

INGE LEHMANN: LA GEÓLOGA DANESA CANSADA DE LUCHAR CONTRA LOS HOMBRES

Eduardo José González Clavijo
Universidad de Vigo

BIOGRAFÍA: UNA MATEMÁTICA AL SERVICIO DE LA GEOFÍSICA MUNDIAL

Inge Lehmann nació en Østerbro, cerca de Copenhague el 13 de mayo de 1888. A pesar de su fama mundial y de viajar a menudo, vivió toda su vida en la capital danesa, y allí murió el 21 de febrero de 1993.

Su familia tenía orígenes en Bohemia. Tuvo familiares, tanto paternos como maternos, en cargos de importancia en la administración y en la Iglesia danesa, de lo cual Inge se benefició sobre todo a nivel educativo. Su abuelo paterno construyó la primera línea de telégrafo de Dinamarca (inaugurada en 1854) y su bisabuelo fue Gobernador del Banco de la Nación; además en la familia hubo abogados, ingenieros y políticos. La familia de su madre (familia Tørsleff) presumía de tener un sacerdote en cada generación. Alfred Lehmann, el padre de Inge, fue profesor de psicología en la Universidad de Copenhague y pionero en el estudio de la psicología experimental.

Inge Lehmann realizó sus estudios secundarios en la primera escuela mixta de Dinamarca, creada y dirigida por Ana Adler, tía materna de Niels Bohr, el famoso físico danés. En esta escuela, pedagógicamente muy progresista, se trataba por igual a niños y niñas, tanto en el juego como en los estudios. De aquí Inge sacó la conclusión de que no existe diferencia entre el intelecto de un hombre y el de una mujer, lo cual, en la sociedad de principios de siglo XX, le causó problemas, y decepciones. El contraste entre este planteamiento de igualdad y la realidad de la vida universitaria y científica de aquellos años marcarían a Lehmann para siempre. En la escuela todos practicaban muchos los deportes, Inge jugó al fútbol y al rugby (impensable para una niña de la época) y en estos años comenzó su afición por el montañismo y el esquí (Michael Carlowicz, www.sites.agu.org ›... › Award, Medal, or Prize).

Lehmann llamó la atención del profesor de matemáticas de la escuela, el cual la incentivaba con trabajos extras, pero a sus padres no les pareció una buena idea. Inge consideraba sus estudios en la escuela como aburridos y poco interesantes. En julio de 1906, aprobó el examen de ingreso a la Universidad de Copenhague con la distinción de primera clase. Siempre consideró que las personas que más habían influido en su desarrollo intelectual habían sido su padre y Ana Alder. Muchos años más tarde, dotó un fondo con su patrimonio para becar viajes de estudios, alternativamente, un año a un psicólogo y un año a un geofísico, en agradecimiento a su padre (Bruce A. Cerrojo. *Universidad de California en Berkeley* www.physics.ucla.edu/~cwp/articles/bolt.html –).

Ingresó en la Universidad de Copenhague en el otoño de 1907 y estudió matemáticas, física, química y astronomía con miras a conseguir Candidata Magisterii. Pasó la primera parte del examen en 1910, y fue admitida en el Newnham College de Cambridge para una estancia de un año, aunque ésta se prolongaría (un éxito y una rareza para una mujer de esa época). Inge disfrutó académicamente de su estancia en Cambridge, a pesar de que comenzaron sus problemas al no comprender las distinciones que se realizaban hacia ella por ser mujer. Aquello ya no era su progresista escuela secundaria. Sin embargo, el exceso de trabajo realizado para pasar los exámenes, la hicieron enfermar, por lo que tuvo que regresar a Dinamarca en diciembre de 1911.

Su recuperación fue lenta, y durante mucho tiempo no pudo plantearse la vuelta a sus estudios; por ese motivo trabajó durante algunos años en la oficina de un actuario¹, donde adquirió una formación considerable en cálculos matemáticos. La facilidad para las matemáticas (que ya había manifestado en la escuela), y la práctica conseguida durante estos años le fueron de gran ayuda durante toda su carrera científica.

1) Actuario: persona que se dedica a realizar análisis matemáticos para calcular los riesgos de las compañías de seguros.

