



# NUESTRA



# TIERRA

Órgano de difusión de la  
Estación Regional del Noroeste, UNAM

Número 14  
31 de Diciembre de 2010  
Hermosillo, Sonora, México





## Editorial

Concluimos el Año de la Biodiversidad y, como muestra de la riqueza de seres vivos de nuestro planeta y de su potencial de adaptación a nuevos ambientes, les presentamos un artículo sobre las cícadas. Estas plantas primitivas surgieron hace más de 200 millones de años. A través de su existencia, las cícadas vivieron períodos cálidos y fríos de la historia de la Tierra, como el Cretácico o las glaciaciones del Cuaternario respectivamente, pero lograron amoldarse y sobrevivir en los espacios más adecuados. Su área de distribución se fue fragmentando, pero persistieron hasta nuestros días.

La especie humana también ha logrado adaptarse e instalarse en lugares de la Tierra con climas extremos y lugares con otras condiciones desfavorables como la inestabilidad tectónica. Haití, localizado en el Caribe, en la confluencia de dos placas tectónicas, es uno de ellos. Tras el desastre del terremoto de enero de 2010, la ONU desplegó sus fuerzas de acción para proteger a la población, lo mismo que había establecido otros programas para resguardar la biodiversidad.

Sería bueno conocer la dinámica del interior de la Tierra, para aprovechar su energía y poder predecir eventos geológicos, pero el ser humano no tiene acceso a las zonas más profundas de la Tierra. En cambio, a poca profundidad, el interior del planeta esconde recursos naturales que, como veremos en las próximas páginas, la humanidad ha utilizado desde los inicios de la civilización. Respetemos y conservemos cada parte de la Tierra, y vivamos en armonía respetando nuestro lugar en el sistema Tierra.

Ma. Cristina Peñalba, Editora

## Contenido

Editorial .....	2
El oro en la historia (Juan Carlos García y Barragán y Pablo Peñaflores Escárcega) .....	3
Las cícadas: fósiles vivientes en nuestros paisajes actuales (José Said Gutiérrez Ortega) .....	8
Sismo de Puerto Príncipe, Haití: un desastre anunciado (Thierry Calmus) .....	12

**Portada. Arriba.** Copas de oro de la cultura Lambayeque, Perú, período Sicán medio, años 900 a 1100 d.C. **Abajo izquierda.** Máscara de oro de la cultura Lambayeque de Perú (800 -1350 d.C.). Imágenes tomadas de Wikipedia. **Abajo derecha.** Fragmento de la pepita de oro de Fricot, California, encontrada durante el periodo de la fiebre del oro. Modificada de la fotografía de Jim Bryan, en [www.rockpow.com](http://www.rockpow.com)

## Directorio

UNAM

Dr. José Narro Robles  
Rector

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro  
Secretario General

Mtro. Juan José Pérez Castañeda  
Secretario Administrativo

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz  
Coordinador de la Investigación Científica

Dra. Elena Centeno García  
Director del Instituto de Geología

Dr. César Domínguez Pérez Tejada  
Director del Instituto de Ecología

Dr. Thierry Calmus  
Jefe de la Estación Regional del Noroeste

## NUESTRA TIERRA

Dra. Ma. Cristina Peñalba  
Editora en Jefe

Dr. César Jacques Ayala  
Dr. Martín Valencia Moreno  
Dr. Juan Carlos García y Barragán  
Editores Asociados

Dra. María Amabel Ortega-Rivera  
Editora Técnica y Diseño

**Nuestra Tierra** es una publicación de la Estación Regional del Noroeste, institutos de Geología y Ecología, que aparece semestralmente en primavera y otoño de cada año.

Estación Regional del Noroeste  
Blvd. L. D. Colosio s/n y Madrid, Campus UniSon  
Hermosillo, Sonora, México, 83000  
Tel. (662) 217-5019, Fax (662) 217-5340  
[nuestratierra@geologia.unam.mx](mailto:nuestratierra@geologia.unam.mx)  
<http://www.geologia-son.unam.mx/nt.htm>

ISSN 1665-945X  
Impresión: 500 ejemplares  
Precio: \$ 30.00

En caso de utilizar algún contenido de esta publicación, por favor citar la fuente de origen. El contenido de los trabajos queda bajo la responsabilidad de los autores.

## El oro en la Historia

**Juan Carlos García y Barragán  
y Pablo Peñaflor Escárcega**

Instituto de Geología  
Estación Regional del Noroeste, UNAM  
Hermosillo, Sonora, México, 83000  
[jcarlosg@servidor.unam.mx](mailto:jcarlosg@servidor.unam.mx)

El oro siempre ha estado ligado a la historia de la humanidad. La combinación de su relativa escasez y de su belleza ha hecho de él un producto muy valioso (Figura 1). Además, sus propiedades químicas y físicas son poco comunes: resiste muy bien el ataque químico de la mayoría de los ácidos, y es muy maleable y dúctil: se pueden hacer hilos tan finos como de 0.000065 mm de diámetro y con sólo 28 g de oro se puede construir un hilo y estirarlo hasta alcanzar 75 km. La siguiente es una breve cronología de los aspectos más relevantes del oro y de su relación con la historia.



*Figura 1. Cristales de oro, tal como se encuentran en la naturaleza. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

Alrededor del año 4000 antes de Cristo (A.C.), la cultura tracia que habitó lo que hoy es Bulgaria, en Europa Oriental, empezó a usar el oro para objetos decorativos. El oro fue probablemente minado de los Alpes de Transilvania o del monte Pangaion, la actual Grecia, entonces Tracia. Las piezas más antiguas de joyería de oro se encontraron en la tumba de la reina Zer de Egipto y de la reina Pu-abi en la ciudad de Ur, Sumeria. Para el año 3100 A.C. hay evidencia del valor del oro y de la plata en el código de Menes, el

fundador de la primera dinastía egipcia. En la tumba de Djer II, rey de la primera dinastía de los egipcios, en Abydos, Egipto, aproximadamente en 2500 A.C., se encontró joyería de oro.

En la tumba de Tutankamón, faraón que reinó en Egipto durante el segundo milenio antes de Cristo, se encontró la colección más grande del mundo de oro y joyería e incluía un sarcófago de oro que mostraba el grado de avance de los orfebres egipcios (Figura 2). El oro no sólo se trabajaba en Egipto: el tesoro “oro de Troya” excavado en Turquía y datado entre 2600 y 2450 A.C., mostró el amplio rango del trabajo en oro, desde delicada joyería hasta una salsera de oro puro que casi pesaba medio kilogramo. Más tarde, en 1350 A.C., los babilonios empezaron a utilizar el ensaye por fundición para probar la pureza del oro.



