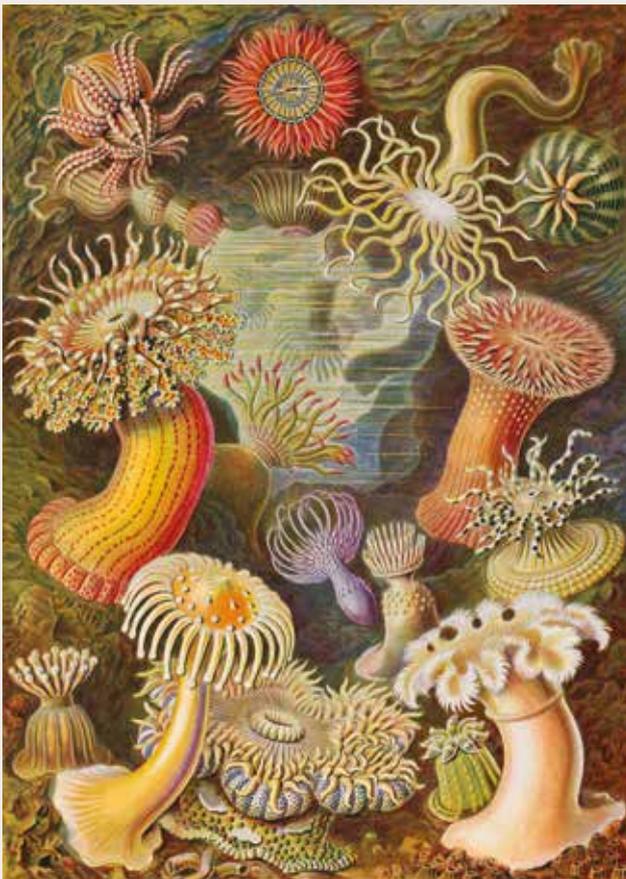




Invertebrados cleptómanos

Curiosa situación por la que algunas especies animales se apropian de las armas de sus presas

Muchos hemos sentido el ardor y visto el efecto que producen en nuestra piel las 'picaduras' de las aguas vivas. Estas -formalmente llamadas *medusas*- viven en la columna de agua y son organismos estructuralmente simples. Pertenecen al grupo de los *cnidarios* (filum *Cnidaria*), lo mismo que los corales y las anémonas de mar, que habitan el fondo marino sin o con escasa capacidad de desplazarse.



Anémonas de mar de la familia *Actiniidae*. Lámina 49 de Ernst Haeckel, *Kunstformen der Natur*, 1904.

Una de las características de las especies de este grupo, independientemente de que sus integrantes vivan flotando o adheridos al fondo, es que son predadores muy eficaces. Capturan sus presas gracias a ciertas células únicas llamadas *cnidocitos*, que contienen un orgánulo de estructura compleja, el *cnida* o *cnidocisto*, usado también para defenderse. Este es capaz de disparar un filamento largo que perfora a las presas y en algunos casos les inyecta veneno, lo cual es la causa de las llamadas picaduras que sentimos cuando tenemos encuentros con aguas vivas. Las células

con *cnidocistos* están en el epitelio que recubre el cuerpo y los tentáculos de las medusas y las anémonas, así como en otras partes del organismo.

Los *cnidocistos* disparan dicho filamento como respuesta a un estímulo mecánico o químico, en aproximadamente una milésima de segundo. El filamento sale a una velocidad promedio de 15m/segundo (54km/hora) como resultado de un impulso equivalente a 5 millones de veces la aceleración de la gravedad terrestre. Los filamentos disparados perforan la piel o el tegumento de sus presas o las envuelven y atrapan. Su descarga es uno de los movimientos más rápidos registrados en el reino animal.

Cada especie de *cnidario* tiene un conjunto particular de tipos de *cnidocistos*, adaptado a su forma de vida y a sus presas. A pesar de que los *cnidarios* tienen esta formidable arma de ataque y defensa, son acechados por varios grupos de predadores que se alimentan de ellos. Entre esos predadores hay vertebrados como peces, reptiles y aves, e invertebrados como artrópodos, gusanos flecha (*Chaetognatha*), nueces de mar o *ctenóforos* (organismos gelatinosos que viven en la columna de agua), gusanos planos (*Platyhelminthes* y *Acoelomorpha*) y babosas de mar (*Mollusca*). Algunos predadores tienen su faringe recubierta por una capa inerte que aligera el efecto tóxico de los *cnidocistos*, o tienen protegidos químicamente de daño sus órganos internos.

