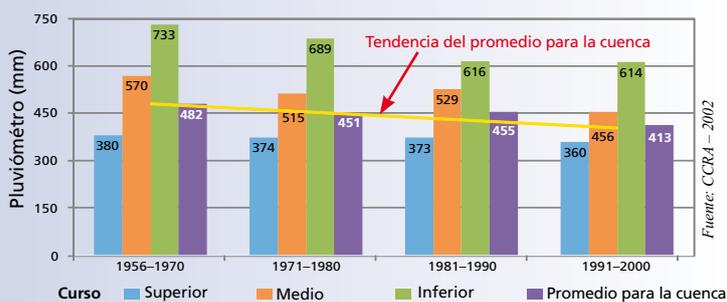
## El decenio de la sequía

En 1987, el Consejo de Estado de China instauró un Plan de Repartición de las Aguas del Río Amarillo, con el fin de repartir mejor los recursos disponibles en función de la demanda real. Se fijó un techo de 37 mil millones de m<sup>3</sup> por año, para un débito promedio de 58 mil millones de m<sup>3</sup>. Las provincias situadas en el medio de la cuenca recibían 22% del débito disponible, el resto se repartía de forma equitativa entre las provincias situadas río arriba y río abajo. Teniendo en cuenta las variaciones temporales del agua disponible, el reparto se revisa cada año.

Sin embargo, durante los años 1990 este plan se vio sometido a una dura prueba: la sequía reinó en toda la llanura de China del Norte incluida la cuenca del río Amarillo. Dos de sus afluentes: el Wei He y el Fen He, fueron reducido a hilos de agua. El débito disminuyó de 24%, y cayó, en el curso inferior, a 14% del promedio anual a largo plazo. De 1995 a 1998, durante 120 días cada año, la caída del agua se interrumpió totalmente en los 700 últimos kilómetros del río. Las repercusiones fueron severas: escasez extrema de agua en las provincias del curso inferior, imposibilidad de evacuar hacia el mar los sedimentos y amenazas para la supervivencia de la ecología del delta y las pesquerías costeras.

El plan logró impedir desde 1999, que la cama del río se secase totalmente, aunque en ocasiones el débito cae a niveles puramente simbólicos.

Administrar la escasez de agua se ha convertido en la principal prioridad para la cuenca del río Amarillo. Con la situación de desequilibrio creciente entre la disponibilidad y la demanda, es difícil dar respuesta a la más mínima nueva demanda de un sector sin reducir el abastecimiento a otros. Es evidente que se deberán realizar selecciones delicadas para dar respuesta a estas necesidades conflictivas. En la medida en que la agricultura es la mayor consumidora de agua, la conclusión ineludible es que se tendrá que reducir su parte y encontrar nuevas prácticas agrícolas para utilizar el agua más eficientemente.



**Pluviometría en los diferentes segmentos de la cuenca del río Amarillo, 1956-2000**

referencia, para los grandes ríos, la capacidad de descarga de las más grandes inundaciones registradas desde los años 1950, y para los pequeños, la frecuencia de las inundaciones cada 5 a 10 años.

Además de las grandes obras, se mejoraron las otras disposiciones, específicamente elaborando y aplicando programas de previsión de las crecidas y sistemas de alerta y poniendo en vigor leyes, reglamentos, políticas y las reglas de la economía. Adecuando, por ejemplo, los cursos de los ríos y reglamentando toda instalación en zonas de inundación. La CCRA y las provincias de Shanxi, Shaanxi, Henan y Shandong, se unieron para crear un centro de lucha contra las inundaciones del río Amarillo y de auxilio en caso de sequía.

## Reglamentar una sed devoradora

En los años 1990 el gobierno central adoptó un conjunto de leyes encaminadas a enfrentar, a escala nacional, la escasez de agua y garantizar la continuidad del milagro económico del país, mientras que el público tomaba plenamente conciencia del medio ambiente. El arsenal jurídico comprende las Leyes sobre el Agua, sobre la Protección del Suelo y del Agua, de Lucha contra las Inundaciones, de Protección del Medio Ambiente, sobre la Pesca, sobre el Bosque y sobre los Recursos Minerales. En 2002, una nueva ley sobre el agua que pone el acento sobre la gestión integrada de los recursos hídricos, inició una transición entre una demanda de desarrollo que descansa en la ingeniería hacia una estrategia preocupada por los recursos y centrada en la disponibilidad de agua. Creada en 1946, la CCRA administra la cuenca del río Amarillo bajo la égida del Ministerio de los Recursos Hídricos y del Consejo de Estado. Ella prepara y pone en marcha el plan de valoración del agua y de la cuenca del río, decide sobre la repartición de sus recursos entre las provincias y se encarga de construir y mantener las obras –con excepción de grandes embalses– para todo lo que está relacionado con la utilización del agua y la prevención de las inundaciones.

Desde el 2000, la CCRA concibió un plan de utilización del agua basado en planes de aprovisionamiento y de demanda a mediano y largo plazo, con el fin de repartir mejor los recursos entre los diferentes sectores. Planes anuales de utilización del agua son transmitidos a los utilizadores, quienes deben velar por mantener volúmenes suficientes para las zonas prioritarias, sobre todo en caso de sequía. La CCRA elaboró también reglas que estimulan a los hogares a instalar aparatos ahorradores de agua, a los agricultores a adoptar prácticas más eficientes del agua y a los industriales a hacer uso de técnicas que reducen la utilización del agua y las devoluciones. Este estableció, entre otras cosas, un sistema de precios del agua.

En la actualidad, con la finalidad de frenar la contaminación y la utilización abusiva del agua, existe un arsenal de leyes, que mediante un acercamiento holístico toman en cuenta las necesidades de todos los usuarios. Al mismo tiempo se hacen todos los esfuerzos para lograr un equilibrio entre las necesidades en agua de los diferentes sectores. ¿Será esto suficiente para restaurar la antigua gloria de la «Madre de China»? Solo el tiempo lo dirá.

