

Philosophy and Climate Science (Filosofía y ciencia climática)

ERIC WINSBERG, 2018

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 284 PÁGINAS, PRECIO: 26.69 €, ISBN-10:1316646920, ISBN-13:978-1316646922

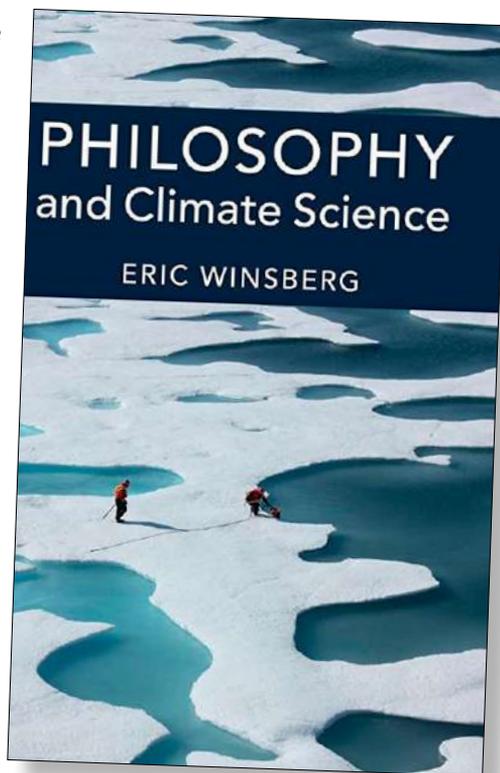
El autor de este libro, Eric Winsberg, es catedrático global de la Academia Británica (véase una descripción de esta particular figura académica en <https://www.thebritishacademy.ac.uk/funding/global-professorships/>) en el departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Cambridge (Reino Unido) y catedrático en el departamento de Filosofía de la Ciencia de la Universidad del Sur de Florida (EE.UU.). Su principal interés y materia de estudio se ha centrado en la filosofía de la ciencia y, en particular, en el papel de las simulaciones en las ciencias físicas y en las ciencias del clima. A este respecto debemos mencionar, aparte del libro que aquí reseñamos, su libro *Science in the Age of Computer Simulation* en el que se plantea el papel de las simulaciones en la comprensión de la naturaleza de las teorías científicas y otras muchas cuestiones que con el advenimiento de los ordenadores han permitido progresar a las ciencias y a la física en particular.

En palabras de su autor, el objetivo del libro es proporcionar una introducción a la filosofía de la ciencia climática (principalmente de las simulaciones climáticas), entendida como subespecialidad de la filosofía de la ciencia, que presente en un manual de forma sistemática el creciente número de trabajos que han visto la luz en los últimos años. El texto está dirigido en primer lugar a los estudiantes y académicos de filosofía de la ciencia que tengan especial interés en explorar la ciencia del clima como materia de estudio filosófico, aunque el autor cree que también este texto puede ser útil para los científicos del clima que tengan curiosidad por conocer qué piensan los filósofos sobre su trabajo.

El libro está estructurado en tres grandes bloques que cubren sucesivamente: i) metodología de la ciencia del clima; ii) incertidumbre e interpretación de hipótesis climáticas sobre las que solo disponemos de probabilidades, y iii) problemas epistemológicos.

Dentro del bloque inicial correspondiente a la metodología de las ciencias del clima, hay un capítulo dedicado a los datos donde se discute, entre otras cuestiones, la naturaleza de los datos científicos, los modelos de datos que relacionan los datos sin procesar y los

datos procesados y la relación entre los datos procesados con las hipótesis que se pretenden contrastar. La complejidad de algunos tipos de datos, piénsese en los datos procedentes de técnicas de teledetección, hace que la conexión entre los datos sin procesar y las hipótesis requiera de un alto grado de sofisticación. Se presentan algunos ejemplos de inconsistencias entre hipótesis y datos



procesados cuyo origen no estaba en la falsedad de las hipótesis sino en el inadecuado procesamiento de los datos. También discute el autor ampliamente el concepto de modelo y su aplicación general en ciencia, prestando particular atención a los modelos climáticos simplificados o idealizados de clima – que él prefiere denominar “modelos de intermediación” – y que utilizando fragmentos de teoría, leyes y regularidades matemáticas intermedias o ayudan a explicar el funcionamiento del sistema climático.

Las simulaciones con modelos complejos del sistema climático, entendidas como una herramienta para estudiar sistemas y realizadas con la ayuda de potentes ordenadores, tienen un capítulo aparte. Se describen y dis-

cuten en profundidad algunas de las características de los modelos que son específicas de los modelos climáticos: las ecuaciones físicas subyacentes, la discretización de las mismas, las parametrizaciones de los procesos subrejilla, la modularidad y estructura del código, el proceso de calibrado (*tuning*, en inglés), etc. El comportamiento caótico de la atmósfera y la aplicación de técnicas de predicción por conjuntos basadas en condiciones iniciales muy próximas le permite al autor discutir el efecto mariposa y también el denominado “efecto polilla” basado en la diferente estructura de los modelos. La inestabilidad estructural de los modelos es una característica topológica – y no métrica – lo que impide hacer un tratamiento para la estructura de los modelos análogo a la predicción por conjuntos basada en condiciones iniciales próximas.