*Figura 2. Máscara funeraria de Tutankamón que se encuentra en el Museo de Egipto en El Cairo, realizada en oro batido con incrustaciones de pasta de vidrio y turquesas. Tomada del portal de Wikipedia.*

En las costas orientales del mar Negro, la piel de borrego fue utilizada para recuperar polvo de oro de las arenas de los ríos. Los primeros gambusinos utilizaron el potencial del agua para pasar las arenas de ríos y arroyos a través de piel de borrego, la cual

atrapaba las pequeñas aunque pesadas partículas de oro. Cuando absorbía lo más que podía, la piel con pelambre se colgaba hasta secarse y luego se le golpeaba ligeramente de manera que las partículas de oro caían y se recuperaban. Esta práctica fue, muy probablemente, la inspiración para la leyenda de Jasón y los argonautas en la búsqueda del “vellocino de oro”.



*Figura 3. Objetos de oro de orfebrería prehispánica que se encuentran en el Museo del Oro en Bogotá, Colombia. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

Pequeños cuadros de oro se legalizaron en China como una forma de moneda en el año 1091 A.C. Homero, alrededor del año 850 A.C., en la “Iliada” y en la “Odisea” hace mención del oro como la gloria de los inmortales y es un símbolo de riqueza entre los humanos ordinarios. Entre 700 y 560 A.C. en Lidia, un reino de Asia Menor, se acuñaron monedas de oro. Éstas eran simplemente estampados irregulares con 63% de oro y 27% de plata. En el año 344 A.C. Alejandro el Grande cruzó el río Helesponto con 40 000 hombres, iniciando una de las más extraordinarias campañas en la historia militar y asegurando vastas cantidades de oro del Imperio Persa. Así también, durante la Segunda Guerra Púnica con Cartago, entre 218 y 212 A.C., los romanos ganaron acceso a la región de minas de oro de España y recobraron oro de los ríos y del minado de rocas. Casi dos siglos más tarde, en el año 58 A.C., después de una victoriosa campaña en Galia, Julio César llevó suficiente oro para dar 200 monedas a cada uno de sus soldados y pagar las deudas de Roma. Poco después, en el año 50 A.C. los romanos empezaron a utilizar una moneda de oro llamada “áureo”. Entre los años 742 y 814, Carlomagno conquistó a los ávaros (pueblo originario de Asia Central) y saqueó sus vastas

cantidades de oro, haciendo posible para él tomar control de gran parte del oeste de Europa.

Los célebres viajes de Marco Polo al Lejano Oriente, entre 1281 y 1295, quedaron descritos en su libro conocido como “El Millón” o “Libro de las Maravillas del Mundo”. Ahí da cuenta por primera vez de países donde la “riqueza en oro era casi ilimitada”. Justamente durante esa misma época, en 1284, Venecia introdujo el ducado de oro, el cual pronto se convirtió en la moneda más popular del mundo y permaneció así por más de cinco siglos. En el mismo año, 1284, Gran Bretaña emitió su primera moneda de oro importante, el florín. A esto siguió el noble, y más tarde el ángel, la corona y la guinea. Casi un siglo más tarde, en 1377, Gran Bretaña cambió a un sistema monetario basado en el oro y la plata.

En América, la habilidad de las culturas precolombinas en el trabajo del oro estaba muy avanzada antes de la llegada de los españoles (1492). Los orfebres indígenas habían dominado la mayor parte de las técnicas conocidas por sus contemporáneos europeos. Los nativos utilizaban los métodos de la filigrana, la granulación, el prensado y el martillado, los moldes y la cera perdida (Figura 3). Los depósitos de oro más grandes en esos tiempos estaban en los Andes. La mayor parte del oro trabajado por los antiguos indígenas de América proviene de excavaciones modernas de tumbas (Figura 4). En la época de la colonia, los indígenas idearon medios para recubrir de oro los retablos de las iglesias (Figura 5).



*Figura 4. Máscara de oro de la cultura Lambayeque de Perú. Fotografía de Manuel González Olaechea y Franco, tomada del portal de Wikipedia.*



*Figura 5. Capilla del Rosario en Puebla. Tanto el altar como techo y paredes de esta capilla están recubiertas con hojas de oro mezcladas con algo de cobre, sangre de toro y baba de maguey. Este procedimiento fue inventado por los indígenas de Puebla como un medio para evitar el deterioro de las finas hojas de oro así como para poder fijarlas en superficies irregulares. Fotografía tomada del portal de Wikipedia.*

En 1556 Georg Bauer, conocido con el nombre latinizado de Georgius Agricola (1494-1555), publicó *De Re Metallica*, libro que resume todos los conocimientos de la época sobre la industria minera, la metalurgia y la mineralogía en lo que hoy es Alemania. Es en esta obra donde se describe el primer ensayo de oro por fundición durante la Edad Media. Al inicio del siglo XVIII se descubrió oro en Brasil, país que sería el productor más grande del mundo hasta 1720, con casi dos terceras partes de la producción mundial. También en el siglo XVIII, las que serían dos grandes potencias tuvieron períodos de auge gracias

al oro: la resurgencia de la minería de oro en Rusia empezó en 1744 con el descubrimiento de un afloramiento de cuarzo en Ekaterinburgo. Por su parte, Estados Unidos acuñó su primera moneda de oro en 1787, por Efraín Brasher, un herrero. El primer descubrimiento documentado de oro en los Estados Unidos fue en 1799, en el condado Cabarrus, Carolina del Norte, en donde se encontró una pepita de oro de 17 libras. En 1803 se descubrió oro en el arroyo Little Meadow, Carolina del Norte, provocando la primera carrera por el oro en los Estados Unidos. Entre 1804 y 1828 Carolina del Norte aportó todo el oro que se acuñaba en la Casa de Moneda de los Estados Unidos en Filadelfia.

Ya para esa época, en Europa los estándares empezaron a cambiar con rapidez: en 1816 Gran Bretaña ligó oficialmente la libra a una cantidad específica de oro. En 1817 introdujo el soberano, una pequeña moneda de oro valuada en una libra esterlina. El peso del oro en el dólar de los Estados Unidos en 1837, fue disminuido a 23.22 g, de forma que la onza troyana de oro fino se valuó en 20.67 dólares. En 1848 John Marshall encontró hojuelas de oro mientras construía un molino para John Sutter cerca de Sacramento, California, desencadenando la carrera y la fiebre del oro más grande de la historia. Al divulgarse la noticia, los aspirantes a gambusinos viajaron por decenas de millares de todo el orbe hacia el oeste de Norteamérica, precipitando su colonización. En 1849 habían llegado a California 80 000 gambusinos que se desparramaron por valles y montañas, cavaron minas y tamizaron ríos en busca de oro. La seducción que ejercía el oro no sólo no disminuyó sino que provocó que improvisados gambusinos se lanzaran en sucesivas y febriles avalanchas por Norteamérica, las que continuaron hasta fines del siglo XIX. Las más espectaculares fueron las de Pike's Peak, Colorado, en 1859; Deadwood, Dakota del Sur, en 1876 y Klondike, en el territorio canadiense de Yukón, en 1897.

Otro resultado de estas prospecciones masivas fue la fundación de ciudades importantes como San

Francisco, California, que se transformó en poco tiempo de la pequeña aldea de Yerba Buena en una ciudad de 55 000 habitantes. También se conformaron ciudades importantes como Denver, hoy capital de Colorado, y Johannesburgo, la más grande de Sudáfrica.