*La redacción de este estudio de caso fue facilitada por la oficina de la UNESCO en Beijing a título del proyecto español del Objetivo de Desarrollo del Milenio que busca establecer un marco de asociación con China para el cambio climático.*

- Xu, Z. X.; Zhao, F. F.; Li, J. Y. (2006 or 2007) Impact of climate change on stream flow in the Yellow River Basin: [www.ifwj2.org/addons/download\\_presentation.php?fid=1077](http://www.ifwj2.org/addons/download_presentation.php?fid=1077)

# Restos de barcos, mundos sumergidos y saqueadores de tumbas

Durante siglos, ciudades enteras han sido cubiertas por las aguas e innumerables navíos han desaparecido en el mar. Sus restos constituyen un precioso patrimonio arqueológico de gran importancia cultural. Numerosos son los sitios sumergidos que han permanecido intactos durante siglos, incluso milenios. En ausencia de oxígeno, la materia orgánica, como la madera, se conserva mucho mejor bajo agua que en tierra firme y ello le confiere un valor único a estos sitios.

El 2 de enero, la Convención de la UNESCO sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático entró en vigor, tres meses después de su ratificación por un vigésimo Estado<sup>6</sup>. «A partir de ahora será posible proteger legalmente la memoria histórica contenida en el patrimonio cultural subacuático y frenar el floreciente tráfico de saqueadores de tesoros» declaró con satisfacción Koïchiro Matsuura, Director General de la UNESCO.

Mientras que en el siglo pasado una miríada de sitios arqueológicos fueron descubiertos en tierra firme los mares, los ríos y lagos del mundo guardaban celosamente sus secretos. El perfeccionamiento de una tecnología avanzada –que comprende naves sumergibles, trajes de buceo y equipos de detección– hacen más fácil acceder a ellos, incluso en fondos profundos.

## La fiebre del oro

Los descubrimientos arqueológicos de estas últimas décadas han incentivado la imaginación del público y entusiasmado a la comunidad científica, pero también han desatado el ansia de ganancias y una fiebre insensata de oro en los buscadores de tesoros.

En 1995, por ejemplo, los restos de un navío del siglo XVI fueron descubiertos por un buzo frente a las costas de Playa Damas, en el actual Panamá. Se piensa que pudieron pertenecer a la *Vizcaína*, uno de los dos navíos perdidos en esas aguas en 1503 por el explorador italiano Cristóbal Colón. Lamentablemente, el navío fue dejado a la merced de una sociedad de buscadores de tesoros (ver 22 en el mapa, página siguiente).

En el 2007, una sociedad americana de este tipo se adueñó subrepticamente de 17 toneladas de monedas de plata y de oro de los restos hundidos del Nuestra Señora de las Mercedes, antes de hacer transitar por avión el botín, vía Gibraltar. España se esfuerza actualmente por recuperar su patrimonio ante la justicia (ver 28 en el mapa).

## Colmar las lagunas de los libros de historia

Frecuentemente, una gran parte de los restos de la existencia humana están mucho más protegidos bajo agua que en tierra firme. Ello se debe a la ausencia de oxígeno y de luz, además de a su relativa dificultad de acceso –al menos hasta ahora. Estos sitios pueden clarificarnos la evolución de las civilizaciones e incluso compensar la ausencia de testimonios. ¿Qué tipo de arcos utilizaban los arqueros del popular héroe Robin de los Bosques (Foto), por ejemplo,

Foto: Wikipedia Commons



Restos del vapor italiano Teti, junto a la isla de Vis, en Croacia

© D. Flickr/UNESCO

para robar a los ricos en provecho de los pobres, en la Inglaterra Medieval? Los arcos descubiertos en el navío de guerra *Mary Rose* del rey Henri VIII, hundido en 1545 durante un enfrentamiento con la marina francesa, han permitido responder a esta interrogante (ver 2 en el mapa). En este mismo orden de ideas, la búsqueda en los restos de buques chinos hundidos en el siglo XV frente a las costas de Kenya ha demostrado la existencia de un comercio antiguo entre China y África.

Otros misterios permanecen intactos. Hace 700 años, Kubla Khan, jefe de las tribus mongoles que dominaban la mayor parte de Asia, decidió conquistar a Japón. Como los mongoles no tenían experiencia en el combate naval, Kubla Khan obligó a miles de chinos a construirle una flota. En 1281, 4 400 navíos que transportaban más de 70 000 hombres pusieron proa hacia Japón –para desaparecer sin dejar rastros (ver 14 en el mapa). La leyenda, aún recordada en Japón, hace pensar que la flota pudo ser destruida por una tempestad o un tsunami. Los arqueólogos intentan encontrar sus restos.

Algunas huellas de la evolución de las técnicas de navegación y del conocimiento del universo han sido descubiertas en el fondo del océano. Entre esos objetos raros hay varios astrolabios encontrados en los restos de buques hundidos. El astrolabio servía para localizar y prever la posición del sol, la luna y las estrellas, así como para determinar la hora según la latitud. La primera computadora analógica conocida fue encontrada en 1900 en un navío griego que naufragara aproximadamente 100 A.C. El misterioso mecanismo de *Antikythera* debió servir para calcular las posiciones astronómicas y los eclipses de Sol y de Luna (ver 7 en el mapa).