El segundo bloque del libro trata principalmente sobre incertidumbre y cómo interpretar las hipótesis climáticas para las que solo se dispone de un apoyo probabilístico. El primer capítulo de este bloque discute la interpretación de las probabilidades en las ciencias del clima, incluyendo disquisiciones sobre las probabilidades objetivas y subjetivas, siendo estas últimas – también conocidas como el grado o crédito de una hipótesis – las que se manejan en las ciencias del clima. Las probabilidades, aunque contengan subjetividad, son la mejor forma de comunicar a los responsables de la toma de decisiones el conocimiento de los expertos sobre las incertidumbres. El segundo capítulo analiza el concepto relacionado de “confianza” aplicado a las proyecciones climáticas, así como la naturaleza y las causas de las incertidumbres climáticas. Se discute que la meta ideal de desarrollar una ciencia objetiva y libre de valores se alcanza más fácilmente cuando los climatólogos, como en el caso particular del IPCC, asignan probabilidades a las hipótesis y sobre todo cuando se es plenamente consciente del hecho de que las probabilidades se refieren principalmente al crédito o la confianza (*credence*, en inglés) que nos merece una hipótesis y no a sus posibilidades (*chances*, en inglés). En este sentido de la confianza se incluyen procedimientos que recogen los juicios de los expertos. Este

juicio debería estar referido a todas las posibles fuentes de información tales como las simulaciones procedentes de los modelos, las deficiencias de los mismos, las inferencias a partir de los datos, el conocimiento de las deficiencias de los datos, etc. El tercer capítulo trata cuestiones referentes a las decisiones basadas en inferencia estadística, al análisis de riesgos e incertidumbres y al análisis de costes y beneficios. Se discute la toma de decisiones con incertidumbres y se incluye una discusión de los denominados modelos integrados de evaluación que intentan basar la toma de decisiones en modelos y en ciencia. Para finalizar este bloque, se analiza el papel de nuestros valores sociales y éticos y en qué medida se refleja en la investigación. Se incluyen muchos ejemplos, aunque uno bien evidente es cuando desde la política se decide incentivar y financiar unas líneas de investigación en detrimento de otras. Se analiza el posible proceso de elaboración de opiniones y de toma de decisiones sirviéndose de los deseos y las emociones, en vez de basarse en los hechos o de utilizar la racionalidad, lo que se ha venido a denominar el “pensamiento ilusorio” (*wishful thinking*, en inglés).

El tercer bloque del libro trata principalmente de temas epistemológicos comenzando con la evaluación de la pericia de los mode-

los y el impacto de que los modelos climáticos estén calibrados, hecho que siempre ha sido objeto de una fuerte crítica y controversia. Los dos siguientes capítulos tratan sobre el análisis de la robustez de las hipótesis en las ciencias del clima, es decir, la importancia del hecho de que algunas hipótesis científicas estén apoyadas por diferentes líneas de evidencia y que algunas hipótesis sean previstas por un conjunto (ensemble) de modelos. El análisis de la robustez de las hipótesis se basa frecuentemente en la intuición de que la intersección de diferentes líneas de evidencia independientes nos aproxima a la descripción verdadera. Para ello se deberían utilizar un conjunto de modelos y líneas de evidencia tan diversos e independientes como sea posible, cosa que en la práctica apenas sucede ya que muchos modelos comparten aproximaciones, parametrizaciones e incluso código directamente.

Hay un capítulo dedicado a la epistemología y la creciente tendencia a basarse en los logros colectivos –frente a los esfuerzos individuales– en la búsqueda del conocimiento, lo que se ha venido a denominar epistemología social. Este desplazamiento del foco desde los individuos a los grupos como agentes del conocimiento científico es especialmente patente en los esfuerzos colectivos para generar simulaciones del clima y en las tareas de

iniciativas tales como el IPCC. Podemos decir que se trata de un tipo de ciencia socialmente organizada. No tenemos más que comparar el surgimiento de la mecánica cuántica –basada en una colección de iniciativas esencialmente individuales– con el conocimiento de los posibles climas futuros que se basa en una planificación fuertemente organizada. El papel de los expertos –en contraposición a los legos en una determinada materia– y la integración de sus conocimientos o intuiciones individuales en una especie de conocimiento colectivo también se analiza para el caso particular de las ciencias del clima.

Concluyendo, este libro de Winsberg, es una valiosa contribución a la filosofía de la ciencia que describe cómo la ciencia del clima ha cambiado muchos de los métodos y procedimientos que venían usándose en ciencia para la búsqueda del conocimiento. Se trata de una mirada externa, desde la filosofía, que aporta mucha luz –también a los científicos del clima– sobre la evolución que ha experimentado la ciencia tanto con el advenimiento de los modelos numéricos como con la creciente implantación de la planificación y avance colectivos frente a la suma de esfuerzos individuales.

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

El meteorito somos nosotros: un cómic sobre el cambio climático

DARÍO ADANTI, 2022

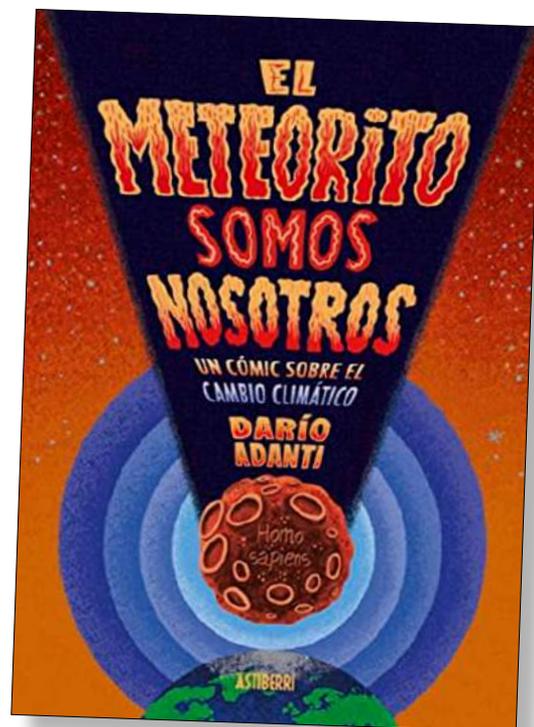
EDITORIAL ASTIBERRI, 160 PÁGINAS, PRECIO: 19 €, ISBN-10: 8418909404, ISBN-13: 978-8418909405.

