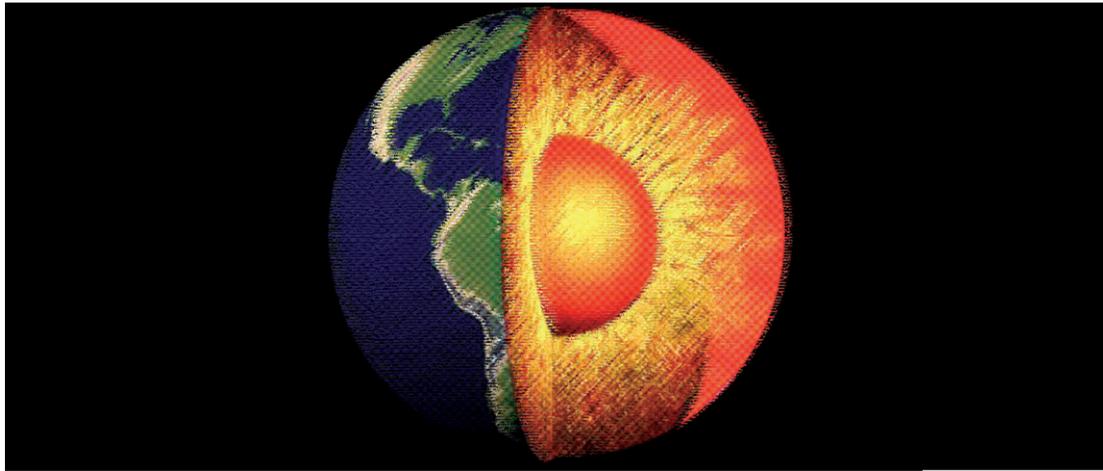


José Badal Nicolás

La Tierra por dentro

La estructura interna de nuestro planeta es compleja y los científicos todavía no conocen todos sus detalles, aunque surgen nuevos datos y teorías



HERALDO

Sabemos más del cosmos que de nuestro planeta, que no es como a primera vista pudiera pensarse: ni es una esfera perfecta, ni es homogéneo por dentro. Su interior está tan bien protegido de la observación directa, por la imposibilidad física de penetrar en el mismo y explorarlo, que sigue siendo un reto para los geofísicos, pese a los notables avances en este campo conseguidos durante los últimos cien años. La ciencia geofísica y más concretamente la sismología han contribuido al conocimiento que hoy tenemos de las propiedades físicas (mecánicas, térmicas, conductivas) de nuestro mundo. Nuevos datos y teorías han surgido sobre la formación y constitución interna de la Tierra; pero aún estamos lejos de desentrañar el misterio que cubre esta parcela del saber.

A gran escala, su estructura interna

se compone de varias capas esféricas unas dentro de otras, a modo de las clásicas matrioshkas o mamushkas (las famosas muñecas rusas huecas). La envolvente más externa es la litosfera, constituida por la corteza terrestre, quebradiza, de densidad media 2,7 g/cm³, y de espesor muy variable, de 8 a 10 kilómetros bajo los océanos y entre 30 y 35 km bajo los continentes, aunque puede alcanzar un espesor máximo de 72 km en el sistema de los Himalayas. A través de la discontinuidad de Mohorovicic, limita con el manto litosférico que se extiende hasta una profundidad de unos 80 km (por ejemplo en la península ibérica).

Por debajo de la litosfera se encuentra la astenosfera: capa también de espesor variable, en muchos casos de unos 100 km (como en la península ibérica), compuesta por materiales plásticos,

dúctiles, en estado sólido o semifundidos parcial o totalmente. La densidad de esta capa es inferior a la de las rocas de la litosfera suprayacente y su temperatura oscila entre 300 °C y 500 °C. Tiene la particularidad de que permite el desplazamiento, la interacción y el acomodo de las placas tectónicas y por ende la deriva de las masas continentales y el reequilibrio isostático; todo ello impulsado por el movimiento de roca semifundida alimentado por corrientes de convección provocadas por la conducción de calor.

A partir de aquí se encuentra el manto superior sólido, de densidad media 3,5 g/cm³ y temperatura hasta los 900 °C. Es muy mal conductor del calor y se extiende hasta una profundidad de unos 400 km, al que sigue una zona de transición hasta los 700 km de profundidad aproximadamente. La discontinuidad de Re-

petti separa el manto superior del manto inferior, el cual se prolonga hasta los 2.885 km de profundidad, con densidad 5,5 g/cm³ (justo la densidad media de la Tierra, que es la mayor del sistema solar) y temperaturas que se incrementan hasta los 3.500 °C. Aquí la presión varía dentro de un amplio rango, hasta llegar a los 127 gigapascuales (GPa), es decir, más de un millón de veces la presión atmosférica.

Tras rebasar la discontinuidad de Gutenberg, comienza el núcleo metálico de la Tierra, que se originó por la precipitación temprana de hierro denso en los océanos de magma, y que contiene cerca del 32% de la masa total del planeta y cuya densidad es unas 10,5 veces la densidad del agua. Consta de dos partes: el núcleo externo tiene un grosor de 2.260 km y se extiende entre los casi 2.900 km y los 5.155 km de profundidad. Puede sorprendernos, pero es una capa líquida, tal como confirma la sismología, pues no transmite las ondas de cizalla y las ondas de compresión-dilatación se propagan con velocidad sensiblemente menor que a través del manto. El núcleo externo está compuesto por hierro mezclado con entre el 5% y el 10% de níquel y en menor proporción por otros elementos ligeros (oxígeno, azufre, silicio, entre otros), que hacen que su densidad de 9,9 g/cm³ sea inferior en entre un 5% y un 10% a la del hierro fundido en las condiciones de presión y temperatura imperantes. Tiene una temperatura mínima de entre 4.200 y 4.400 grados centígrados, que progresivamente aumenta hasta los 6.100 °C en su zona inferior; soporta presiones de cientos de miles de atmósferas. Se trata de un medio en estado líquido, metálico y por tanto conductor de la electricidad.