Como lo explica un artículo aparecido en *Invertebrate Biology*, algunos predadores de *cnidarios*, entre ellos ciertas babosas de mar, gusanos planos -tanto marinos como de agua dulce- y nueces de mar, se apropian de los *cnidocistos* y los usan a su vez para defenderse de sus propios predadores. Este proceso de robar *cnidocistos* y reciclarlos como si fueran propios recibió el nombre de *cleptocnidia*.

Tales especies ladronas seleccionan solo algunos de los diferentes tipos de *cnidocistos* de sus presas, no los digieren, sino que los acondicionan de modo que les sirvan de arma defensiva: los ubican en puntos vulnerables de su tegumento (la cobertura protectora externa del cuerpo), y los rodean con células musculares que controlan su disparo. De esta forma, los *cnidocistos* robados y reciclados quedan listos para defenderlos.

Debido a que las especies que practican la *cleptocnidia* no están cer-

canamente emparentadas (técnicamente, muestran *distancia filogenética*), puede deducirse que esa práctica evolucionó independientemente en el linaje de cada una. A pesar de esto, los investigadores reconocen que el proceso de reciclaje es semejante en todas y que, además, los organismos que las componen comparten ciertas características.

Así, esos linajes transportan los cnidocistos de forma semejante, utilizando células que los fagocitan, denominadas *cnidofagos*; todos solo seleccionan algunos de los tipos de cnidocistos de la presa, y la forma de almacenarlos en relación con fibras musculares también se repite. Por otra parte, todos los recicladores son organismos de cuerpo blando, sin cubiertas protectoras externas, lo que los hace presa fácil. Su sistema digestivo está muy ramificado o se despliega próximo a la epidermis, lo que facilita el transporte de los cnidocistos hasta el tegumento para su utilización. Por último, todos tienen gran capacidad de regeneración, lo que les permitiría, en caso de que no pudieran controlar su disparo, recuperar los tejidos dañados por los cnidocistos.

Pero ¿cómo puede haber evolucionado en forma independiente una capacidad tan compleja como es la de reciclar las organelas descriptas? ¿Por qué solo determinados grupos de invertebrados adquirieron esta capacidad de defenderse? Sin duda, nos falta mucho por conocer para responder con certeza a estas preguntas. **CH**

Cristina Damborenea
cdambor@fcnym.unlp.edu.ar

Más información en GOODHEART JA & BELY AE, 2016, 'Sequestration of nematocysts by divergent predators: Mechanism, function and evolution', *Invertebrate Biology*, 136: 75-91.



Medusas de la clase *Scyphozoa* en el canal de Beagle. Su tamaño sin contar las ramificaciones es del orden de los 10cm. Foto Mariano Rodríguez - Beagle Secretos del Mar



Babosa de mar (orden *Nudibranchia*) en el canal de Beagle. Su tamaño es del orden de los 7cm. Foto Mariano Rodríguez - Beagle Secretos de Mar.



Las formas de los huevos aviares

Es sabido que el proceso evolutivo de la vida comenzó en el agua. Se estima que los primeros organismos unicelulares aparecieron hace más de 3000 millones de años (Ma) y que solo hace poco más de unos 600Ma surgieron los primeros organismos multicelulares, que se diversificaron vigorosamente en el transcurso de unos 10Ma a 20Ma.

La colonización de la tierra por parte de las plantas ocurrió hace unos 450Ma, como lo explicó Claudia Rubinstein en el número 154 de CIENCIA HOY ('Primeros pasos de la vida fuera del agua', pp. 23-27). A partir de esa colonización, salieron en algún momento del agua y se establecieron en tierra integrantes de los diversos grupos de animales, que se alimentaban de las plantas y las usaban como sustrato. Los artrópodos habrían colonizado la tierra no mucho después de las plantas, y luego llegaron los vertebrados, hace más de 300 millones de años. Todos los

que colonizaron la tierra eran ovíparos y debían retornar al agua para desovar. No pudieron poner sus huevos en tierra hasta que la evolución dotó a estos de determinadas características que les permitieron subsistir en el nuevo ambiente. Los reptiles habrían sido el primer grupo de vertebrados en reproducirse en tierra, ya que los llamados anfibios todavía desovan en el agua.