Darío Adanti es un historietista e ilustrador argentino que también hace ilustración en revistas, periódicos y libros. Afincado actualmente en Madrid, es considerado uno de los autores más renovadores de la historieta cómica en España.

El cómic que reseñamos presenta de una forma muy amena y divertida, a la vez que rigurosa, el origen y la gravedad del problema del cambio climático antropogénico en el que estamos inmersos. Este ensayo gráfico nos muestra un viaje desde el origen mismo del universo y de la Tierra narrando millones de años de evolución hasta llegar a un inquietante escenario de cambio climático y extinciones masivas. Nos cuenta cómo nuestra especie descubrió la manera de obtener energía para mejorar su vida al mismo tiempo que envenenaba su propio planeta. El libro

constituye una reflexión sobre el grave desafío al que se está enfrentando la humanidad, citando en las guardas de la portada a la científica Hope Jahren cuando escribe “todos los científicos que conozco están horrorizados ante el acusado aumento de los niveles de dióxido de carbono de los últimos cincuenta años, pero nos horroriza todavía más ver que nuestros gobiernos no comparten nuestro terror”. Para crear esta obra el autor se ha documentado exhaustivamente incluso utilizando materiales de primera mano del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

El autor nos narra en primera persona, utilizando una graciosa caricatura de sí mismo, el problema del cambio climático presentándolo como el gran reto de la historia reciente de nuestra especie, haciendo continuas referen-



cias al último informe del IPCC y advirtiendo que el problema se nos está yendo de las manos a pesar de las sólidas e irrefutables evidencias del origen del mismo y de las formas

➔ de evitarlo. Nos resume muy bien lo que ha dicho la ciencia desde mediados del siglo XIX, comenzando por el descubrimiento del papel del anhídrido carbónico como gas de efecto invernadero, por parte de Eunice Newton Foote y después de John Tyndall –si bien fue este último quien se llevó todo el crédito del descubrimiento y sólo muy recientemente se ha reivindicado el trabajo pionero de Foote–, y siguiendo con los cálculos de Svante Arrhenius que estimaban el aumento de temperatura en función de la concentración de anhídrido carbónico alcanzado en la atmósfera. También repasa la ola medioambientalista de los años 60 y 70 del siglo pasado que denunciaba el papel de la industria química en la contaminación ambiental, incluido el agujero de ozono causa-

nuestra galaxia, de nuestro sistema solar y de la Tierra misma. Análogamente nos presenta también una “breve historia de las cinco extinciones masivas” –que han puesto en peligro o reducido sensiblemente la vida sobre la Tierra– y las subsiguientes recuperaciones de la biodiversidad por selección natural. Todas las extinciones que se nos presentan parecen estar causadas por grandes catástrofes naturales bien externas a la Tierra –como impactos de meteoritos (de ahí el título del libro)– o bien internas –como actividad volcánica– y han supuesto la casi desaparición de la vida sobre la Tierra, precisándose decenas y cientos de millones de años de evolución para recuperar la biodiversidad con la aparición de nuevas formas de vida.

etc. El ritmo desaforado que llevamos en los últimos 50 años –en los que hemos duplicado la población mundial, generamos el doble de desperdicios, la producción de cereales y carne se ha triplicado, hay casi mil millones de vehículos a motor, el consumo de combustibles fósiles se ha triplicado, la producción de plástico se ha multiplicado por diez, consumimos cuatro veces más energía (¡pero solo el 20 % de la población mundial consume la mitad de toda la energía que se produce en el mundo!), viajan en avión diez veces más pasajeros, 47 ciudades han crecido hasta tener más de 10 millones de habitantes, etc.– nos está conduciendo (citando de nuevo a Hope Jahren) a que “el consumo frenético del 10 % de la población mundial esté matando al otro 90 %”. También explica Adanti las posibles soluciones –incluyendo sus riesgos– asociadas incluso a temas problemáticos o polémicos como las técnicas de geoingeniería, la utilización de la energía nuclear, la reducción de un consumo irracional, la reducción de las diferencias sociales y en definitiva lo que deberían hacer tanto las pequeñas acciones individuales (¡todo suma!), como los gobiernos y la industria. En el libro se apela a la responsabilidad sin culpabilizar a entes abstractos o a un sistema (p.ej., la industria petrolera, el capitalismo, los patrones de consumo, etc.) de los que paradójicamente nosotros formamos parte y como corresponsables.

Resumiendo, se trata de un libro muy ameno, a la vez que riguroso, y apto para todo tipo de lectores. Utiliza el humor para acercarnos a un problema complejo y de esta forma puede facilitar a un sector muy amplio de la población el acercarse de forma integral (es decir, comprendiendo causas, origen, soluciones, etc.) a un problema que por su misma complejidad puede producir un rechazo a la hora de enfrentarse a él. Adanti reivindica el papel esencial de la ciencia para entender y resolver el problema, alineándose con los principales mensajes que se intentan transmitir –hasta ahora con un éxito limitado– tanto desde el IPCC como desde los medios de comunicación y las instancias políticas. Tiene como valor adicional el cómic la información sobre la historia geológica de la Tierra y de su atmósfera, la descripción de las cinco grandes extinciones masivas que se han experimentado –y los millones de años que ha costado recuperar la biodiversidad por selección natural– y el análisis detallado de las causas y las soluciones del desafío del actual cambio climático en el contexto de los cambios que ha experimentado la Tierra desde su aparición.



do por los CFC. Llega el autor hasta los años 80 y 90 cuando ya se toma conciencia por parte de los gobiernos de la gravedad del problema del cambio climático, creándose el IPCC en 1988 y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992.