*Figura 6. Krugerrand, moneda de Sudáfrica de 10 onzas de oro fino de 1991. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

En Australia se descubrió oro en 1851 disparando la prospección minera a gran escala. De esta gran oleada de exploraciones en Australia, resultó el hallazgo de la pepita de oro más grande que se ha descubierto: la llamada “Welcome Stranger”, con peso de 78.4 kg, la cual fue encontrada en el estado de Victoria, Australia, en 1869, semiculta en un surco de rueda de carreta.

En 1868 George Harrison, mientras extraía piedras para construir una casa, descubrió oro en Sudáfrica.



*Figura 7. Schlegel, antigua moneda de oro que se utilizó en Alemania a principios del siglo XVII. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

En 1887 se confirió una patente británica a John Steward MacArthur para el proceso de cianuración para recuperar oro de las menas. Este proceso duplicó la producción mundial de oro en los siguientes 20 años y esto alentó más prospecciones. Desde entonces, Sudáfrica ha sido la fuente para casi el 40% de todo el oro que se ha minado en la historia.

En el campo de la industria, se descubrieron nuevas aplicaciones del oro: en 1903 la Corporación Engelhard introdujo un medio orgánico para imprimir oro en las superficies. Usado primero en decoración, el medio llegó a ser la base para la tecnología de impresión de microcircuitos. Las secuelas de la Primera Guerra Mundial (1910-1915) afectaron seriamente al sistema monetario internacional y por consecuencia el oro se volvió un valor sujeto al acaparamiento.



*Figura 8. La moneda más grande del mundo pesa 100 kg de oro puro, fue acuñada por el gobierno de Canadá y tiene un valor nominal de 1 millón de dólares canadienses. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

En 1919 se aplicó una estricta suspensión para el estándar de oro en varios países, incluyendo los Estados Unidos y Gran Bretaña. Siete años después de terminada la Primera Guerra Mundial, en 1925 Gran Bretaña regresó al estándar de lingotes de oro, con billetes cambiables por lingotes de oro de 400 onzas, aunque sin circulación de monedas de oro. Sin embargo, pocos años después, en 1931 Gran Bretaña abandonó el estándar de lingote de oro.

La inexistencia en Estados Unidos de un sector bancario fuerte y la quiebra inicial de algunos bancos hizo que la crisis financiera se extendiera por todo el país, multiplicando sus efectos. Los gestores de la Reserva Federal cometieron el error de reducir la oferta monetaria y subieron los tipos de interés,

provocando una oleada masiva de quiebras bancarias.



*Figura 9. La moneda conmemorativa de México, llamada Centenario, es de oro y tenía un valor nominal de 50 pesos mexicanos. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

Esta reducción de la oferta monetaria también provocó el inicio de un proceso deflacionista, la disminución drástica del consumo y el comienzo de la Gran Depresión en la década de 1920 en los Estados Unidos. Para aliviar el pánico de los bancos, en 1933 el presidente Roosevelt prohibió la posesión privada de todas las monedas de oro, lingotes y certificados. En 1937 se abrió el depósito de lingotes de oro de Fort Knox, Kentucky, Estados Unidos. El mismo presidente Roosevelt, en 1942 emitió un decreto para cerrar todas las minas de oro de los Estados Unidos con el objetivo de controlar el precio de este metal precioso. Una situación extrema se vivió en 1961, cuando se prohibió a los norteamericanos poseer oro, tanto en el extranjero como en los Estados Unidos. En el ámbito de la economía, en 1967 Sudáfrica produjo el primer “krugerrand”. Esta es la moneda de una libra de oro que se convirtió en la favorita de los inversionistas individuales alrededor del mundo (Figura 6).



*Figura 10. Medalla de oro del premio Nobel. Imagen tomada del portal de Wikipedia.*

En 1947 se armó el primer transistor en los Laboratorios AT&T, el cual usaba contactos de oro impresos en una superficie de germanio. Los mismos laboratorios AT&T, en 1960, ganaron la primera patente por la invención del láser. El dispositivo usaba espejos con baño de oro, cuidadosamente colocados para maximizar la reflexión infrarroja en el cristal irradiado. Las consecuencias de estos descubrimientos se aplicaron en la naciente exploración espacial, y en 1965 el coronel Edward White llevó a cabo la primera caminata espacial de los astronautas norteamericanos durante la misión Géminis IV, usando un visor recubierto de oro para proteger sus ojos de la luz solar directa. Los visores recubiertos con oro continúan siendo el estándar de seguridad para las excursiones espaciales de los astronautas.



*Figura 11. Oro en cuarzo. Mina de oro de Michigan, Estados Unidos. Colección de J.T. Reeder, fotografía de John A. Jaszczak. Tomado de la galería de fotos de minerales del A.E. Seaman Mineral Museum, Michigan Technological University. <http://www.museum.mtu.edu/Gallery/gold.html>*

En 1968 Intel introdujo un “microchip” con 1024 transistores interconectados con circuitos de oro invisiblemente pequeños. Otras aplicaciones empezaron a tener influencia en campos tan inesperados como la astronomía: en 1970 se inventa en los Laboratorios Bell Telephone el dispositivo de carga acoplada para registrar la luz tenue de las estrellas. La clave del éxito de este dispositivo fue el uso de oro para coleccionar los electrones generados por la luz;

eventualmente se usó en cientos de dispositivos civiles y militares, incluyendo las video-cámaras caseras. Ésta y otras muchas aplicaciones dieron por resultado un renovado interés por la exploración y el descubrimiento de nuevos yacimientos de oro: en 1982 se encontraron nuevos depósitos de oro en Norteamérica y Australia.

En 1986 se introdujeron los primeros discos compactos recubiertos con oro. Éstos dan una perfecta reflexión de la superficie, eliminando las agujas comunes para las superficies de aluminio, y excluyendo la posibilidad de deterioro por oxidación. Diez años después, en 1996, el "Explorador Global Marte" fue lanzado llevando consigo un espejo-telescopio parabólico recubierto con oro que eventualmente generaría un mapa detallado de toda la superficie marciana en un período de dos años. En esa misma línea de investigación, en el año 2000, los astrónomos del Observatorio Keck, en Hawái, utilizaron espejos gigantes recubiertos con oro para obtener las imágenes más detalladas de Neptuno y Urano que jamás se hayan visto. La economía de los países más avanzados les permitió utilizar el oro con motivos numismáticos o bien como la medida del reconocimiento internacional en los campos de las artes, la ciencia y hasta en los deportes (Figuras 7, 8, 9 y 10). Seguramente, en el futuro cercano se producirán más descubrimientos y aplicaciones del oro en campos tan variados como la ciencia, la economía y la medicina, y la extracción de este mineral (Figuras 11 y 12) seguirá siendo muy demandada.