Así, los primeros huevos terrestres o *amnióticos* tuvieron que adquirir alguna forma de evitar la desecación por estar rodeados de aire y de mantener su forma fuera del agua. Lograron ambas cosas cuando aparecieron las cáscaras calcificadas, duras y porosas, que conservaban tanto la forma como la humedad interior sin perder la permeabilidad al aire. Con ello, los animales quedaron libres de la necesidad de volver al agua a desovar.

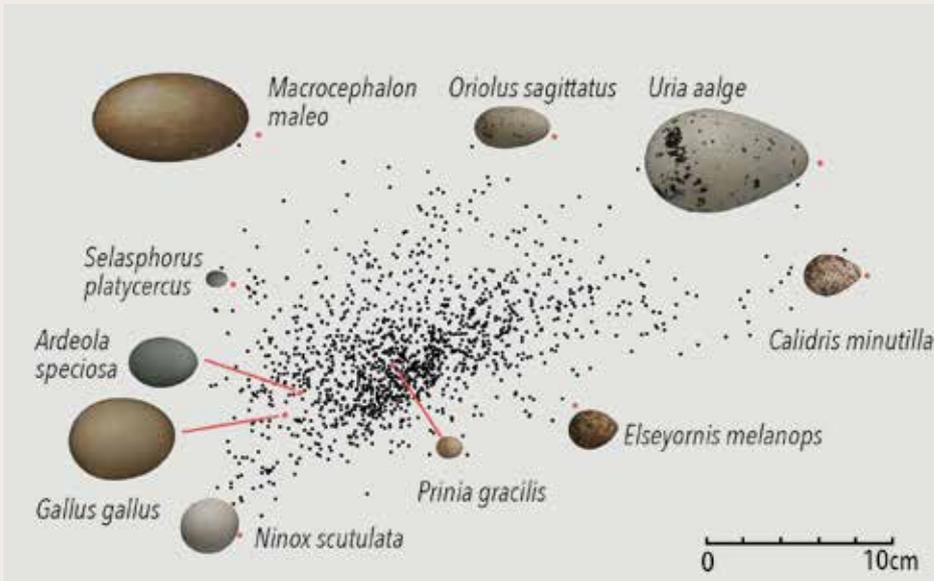
Uno de los grupos de vertebrados acuáticos ancestro de linajes de animales terrestres dio origen a a los dinosaurios,

de una rama de los cuales, los *dinosaurios teropodos*, descienden las aves de hoy. Sabemos que los huevos de estos dinosaurios no eran esféricos, como son por lo común los huevos acuáticos, sino elípticos y asimétricos. Deducimos, por lo tanto, que a partir de ese tipo de huevos evolucionaron todas las variadas formas de los huevos de las aves actuales, pero conocemos poco acerca de la relación entre la forma de los huevos de las aves y la vida y la conducta de estas, y tampoco sabemos mucho acerca de qué podría explicar dicha forma. Se han formulado, sin embargo, varias hipótesis al respecto, entre ellas que la evolución habría favorecido las formas elípticas y asimétricas por sobre las esféricas por la capacidad de estas, ausente en aquellas, de rodar en cualquier dirección y caerse del nido.