A continuación, se hace un repaso muy básico de algunos conceptos que nos sirven para entender cómo funciona el sistema climático y el carácter antropogénico del cambio climático. También nos resume el autor las principales conclusiones del sexto y último informe de evaluación del IPCC para proporcionar la información más actualizada sobre el problema del cambio climático. Para poner en contexto la importancia de la atmósfera en el nacimiento y evolución de la vida en la Tierra, Adanti presenta una “breve historia de nuestra atmósfera” remontándose al Big Bang, a la creación de

El capítulo titulado “nosotros en el mundo” nos presenta la evolución humana ligada a las condiciones climáticas y el surgimiento de las grandes civilizaciones asociado a un clima estable y previsible ligado a la sucesión de las estaciones que permitió el desarrollo de la agricultura y la ganadería. El impulso técnico asociado a la revolución industrial y a la explotación masiva de los combustibles fósiles para satisfacer las necesidades crecientes de energía marcan el inicio del antropoceno y nuestra influencia en el clima de la Tierra.

Finalmente, el libro termina con un capítulo titulado “lo que se está haciendo y lo que se puede hacer”, donde se recopila muy visualmente lo que actualmente está sucediendo en términos de pérdidas de la criosfera, mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, pérdida de biodiversidad

Geólogas

Historia de las Pioneras de las Ciencias de la Tierra

GUIOMAR CALVO

EDITORIAL: GUADALMAZÁN, 2022, 397 PÁGINAS, 23 EUROS, ISBN: 978-84-17547-90-5

Guioamar Calvo, la autora, nació en Soría en 1985 es licenciada en Geología y doctora en Energías Renovables y Eficiencia Energética por la Universidad de Zaragoza. Además de llevar a cabo labores de investigación en diversos campos relacionados con los recursos naturales en el Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE, es autora de *Historia del arsénico* (2021) e *Historia de la mineralogía* (2022). Ha recibido el Premio Prisma Casa de las Ciencias a la Divulgación 2021 al mejor texto inédito. Actualmente es profesora en la Facultad de Educación de la Universidad de Zaragoza.

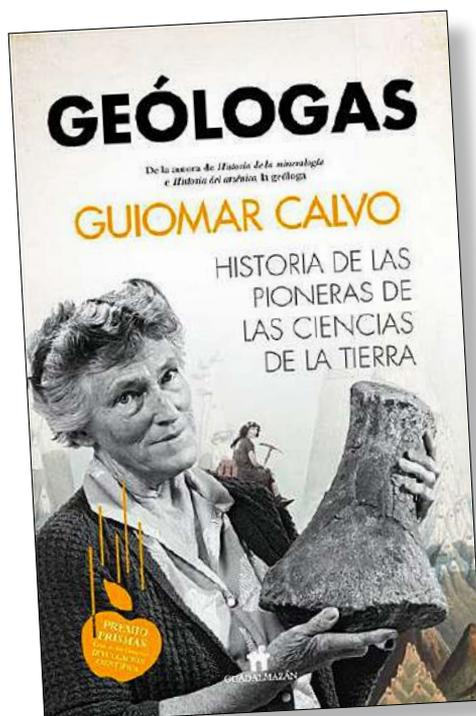
Como puede leerse en la contraportada, de entre todas las disciplinas científicas, las Ciencias de la Tierra son probablemente las más olvidadas, no solo en cuanto a contenidos, sino también en cuanto a las aportaciones llevadas a cabo por geólogas, paleontólogas, recolectoras de fósiles, ilustradoras o divulgadoras. Sin embargo, existen historias y figuras verdaderamente excepcionales que merecen ser conocidas y valoradas.

Wendy St. George es la autora de la sencilla aunque impactante portada que muestra a la paleontóloga Joan Wiffen (1922-2009) sosteniendo el húmero fósil del dinosaurio que encontró. Fue la primera persona en descubrir fósiles de dinosaurios en Australia.

Se trata de un libro muy ameno, accesible al lector profano, sin perder por ello un ápice de rigor científico. Documentado minuciosamente, se advierte el cuidado en situar las historias en su contexto, introduciendo incisos cortos para ayudar a comprender mejor la relevancia de sus descubrimientos, además de contar con gran número de ilustraciones (dibujos, mapas, retratos, portadas de libros, etc.). No puede sorprendernos, por tanto, que fuese premiado en la trigésimo cuarta edición del Prisma Casa de las Ciencias a la Divulgación (2021).

La obra se estructura en prefacio, siete secciones ("Pioneras", "Divulgadoras", "Detrás de un hombre hay una gran mujer", "Recolectoras de fósiles", "A caballo entre el siglo XIX y el XX", "Otras mujeres dignas de mención", "¿Y en España, qué?"), agradecimientos, bibliografía y mujeres relacionadas con la geología. En cuanto a la lectura, puede hacerse secuencial o al azar.

La geología es una materia que en los centros escolares suele quedar relegada a un segundo plano y que solo se aborda "si hay tiempo". Como subraya la autora en el prefacio, es una verdadera lástima porque se trata de una de las ciencias más impor-



tantes a la que se recurre cuando existe una catástrofe de tipo natural como en la reciente erupción del volcán de la isla de La Palma. Se trata de una ciencia ocupada en estudiar el origen y formación de nuestro planeta y hasta hace bien poco era considerada una disciplina para personas "duras". Hecho que se justifica porque hay que pasar muchas horas en el campo, trabajar en zonas poco accesibles y bajo las inclemencias del tiempo, obtener muestras con un martillo, estudiar rocas en el laboratorio, definir qué zonas de un yacimiento natural merece la pena explotar, pasar largas semanas en una plataforma petrolífera en mitad del mar, etc. A este propósito, en la página 22, hay una fotografía de la autora cuando era una niña con el martillo de geólogo en la mano en Rodén (Zaragoza) en 1987.