*Figura 12. Tajo de extracción de oro de la mina La Herradura, municipio de Caborca, Sonora. Fotografía de César Jacques-Ayala.*

## Botánica

### *Las cícadas: fósiles vivientes en nuestros paisajes actuales*

**José Said Gutiérrez Ortega**

Biología, Universidad de Sonora,  
Hermosillo, Sonora, México, 83000.

[josés.gutiérrez@correoa.uson.mx](mailto:josés.gutiérrez@correoa.uson.mx)



*Figura 1. Un individuo de la especie *Dioon sonorense* en la Sierra de Mazatán, Sonora, México. Fotografía del autor.*

Ciertos grupos de organismos han tenido un éxito adaptativo que les ha permitido mantener su línea evolutiva a través de largos periodos. La comparación morfológica de estos seres vivos con sus ancestros fosilizados nos permite pensar que estos taxones no han tenido cambios grandes desde su aparición. A estos grupos se les denomina pancrónicos (del griego *pan*= todo y *chronos*= tiempo) y se les conoce vulgarmente como fósiles vivientes. Por ejemplo, entre los animales actuales se podrían destacar los peces cartilaginosos (condrictios), las cacerolas marinas (xifosuros) o los cocodrilos. Por el lado de las plantas se pueden encontrar algunos de los primeros grupos que colonizaron la Tierra (musgos y hepáticas), algunos representantes de las primeras plantas vasculares (licofitas y pteridofitas) u otros que posteriormente desarrollaron el sistema de reproducción mediante semillas (espermatofitas). Entre estas últimas se encuentran las plantas del orden Cycadales, comúnmente llamadas cícadas, de las que se piensa que surgieron a partir de los helechos con semilla del Pérmico Temprano, hace unos 280 millones de años. Las cícadas aún existentes y la especie *Ginkgo*



*biloba*, junto a las coníferas y las gnetofitas modernas, conforman el grupo de las gimnospermas actuales.



Figura 2. Estructuras sexuales de la especie *Dioon sonorense*; a) megastróbilo o cono femenino. Nótese la mano que lo sostiene como referencia de tamaño; b) microstróbilo o cono masculino. Fotografías del autor.

### ¿Cómo son las cícadas?

Las cícadas tienen una apariencia que recuerda a las palmas (Figura 1), pero no tienen relación evolutiva con ellas. Producen una corona de hojas con folíolos dispuestos en un eje principal y tienen un tallo esponjoso con poca madera. Son dioicas, es decir, en las poblaciones existen individuos machos e individuos hembras que se diferencian por sus estructuras sexuales: los conos masculinos (microstróbilos), que producen el polen, y los femeninos (megastróbilos), que desarrollan los óvulos (Figura 2). Una característica que evidencia su origen ancestral es que, de todas las plantas con semillas, las cícadas son las únicas actuales, además de *Ginkgo biloba*, que producen células espermáticas móviles.

### La evidencia fósil

Después de la gran extinción del Pérmico-Triásico (hace 251 millones de años), las plantas con semilla fueron favorecidas por los nuevos ambientes cálidos de ese entonces. Durante el Mesozoico (251-65.5 Ma), las cícadas tuvieron una diversidad muy grande y una distribución muy amplia en la era conocida como “la edad de los dinosaurios y las cícadas”. Se cree que mientras los reptiles reinaban, las cícadas sirvieron como alimento para los grandes herbívoros.

De manera general, los fósiles de cícadas que datan del Cenozoico se encuentran asignados a los géneros actuales. Se han descubierto fósiles de cícadas en todos los continentes y algunos de ellos provienen de la Antártida (del Triásico, 251-199 Ma) o Alaska (del Eoceno, 55.8-33.9 Ma), que ahora son áreas donde las condiciones climáticas actuales son inhóspitas para las cícadas modernas. Teniendo en cuenta los ambientes tropicales o subtropicales en que se desarrollan hoy las cícadas, lo anterior sugiere que la Tierra fue húmeda y cálida en casi toda la superficie terrestre en esos tiempos. Sin embargo, factores como la deriva continental y las fluctuaciones climáticas fueron fragmentando la distribución de sus hábitats, por lo que ahora todas se distribuyen de manera separada, por lo general en zonas muy restringidas.

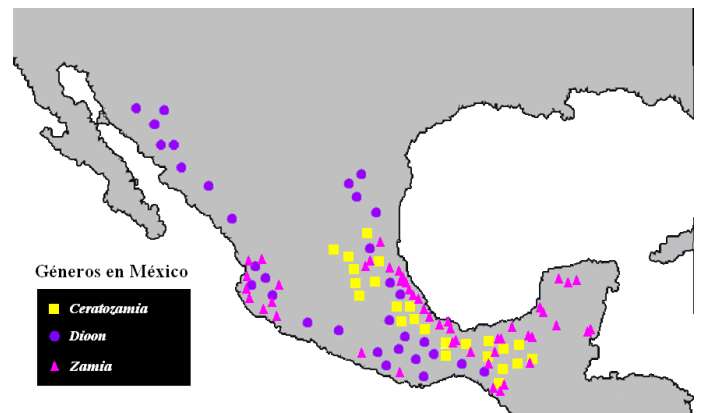


Figura 3. Mapa de distribución de las cícadas mexicanas.

### Ecología

Como muchas otras especies dioicas tropicales, las cícadas son polinizadas por insectos. Aunque este fenómeno ha sido estudiado en muy pocas especies, se cree que las cícadas tienen polinizadores específicos: los escarabajos langúridos y curculiónidos. Dichos insectos parecen ser atraídos por el calor que los conos masculinos producen cuando maduran, y eventualmente entran también a conos femeninos, donde ocurre la polinización.

Las cícadas poseen raíces especializadas parecidas a corales que salen a la superficie del suelo, donde algunas cianobacterias actúan en simbiosis fijando nitrógeno atmosférico. Esta asociación es única dentro de las gimnospermas.

Dichas relaciones interespecíficas son de gran interés evolutivo, dado que quizás se han mantenido como relaciones coevolutivas desde sus orígenes.



*Figura 4. Hábitat de la especie Dioon sonorensis: a) en la selva baja caducifolia de la Sierra de Álamos; b) en el ecotono entre la selva baja caducifolia y el bosque de encinos de la Sierra de Mazatán, en la distribución más norteña de las cícadas en América. Fotografías del autor.*

### Las cícadas modernas

En la actualidad existen en el mundo 11 géneros que son fáciles de diferenciar. Sin embargo, en la sistemática de las cícadas se suscita un problema que siempre ha existido en la biología: lo que define a una especie aún no está muy claro. Los expertos se basan

en criterios morfogeográficos, es decir, como se cree que la especiación de las cícadas ha sido por aislamiento geográfico y que cada población tiene una tendencia evolutiva propia, se consideran los caracteres morfológicos y sus distribuciones en la definición de las especies.



*Figura 5. Individuo femenino de Dioon sonorensis con megatróbilo inmaduro en la Sierra de Álamos, Sonora. Fotografía del autor.*

Hasta el 2004, se habían descrito alrededor de 305 especies y se cree que el número podría aumentar hasta 400 especies cuando la exploración y los estudios taxonómicos se hayan completado.