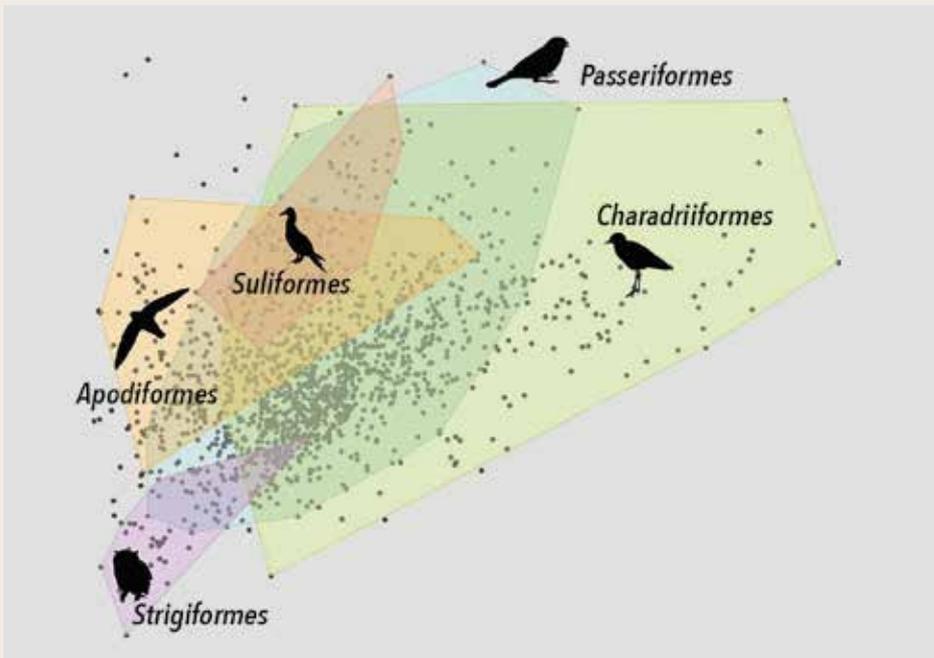
En las aves actuales, las formas de los huevos tienen una significativa variabilidad. Un grupo de seis investigadores de las universidades de Princeton, Harvard, Tecnológica Nanyang (Singapur), Haifa y Bristol analizaron huevos de aproximadamente 1400 especies de aves (de las 10.000 especies vivientes) que abarcan 35 grandes grupos u órdenes. Incluso analizaron los huevos de dos órdenes fósiles. Publicaron sus conclusiones en un artículo aparecido en *Science*.

Dicho artículo incluye un gráfico que ordena los huevos según su esfericidad y su simetría, en el cual se advierte de manera clara dicha variabilidad de forma. La nube de puntos muestra abajo y sobre la izquierda los huevos más esféricos y simétricos, y arriba a la derecha, los más elípticos y asimétricos. Entre los casos extremos están los pertenecientes, por un lado, a una pequeña lechuga natural de la India y el sudeste asiático (*Ninox scutulata*), que





Esféricidad y simetría medias de los huevos de aves de 1400 especies. Cada uno de los puntos del gráfico corresponde a una especie diferente y ocupa un lugar que depende, en vertical, de la primera, y en horizontal, de la segunda (abajo y sobre la izquierda están los huevos más esféricos y simétricos, y arriba a la derecha, los más elípticos y asimétricos). Los puntos de los huevos ilustrados están en rojo y las ilustraciones están en la misma escala.



Variación de la forma de los huevos de cinco grandes órdenes de aves: *Passeriformes* (vulgarmente pájaros), que incluye a más de la mitad de todas las especies aviares, *Suliformes* (pelícanos, cormoranes, etcétera), *Charadriiformes* (chorlos, gaviotas, etcétera), *Apodiformes* (vencejos) y *Strigiformes* (lechuzas, búhos). Advértase la gran superposición de los órdenes, independiente de las características o *fenotipo* de las aves y de su hábitat. La nube subyacente de puntos es la misma de la figura anterior.

son casi pero no enteramente esféricos, y por el otro, al arao común (*Uria aalge*), que habita en aguas y costas marinas de Europa y Norteamérica, o a una diminuta becassina norteamericana (*Calidris minutilla*).

Del análisis de la información que registraron, los autores del artículo sacaron dos conclusiones principales: (i) las formas de huevos varían en forma continua, y (ii) varían también entre los integrantes de un mismo orden de aves, es decir que las formas no obedecen a un patrón evolutivo lineal.

La hipótesis de los autores es que la forma de los huevos está determinada por la membrana elástica interna de la cáscara, ya que un huevo sin cáscara mantendría la forma por la presión ejercida por distintas partes de la superficie de la membrana según su composición y espesor. La hipótesis se basa en que se han realizado experimentos en los que, disuelta la cáscara, el huevo mantuvo su misma forma. Dicha forma se establece en el *isthmus*, que es la parte final del oviducto.