En otoño de 1918 volvió a entrar en la Universidad de Copenhague donde se graduó en matemáticas en el verano de 1920. Seguidamente fue a estudiar matemáticas a la Universidad de Hamburgo. En 1923, se convirtió en asistente del profesor de Ciencias Actuariales de la Universidad de Copenhague durante tres años. Durante ese tiempo continuó estudiando matemáticas y ejercitando su capacidad de cálculo. En 1925, fue nombrada asistente del profesor N.E. Norlund² quien, como Director del 'Den Aanske Gradmaalingen' (Instituto Danés de Geodesia), estaba planeando instalar estaciones sismográficas cerca de Copenhague y en el fiordo Scoresbysund³ (J.J. O'Connor y E.F. Robertson, www-history.mcs.st-and.ac.uk/.../Norlund.html -). De esta forma accidental entró en el campo de la sismología, una ciencia poco común en Dinamarca, una zona sin terremotos.

Lehmann comenzó a trabajar en sismología sin ayuda de nadie, estudiando por su cuenta, hasta que en 1927 realiza una visita de un mes al profesor Beno Gutenberg⁴ en Darmstadt. Gutenberg se da cuenta del potencial científico de Lehmann y le da todo su apoyo y su ayuda. En los siguientes años realiza cortas visitas a otros geofísicos europeos de prestigio (www.annalsofgeophysics.eu/index.php/.../4693 -).

En 1928 Inge Lehmann obtuvo su doctorado en sismica por la universidad de Copenhague con el grado de Magister Scientiarum. Su tesis doctoral trató sobre la magnitud de los registros sísmicos. Ese mismo año fue nombrada jefa del recién creado Departamento de Sismología del Real Instituto Danés de Geodesia, cargo que ocupó ininterrumpidamente hasta su jubilación en 1953.

Desde este cargo ayudó a instalar los primeros sismógrafos en el observatorio de Copenhague. "Estaba muy emocionada por la idea de que estos instrumentos nos pueden ayudar a explorar el interior de la Tierra". (artículo de 1982 publicado en la *Revista de Educación Geológica*) (*El Mundo de la Ciencia de la Tierra*, Gale Cengage © 2003. www.enotes.com › Science)

Entre sus responsabilidades estaba la de mantener en funcionamiento y bien calibradas las estaciones sísmicas de Copenhague y de Scoresbysund. Esta última tenía una especial dificultad, ya que sólo se viajaba a ella una vez al año para realizar el relevo del personal, lo cual dificultaba las calibraciones y la solución de los problemas que se detectaban. Gracias a sus conocimientos matemáticos consigue unas calibraciones excelentes, lo cual hará que, con los años, estas dos estaciones sísmicas se consideren de las más precisas a nivel mundial.

Muy pronto Inge Lehmann encuentra errores y problemas en las interpretaciones de los sismogramas gracias a las excepcionales calibraciones de sus sismógrafos. Se da cuenta de que la determinación del epicentro del terremoto (el lugar de la superficie terrestre situado sobre el punto en el que se originó el terremoto) no es fiable, y de que se están cometiendo errores que se arrastran a los restantes cálculos. Comienza a correlacionar sismogramas de diferentes estaciones sísmicas y se da cuenta de que para explicar todo de forma más sencilla haría falta una discontinuidad dentro del núcleo de la Tierra. Hasta ese momento los datos sísmicos de todas las estaciones del mundo se enviaban por correo al Resumen Sismológico Internacional (ISS) en Kew, Inglaterra. Lehmann estudió la precisión y la forma de interpretar cada sismograma para llegar a poder compararlos e interrelacionarlos sin cometer errores.

Era importante conocer con relativa exactitud los registros de cada estación para poder comparar resultados, y llegar a conclusiones geológicas. Lehmann hizo una determinación precoz de la fiabilidad de las distintas estaciones sismológicas de Europa, y se interesó por las diversas maneras en que eran interpretados los registros. Estaba buscando la forma de poder trabajar con registros de diferentes observatorios minimizando los errores, lo cual era necesario para llegar a grandes conclusiones sobre la estructura de la Tierra. Su enorme conocimiento matemático estaba dando resultados.

2) Niels Erik Norlund (1885-1981) Matemático y astrónomo danés, cuñado de Niels Bohr. Estudió en la Universidad de Copenhague, siendo alumno de los matemáticos más famosos de su época. Fue profesor en la Universidad de Lund (Suecia) y en la de Copenhague, director del 'Den Aanske Gradmaalingen' y experto en cálculo diferencial.