### Las cícadas mexicanas

Estas plantas ancestrales también existen en nuestros paisajes naturales (Figura 3). Los tres géneros que se localizan en México se distribuyen por lo general en zonas de ecotono entre la selva tropical seca y el bosque de encinos y pinos, a lo largo y ancho de la Sierra Madre Occidental, la Oriental, la del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal (Figura 4). Muchos de estos confines concuerdan con los lugares considerados como refugios del ecosistema de selva tropical seca durante las glaciaciones del Pleistoceno.

Hasta hoy, en México se han descrito 13 especies del género *Dioon*, 15 de *Zamia* y 24 de *Ceratozamia*, sumando un total de 52 especies. De esta manera, nuestro país ocupa el segundo lugar en diversidad de cícadas en el mundo, sólo después de Australia, que es un país varias veces mayor en territorio que el nuestro.

### El género *Dioon*

El nombre *Dioon* se deriva del griego *dis* (dos) *oon* (huevos), refiriéndose a que cada escama que

conforman los conos femeninos (esporófilos) contiene dos semillas, aunque ésta no sea una característica exclusiva del género. Las especies de *Dioon* tienen troncos con cicatrices foliares que se forman con la permanencia de las bases de las hojas al caer (Figura 1). Además, los troncos son cilíndricos, robustos y a

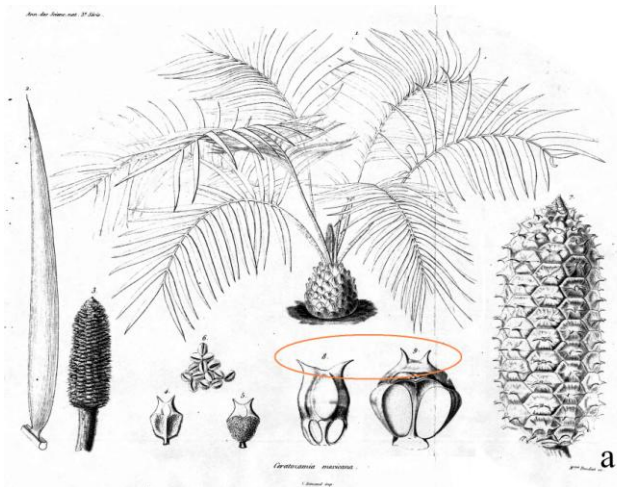


Figura 6. a) Ilustración de *Ceratozamia mexicana*, de Brongniart, 1846. Nótese las dos protuberancias en forma de cuernos (marcados con el óvalo) por cada esporófilo que caracterizan al género. Dominio público. b) Ilustración de *Zamia furfuracea*, de Christopher J. Trew, 1752. Dominio público.

veces subterráneos; en algunas especies pueden llegar a tener más de 10 metros de altura. Tienen una corona cerrada de hasta 30 hojas dispuestas en espiral (Figura 5).

### El género *Ceratozamia*

El nombre del género se deriva del griego *cerato*, que significa cuerno, dado que la característica que diferencia al género es la presencia de dos protuberancias en forma de cuernos que tiene cada esporófilo (Figura 6a). Las especies de este género producen tallos largos que rara vez permanecen erectos, y para algunas de las especies, los troncos son subterráneos. Sus hojas tienen longitudes que varían entre especies y sus bases permanecen en el tronco después de desfoliarse.

### El género *Zamia*

El nombre *Zamia* se deriva del griego *azanie* y significa cono de pino, refiriéndose a la similitud que tienen los conos de *Zamia* y los del género *Pinus*. Sus tallos tienen poco desarrollo de tejido leñoso y son generalmente tubérculos subterráneos. Sus hojas varían mucho en tamaño y en color entre las especies, pero se disponen en la típica forma de corona, como en el resto de los géneros (Figura 6b).

### Estudios genéticos en cícadas

Para estudiar la genética de cualquier grupo de organismos se requiere la aplicación de marcadores moleculares, que son moléculas identificables (proteínas o ácidos nucleicos) que están ligadas a la herencia. Investigadores del Instituto Nacional de Ecología han estudiado la genética de diversas especies de cícadas mexicanas utilizando isoenzimas (marcadores moleculares que se basan en la herencia de las proteínas). Han estimado que generalmente los niveles de diversidad genética son elevados, al igual que las diferenciaciones entre poblaciones de la misma especie.

Por otra parte, investigaciones de filogenia y filogeografía (dos campos de estudio que tratan de explicar el árbol genealógico de la evolución) en *Ceratozamia* y *Dioon*, y una en específico en *D. sonorensis*, mediante la utilización de secuencias de ácido desoxirribonucleico (ADN) como marcadores moleculares, han sugerido que la variabilidad entre especies y poblaciones es muy baja. En el caso de *D. sonorensis* se detectaron sólo tres tipos genéticos (haplotipos) en la distribución de la especie (Figura 7).

Dos de esos haplotipos se encontraron también en especies del mismo género en el sur de México. Este marcador molecular sugiere que la mayoría de las especies del género *Dioon* son muy similares. Además, si consideramos la historia geológica y climática de los hábitats de las cícadas mexicanas en los últimos 40 mil años, puede ser que la fragmentación de las poblaciones y la especiación en el género hayan ocurrido en un tiempo reciente.

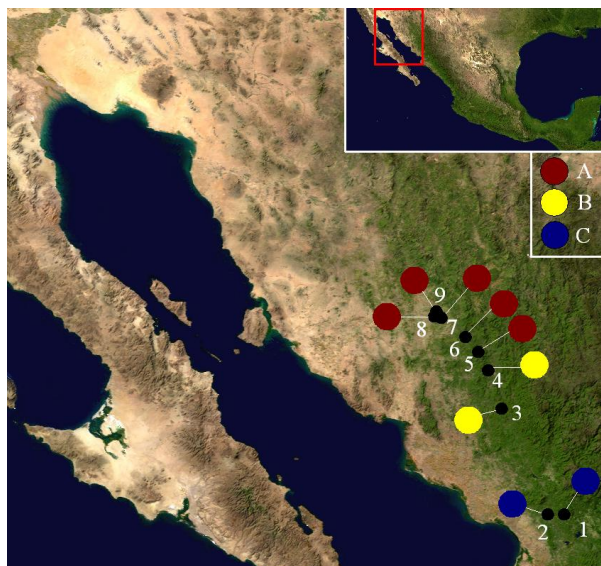


Figura 7. Mapa de distribución de los haplotipos de la región intergénica trnL-F en nueve localidades de *Dioon* sonorense. Junto a cada localidad (círculo negro) se muestra el haplotipo definido en la acotación superior derecha.