Las partes más técnicas del artículo comentado dan cuenta de ecuaciones formuladas por los autores que modelan la forma de los huevos según dichas variables. Por otro lado, ellos también encontraron relaciones de la forma de los huevos y su tamaño con características como el tamaño de las alas, y entre la elipticidad, el largo del huevo y la masa corporal del ave. A grandes rasgos, estos resultados sugieren que la forma del huevo estaría influenciada por aspectos morfológicos relacionados con el vuelo. En términos evolutivos, las aves con mayores capacidades de vuelo, al poner huevos más asimétricos y más elípticos, habrían tendido a lograr el tamaño óptimo de estos.

Más información en STODARD MC *et al.*, 2017, 'Avian egg shape: Form, function and evolution', *Science*, 356: 1249-1254.



Los Andes y la subducción de la placa de Nazca

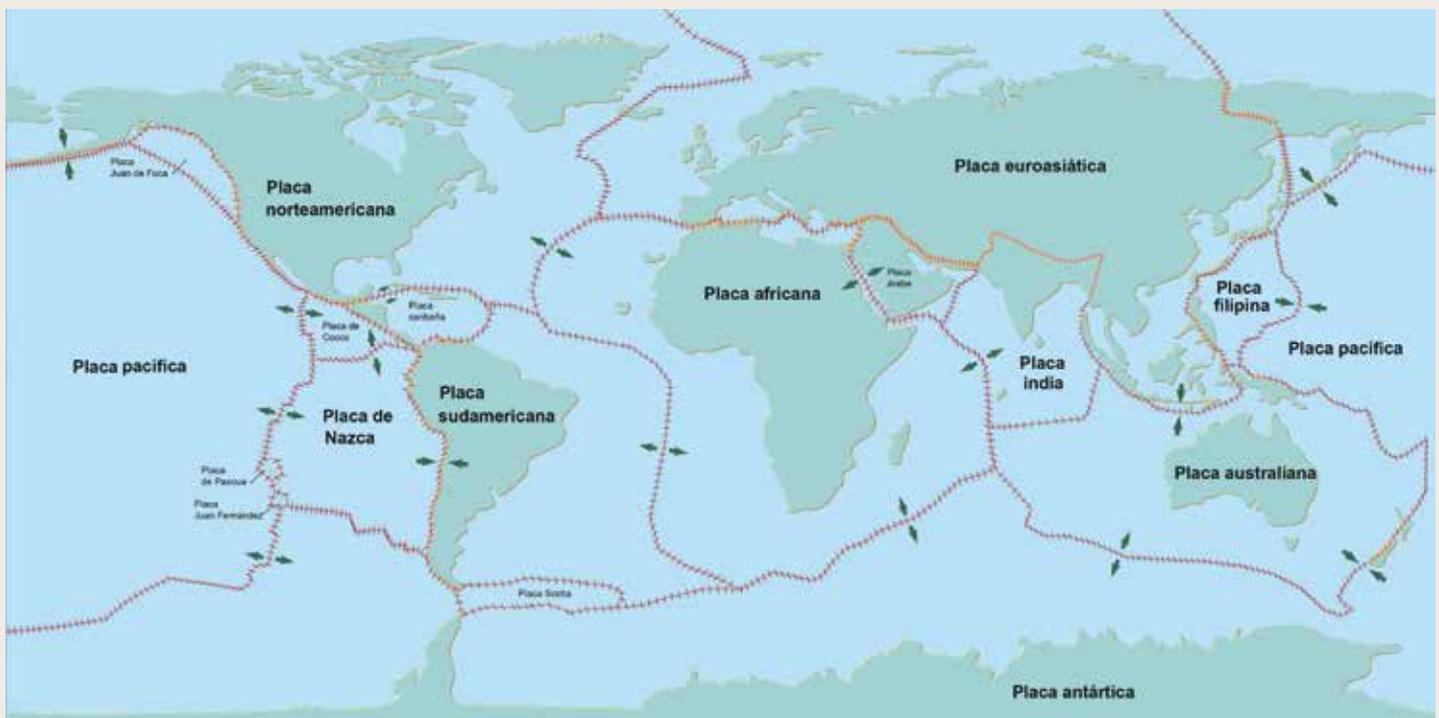
La formación de la cordillera de los Andes, que se extiende a lo largo del borde occidental del continente sudamericano por más de 7000km, es para muchos investigadores un enigma por resolver. Una de las preguntas que se hacen es cómo explicar su importante relieve, que en promedio alcanza los 4000m de altitud, en un contexto geodinámico muy diferente del que generalmente se asocia con la formación de las grandes cordilleras. Los Andes no surgieron debido a una colisión de dos placas tectónicas continentales, como lo hicieron los Alpes o el Himalaya, sino que fueron el resultado de una sub-