3) Fiordo de Scoresbysund: fiordo más grande del mundo (350 km de longitud y 1500 m de profundidad) se sitúa en la costa este de Groenlandia, cerca de Islandia.

4) Beno Gutenberg (1889-1960): sismólogo alemán, estudió y trabajó en la Universidad Técnica de Darmstadt, para pasar luego a las universidades de Göttingen y Friburgo. En 1930 se trasladó al Instituto Tecnológico de California donde fue compañero de Francis Richter. En 1914 fijó con exactitud la profundidad del límite entre el manto y el núcleo de la Tierra, por lo que este límite lleva su nombre.

Su sobrino Niles Groes recordaba cómo encontró a su tía un domingo en su jardín con una mesa grande llena de cajas de cartón. Estas cajas contenían tarjetas con información sobre terremotos de todo el mundo. Era antes de que se pudiera disponer de equipos informáticos, pero el sistema era el mismo. Con sus tarjetas y sus cajas, Inge registró la velocidad de propagación de los terremotos de todas las partes del mundo. Por medio de esta información, dedujo nuevas teorías sobre las partes internas de la Tierra (www.amnh.org/education/.../p_lehmann.html).

Actualmente es difícil hacerse una idea de la dificultad que suponía relacionar los registros de diferentes observatorios. En los inicios de Inge Lehmann esto suponía uno de los mayores problemas, así como la falta de puesta en común de todos los datos conseguidos en diferentes partes del mundo (lo cual es vital para poder interpretar un fenómeno). Hasta los años sesenta hubo bastante falta de coordinación y de heterogeneidad en las informaciones sismográficas. Lehmann se convirtió en la delegada regular de Dinamarca para estos temas y colaboradora en las Asambleas de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG)⁵ de Praga 1927, Estocolmo 1930, Edimburgo 1936, Oslo 1948, Bruselas 1951, Roma 1954, Toronto 1957, Berkeley, 1963 y Zúrich 1967. El objetivo principal de todas estas reuniones era coordinar las informaciones disponibles (www.iugg.org/).

El 17 de junio de 1929, se produjo un terremoto de magnitud 7.8 en el norte de la Isla del Sur de Nueva Zelanda. Causó 17 muertos y fue uno de los peores terremotos de la zona en décadas (www.Christchurchcitylibraries.com/kids/nzdisasters/eqmurchison1929.asp). Lehmann aprovechó para estudiar las ondas sísmicas que se recibieron sus en observatorios. Necesitaba un seísmo muy fuerte para que los datos que buscaba se hiciesen más evidentes. El registro de las ondas P (ondas rápidas y compresivas) no era como debería ser teóricamente, había algo más. Lehmann teorizó que estas ondas habían recorrido una cierta distancia en el núcleo fundido (líquido) y luego habían rebotado en algún tipo de límite interior del núcleo. Su interpretación de estos datos fue la base de un documento de 1936 sobre el núcleo de la Tierra (https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p23.html).

En esta época escribe hasta 35 artículos científicos. En Dinamarca, no se producen apenas terremotos, por lo que se dedicó a estudiar pequeños seísmos, las ondas provocadas por explosiones artificiales y microseísmos de onda generados en el Ártico y por las tormentas marinas, pero sobre todo, estudió los registros de grandes terremotos producidos a grandes distancias. Entabló correspondencia con Harold Jeffreys⁶ durante el período en que éste realizaba cálculos sobre el tiempo de viaje de las ondas sísmicas a través de las diferentes capas de la Tierra. Harold Jeffreys había estudiado en el Newnham College de Cambridge en los mismos años que Inge Lehmann, pero, curiosamente no habían llegado a conocerse (JJ O'Connor y EF Robertson, www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Jeffreys.html).