### Conservación en México

Todas las especies de cícadas del mundo se encuentran protegidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y todas las especies mexicanas se encuentran enlistadas en la Norma Oficial 059 de SEMARNAT en alguna categoría de riesgo. Algunos investigadores reportan que muchas de las poblaciones son muy pequeñas y parecen ser senescentes, ya que el reclutamiento de nuevas generaciones no es muy exitoso y abundan más los individuos adultos, por lo que su futuro es preocupante. En el estado de Veracruz se han hecho grandes esfuerzos para la conservación de varias especies nativas que se propagan con miras al manejo sustentable y la reintroducción, para de esa manera amortiguar el impacto a las poblaciones silvestres.

Si estos fósiles vivientes han persistido a través de millones de años, imaginemos de qué manera podemos como especie, admirar su pasado y coexistir con estas plantas que constituyen “la Piedra de Rosetta” en la evolución de las plantas con semilla.

## Sismología

### Sismo de Puerto Príncipe, Haití: un desastre anunciado

Thierry Calmus

Instituto de Geología  
Estación Regional del Noroeste, UNAM  
Hermosillo, Sonora, México, 83000  
[tcalmus@servidor.unam.mx](mailto:tcalmus@servidor.unam.mx)

“Este día, mi mamá nos dejó en la casa, a mi hermana Lania, mi hermanito Dany y a mí. No teníamos escuela. Alrededor de las 5 de la tarde, estaba acostada, leyendo un libro de la escuela. De repente la casa empezó a temblar, corrí hacia mi hermana en la escalera y empecé a llorar de miedo. El movimiento precipitó a Lania al piso, la pared se dislocó y unos bloques me cayeron encima, en la cabeza, en los pies. Me dolía mucho y cuando me desperté estaba en el carro del señor Gilles con mi hermana. Le pregunté por mi madre y me contestó que no había regresado y empecé a llorar.” (Yvens, 13 años).

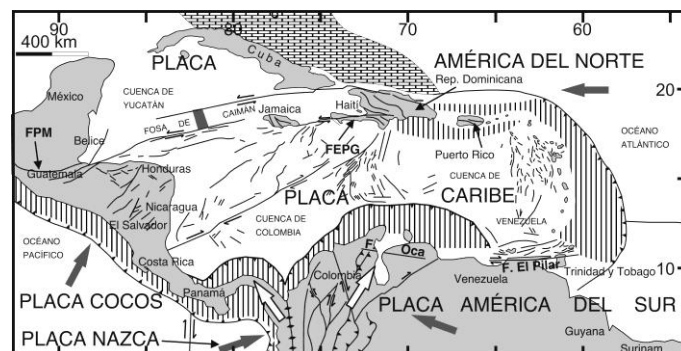
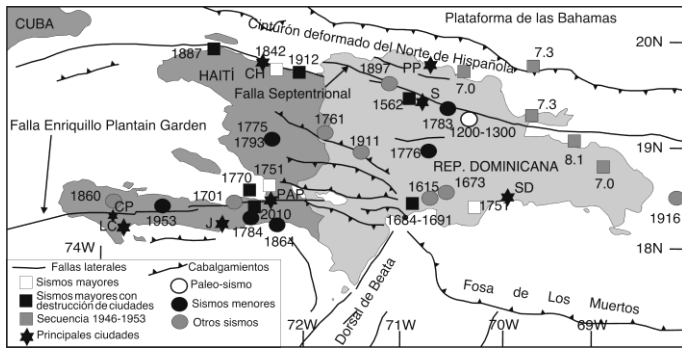
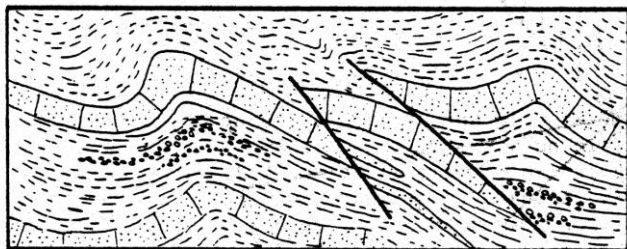


Figura 1. Mapa tectónico simplificado de la región caribeña y de América Central. La placa Caribe está limitada al norte por fallas laterales izquierdas como la falla Enriquillo-Plantain Garden y las fallas que limitan la fosa de Caimán y, al sur, por fallas laterales derechas, como las fallas Oca o El Pilar. Al este está limitada por la zona de subducción de las placas América del Norte y América del Sur debajo del arco de las Antillas, y al oeste por la zona de subducción de la placa Cocos debajo del istmo de América Central. Su movimiento relativo con respecto a las placas de América del Norte y de América del Sur es hacia el este. Las fallas con triángulos indican zonas de subducción en zonas marinas y cabalgamientos mayores en zonas continentales. La falla con triángulos de ambos lados representa la zona de colisión entre el arco de Panamá y América del Sur. El área representada con una simbología de ladrillos representa la plataforma de Las Bahamas. Las áreas con líneas delgadas paralelas verticales representan los prismas de acreción (áreas de gruesos espesores de sedimentos marinos deformados) asociados a la subducción. Las flechas grises son los movimientos absolutos de las placas. Las flechas blancas indican el movimiento de los bloques continentales de Panamá (al oeste) y de Bonaire (al este). FPM: Sistema de fallas Polochic Motagua; FEPG: Falla Enriquillo-Plantain Garden. Modificado de Burke et al. (1984).



**Figura 2:** Localización de los principales sismos históricos de la isla La Hispaniola (Haití y República Dominicana). CH: Cap Haïtien; CP: Camp Perrin (sitio de la Figura 3); LC: Les Cayes; PAP: Puerto Príncipe; PP: Puerto Plata; S: Santiago; SD: Santo Domingo. Las fallas se dividen en dos grupos: las fallas con una componente lateral (líneas continuas) y los cabalgamientos (fallas con una componente vertical de compresión preponderante). Los triángulos indican el bloque cabalgado. Modificado de Calais, E. (<http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/haiti/>).

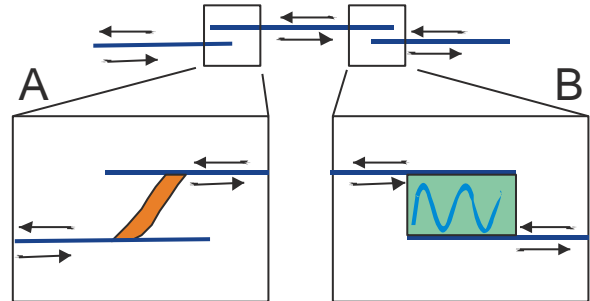
Mientras escribía esta nota sobre el terremoto ocurrido el 12 de enero pasado en Haití, la Tierra tembló el 13 de abril en Qinghai, China. Estos dos temblores, junto con los que ocurrieron el 27 de febrero en Chile y el 04 de abril en el noroeste de México, suman cuatro temblores de magnitud superior a 7 en la escala de Richter, que ocurrieron en un lapso de tres meses, despertando nuevamente el pánico, la desesperación y un sentimiento de impotencia en dos continentes.



**Figura 3:** Deformación de las rocas detríticas continentales (areniscas y lutitas) del Mioceno a la orilla del río Grande Ravine du Sud, cerca del pueblo de Camp-Perrin, en el extremo oeste de la península sur de Haití. Observamos cabalgamientos de pequeña escala (algunos centímetros) que indican una compresión oblicua asociada al desplazamiento lateral izquierdo de la falla de Enriquillo-Plantain Garden. Dibujo del autor.