ducción aún activa, por la cual la placa oceánica de Nazca, que es más densa y pesada, se hunde por debajo de la placa continental sudamericana, más ligera.

Un trabajo publicado recientemente en *Nature* por tres investigadores de la Universidad de Houston presenta un nuevo modelo geodinámico de subducción de la placa de Nazca y su relación con el levantamiento de los Andes. Los expertos están en lo esencial de acuerdo en que la extensión de la corteza continental sobre la placa oceánica desempeñó un papel crucial en el ascenso de la cordillera. Sin

embargo, el origen de dicha extensión aún se discute. Además, están tratando de comprender mejor qué sucedió en el lapso transcurrido entre el inicio de dicha subducción, hace unos 200 millones de años, y el levantamiento efectivo de los Andes, que habría comenzado entre 50 y 60 millones de años atrás.

Los autores del citado artículo sugieren que el proceso de subducción cesó hace unos 100 millones de años y se reactivó hace unos 80 millones, primero en el norte y luego en el sur. Para llegar a estas conclusiones utilizaron imágenes tomográficas del interior de la Tierra que les permitieron recrear



La corteza terrestre está fragmentada en placas de roca de entre unos 15km y 200km de espesor que se mueven muy lentamente unas con relación a las otras pues flotan sobre la capa de rocas viscosas y extremadamente calientes que tienen debajo. Se ha identificado un grupo de unas ocho placas mayores (más de 20 millones de km²) e infinidad de placas menores y microplacas. Por su diferente composición química, se distinguen las placas continentales, que son más livianas, de las oceánicas. Las líneas onduladas marcan los límites entre las principales placas mostradas en el mapa y las flechas, sus desplazamientos relativos.

la geometría de las placas tectónicas, es decir, reconstruir la longitud de la placa oceánica de Nazca en el margen que se hunde actualmente por debajo de la placa sudamericana.

Esa reconstrucción geométrica les hizo pensar que la cantidad de placa oceánica subducida fue disminuyendo de norte a sur. Su siguiente paso fue recrear la historia de la subducción desde 100 millones de años atrás hasta hoy. Para ello se valieron de un modelo general de cinemática de placas, que describe el movimiento relativo de estas a lo largo del tiempo. Así concluyeron que hace unos 80 millones de años,

en el Cretácico tardío, comenzó la fase actual de la subducción en el norte de los Andes, a unos 5° de latitud sur, la que se propagó hacia el sur y alcanzó los 40° de latitud sur hace aproximadamente 55 millones de años, en el Cenozoico temprano.

La anterior es una mirada novedosa de la historia de la subducción andina, según la cual el proceso de esta no habría sido continuo a lo largo de los últimos 200 millones de años, como se creía, sino que habría tenido períodos de cese temporario. Además, esta visión asocia el inicio del levantamiento de los Andes con la interacción entre

la placa oceánica subducida y el manto inferior. Es una nueva respuesta a la antigua pregunta de cómo se produjo el levantamiento de los Andes. Sin embargo, queda todavía mucho por dilucidar. **[H]**

Patricia Ciccio
ciccio@gl.fcen.uba.ar

Adaptado de GRUSZOW S, 2019, 'Scénario inédit de la formation de la cordillère des Andes', *La Recherche*, 545, marzo. Más información en CHEN YW, WU J & SUPPE J, 2019, 'Southward propagation of Nazca subduction along the Andes', *Nature*, 465: 441-447. Doi org/10.1038/s41586-018-0860-1.