La discontinuidad de Wiechert-Lehmann-Jeffreys, a una profundidad de 5.155 km, es el límite entre el núcleo externo y el núcleo interno de la Tierra, de

radio aproximado de 1.220 km, que se extiende hasta el centro del planeta a una profundidad de 6.378 km. Tiene una densidad máxima de 12,8 g/cm³ y, a diferencia de su envolvente nuclear externa, se cree que está en un estado intermedio entre líquido y sólido, conocido como estado superiónico. El núcleo interno está tan caliente como la superficie del Sol, demasiado para una imanación permanente; su temperatura de 5.430 °C en su superficie y de 6.700 °C en lo más profundo sobrepasa el punto de fusión del hierro; pero hay que entender que la presión es enorme, unos 3,6 millones de atmósferas.

El núcleo de la Tierra (conductor) está animado de un movimiento de rotación diferencial, que combinado con las corrientes de convección que se producen en su interior y la rotación del planeta (efecto de Coriolis) generan el campo magnético terrestre a través de un complejo proceso de inducción electromagnética explicado por la teoría de la dinamo. Se estima que la fuerza del campo geomagnético de origen interno es 2,5 militeslas, 50 veces mayor que el campo magnético en la superficie terrestre (25 a 65 microteslas). Lo más impactante son las conocidas inversiones de polaridad, durante las cuales se intercambian las ubicaciones de los polos norte y sur magnéticos. En 1955, Inglis propuso un proceso inductivo de cuatro etapas puramente teórico, que él mismo llamó modelo del carrusel o del tiovivo fantástico, con el fin de explicar el comportamiento no estacionario (dependiente del tiempo) de la dinamo terrestre, en el que interaccionan movimientos de materia, corrientes eléctricas y campos magnéticos. Este modelo confirma algunas de las variaciones que afectan al campo geomagnético, entre ellas las inversiones de polaridad.

José Badal Nicolás es catedrático emérito de la Universidad de Zaragoza y especialista en Física de la Tierra

EN SACO ROTO | Juan Domínguez Lasiera

Goya, Costa, Cajal

Goya, fuente incansable de noticias. Ahora sale a subasta una 'Piedad', datada hacia 1774, que había pasado por inédita hasta el 2011. Se la relaciona con las últimas escenas del ciclo de la Vida de la Virgen que el pintor realizó para la iglesia de la zaragozana Cartuja de Aula Dei. Su nivel de conservación se considera «casi excepcional». Se mantiene el bastidor antiguo y su tela de cáñamo sin reentelar, y sale a subasta, por la casa Alabarte de Madrid, con un precio de salida de tres millones de euros.

Esta obra fue declarada inex-

portable en 2014 por considerarse «una obra de gran rareza, representativa del periodo temprano de la producción de su autor». Pieza de devoción, probablemente estuvo siempre en Zaragoza. Se sabe que, a mediados del siglo XX, pertenecía a un canónigo del Cabildo de la ciudad y, tras su fallecimiento, pasó a la familia zaragozana que lo tuvo hasta que, en 2008, lo adquirieron los actuales propietarios.

En el lienzo se destaca la cara de la Virgen, eminentemente goyesca, y que recuerda mucho al rostro de la Regina Martyrum del

Pilar. Su fondo es muy representativo de la manera de Goya. En 2012 ingresó en el Museo del Prado y se incluyó en 2015 en la exposición 'Goya y Zaragoza (1746-1775). Sus raíces aragonesas', del Museo Goya de Zaragoza. En el catálogo de esta exposición, comisariada por Manuela Mena, se señala como cuadro «de gran calidad en la que se destaca la magistral interpretación de la luz sobre las distintas superficies de la composición permitiendo atribuir esta pintura a Goya sin género de dudas». El Gobierno de Aragón debería estar atento a esta subasta.

La casa de Joaquín Costa en Graus, donde vivió y murió, se ha puesto en venta por los herederos del ilustre polígrafo monzónense. Aunque los documentos de Costa -más de 500.000- ya fueron adquiridos por el Gobierno español y se acogerán en el Archivo Histórico Provincial de Huesca, también convendría estar atentos al destino de esa casa y de lo que pudiera contener. Es decir, que debería ser convertida en una casa-museo costista, que hace años que se reclama y que no ha tenido hasta ahora respuesta alguna por parte de nuestras autoridades regionales.

Entre esos materiales no podemos dejar de señalar su emblemática mecedora, donde tantas horas pasó nuestro sabio meditando y escribiendo, o ese

conjunto de plumas y otros elementos de escritorio, además de cuadros y retratos, que aparecen en la fotografía que ilustra la información de la venta.

Y cerramos nuestra triada de eméritos con Santiago Ramón y Cajal, del que celebramos el aniversario de su nacimiento, el 170. Está bien que bauticemos con su nombre la Gran Vía zaragozana, sustituyendo la más modesta vía de nuestro callejero, pero Cajal se merece más, mucho más. Por ejemplo, convertir alguna de las dependencias del Edificio Paraninfo, que tiene tantas, en un espacio Cajal. Allí se reunirían todos los materiales que puedan ser adquiridos de nuestro gran premio Nobel, que andan desperdigados y sin lugar digno propio. Pues dicho está.