Muchos de estos sitios constituyen un testimonio silencioso de históricas batallas navales como la de Salamina entre Persia y las ciudades-Estados griegos en 480 A.C., o la de Lepanto en 1571 donde la flota otomana se enfrentó a la coalición de las repúblicas de Venecia, Génova, el papado y España. La pérdida del barco almirante, El *Oriente*, de Napoléon Bonaparte, fue uno de los factores de la derrota de Francia contra los ingleses



**2) Mary Rose** (descripción p. 19)  
Los arcos de madera encontrados en el navío de guerra inglés estaban en excelente estado luego de cuatro siglos pasados en el fondo del mar

**1) Casas sobre pilotes en el Loch Tay**

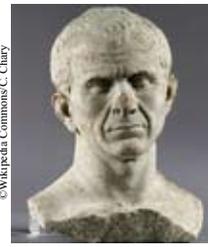
Las casas sobre pilotes en los lagos, en Irlanda y en Escocia eran construidas sobre pequeñas islas naturales o artificiales, en los lagos, ríos o ciénagas. La humedad del medio favorece la conservación de la materia orgánica, ¡como la mantequilla de 2500 años, descubierta en los restos de una casa sobre pilotes en el lago Loch Tay! (reconstituida aquí)



**3) Barrera de navíos vikingos**  
Roskilde, antigua capital vikinga de Dinamarca, estaba situada en el fiordo del mismo nombre, al oeste de Copenhague. Para proteger este gran centro comercial de los ataques marítimos, los Vikingos hundieron deliberadamente cinco navíos en el fiordo, cerca de Skuldelev, con el fin de bloquear el canal de acceso.



**4) Rheingold: el «tesoro de los Bárbaros»**  
Hace más de 1700 años, el «tesoro de los Bárbaros» se hundió en el Rin. Compuesto por más de 1000 objetos de plata, bronce, cobre y hierro que pesaban más de 700 Kg, representa el mayor descubrimiento de metales de la época romana hecho en Europa. La foto muestra la vajilla. Al parecer unos saqueadores alemanes, sorprendidos por una patrulla romana echaron al río una parte del botín.



**5) El busto de César**  
En 2008, un busto de mármol representando al emperador romano Julio César fue descubierto en el Rhon, en Arles (Francia). Este busto a tamaño natural está, a título experimental, fechado en la época en que César fundaba Arles, en el año 46 A.C..



**28) Restos de Nuestra Señora de las Mercedes** (descripción p.19)  
El ataque de Nuestra Señora de las Mercedes en 1804 en el Mediterráneo determinó que España se aliara a Francia contra Inglaterra.



**27) «Seahenge»**  
Los sitios sagrados Holmes I y II han sido llamados «Seahenge» (por analogía con Stonehenge). Ubicado en las ciénagas de la costa inglesa, «Seahenge» está constituido por círculos de postes periódicamente sumergidos, con pequeños troncos revestidos de roble formando un círculo.



**26) Restos del Titanic**  
El lujo transatlántico se hundió el 14 de abril 1912 durante su primera travesía de Southampton (Reino Unido) en Nueva York tras hacer colisión con un iceberg en el Atlántico norte, causando la muerte de 1517 pasajeros debido al insuficiente número de botes de salvamento. Sus restos fueron descubiertos en 1985.



**25) Restos del USS Monitor**  
El navío de los Estados Unidos Monitor que aparece en este grabado fue el primer navío de guerra blindado. La poca altura de su franc-bord y el peso de su torre lo hacían poco práctico para la navegación: se hundió en el Atlántico durante una tempestad, en 1862, cerca de Carolina del Norte, en los Estados Unidos con 16 hombres de tripulación.



**24) Puerto Real en Jamaica**  
Fundada luego que los ingleses le arrebataran Jamaica a España en 1655. Puerto Real había sido un refugio para los ricos comerciantes, los piratas famosos y los colonos enriquecidos, cuando esta fue destruida por un terremoto en 1692.

**23) Aktunkaab, la cueva de las manos**  
«La cueva de las manos», Aktunkaab en lengua maya, es una cueva seca en el Estado de Yucatán, México. Presenta más de 300 huellas de manos, en positivo y en negativo, que datan aproximadamente de hace 15 000 años.



**22) Restos del navío Vizcaína** (descripción p.19)  
El explorador italiano Cristóbal colón perdió nueve navíos en el Atlántico durante diversas expediciones, entre ellos la Gallega y la Vizcaína en 1503, cerca del actual Panamá. En 1995 un buzo descubrió lo que pudiera ser la Vizcaína, cargado de cañones, anclas y cerámicas que databan de los siglos XIV y XV. Estos restos, considerados los más antiguos descubiertos en las Américas fueron, sin embargo, abandonados a la suerte de buscadores de tesoros.



**21) Restos del Oranjemund**  
Restos de un buque portugués del siglo XVI con más de 2300 monedas y numerosos objetos fue descubierto en 2008 por mineros de diamantes. Se trata de las ruinas mejor preservadas de este periodo, fuera de Portugal y que los arqueólogos dejaron bajo la vigilancia del gobierno namibio para un día exponerlas en un museo. Fueron encontradas cerca de Oranjemund en la Costa de los esqueletos, llamada así debido a los peligros que representaba el desierto de Namibia para los marinos perdidos.



**20) Dwarka**  
Dwarka es uno de los lugares de peregrinaje más antiguos y venerados de la India. Según la leyenda, esta ciudad santa fue completamente arrasada, hace mucho tiempo, por una enorme ola. Los trabajos de búsqueda comenzaron a principios de los años 1980, cuando unos buzos arqueólogos descubrieron muros de piedras y seis niveles de ruinas.



**Ejemplos de bienes sumergidos**

Foto: Wikipedia Commons/D. Morris  
© UNESCO/K. Koschik  
© V. Karasch, Museo Vikingo de Roskilde  
Historical Museum of the Palatine, Speyer, Germany, P. Hang-Krömer  
© Wikipedia Commons/C. Chury  
© F. Soronouze/National Maritime Museum, U.K.  
© UNESCO/Nautical Archaeology Society  
© NOAA  
Foto: Wikipedia Commons  
Foto: Wikipedia Commons  
© J. Avilés/INAH/SAS  
© AFP/Google.com  
© Wikipedia Commons/Basilhan



**6) La cueva Cosquer**  
El acceso de la cueva Cosquer, cerca de Marsella se encuentra sumergido a 37 m de profundidad. Sus paredes están cubiertas de pinturas hechas por humanos hace 27 000 a 19 000 años. Representan animales, manos y un grabado excepcional de un «hombre herido». Las pinturas revelan quizás algunas mutilaciones, rituales de sacrificios o enfermedades.