Antropología y religión

In the beginning Man created God; and in the image of Man created he him.
[En el origen, el Hombre creó a Dios, y lo creó a su imagen.]
Jethro Thull

Parodiando el relato bíblico de la Creación, la banda británica de rock Jethro Thull, nacida en 1967, incluyó las palabras del epígrafe en una de sus canciones. Independientemente de las intenciones de los músicos, ellas pueden leerse como una proclama en favor del ateísmo, pero también cabe interpretarlas, en el marco de la historia de la cultura y prescindiendo de tomar posición en materia de creencias, como el resultado de postular que, tanto históricamente como hoy, se pueden advertir relaciones entre diversas características de las sociedades y los atributos de sus dioses.

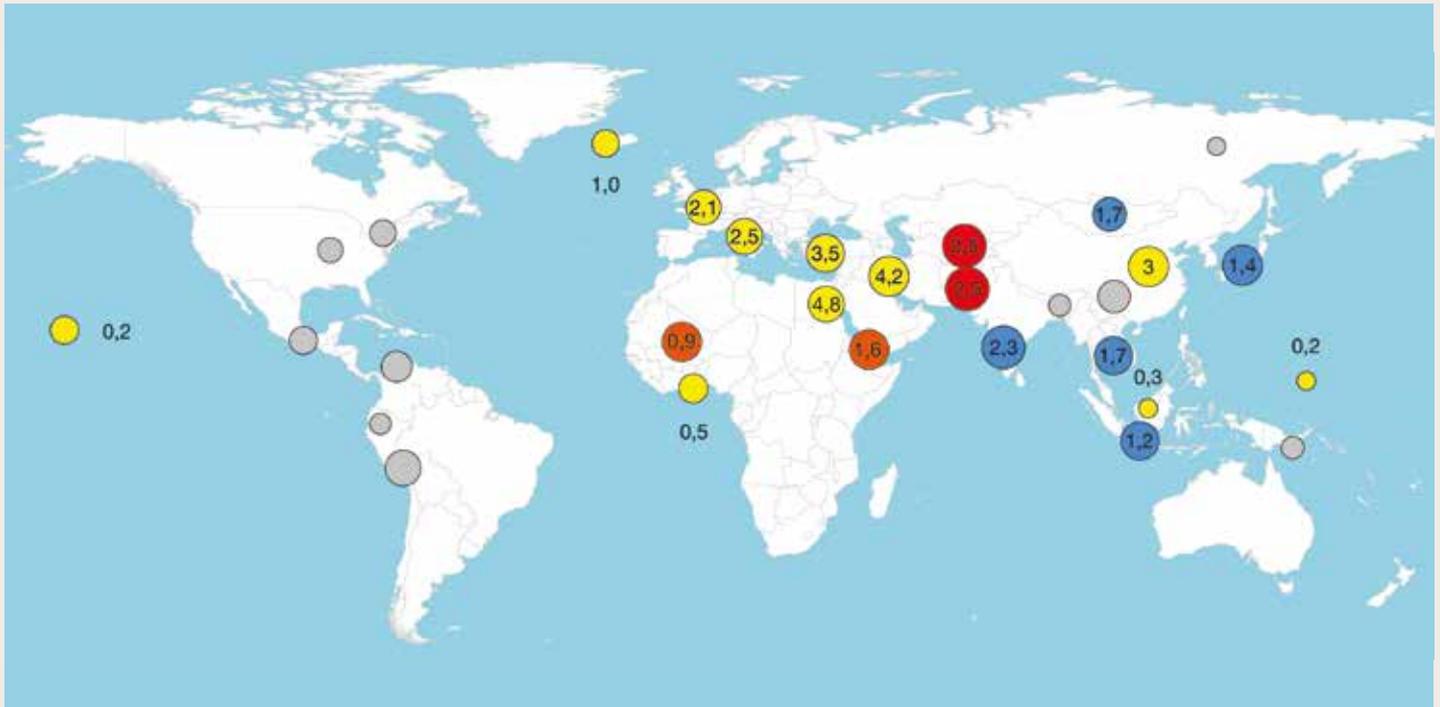
Una reciente nota aparecida en *Nature* da cuenta de un estudio del que

participaron trece investigadores de Alemania, Austria, los Estados Unidos, Irlanda y el Reino Unido, los cuales procuraron establecer las circunstancias de la aparición en la historia humana de *religiones moralizantes*, y en particular, si ellas son anteriores o posteriores a la formación de sociedades complejas.