Otros científicos habían detectado cambios en la estructura interna de la Tierra. Se sabía que a 2900 kilómetros de profundidad comenzaba el núcleo, formado por metales fundidos. Lehmann se dio cuenta de que para que los sismogramas de diferentes estaciones sísmicas muy distantes entre sí cuadraran, era necesaria la existencia de un núcleo sólido en el interior del núcleo fundido. Había llegado a la conclusión matemática de que existía un núcleo interno sólido, y en base a esta teoría, en 1936 publica el artículo científico titulado "P", el título más corto que ha tenido un artículo científico. En él explica que la aparición de ondas sísmicas P (primarias), en determinadas zonas distantes de los epicentros de los terremotos, sólo es explicable basándose en su teoría. El núcleo interno provoca reflexiones en las ondas, apareciendo éstas en zonas en las que solamente debería haber sombras, zonas sin ondas. Para llegar a esta conclusión se basa en sus amplios conocimientos en matemáticas, en su capacidad de observación y en su facilidad para descartar datos no importantes. Dos o tres años más tarde, los sismólogos más importantes

5) Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG): es una organización científica internacional dedicada a promover, fomentar y transmitir el conocimiento de la Tierra, su entorno espacial, y los procesos dinámicos que causan sus cambios. Reúne a científicos de todo el mundo para investigar sobre la Tierra y su entorno, partiendo de que la Geodesia y la Geofísica precisan de mucha cooperación internacional para poder avanzar. Knowledge and data on the earth system gained during international research cooperation provide the information necessary for the discovery and responsible use of natural resources, sustainable management of the environment, reducing the impact of natural hazards, and to satisfy our curiosity about the Earth's natural environment and the consequences of human activities ()

6) Harold Jeffreys (1891-1989): geofísico británico, profesor de matemáticas y geofísica de la Universidad de Cambridge. Determinó que el núcleo de la Tierra era líquido. Recibió la medalla de la Royal Society de Londres.

del momento (Benó Gutenberg,, Charles Richter y Harold Jeffreys) aceptan esta interpretación para justificar la presencia de las ondas P en esas zonas de sombra ([www.amnh.org/ education /.../p_lehmann.html](http://www.amnh.org/education/.../p_lehmann.html)) (*El Mundo de la Ciencia de la Tierra, Gale Cengage* © 2003. www.enotes.com › Science).

En 1936 se funda la Sociedad Geofísica Danesa, y una de sus cofundadoras fue Inge Lehmann. Ese mismo año participó en la Asamblea de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) en Edimburgo. En 1938 recibe el premio Tagea Brandt, otorgado en Dinamarca. Le fue otorgado por segunda vez en el año 1967, en una época en la que estaba más acostumbrada a los reconocimientos.

Durante la Segunda Guerra Mundial las tropas alemanas invaden Dinamarca e imponen un gobierno proalemán. Los intercambios internacionales de datos sísmicos se interrumpen. Lehmann continúa con su rutina de calibración de sismógrafos y lectura de datos. En estos años difíciles fue la presidenta de la sociedad geofísica danesa (1941-1944), de la cual había sido cofundadora en 1936. Con el final de la guerra las limitaciones de comunicación se levantan y todo vuelve poco a poco a la normalidad.

El 18 de abril de 1947 ingenieros militares británicos provocaron una gran explosión convencional en la isla de Helgoland⁷ utilizando explosivos remanentes de la Segunda Guerra Mundial. Se considera la tercera mayor explosión no nuclear de la historia. Se utilizaron 4 kilotones de explosivos químicos para destruir las fortificaciones de la isla ([www.alpoma.net /tecob/?p =892](http://www.alpoma.net/tecob/?p=892)). Sismólogos de todo el mundo utilizaron las ondas sísmicas generadas por la explosión para avanzar en sus estudios. El hecho de conocer con anterioridad el punto exacto de la explosión, y el momento en que se iba a producir permitió a los sismólogos realizar abundantes estudios y mejorar sus técnicas. Esta explosión fue registrada por los sismógrafos daneses, y Lehmann fue invitada a presentar sus registros y conclusiones en una reunión de la Royal Society, y en una reunión posterior sobre el mismo experimento en Cambridge donde permaneció trabajando casi dos meses.

El Istituto di Geofisica Nazionale de Italia la invitó a una reunión en Verona en 1950, en la que se creó la Federación Sismológica Europea. Inge Lehmann fue elegida su primera presidenta. Esta Federación no fue aprobada por la IUGG, y en 1951 fue sustituida por la Comisión Europea Sismológica (CES) bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (IASPEI). Lehmann presentó ponencias en varias reuniones posteriores de la CES. (For.Mem.RS Electos 1969 Por Bruce A. Cerrojo, [www.physics.ucla.edu / ~cwp/ articles/ bolt.html](http://www.physics.ucla.edu/~cwp/articles/bolt.html).)