**7) Restos del naufragio del Antikythera**  
Restos de una nave que contiene fragmentos de esculturas y otros objetos fue descubierto en 1900 por unos buscadores de esponjas cerca de la isla griega de Thera. El objeto más célebre encontrado (foto), de aproximadamente 100 años A.C., es un mecanismo considerado hoy como la computadora analógica más antigua. Utilizado para calcular la posición astronómica, el mecanismo se inspiraba quizás en los trabajos de Arquímedes.

**8) La historia del Arca de Noé** (descripción p. 22)  
Hace aproximadamente 7500 años, a fines de la era glacial, el deshielo de los glaciares hizo elevar el nivel del Mediterráneo e inundó el Mar Negro, que era entonces sólo un lago. Este acontecimiento tiene su origen en «la historia del diluvio» descrito en la Biblia. Un pueblo sumergido de la edad de Piedra descubierto cerca de Sozopol testimonia esta tragedia.

**10) La antigua Cartago**  
Cartago fue fundada en el siglo IX A.C. por los fenicios en el Golfo de Túnez, destruida más tarde por los romanos en el año 146 A.C. y nuevamente, en el año 698 D.C. durante la conquista musulmana. Partes del puerto y de la ciudad han sido encontradas a lo largo de la costa. Este sitio del Patrimonio Mundial comprendía casas de seis pisos.

**11) Apolonia**  
Apolonia de Libia fue fundada por los griegos en el siglo VII A.C. para servir de puerto a la cercana ciudad de Cirenia, actualmente sitio del Patrimonio mundial. Romanizada luego, Cirenia se convirtió en una gran capital del mundo helénico hasta el año 365 D.C., en que un terremoto sumergió algunos barrios al igual que el puerto de Apolonia.

**12) Las ruinas de la bahía de Alejandría**  
En tiempos de los Ptolomeos, Alejandría era el mayor puerto y centro cultural de Egipto. El antiguo faro de Faros (ilustración) y otros restos sumergidos han sido descubiertos en el puerto oriental. Está prevista la construcción de un museo submarino

**13) El puerto de Cesárea**  
El puerto de Cesárea fue construido en la costa mediterránea de Israel el año 10 A.C. por el rey Herodes en honor de su protector romano, César Augusto. Fue la primera gran obra que utilizó un concreto que se endurece bajo agua. Hoy es un museo subacuático: provistos de un mapa estanco, los buzos pueden admirar 36 sitios de las ruinas del faro, anclas, pedestales e incluso, restos de un buque romano.

**14) La flota de Kubla Khan** (descripción p. 19)  
¿Por qué su flota de 4400 navíos desapareció sin dejar rastros cuando esta se dirigía a invadir a Japón hace siete siglos? Los arqueólogos esperan descubrir este misterio

**15) Restos del Tek Sing**  
Cuando se hundió el Tek Sing, uno de los últimos barcos de juncos chinos, frente a las costas de Indonesia en 1822, provocó la muerte de 1500 personas. En 1999, más de 300 000 artículos de porcelana fueron robados por buscadores de tesoros. Los restos fueron destruidos. (Foto de un modelo reducido)

**16) Trampas aborígenes de peces** (descripción p. 23)  
Las antiguas trampas de peces de Brewarrina, en el río Darling, suscitan ecos espirituales y simbólicos de los aborígenes.



## del patrimonio cultural alrededor del mundo

Un Mundo de **CIENCIA**, Vol. 7, No. 2, Abril-junio 2009

**19) Mahabalipuram**  
Un grupo de santuarios fundados por los reyes Pallava fue esculpido en la roca, en los siglos VII y VIII, a lo largo de las costas de Coromandel, en la India. Es conocido por sus rathas (templos en forma de carros), sus mandapas (santuarios en las cuevas) y sus siete pagodas de las cuales seis parecen haber sido sumergidas en el mar. Durante el tsunami de 2005, sus restos y un antiguo puerto fueron descubiertos sobre este sitio del Patrimonio Mundial.

**18) Nanhai N°1**  
Nanhai N°1 es una nave de 100 años, que fue hundida durante la dinastía de los Song (960-1279 D.C.) a lo largo de la costa sur de China en la Ruta Marina de la Seda que unía China al Medio Oriente y a Europa. En 2007 se sacó a la superficie y sus restos y los 60 000 a 80 000 objetos de su preciosa carga, están expuestos en un acuario cuya agua mantendrá las mismas condiciones, calidad y temperatura de su antiguo lugar de reposo.

**17) Los hidroglifos de Baiheliang**  
El Baiheliang (Cresta de la grulla blanca) es una cresta de piedra sumergido recientemente por el nuevo embalse de las Tres Gargantas en el río Yangtsé. Este presenta algunas de las más antiguas inscripciones hidrológicas del mundo, testigos de las variaciones del nivel del río en un periodo de 1200 años. Un museo acuático se construye actualmente allí.

Foto: Ministerio de Cultura de Francia

Foto: Wikipedia Commons/Malayias

Foto: Wikipedia Commons

Los animales montan a bordo del Arca de Noé por parejas, pintado por E. Hicks

Foto: Wikipedia Commons

©Yvon Frenaut/UNESCO

Foto: Wikipedia Commons

Foto: Wikipedia Commons

Foto: Wikipedia Commons/foe

Foto: Wikipedia Commons

©C. Kirchner, Deutsches Technikmuseum Berlin

©Vince Suardella

©Wikimedia Commons/Baahian

© M. Manders/UNESCO

© China Internet Information Center

frente a la bahía de Aboukir, Egipto, en 1798 (ver foto). Sus restos fueron redescubiertos posteriormente en medio de las profundidades.

### Millones de cápsulas de tiempo

Más de tres millones de restos de navíos se han dispersado en el fondo de los océanos del planeta, algunos de ellos datan de hace miles de años. Estos vestigios funcionan como una cápsula de tiempo, que proporcionan una instantánea perfecta de la vida a bordo en el momento del naufragio.