Algunos antropólogos ya habían sugerido que las deidades de sociedades pequeñas y culturalmente homogéneas tienden a imponer castigos a quienes no cumplan con sus prescripciones rituales, cuya violación es colectivamente interpretada como una ofensa a los dioses que las establecieron. Pero no se ocupan de imponer castigos sobrenaturales a interacciones moralmente

inapropiadas entre las personas, para las que la propia sociedad tiene formas de sanción, que van desde la presión social –difícil de resistir si todos se conocen– hasta la justicia impartida por las autoridades.

En esa visión, las sociedades grandes, complejas y culturalmente heterogéneas, que normalmente incorporan extranjeros por conquista o inmigración, tendrían dioses moralizantes, que se ocupan de establecer reglas de conducta para las relaciones entre las personas y castigos sobrenaturales para quienes las violen. Por el tamaño y la diversidad de tales sociedades, los mecanismos terrenales –eficientes en las pequeñas– para asegurar conductas



Ubicación de las treinta regiones en que estaban diseminadas las 414 sociedades analizadas para fechar la aparición de religiones moralizantes. El tamaño de los círculos refleja la complejidad de la sociedad: los grises indican sociedades en las que no habían aparecido tales religiones a la fecha de ser colonizadas y entrar en contacto con la religión del colonizador; los de colores indican la fecha más temprana (en miles de años atrás) para la que se tiene evidencia de que había emergido una religión moralizante. En anaranjado, rojo y azul, las tres grandes religiones transnacionales que implantaron creencias moralizantes en más de una región, respectivamente las religiones abrahámicas (judaísmo, cristianismo e islam), el zoroastrismo y el budismo; en amarillo, otras religiones moralizantes. Adaptado de <http://seshatdatabank.info/nature-paper-on-moralizing-gods/>.

apropiadas dejarían en bastante medida de serlo, por lo cual les habría resultado oportuno disponer también de un mecanismo sobrenatural. Si ese mecanismo hubiese aparecido históricamente antes de que lo hicieran las sociedades complejas, podríamos pensar que estaría entre los factores que las originaron; si después, entre sus consecuencias. La aparición más antigua que constataron dichos investigadores data de hace 4800 años, en Egipto.

Para determinar el orden relativo de aparición en la evolución humana de sociedades complejas y religiones moralizantes, los nombrados analizaron 414 sociedades diseminadas a lo largo de 10.000 años por treinta regiones distintas del planeta (indicadas en el mapa), y consideraron 51 variables de

complejidad social, más cuatro variables de prescripciones morales religiosas. Utilizaron información de Seshat, una base de datos históricos (<http://seshatdatabank.info/>) dirigida por varios de los autores del estudio.

Como conclusión, la investigación habría confirmado que la complejidad social está asociada con dioses moralizantes y constatado que en las sociedades analizadas la fe en estos no emergió antes sino después de la aparición de aquella. Los poderosos dioses moralizantes, capaces de infligir castigos sobrenaturales por faltas morales, habrían aparecido en dichas sociedades cuando las formaban alrededor de un millón de habitantes.

Si las conclusiones del estudio se generalizaran, se podría afirmar que la

fe en dioses moralizantes no sería requisito para la aparición de sociedades complejas sino una de sus consecuencias. También conduciría a pensar que proporcionaron a esas sociedades ventajas evolutivas que les permitieron afirmarse y crecer. Sin embargo, es probable que una parte no menor de los antropólogos actuales no se sienta cómoda con esta visión evolucionista de la historia religiosa. Pero ello no impide que la humorada de Jethro Thull conduzca a líneas de reflexión que los músicos posiblemente ni sospecharon. **CH**

Más información en WHITEHOUSE H *et al.*, 2019, 'Complex societies precede moralizing gods throughout world history', *Nature*, 568: 226-229. Doi [org/10.1038/s41586-019-1043-4](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1043-4).