En este contexto, no puede sorprendernos que se trate de una disciplina mayoritariamente masculina. En primer lugar, porque

hasta hace unas pocas décadas, no estaba bien visto que una mujer viajara sola y mucho más en zonas peligrosas y, en segundo lugar, la geología, tal y como la conocemos en la actualidad, es una ciencia relativamente tardía en comparación con otras disciplinas. Durante mucho tiempo estuvo incluida dentro de la historia natural de forma genérica y no fue hasta bien avanzado el siglo XVII cuando empezó a separarse de ella.

A lo largo de estas páginas, se nos va a presentar a una serie de mujeres -muy diferentes entre sí - que destacaron en el campo de la geología hasta casi llegar al siglo XXI. Aparecen agrupadas tanto por temas como por épocas. La selección está basada en los propios criterios de la autora, ya sea por lo interesante que le resultaba su historia, sus descubrimientos o bien por el impacto que tuvo su investigación en su época o en eventos futuros. Dado que todas las mujeres que se han dedicado a la geología no pueden tener cabida en este libro, la autora ha incluido un listado con todas las mujeres que ha ido encontrando en el proceso de documentación. Como una especie de justicia poética, se les da voz a aquellas mujeres que han permanecido ignoradas y a las que merecería la pena poder conocer, saber cómo descubrieron su pasión por la geología y cuáles fueron sus principales aportaciones. No todas ellas estudiaron geología como tal en la universidad, o tuvieron una educación formal, pero sí estuvieron envueltas en grandes descubrimientos.

El número de mujeres que pueden relacionarse con la geología y que vivieron antes del siglo XVIII fue muy reducido. Habrá que esperar hasta el siglo XIX, para que un grupo de mujeres más numeroso empezara a destacar en este campo, estudiando diferentes fenómenos geológicos. Todas estas mujeres, pioneras de la geología, pueden encuadrarse en dos grupos en función de su papel y de sus aportaciones. Por un lado, las que se dedicaban a ayudar a sus maridos o familiares en sus labores de campo. La gran mayoría de ellas se dedicaba a la recolección de fósiles y, a su estudio o dibujo, más que a la investigación propiamente dicha. También podrían incluirse en este primer grupo, a aquellas

→ mujeres con interés en las ciencias naturales y dedicadas a recopilar extensas colecciones repletas de ejemplares de conchas, animales disecados y minerales y rocas.

En la sección **Pioneras**, se describen las primeras mujeres en darse cuenta de la importancia de estudiar todo aquello que las rodeaba, incluyendo rocas y minerales. En esta sección se presentan: Hildegarda de Binden, Bárbara Uthmann, Martine de Bertereau Châtelet, y María Teresa Herbert.

En la sección **Divulgadoras**, en los siglos XVIII y XIX aparece un número mayor de mujeres. Gran parte de las protagonistas –aquí recogidas– se dedicaron a la divulgación o bien tenían interés en las ciencias naturales, destacando la geología en particular. Por regla general, su público estaba constituido por niños, mujeres y obreros, es decir, personas a las que se suponía un escaso conocimiento sobre el tema. Para facilitar la lectura y comprensión, recurrían a diálogos o bien cartas. Por otra parte, recurrían a jardines o espacios naturales cercanos a su entorno, tratando así de facilitar la asociación con los diferentes conceptos expuestos. Las siete biografías tratadas en este capítulo son: Jane Haldimand Marcet, Maria Barton Hack, Jane Kilby Walsh, Maria Dundas Graham, Almira Hart Lincoln Phelps, Delvalle E. Lowry Varley, y Agnes Giberne.

En la sección **Detrás de un gran hombre hay una gran mujer** se describe la vida de mujeres de las que ha quedado constancia su participación, aunque lo más probable es que haya otras muchas cuyas aportaciones hayan quedado eclipsadas por el nombre de sus familiares. Como se puede comprobar la mayoría colaboraban en hacer ilustraciones, probablemente debido al hincapié que se hacía durante su formación en estas artes. Otras ayudaron en la recolección e identificación de las muestras. No está de más recordar que en ese momento, a las mujeres no se les permitía estudiar geología. A pesar de carecer de educación formal, su presencia fue imprescindible para el avance de esta ciencia. Aunque se analizan con detalle los casos de seis mujeres, me voy a centrar en Charlotte Hugonin Murchison y Elizabeth Cary Agassiz.

Charlotte Hugonin Murchison, nació en 1788 en un pueblito cerca de Petersfield, en el SE de Inglaterra. Tras su boda con un militar Roderick Murchison, emprendieron un viaje por Europa durante los años 1866 y 1868. Visitaron Francia, Italia y la zona de los Alpes, observando y analizando las distintas formas de vida (restos fósiles, plantas y ani-

males) que había en la zona. En 1868, se instalaron en Barnard Castle en el noroeste de Inglaterra. Allí Charlotte continuó con sus estudios de mineralogía y conchiliología a partir de los ejemplares que había ido recogiendo. En este mismo lugar, Roderick conoció a Humphry Davy, científico británico que tuvo un papel muy importante en la identificación de diferentes elementos químicos. Tras mucha insistencia por parte de Davy, en 1824 se instalaron en Londres donde podían asistir a diferentes ponencias sobre geología y química. También se unieron a la Sociedad Geológica de Londres, donde conocieron a Darwin, además de otros geólogos británicos como Adam Sedgwick, William Conybeare o Charles Lyell. En 1826 viajaron a la costa de Yorkshire, donde Charlotte realizó diferentes esquemas y dibujos de acantilados y fósiles. También recorrieron Brora y algunas de las islas de las Hébridas. Allí recogieron una gran cantidad de fósiles que presentaron a James Sowerby. Precisamente, fue Sowerby en el año 1827 el que nombró con el apellido de Charlotte a uno de los ammonites que ella descubrió,

El número de mujeres que pueden relacionarse con la geología y que vivieron antes del siglo XVIII fue muy reducido

el *Ammonites murchisonmae*. Ella continuó creando dibujos e ilustraciones para las publicaciones de su marido, algunas de las más destacables aparecen en la obra *El Sistema Silúrico*, publicada en 1839. Esta definición de Silúrico por Roderick, junto a otros sistemas que se definieron en esa época, ayudó a crear el germen de lo que más tarde se convertiría en la escala temporal geológica moderna y que ayuda a ordenar los eventos y a explicar cómo ha ido evolucionando la Tierra. En la década de 1860, la salud de Charlotte empeoró aunque continuó ayudando a su marido con sus dibujos y asistiendo a las charlas relacionadas con ciencia y geología. De hecho, era la única mujer que tenía permiso oficial para asistir a las charlas de ciencia.