Pero todos estos vestigios no cuentan necesariamente una tragedia. A veces, constituyen barreras (navíos-obstáculos hundidos deliberadamente) con el fin de impedir el paso de un río, una ensenada o un canal. Algunos buques han sido hundidos por los defensores con el objetivo de obstaculizar la llegada de una flota enemiga (ver 3 en el mapa) o bien por los atacantes para impedir la retirada de la flota de los defensores. Otros restos no fueron nunca concebidos para navegar sino para sobrevolar o atravesar un territorio. Aviones y restos de trenes o automóviles han sido descubiertos en el fondo de los mares o lagos.

### Ciudades sumergidas

Los restos de innumerables edificios o lugares habitados están actualmente sumergidos. Su suerte fue sellada por el hundimiento, los sismos, las inundaciones, los deslizamientos de tierra, o la erosión. Algunos fueron deliberadamente construidos sobre el agua como los *kampongs*, los pueblos sobre pilotes de la Malasia actual.

La leyenda de Atlántida se remonta a los textos escritos alrededor de 400 años A.C. por el filósofo griego Platón. Y si bien nunca se ha podido situar Atlántida de forma convincente, otras ciudades sumergidas han sido descubiertas. Los restos de la antigua Heraklion revelan la crecida de las aguas que la sumergieron. Era el más importante de los puertos egipcios del comercio con Grecia antes de la fundación de Alejandría, en 332 A.C. por Alejandro el Grande. Situada aproximadamente a 25 Km de la actual Alejandría, Heraklion fue sumergida hace 1200 años por sismos que provocaron una inundación masiva causada por el Nilo. Hace 2000 años, Alejandría tenía medio millón de habitantes. Las famosas búsquedas de la bahía permitieron encontrar los restos del faro de Faros (ver 12 en el mapa),



*Alcanzado por los cañones británicos, el Oriente explota durante la batalla de la bahía de Aboukir en agosto 1798, según el cuadro de Arnauld George. La pérdida de una buena parte de la flota francesa dejaba, de hecho, a la armada francesa inmovilizada en Egipto*

construido en el siglo III A.C., y el palacio de la reina Cleopatra VII (69–30 A.C.). Los restos de Port-Royal, en Jamaica, también fueron redescubiertos por los buzos arqueólogos (ver 24 en el mapa).

### Escenas de vida en la era glacial

Algunos de los sitios prehistóricos mejor preservados del mundo se encuentran en el fondo del mar del Norte. Estos sitios, que datan aproximadamente de 50 000 a 60 000 años, conservan las huellas de animales muertos por los cazadores y de sus campamentos prehistóricos, así como los restos de miles de mamuts, rinocerontes lanudos y otros mamíferos de la era glacial. En el sur del mar del Norte, 200 artefactos en hueso,

astas de ciervos y sílex de la edad de piedra<sup>7</sup> fueron descubiertos, fabricados por humanos, dotados ya de una anatomía moderna.

El Báltico alberga unos 20 000 sitios de la edad de piedra. Hace aproximadamente 9000 años, Dinamarca, Suecia y Reino Unido formaban un solo continente, mientras que el Báltico y el mar del Norte sólo eran lagos. Cuando el recalentamiento provocó el descongelamiento de las calotas de hielo a fines de la era glacial, la elevación del nivel del mar sumergió numerosos lugares habitados, bosques y riberas. Entre los artefactos, se ha encontrado alfarería, botes, pedazos de maderas e incluso, textiles, semillas y armas.

Un litoral sumergido a 17 m de profundidad bajo el Mar Negro revela una inundación acontecida hace 7500 años, que podría explicar el episodio del arca de Noé (ver 8 en el mapa). Según la *Biblia*, Dios ordenó a Noé construir un barco para su familia y para las parejas de todas las especies de animales con el fin de salvarlos del gran diluvio que iba a castigar la humanidad por sus pecados. El Mar Negro, que era entonces un lago de agua dulce, se encontraba a 100 m bajo el nivel del Bósforo. Los científicos sostienen la idea de que con el calentamiento del clima, el deshielo de los glaciares hizo subir el nivel del Mediterráneo. Las aguas habrían roto entonces un dique natural del Bósforo. Esta teoría es corroborada por los restos de una ciudad mesolítica descubierta cerca de Turquía y de un antiguo bote de madera en otro sitio.

Esos descubrimientos ofrecen una preciosa panorámica del aspecto del planeta en la era glacial pero, igualmente, lo que nos pudiera suceder si el nivel del mar subiera nuevamente de forma espectacular.



*Estatua griega en bronce de un joven atleta que mide 1,92 m reposando en los fondos marinos de la isla de Vele Orjule en Croacia. La estatua data del siglo I ó II A.C.*

## La Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático

Adoptada en 2001 por los Estados miembros de la UNESCO, la Convención define el «patrimonio cultural subacuático» como «todos los rastros de existencia humana que tengan un carácter cultural, histórico o arqueológico, que hayan estado sumergidas, parcial o totalmente, de forma periódica o continua, por lo menos durante 100 años...». La definición incluye las estructuras, edificios, objetos o restos humanos, restos de navíos o aeronaves, al igual que su carga y los objetos prehistóricos. Las tuberías, los cables o instalaciones todavía en uso y dispuestas sobre los fondos marinos, por ejemplo, no serán consideradas como integrantes del «patrimonio cultural», tampoco los fósiles. La referencia a los 100 años de antigüedad no deberá por ello impedir a los Estados partes, proteger vestigios más recientes, como los restos de los buques hundidos durante las dos guerras mundiales (1914-1918 y 1939-1945).

La Convención se propone proteger el patrimonio cultural subacuático y facilitar la cooperación entre los Estados partes. Ésta no reglamenta los derechos de propiedad de los restos de navíos o ruinas sumergidas. No modifica tampoco la extensión de la jurisdicción ni de la soberanía de los Estados. Estimula el desarrollo de la arqueología subacuática y el acceso razonable del público a estos sitios. Ofrece igualmente un marco para impedir el tráfico ilícito de las reliquias de estos sitios. A diferencia de la Convención sobre el Patrimonio Mundial, los sitios que protege no aparecen en una Lista particular con el fin de no revelar su emplazamiento.