No todos los sismos de alta magnitud son destructores: si un terremoto ocurre en una región despoblada, no tendrá consecuencias trágicas, debido a que los movimientos son atenuados cuando llegan a las regiones pobladas lejanas del hipocentro; por esta razón los sismos de magnitud entre 6 y 7 que ocurren regularmente en el Golfo de California no son tan notables. En cambio, recordaremos los que provocaron pérdidas humanas en zonas habitadas que no cuentan con una infraestructura anti-sísmica adecuada, como son las zonas urbanas de Puerto Príncipe, Haití, o de Yushu, cabecera de Qinghai, China. En lo que va de

2010, se han producido 17 temblores de magnitud superior a 6.5, seis de ellos de magnitud superior a 7; es decir, un equivalente al promedio de los años anteriores, lo cual significa que la Tierra libera la misma cantidad promedio de energía durante un año.



**Figura 4:** Esquema simplificado de las zonas de relevo vistas en planta. En el caso de la falla izquierda Enriquillo-Plantain Garden, una zona de relevo a la izquierda (A) corresponde a un área en extensión, mientras que una zona de relevo a la derecha (B) corresponde a una zona en compresión. En el primer caso se desarrollan estructuras en extensión como son las fallas normales, las depresiones o las cuencas. En el segundo caso se forman estructuras en compresión como son las fallas inversas o los pliegues.

¿Por qué tiembla la Tierra? La capa superficial de la Tierra (litósfera) está dividida en 15 placas tectónicas principales que se desplazan unas con respecto a otras, debido a movimientos lentos que ocurren en el manto caliente subyacente (para mayor información, ver el artículo sobre la litósfera de García y Barragán en el número 9 de "Nuestra Tierra"). Los límites entre dichas placas tectónicas son los sitios en donde se concentra aproximadamente 95 % de la actividad sísmica de la Tierra. Los temblores de Puerto Príncipe y del valle de Mexicali se deben a un fenómeno regional similar: dos placas tectónicas se mueven lateralmente una con respecto a otra. El movimiento es principalmente horizontal a lo largo de las fallas en donde se producen los sismos. En el noroeste de México y en California, la placa Pacífico se mueve hacia el noroeste con respecto a la placa de Norte América, a lo largo de algunas fallas como las de Laguna Salada, del Borrego y Pescadores (a lo largo de las cuales ocurrió el temblor del 4 de abril del 2010), Cerro Prieto, Imperial, Algodones, Elsinore, San Jacinto y San Andreas. En Haití, la falla Enriquillo-Plantain Garden (temblor del 12 de enero del 2010) pertenece al límite entre las placas Norte América y Caribe (Figura 1). En el primer caso, el movimiento es lateral derecho; es decir, la placa Pacífico se mueve hacia la derecha con respecto a la placa norteamericana, mientras que en el caso de Haití, el movimiento es lateral izquierdo. La falla activa

Enriquillo-Plantain Garden, orientada este-oeste a lo largo de los 250 km de la península del sur de Haití, sigue hacia el oeste hasta Jamaica y al este hasta la depresión de Enriquillo en República Dominicana.



*Figura 5: Colonia humilde destruida en un 80%. Fotografía enviada por Gilles Champetier de Ribes, Presidente de la Ahfadem (Asociación Haitiana de Ayuda para las Familias Desprotegidas).*

Haití fue el escenario de otros sismos destructores a lo largo de su historia: en 1751, 1770 y 1860 (Figura 2), solamente en la parte sur del país (Mann et al., 1990; Prentice et al., 2010). La región presenta evidencias de movimientos laterales desde el Plioceno, es decir, desde hace 5 a 6 millones de años. Estas evidencias son de tres tipos: a) formación de relieves juveniles abruptos que indican que existe una componente vertical en el desplazamiento principalmente lateral, b) plegamiento y fallamiento de las rocas sedimentarias en la proximidad de la falla (Figura 3) y c) formación de cuencas en áreas de relevo entre dos segmentos de la falla principal (Figura 4). La información geológica permite evaluar que la cantidad total de movimiento lateral desde entonces fue aproximadamente de 30 km (Calmus, 1983), lo cual es equivalente a 6 mm por año. Si sabemos que el último temblor fuerte ocurrió en noviembre de 1751 a lo largo de la falla Enriquillo-Plantain Garden, y que la energía se acumuló desde entonces sin relajación alguna, la cantidad de movimiento acumulada fue de 1.55 m. Sin embargo, si bien se observaron desplazamientos verticales hasta de 65 cm en el área costera de Léogane (Hayes et al., 2010), no se observó ruptura con desplazamientos laterales a la superficie, lo cual significa que una parte mínima o nula de la cantidad de desplazamiento acumulado fue liberada durante el sismo de enero del 2010 (Prentice et al. 2010). Lo anterior sugiere que la falla Enriquillo-Plantain Garden sigue presentando un factor de riesgo significativo.

Edmond Mulet, jefe de misión de la Minustah (Misión de las Naciones Unidas para la estabilización en Haití), anunció después de 100 días del sismo, que Haití perdió entre 250 000 y 300 000 de sus habitantes. Otros trescientos mil resultaron heridos y un millón quedaron sin hogar, de un total de 8.4 millones de habitantes en el país.

La causa de la tragedia humana del 12 de enero del 2010 en Haití fue multifactorial. En primer lugar, la recurrencia sísmica de la falla Enriquillo-Plantain Garden rebasa el tiempo de la vida humana, lo cual favorece el olvido y la confianza ciega de la población y de las autoridades durante varias generaciones. En segundo lugar, el sismo ocurrió pocos kilómetros al sur de la conurbación de Puerto Príncipe y Léogane, que concentra cerca de 3 000 000 de habitantes, la mayoría de los cuales vive en condiciones de extrema pobreza. En tercer lugar, gran parte de la población vive en las faldas de los cerros del sur de la ciudad, asociados precisamente a la falla Enriquillo-Plantain Garden, los cuales presentan un alto riesgo de derrumbes y deslaves (Figura 5). Finalmente, la infraestructura urbana carecía totalmente de instalaciones capaces de soportar un sismo de esta magnitud. Los hospitales, las escuelas y los mismos edificios del gobierno, incluyendo el simbólico palacio presidencial (Figura 6), la catedral (Figura 7) y el edificio de la delegación de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), fueron destruidos.