Elizabeth Cary Agassiz estadounidense nacida en diciembre de 1822, segunda mujer del científico suizo Louis Agassiz, publicó varios libros a lo largo de su vida. Su primer libro se tituló *Primera lección de historia natural*, obra pensada para niños y personas inexpertas interesadas en el tema. En su mismo año de publicación, fundó en Boston una escuela para niñas contando con el apoyo

de su marido, quien les daba clase junto con otros colegas de Harvard. Tras la muerte de su marido, prosiguió con su actividad y, gracias a sus esfuerzos, en septiembre de 1879, se inauguró el “Anexo Harvard”, destinado a las mujeres que querían seguir estudiando. Este centro pasó luego a llamarse Radcliffe College (hoy conocido como Radcliffe Institute for Advanced Study). En 1885 publicó una bibliografía sobre su marido, en dos tomos, en los que se incluyen gran cantidad de detalles que, de otro modo, no hubieran llegado a nuestros días. Murió en 1907, en Arlington, Massachussets y la lápida es un fragmento de roca procedente de una morrena del glaciar de Aar, cerca de donde vivió Louis Agassiz.

En la sección **Recolectoras de fósiles**, se observa que muchas mujeres han desempeñado un papel crucial en la evolución de esta parte de la geología, teniendo un protagonismo mayor. Conviene subrayar que muchas no tuvieron acceso a estudios formales como tal, y que tuvieron que ingeniárselas como pudieron a través de la lectura de libros, asistencia a charlas o contacto con otros geólogos del

momento. Aun así, un gran número de ellas, sí formaron parte de la media o alta sociedad, lo que les permitía disfrutar de estas aficiones. Una figura clave fue Mary Anning, nacida el 21 de mayo en 1799 en Lynne Regis, pequeña ciudad costera del sur de Inglaterra, en el seno de una familia humilde con una vida marcada por la tragedia desde el principio. De los diez hermanos, solo sobrevivieron Mary y Joseph, que la acompañó años después en sus paseos por la costa para recoger fósiles. Pudo acudir a una escuela en la que aprendió a leer y a escribir, casi un lujo para la época. A los once años dejó de acudir a la escuela para ayudar en su casa, y a trabajar en algunas casas más para ganar algo de dinero. En casa de la señora Stock pudo tener acceso a algunos libros de geología, que probablemente le ayudaron a acrecentar su pasión por los fósiles. Gracias a los descubrimientos de Mary, se pudieron afianzar las hipótesis de que la Tierra había estado habitada hace muchos millones de años por animales muy distintos de los existentes en esos momentos, y que, en algún momento, se habían extinguido. En pocos artículos aparece su nombre asociado

a sus hallazgos y en varias ocasiones llegó a mencionar que se sintió utilizada y resentida con ellos. Se la pone siempre como ejemplo de una de las primeras mujeres relacionadas con la geología y es posible que haya inspirado a muchas otras con su historia para seguir su mismo camino. Desde el año 1990, la Asociación Paleontológica, con sede en Londres, otorga una medalla que lleva su nombre. Se entrega a aquellas personas que han realizado contribuciones relevantes a este campo (recolección de fósiles, conservación, publicación de trabajos,...), pero cuya especialidad como tal no es la paleontología. Destaca también Dorothea Bates que, a pesar de carecer de una educación formal, se convirtió en la primera científica contratada por el Museo de Historia Natural de Londres cuando apenas contaba con 19 años. Además de publicar algunos artículos científicos, Dorothea realizó importantes hallazgos científicos en el campo de la paleontología. Todas estas mujeres consiguieron que los conocimientos que se tenían hasta este momento sobre paleontología aumentaron considerablemente, sumándose a las de los hombres y "por ello, les damos gracias".

A caballo entre los siglos XIX y XX es uno de los apartados más interesantes. Hubo un *boom* de investigaciones llevadas a cabo por mujeres en diversos campos, no solo en el estudio de fósiles. Empiezan las investigaciones en el estudio de los minerales, de las rocas, e incluso del interior de la Tierra. Aunque la lista podía ser interminable, se ha hecho una selección de mujeres para conocer sus historias y aportaciones. La paleontología sigue siendo la rama donde hay más mujeres. Pese a todo, se descubren otras ramas de la geología que hasta ahora, no habían hecho su aparición. Aunque siete son las biografías más detalladas, me voy a centrar en el caso de Inge Lehmann, matemática de formación y con un descubrimiento crucial en el campo de la geología. Sintetizando, entre sus varias tareas tenía que ocuparse de la calibración de todos los sismógrafos de Dinamarca y supervisar los instalados en Groenlandia, amén de analizar los resultados y publicar sus resultados. En su artículo P' de 1936, Inge establecía que contrariamente a lo que se creía hasta el momento, el núcleo de la Tierra estaba formado por dos partes, una externa, en estado líquido, y otra interna, en estado sólido. Tal como les sucedió a sus antecesoras, su trabajo no resultó nada sencillo y tardó 20 años en ser reconocido. Falleció después de cumplir 104 años en 1993, siendo una de las científicas más longevas que aparecen en el libro que

reseñamos. Desde 1997 la Unión Americana de Geofísica entrega un premio que lleva su nombre a aquellos trabajos que nos ayuden a comprender un poco mejor la estructura, composición y dinámica del interior de la Tierra. En 2005 se bautizó a un asteroide como el 5632 Ingelehmman, además de existir un escarabajo que lleva su nombre.