Se basa en cuatro grandes principios:

- ✓ la obligación de preservar el patrimonio cultural subacuático
- ✓ la recomendación de su conservación *in situ* (bajo el agua) como opción prioritaria ante toda decisión de intervención
- ✓ el rechazo de toda explotación comercial de este patrimonio
- ✓ la exhortación a una cooperación entre los estados con el fin de proteger la preciosa herencia sumergida, y promover la formación en materia de arqueología subacuática y la sensibilización del público en cuanto a la importancia de los bienes culturales sumergidos.

El Anexo a la Convención, que establece las Reglas relativas a las intervenciones sobre el patrimonio cultural subacuático, se dirige a los profesionales y a las autoridades nacionales. Estas son apoyadas por los arqueólogos, que esperan que el Anexo establezca normas de intervención sobre los sitios para los profesionales.

Para más detalles: [www.unesco.org/culture/es/underwater](http://www.unesco.org/culture/es/underwater)

Estos buzos extraen los datos de los restos humanos descubiertos en la gruta Chan Hol, cerca de Tulum, en México (Chan Hol significa pequeño hueco en lengua maya). En otro cenote muy próximo, llamado Nahron, los buzos descubrieron un esqueleto femenino que ellos llamaron Eve de Naharon: la fecha del carbono 14 le da 11 670 años. Su estructura ósea está más cercana a la de las poblaciones del sudeste asiático lo que arroja dudas sobre la teoría de la colonización de las Américas por los grupos salidos de Asia del Norte



©INAH/SAS J. Avilés/UNESCO

### «Seahenge» y otros sitios sagrados

Muchas de las poblaciones de tradición marina o costera entierran a sus muertos en el mar, como los vikingos. Esos exploradores, comerciantes y piratas escandinavos atacaban e invadían vastas regiones de Europa entre los siglos VIII y XI A.C. También existió Alarico, rey de Wisigoths, tribu «bárbara» conocida por haber atacado a Roma en el año 410 D.C. Según la leyenda, fue enterrado en el río Busento en Italia. Nunca se ha podido encontrar este sitio.

Algunos sitios sagrados relacionados con el agua continúan utilizándose, como los viveros de peces de Hawái. Otros están olvidados desde hace tiempo, como el «Seahenge» del litoral inglés (ver 27 en el mapa).

### Cuevas sumergidas y trampas de peces

El patrimonio cultural subacuático alberga también artefactos y huellas de la vida humana preservadas en grandes cuevas sumergidas, que siempre estuvieron o surgieron después de una elevación del nivel del mar. Tales huellas fueron encontradas en una cueva pintada del Mediterráneo (ver 6 en el mapa) y en los cenotes mexicanos al aire libre que al cabo del tiempo se llenaron de agua (ver foto).

Algunas poblaciones muy antiguas fabricaban trampas para peces, una de las más antiguas tecnologías operativas utilizadas aún en la actualidad. Sus modelos son muy variados, desde los sencillos mares artificiales de rocas rodeadas de muritos de piedras, hasta los muros de piedras de más de cientos de metros. Otros utilizan postes unidos mediante material vegetal, ubicados en medio de un arroyo, de un estuario o cerca del litoral. Los peces eran conducidos hacia la zona cerrada donde podían ser capturados. Se han encontrado trampas de pescados en la costa suroeste del Cabo en Sudáfrica, al norte del país de Gales y en Dinamarca, en diversas islas del Pacífico como en Hawái, en Canadá y en Australia (ver 16 en el mapa).

### Un vacío jurídico finalmente colmado

Todos los tesoros descritos en estas páginas podrán ser cubiertos por las disposiciones de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, a excepción de los que datan de menos de 100 años (ver recuadro).

La Convención tiene por objetivo contribuir a llenar el vacío jurídico en materia de sitios arqueológicos sumergidos. Los países dispondrán en lo adelante de un instrumento eficaz para proteger sus tesoros culturales subacuáticos toda vez que los Estados se

alien, en el mayor número posible, a la causa de la ratificación de la Convención.

Ulrike Guérin y Katrin Köller<sup>8</sup>

6. Barbados, Bulgaria, Cambodia, Croacia, Cuba, Ecuador, España, Líbano, Jamahiriya Árabe Libia, Lituania, México, Montenegro, Nigeria, Panamá, Paraguay, Portugal, Rumania, Santa Lucía, Eslovenia, Ucrania

7. El término de edad de piedra designa para los arqueólogos un vasto período pre-metálico que casi dejó solo herramientas de piedra. Comenzó con el arribo de la primera especie de Homo, hace aproximadamente 2,5 millones de años, para terminar con la llegada de los trabajos en cobre, hace alrededor de 5000 años. Se divide en paleolítico (comienzo de la edad de piedra), mesolítico (mediados de la edad de piedra) y neolítico (fin de la edad de piedra)

8. Secretariado de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático: [u.guerin@unesco.org](mailto:u.guerin@unesco.org); [k.koeller@unesco.org](mailto:k.koeller@unesco.org)

## Agenda

### 2-8 Abril

#### Acceso a los beneficios y participación

7<sup>ma</sup> Reunión del Grupo de Trabajo Abierto Especial de la Convención sobre la Diversidad Biológica. UNESCO París: [www.cbd.int/doc/meeting=ABSWG-07](http://www.cbd.int/doc/meeting=ABSWG-07)

### 6-24 Abril

#### Negociación y mediación de los conflictos vinculados al agua

Cursos propuestos por el Programa de la UNESCO. «del conflicto potencial al potencial de cooperación» y por la UNESCO-IHE. Para gestores, decisores, estudiantes. DELFT. Países Bajos: [L.salame@unesco.org](mailto:L.salame@unesco.org)

### 1-5 mayo

#### Temas fundamentales de la evolución

Simpósio del 200 Aniversario del nacimiento de Charles Darwin. La UNESCO, la UISD y el Instituto veneciano de las Ciencias, las Letras y las Artes. Venecia, Italia: [www.erdelen@unesco.org](http://www.erdelen@unesco.org); [bernardi@szn.it](mailto:bernardi@szn.it); [www.iubs.org](http://www.iubs.org)