*Figura 6: Palacio Presidencial derrumbado. Fotografía enviada por Gilles Champetier de Ribes, Presidente de la Ahfadem (Asociación Haitiana de Ayuda para las Familias Desprotegidas).*

La trágica experiencia de Haití debe ser un catalizador para que el país tenga la oportunidad de

iniciar una nueva etapa de desarrollo, basada en la planeación urbana y la prevención de desastres naturales. Una pequeña parte de los fondos dedicados a los programas de apoyo a la reconstrucción, modernización y educación, sería suficiente para implementar un programa de prevención a nivel nacional. En un artículo reciente, Manaker et al. (2008) concluyeron que la falla Enriquillo-Plantain-Garden tenía el potencial para producir un sismo de magnitud 7.2 en la escala de Richter, en caso de que toda la deformación acumulada fuera liberada en un solo evento. Esta conclusión en forma de predicción se corroboró menos de dos años después. Las autoridades del país conocían estas conclusiones pero por la falta de recursos no permitió establecer programas de contingencia y de prevención. A pesar de que se conocen las principales fallas sismogénicas de la región y la magnitud que se puede esperar en caso de terremoto a lo largo de dichas fallas (como la falla Septentrional que se extiende desde la isla de la Tortuga hasta la ciudad de Santiago en el norte de la República Dominicana), hacen falta más estudios geodésicos y un registro histórico suficientemente largo para establecer un tiempo aproximado de recurrencia. También, a pesar de los trabajos que se realizaron desde el sismo de enero de 2010, se requiere una cartografía detallada de las fallas activas, así como un estudio de la interacción entre las diferentes fallas que constituyen la frontera de placas, lo cual podría ayudar a determinar el mecanismo de relevo entre ellas, con apoyo de la sismicidad histórica. Hace falta también una cartografía de las formaciones geológicas cuaternarias, de los suelos y de su potencial de licuefacción. Además de estos puntos, el geólogo Claude Prépetit, Consejero Técnico de la Oficina de Minas y de Energía de Haití, hace hincapié en la creación de un organismo que centralice el monitoreo sísmico y geodésico del país (Haití no tiene un solo sismógrafo y República Dominicana, país que comparte la misma isla, tiene siete). Sin embargo, es necesario ver más allá: la falla Enriquillo-Plantain Garden se extiende a lo largo de más de 500 km desde Jamaica hasta el sur de la República Dominicana y el monitoreo se debe de establecer a lo largo de todo el segmento, en completa cooperación entre estos países del Caribe. Recordemos que la capital de Jamaica, Kingston, fue destruida durante los sismos de 1692 y 1907.

La conclusión podría resumirse en dos palabras: educación e información, ambas a través de la enseñanza de la prevención de los desastres naturales a las poblaciones expuestas desde la primera infancia; y así mismo, educación e información de los gobiernos, a todos los niveles, sobre la prioridad de asignación de recursos de infraestructura pública y de vivienda anti-sísmica.



*Figura 7: Catedral de Puerto Príncipe totalmente destruida. Fotografía enviada por Gilles Champetier de Ribes, Presidente de la Ahfadem (Asociación Haitiana de Ayuda para las Familias Desprotegidas).*

Para las decenas de millones de seres humanos que viven a lo largo de las fronteras entre las placas Norte América, Pacífico y Caribe, este determinante proceso de educación recae sobre los sismólogos y geólogos, quienes tienen la tarea de capacitar al personal involucrado en la prevención de desastres y, además, al magisterio, para que transmita a su vez al alumnado una visión correcta y actualizada del origen de los sismos y de sus efectos.

*En la versión digital de la revista se presenta bibliografía relacionada con los dos últimos artículos.*

## Contraportada

*Arriba. Joyería de oro encontrada en el sitio arqueológico de Varna, Bulgaria. Tomada de Wikipedia.*

*Abajo. Oro de Varna, Bulgaria; entierro con la joyería de oro más antigua del mundo (~ 4600 AC). Artículo sobre el oro en la historia. Tomada de Wikipedia.*





## Bibliografía Nuestra Tierra-14

### Sismo de Puerto Príncipe, Haití: un desastre anunciado

Thierry Calmus

- Calmus, T., 1983, Décrochement senestre sud-haïtien; analyses et conséquences paléogéographiques dans la région de Camp-Perrin (Massif de Macaya, presqu'île du sud d'Haïti): Annales de la Société Géologique du Nord, T.C. III, 309-316.
- García y Barragán, J.C., 2008, La Litósfera: Nuestra Tierra, 9, 3-14.
- Guevara Philippe N., 2010, Cuando falla una falla: El Faro, 107, 7-9.
- Hayes, G.P., Briggs, R.W., Sladen, A., Fielding, E.J., Prentice, C., Hudnut, K., Mann, P., Taylor, F.W., Crone, A.J., Gold, R., Ito, T. and Simons, M., 2010, Complex structure during the 12 January 2010 Haiti earthquake, Nature Geoscience, doi: 10.1038/NGE0977, p. 1-6.
- Manaker, D.M., Calais, E., Freed, A.M., Ali, S.T., Przybylski, P., Mattioli, G., Jansma, P., Prepetit, C., de Cahbaliér, J.B., 2008, Interseismic plate coupling and strain partitioning in the northeastern Caribbean: Geophysical Journal International, 174, 889-903.
- Mann, P., Schubert, C., Burke, K., 2000, Review of Caribbean Neotectonics, in Dengo, G., and Case, J.E. (eds.), The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, Vol. H., 307-338.
- Prentice, C.S., Mann, P., Crone, A.J., Gold, R.D., Hudnut, K.W., Briggs, R.W., Koehler, R.D., and Jean, P., 2010, Seismic hazard of the Enriquillo-Plantain Garden fault in Haiti inferred from paleoseismology, Nature Geoscience, doi: 10.1038/NGE0991, p. 1-5.

Para obtener información más específica, en particular mapas, se recomienda consultar los sitios web de los siguientes organismos:

Servicio Sismológico Nacional de México: <http://www.ssn.unam.mx>

Servicio Geológico de Estados Unidos: <http://earthquake.usgs.gov>

Instituto de Física del Globo de París: <http://www.ipgp.fr>

Servicio Geológico de California: <http://www.conservation.ca.gov>

Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada: <http://www.cicese.edu.mx>

Red Nacional de Monitoreo Sísmico: <http://renass.u-strasbg.fr/>

### Las cícadas: fósiles vivientes en nuestros paisajes actuales

José Said Gutiérrez Ortega

- Gutiérrez-Ortega, J. S., 2010, Filogeografía de la cícada *Dioon sonorensis* (Cycadales: Zamiaceae) en Sonora, México, utilizando la región intergénica *trnL-F* del ADN del cloroplasto: Hermosillo, Sonora, México, Universidad de Sonora, tesis profesional, 77 p.
- Jones, D. L., 1993, *Cycads of the world: Sydney, Australia*, Reed New Holland, 312 p.
- Norstog, K. J., Nicholls, T.J., 1997, *The biology of the cycads*: Nueva York, Estados Unidos, Cornell University Press, 363 p.
- Whitelock, L. M., 2002, *The cycads*: Portland, Oregon, Estados Unidos, Timber Press, 374 p.
- Walters, T., Osborne, R. (eds.), 2004, *Cycad classification: concepts and recommendation*. CAB International. Reino Unido, 267 p.
- Yáñez-Espinosa, L., 2006, *Las cycadas. Biología y conservación en México*: Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo, 209 p.