En **Otras mujeres dignas de mención** se menciona a: Mary Emily Holmes, estadounidense y primera mujer en doctorarse en Geología en su país (en 1888) y en formar parte de la Sociedad Geológica de los Estados Unidos; Eileen Mary Guppy que fue la primera mujer en incorporarse a la plantilla científica del Servicio Geológico Británico como geóloga asistente en 1943. Unos años después, Dianne Knill sería contratada como geóloga para trabajos de mineralogía óptica. En Australia, Dorothy Hill se convirtió en 1960 en la primera profesora titular en una universidad australiana (Universidad de Queensland) y, en 1970, la primera presidenta de la Asociación Australiana de Ciencias. Se cita también a Alice Mary Weeks, geóloga estadounidense, cuyo trabajo se centró en minerales de uranio; tuvo que vestirse de hombre e ir de noche a las minas cuando había menos gente para recoger muestras y proseguir sus investigaciones. Debido precisamente a todas las dificultades con las que tuvo que enfrentarse, creó el Comité de Mujeres Geocientíficas del Instituto Geológico Americano para apoyar a otras mujeres que querían adentrarse en el mundo de la geología, un mundo eminentemente masculino. A las anteriores hay que añadir a la primera ingeniera geóloga de México, Josefa Cuevas de Sansores; las primeras geólogas chinas Cai Chen Yung y Yang Yi, o la primera geóloga que estuvo en el espacio Kathryn Dwyer Sullivan. Dado que en las bibliografías más detalladas, se mencionan a 12 mujeres que han hecho avanzar esta ciencia, he escogido a Marie Tharp, a quien se debe el levantamiento del primer mapa del suelo oceánico y que puede representar muy bien el prototipo de pionera, con todas las dificultades que por ser mujer tuvo que enfrentarse.

Antes de centrarnos en su figura, la autora nos recuerda que la geología no estudia solamente lo que se encuentra por encima del nivel del mar, y es precisamente en el fondo oceánico donde encontramos una de las pruebas más importantes sobre cómo funciona nuestro planeta. Marie Tharp nació en julio de 1920 en Ypsilanti (Michigan). Hija única, su padre se encargaba de hacer mapas de suelos para el Departamento de

Agricultura de los Estados Unidos y su madre era profesora de latín y alemán. Finalizó sus estudios de inglés y música en la Universidad de Ohio en 1943, pero en 1944 hizo un máster en Geología. Durante la Segunda Guerra Mundial, muchas mujeres fueron contratadas para buscar petróleo, y así Marie Tharp acabó en la Universidad de Michigan, dentro de un programa dedicado a la búsqueda del petróleo. En 1944 comenzó a trabajar para la empresa Standard Oil and Gas en Tulsa (Oklahoma). Pese a todo, el trabajo no le gustaba demasiado, solo podía encargarse de analizar los datos que los hombres le traían y trazar mapas desde la oficina. Finalmente en 1948 empezó a trabajar como delineante junto a Maurice Ewing en el Laboratorio Geológico Lamont (hoy conocido como Observatorio Terrestre Lamont-Doherty), siendo una de las primeras mujeres en entrar a formar parte de su plantilla. Allí conoció a Bruce Heezen con quien haría el que sería el trabajo de su vida. Inicialmente se dedicó a localizar los aviones de la Segunda Guerra Mundial hundidos en el mar y después a cartografiar el suelo oceánico. Sin que pueda sorprendernos, sería a finales de la década de 1960 cuando Marie pudo finalmente subirse a un barco y hacer allí sus investigaciones. Ella contó inicialmente con los datos procedentes de un total de seis expediciones, además de con datos sísmográficos, que poco a poco fue ampliando. De este modo, y a partir de un trabajo meticuloso, pudo hacer un mapa completo del fondo oceánico del Atlántico Norte.

Guiomar Calvo se detiene sucintamente en la teoría de la deriva continental y después en la tectónica de placas porque es necesario para entender la importancia de este mapa y de los siguientes. En el mapa del Atlántico Norte que acababa de completar, Marie observó que el fondo oceánico estaba lejos de ser plano. En medio del Atlántico había una gran cadena montañosa, una de las más largas del planeta, hoy conocida como dorsal oceánica. Tal como le sucedió a Alfred Wegener, al principio no creyeron que la interpretación de Marie fuera correcta. Se estaba repitiendo otra vez el patrón, una mujer que hacía un gran hallazgo tenía que insistir mucho más que un hombre para que al final la tomaran en serio.

Sucesivamente se publicaron los mapas del fondo oceánico del Atlántico Norte (1957), del Atlántico Sur (1961), del Índico (1964). Además se detectó en el fondo del océano mediante magnetómetros que había una serie de franjas que tenían polaridad normal y otras con polaridad invertida... Todo esto de-



→ mostraba que se estaba creando nueva corteza continuamente en la dorsal.

El mapa del Atlántico que trazaron Marie y Bruce fue de gran importancia para poder confirmar la teoría de la tectónica de placas, ya que permitía demostrar que en las dorsales el océano se estaba extendiendo. Ya en 1977, con la ayuda de Henrich Berann, un pintor austríaco, Marie y Bruce presentaron el primer mapa completo de todo el fondo oceánico del planeta, una auténtica obra maestra en la que podemos ver las dorsales de todos los océanos y que nos permite distinguir a simple vista los límites entre varias de las grandes placas tectónicas.