### 4-7 mayo

#### Utilización sostenible de los suelos y Preservación de los ecosistemas

Conferencia Internacional del Proyecto chino-germánico de Investigación Ecológica para Preservar el Medio Ambiente en China. (ERSEC). Ministerio C&T. Ministerio de Educación, Universidad Agronómica de China, UNESCO.Beijing: [www.unesco.org/beijing-new/index.php?id=3079](http://www.unesco.org/beijing-new/index.php?id=3079)

### 24-29 mayo

#### Reservas de biosfera

Reunión del Consejo Internacional de Coordinación del MAB para aprobar las Reservas de Biosfera y los Laureados del MAB. Reservas de Biosfera de Jeju (Rep. Corea): [mab@unesco.org](mailto:mab@unesco.org); [www.unesco.org/mab](http://www.unesco.org/mab)

### 3-5 junio

#### Programa Hidrológico Internacional

43 sesión del Buró. UNESCO París: [a.tejada-guibert@unesco.org](mailto:a.tejada-guibert@unesco.org); [www.unesco.org/water](http://www.unesco.org/water)

### 8-26 junio

#### Comisión Oceanográfica Intergubernamental

Reunión del Consejo Ejecutivo y Asamblea: [www.ioc.unesco.org](http://www.ioc.unesco.org)

### 9-11 junio

#### Localizar los productos

¿Hacia un enfoque sostenible de la diversidad natural y cultural en los países del Sur? Simposio Científico MAB de la UNESCO, IRD, CIRAD, MNHN, IDDRI etc. UNESCO Paris: [www.mnhn.fr/colloque/localiserlesproduits/index\\_va.php](http://www.mnhn.fr/colloque/localiserlesproduits/index_va.php)

### 30 junio-2 julio

#### Administrar los riesgos hidrológicos

Pasantía para profesionales del agua etíopes, djiboutienses y sudaneses. La UNESCO y el IRI. Addis Abeba (Etiopía) [a.mishra@unesco.org](mailto:a.mishra@unesco.org); (Addis Abeba) [a.makarigakis@unesco.org](mailto:a.makarigakis@unesco.org)

### 2-5 Abril

#### 100 horas de astronomía

Operación de la UAI encaminada a estimular al gran público a mirar en un telescopio, en un momento ideal de observación, al comienzo de la noche, cuando la luna pasa del primer cuarto a la fase del cuarto creciente. Para descubrir este proyecto-faro del Año: [www.100hoursofastrology.org/](http://www.100hoursofastrology.org/)

### 16-20 junio

#### Educación sobre espacio y astronomía

Taller internacional para alumnos de bachillerato y docentes, seguido de un taller piloto de formación de profesores de astronomía (18-20 junio). UNESCO en cooperación con la UAI. Salinas (Ecuador): [www.unesco.org/science/earthsciences/space\\_education](http://www.unesco.org/science/earthsciences/space_education)

### 23-27 junio

#### Educación sobre espacio y astronomía

Como el anterior, taller piloto: 25-27 junio. Lima y Cuzco (Perú). [www.unesco.org/science/earthsciences/space\\_education](http://www.unesco.org/science/earthsciences/space_education)

**Proyectos faro durante todo el año:** Diario Íntimo del Cosmos (blog redactado por astrónomos de los cinco continentes); Portal del Universo (en línea desde 2009); Sensibilización al cielo nocturno (la contaminación luminosa en las ciudades); Ella es astronoma (contra los prejuicios y falsas ideas sobre las carreras de las mujeres); Astronomía y Patrimonio mundial; el Galileoscopia (ofreciendo a 10 millones de personas de todo el mundo su primera visión en un telescopio astronómico); Proyecto Galileo de formación de docentes; Sensibilización al Universo (para niños de medios desfavorecidos); El Universo visto desde la Tierra (utilización de jardines públicos, estaciones de metro etc. para presentar al público imágenes astronómicas); Desarrollar la astronomía en todo el mundo (para escuelas, universidades y público de regiones donde esta ciencia es poco conocida): [www.astronomy2009.org/globalprojects/cornerstones/](http://www.astronomy2009.org/globalprojects/cornerstones/)



## Nuevas publicaciones

### Water in a Changing World

3<sup>era</sup> edición del Informe, producido por el Programa Mundial de Aprovechamiento del Agua, que reúne a 26 organismos de Naciones Unidas. Dos tomos, en inglés, se venden juntos: Informe principal (336 p.) con CD-ROM; 20 Estudios de caso: 88 p. Coedición de las Ediciones UNESCO y Earthscan, del Reino Unido. ISBN: (UNESCO): 978-92-3-104095-5, €45.00; (Earthscan): 978-1-84407-840-0 (rústica) y 978-1-84407-839-4 (encuadernado). Ver editorial y pág.16, el estudio de caso de China. Leer el informe: <http://webworld.unesco.org/water/wwap/wdr/index.shtml>

### Managing Water Resources

#### Methods and Tools for a Systems Approach

Slobodan P. Simonovic. Colección Estudios e Informes de Hidrología. Ediciones UNESCO/Earthscan, €43.00, ISBN 978-92-3-104078-8. En inglés, 680 p. Expone el enfoque sistemático interdisciplinario y su aplicación actual en la gestión de los recursos hídricos. Exposiciones y ejercicios en el CD-ROM que lo acompaña. Para estudiantes y profesionales.