Marie Tharp siguió trabajando en la Universidad de Columbia hasta 1983. Murió en agosto de 2006. De todas las geólogas, es posiblemente una de las más relevantes de las últimas décadas, ya que sin todo su trabajo dedicado a crear manualmente un mapa mediante las señales obtenidas en los barcos a los que no tenía permiso para subir, la teoría de la tectónica de placas no sería la misma.

¿Y en España, qué? Antes de abordar quienes eran las geólogas españolas, hay una introducción muy interesante a la historia de la geología en España. En 1775, se publica la *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*, de Guillermo Bowles, donde aparecieron recopilados datos de minerales y rocas que había visto a lo largo de sus viajes por el territorio español. En 1877 se fundó el Seminario de Almadén. Sin embargo, a pesar de la existencia de esta escuela, gran parte del conocimiento geológico de España procedía no de investigadores españoles, sino de extranjeros que eran contratados para esta labor, si bien con no demasiados buenos resultados.

A finales del siglo XIX, tiene lugar la publicación del primer mapa geológico nacional. El primer mapa geológico integral de España data de 1851, debido a Ezquerro del Bayo, aunque sin las islas, después de un amplio trabajo de campo. Todo el conocimiento geológico tardó varios años en plasmarse, basándose no solo en estudios de investigadores nacionales sino también muchos extranjeros.

Hasta bien entrado el siglo XIX no despegó la enseñanza de la geología en España, en nuestro país, momento en el que se empiezan a encontrar las primeras asignaturas en las universidades que impartían algunos contenidos de tipo geológico. A esto que hay que añadir que las mujeres tardaron más en acceder a este tipo de formación. Aun así, existieron algunos centros, como la Asociación para la Enseñanza de la Mujer, fundada

en 1870 en Madrid que incorporaban unos contenidos de corte más científico, siendo así una institución pionera en su tiempo en nuestro país. A partir de ese momento, no solo las personas de familias adineradas podían acceder a una buena educación sino las mujeres de la clase media; educación que les ayudaba además en su inserción laboral. Entre las materias que se impartían estaban la química y la mineralogía. La Asociación contaba con un laboratorio y las alumnas tenían a su disposición dos colecciones, una de minerales y otra de rocas, enviadas ambas por la Comisión del Mapa Geológico de España. Desgraciadamente las colecciones no se conservan hoy en día.

Centrándonos en la educación en la universidad, se recalca el papel desempeñado por la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones científicas (JAE) entre 1907 y 1939. El objetivo de esta institución era proporcionar un mayor impulso a la difusión de la ciencia a través de un programa de inter-

lado y geológicas por otro, y se estableció un plan de estudio para la licenciatura en Ciencias Geológicas. A lo largo de cinco cursos, ya se podían estudiar, además de mineralogía o cristalografía, otras como petrología, paleontología, geofísica, etc. En la primera promoción de licenciados de Ciencias Geológicas de la UCM, en 1957 solo había una mujer: Concepción López de Azcona Fraile.

Dejando de lado la educación formal, otro tipo de entidades que jugaron un papel fundamental en la difusión de las ciencias son las sociedades científicas. En España aparecieron más tarde que en Europa, por ejemplo, la Sociedad Geológica de Londres en 1807 mientras que en 1848 se creó la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Habrá que esperar a 1988 para encontrar a la primera mujer en formar parte de esta Real Academia, Margarita Salas.

En suma, un libro apasionante y totalmente recomendable donde se reivindica el papel de la geología y donde se pone en contexto la

El primer mapa geológico integral de España data de 1851, debido a Ezquerro del Bayo, aunque sin las islas, después de un amplio trabajo de campo

cambio de profesores y alumnos, además de organizar cursos y actividades tales como salidas de campo o prácticas de laboratorio. Por lo que respecta a las Ciencias de la Tierra, se impartían cursos de ampliación de geología y mineralogía, probablemente los más conocidos, junto a otros sobre paleontología y prehistoria. Uno de los cursos que gozó de mayor popularidad fue el "Curso práctico de mineralogía", que se celebraba en el Museo de Ciencias Naturales. El objetivo era identificar ejemplares de la colección del museo, no siendo necesario ser licenciado en ciencias naturales para apuntarse. Probablemente, por ese motivo, un gran número de mujeres que eran maestras mostraron interés en hacerlo; además de los estudiantes de los últimos cursos de bachillerato.

Llegando ya a la enseñanza de la geología en la universidad, habrá que esperar hasta principios del siglo XX para que alcanzara cierta entidad. Hasta ese momento, los estudios de ciencia se dividían en ciencias fisicomatemáticas, ciencias químicas y ciencias naturales, sumando así un total de cuatro secciones. En 1953, la rama de ciencias naturales se separó en dos, ciencias biológicas por un

historia de las pioneras. Creo que nada mejor para acabar que reproducir las palabras con las que se cierra esta sección:

"Desgraciadamente, cuando las personas piensan en ciencia, raramente les viene a la cabeza la geología. Sin embargo, la geología es fundamental para la sociedad. Gracias a ella podemos disponer de los materiales necesarios para construir prácticamente todo lo que nos rodea, los equipos domésticos e industriales, los coches, los ordenadores, los teléfonos móviles... También la geología juega un papel fundamental en la ubicación de hospitales y otros edificios estratégicos sobre el terreno, analizando el riesgo sísmico y diversas variables del subsuelo. No hay que olvidar que sin geología tampoco tendríamos información suficiente sobre nuestros recursos hídricos y energéticos, ni podríamos comprender como ha sido el proceso de nuestra evolución, cómo se ha formado las montañas, por qué encontramos fósiles en sus altas cimas y, en general, conocer mejor nuestro lugar en el universo. La geología es todo y todos somos geología."

MARÍA ASUNCIÓN PASTOR SAAVEDRA