### Rising tides

BBC Earth Report, producido con el apoyo de la UNESCO, la oficina EuropAid de la Unión Europea y el PNUE, en inglés. 1<sup>era</sup> difusión el 5 de marzo. La Reserva de Biosfera de Braunton Burrows, en el Reino Unido, y la de Malindi-Watamu, en Kenia, tienen un problema común: el cambio climático y la elevación del nivel del mar afectan su línea de costa y amenazan el hábitat de la fauna. ¿A qué velocidad se produce esta elevación? ¿Cuáles serán las consecuencias? Las dos Reservas se unieron para trazar los escenarios del cambio climático, a fin de preparar las estrategias de adaptación. Para ver: [www.tve.org/earthreport/index.cfm?cat=thisweek](http://www.tve.org/earthreport/index.cfm?cat=thisweek); [www.unesco.org/mab](http://www.unesco.org/mab)

### Conocimientos Indígenas

Siete afiches producidos para el programa de la UNESCO sobre los sistemas de conocimientos locales y indígenas (LINKS), del Centro Cultural Nacional de Vanuatu, en diciembre 2008. En francés, inglés, español y bislam (Vanuatu). Estudios de caso e imágenes del mundo resaltando el interés de los conceptos y de soluciones propuestas por los sistemas de conocimientos de sociedades indígenas de hoy. Su contenido pedagógico fortalece en estas poblaciones la toma de conciencia de las posibilidades y de los peligros que le son propios. Para descargar o solicitar afiches: [www.unesco.org/links/d.nakashima@unesco.org](http://www.unesco.org/links/d.nakashima@unesco.org)

### International Research Centre on Karst

Redactor Jefe: Guo Fang. Cuaderno del Centro Internacional de Investigación sobre Karst en China. En inglés, 28 p. Presenta el Centro creado en 2008 bajo la égida de la UNESCO en el marco del Año internacional del planeta Tierra. Objetivos, funciones, locales y consejo de administración. Ver Un Mundo de Ciencia de julio 2008. Descubrir el sitio: [www.irck.edu.cn](http://www.irck.edu.cn); solicitar un ejemplar en: [r.missotten@unesco.org](mailto:r.missotten@unesco.org)



### Volga Kits

Maletines producidos por la UNESCO-Moscú y Coca-Cola HBC Eurasia, con la Reserva de Biosfera Astrakhanskiy, en el marco del programa Volga Viviente. En ruso, con partes en inglés. Contienen cuadernos sobre el estado del medio ambiente en la región, una estrategia y un plan de acción para sensibilizar al público. Incluyen también tarjetas postales y afiches sobre las especies raras de flora y fauna, un mapa de las Reservas de Biosfera de la cuenca del Volga, y un maletín para la prensa con plegables sobre la conducta ecológica de los usuarios. Ellos están dirigidos al público en general. Para más detalles (Página en Inglés): [e.tveritnova@unesco.ru](mailto:e.tveritnova@unesco.ru); [www.unesco.ru/eng/articles/2004/e.tveritnova11032009142850.php](http://www.unesco.ru/eng/articles/2004/e.tveritnova11032009142850.php)

### European Geoparks

Obra ricamente ilustrada de la Sección UNESCO de la Observación de la Tierra y de la Red de Geoparques de Europa, en venta (€35.00) en el Natural History Museum of Lesvos Petrified Forest. ISBN 978-960764691-0. En inglés, 176 p. Obra para el gran público que hace referencia a la Red Mundial de los Geoparques y al Año Internacional del Planeta Tierra. Destinada a los no especialistas, describe todos los geoparques de Europa. Prólogo de Koichiro Matsuura y de Walter Erdelen. Para hacer el pedido: [www.europeangeoparks.org](http://www.europeangeoparks.org); [www.lesvosmuseum.gr](http://www.lesvosmuseum.gr); para más detalles: [m.patzak@unesco.org](mailto:m.patzak@unesco.org) y [lesvospf@otenet.gr](mailto:lesvospf@otenet.gr)

### Status of Coral Reefs of the World: 2008

Redactor Jefe: Clive Wilkinson. Producido por Global Coral Reef Monitoring Network, en inglés. ISBN:1447-6185, 298 p. Ver página 11. – Para más detalles: [clive.wilkinson@rrrc.org.au](mailto:clive.wilkinson@rrrc.org.au); [m.hood@unesco.org](mailto:m.hood@unesco.org); leer el informe: [www.gcrmn.org](http://www.gcrmn.org)

### The Future of Drylands

Redactor Jefe: C. Lee y T. Schaaf. Colección El Hombre y la Biosfera, Ediciones UNESCO/Springer Verlag, €95.00, ISBN 978-92-3-104052-8, en inglés, 872 p. Actas de la Conferencia Internacional de Investigación sobre la Desertificación y las tierras áridas, celebrada en Tunes (Tunisia) del 19-21 de junio 2006. Ver Un Mundo de Ciencia de octubre 2006.

### Towards Sustainable Agriculture

UNESCO-SCOPE-UNEP Policy Brief N°8, en inglés, 6 p. Resume las conclusiones de la Evaluación citada abajo, indicando pistas para hacer sostenible la agricultura. Recomienda políticas y mantenimientos a las instituciones: [www.unesco.org/mab](http://www.unesco.org/mab).

### Agriculture at a Crossroads

Siete volúmenes impresos en inglés, vendidos por Island Press, surgidos del proyecto trienal de Evaluación de los Conocimientos, de las Ciencias y de las Técnicas Agronómicas con vistas al desarrollo, que asocia Banco Mundial, FAO, PNUD, FEM-PNUE, UNESCO y OMS. Compuestos de un Resumen Mundial a la intención de los decisores (\$95.00), de un Informe de Síntesis y de cinco Evaluaciones Regionales (\$65.00 cada uno): Asia central y del Oeste, África del Norte (Vol. I); Asia del Sur y del Este, Pacífico (II); América Latina y del Caribe (III); América del Norte y Europa (IV); África sub-sahariana (V): [www.islandpress.org/iaastd](http://www.islandpress.org/iaastd). Para más detalles, ver Un Mundo de Ciencia de julio 2008. Para descargar los PDF: [www.agassessment.org](http://www.agassessment.org). Las instituciones de los países en desarrollo pueden solicitar un ejemplar gratuito a la UNESCO hasta que se agoten las reservas: [g.calvo@unesco.org](mailto:g.calvo@unesco.org); [s.arico@unesco.org](mailto:s.arico@unesco.org)