El suceso más significativo de los años de posguerra fue la visita en 1951 del profesor Maurice Ewing⁸, director del Observatorio Geológico Lamont (LGO) de la Universidad de Columbia, a la estación sismológica de Copenhague. Ewing quedó enormemente impresionado por el funcionamiento del observatorio sísmico de Copenhague e invitó a Lehmann a visitar el LGO. Su visita de varios meses al LGO en 1952 fue seguida, después de su retiro, por muchas más a Lamont y otros observatorios sísmicos en los Estados Unidos y Canadá. A partir de estas visitas surgió una fuerte amistad y admiración mutua entre Maurice Ewing e Inge Lehmann. A la muerte de Ewing en 1974, Lehmann queda consternada (carta personal a Lady Jeffreys el 12 de junio de 1974).

El Observatorio Geológico Lamont (LGO) fue fundado en 1949, y es un componente básico del Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia que busca el conocimiento fundamental acerca del origen, evolución y futuro del mundo natural ([http://www.ldeo.columbia .edu/about- ldeo/mission](http://www.ldeo.columbia.edu/about-ldeo/mission)).

7) Isla de Helgoland: perteneciente actualmente a Alemania, se encuentra en el Mar del Norte, cerca de la desembocadura del río Elba. Su superficie es de unos dos kilómetros cuadrados.

8) Maurice Ewing (1906-1974), geofísico estadounidense, estudió en la Universidad de Rice. Se trasladó a He moved to , becoming a professor of geology in 1947. la Universidad de Columbia convirtiéndose en profesor de geología en 1947. In 1959 he was named the Higgins Professor of Geology at ColumbiDr. Ewing (often simply called 'Doc' by those who worked with him) was the founder (established in 1949) and first director of Lamont Geological Observatory (now known as (LDEO) in) where he worked with En 1949 fue el fundador y primer director del Observatorio Geológico Larmot. In 1972 he joined the at , and was named the head of the Division of Earth and Planetary Sciences of the Marine Biomedical InstituteDurante su carrera publicó más de 340 artículos científicos. He served as president of the and the . Fue presidente de la American Geophysical Union y de la Sociedad Sismológica de América.He led over 50 oceanic expeditions. Dirigió más de 50 expediciones oceánicas. He made many contributions to , including the discovery of the , the invention of the , and did much work fundamental on .

Inge Lehmann se jubiló de su puesto en el Departamento de Sismología del Real Instituto Danés de Geodesia en 1953, cinco años antes de su jubilación obligatoria. En los últimos años en el Instituto tuvo problemas con algunos compañeros, debidos a su falta de paciencia con los científicos menos competentes. Pensaba utilizar la liberación de su rutina en el departamento para investigar con mayor intensidad. Se sentía libre para investigar a su gusto.

Lehmann continuó sus estudios de las ondas sísmicas durante cuatro meses con uno de sus primeros mentores, el profesor Beno Gutenberg, en ese momento director del Laboratorio Sismológico del Instituto de Tecnología de California en Pasadena.

Durante los años posteriores a su jubilación continuó viajando y trabajando temporadas en diferentes observatorios de Norteamérica. Acudió a numerosas reuniones y congresos, ya que continuaba con su empeño de coordinar los registros de los diferentes observatorios para que el trabajo común fuera más productivo.

Estos años se caracterizaron por el auge de la sismología. Tras la Segunda Guerra Mundial la crisis económica había hecho que los observatorios sismológicos no mejoraran notablemente. Como ciencia empírica que es, la geofísica necesitaba mejoras en sus equipos de observación, y esas mejoras no llegaban, la sísmica no estaba de moda. Los geofísicos miraban con envidia a los astrónomos y a los físicos.

Esas mejoras llegaron inesperadamente. No por la necesidad científica de estudiar los terremotos y el interior del planeta, sino por la necesidad estratégica de vigilar las explosiones nucleares clandestinas del enemigo. Una conferencia de alto nivel de expertos de las potencias nucleares occidentales en Ginebra en 1958 publicó una evaluación desalentadora sobre la capacidad de lectura sismológica de los países de la OTAN. El presidente de los Estados Unidos, Dwight D. Eisenhower, solicitó que se estableciera un Grupo de Mejora Sísmica para poder hacer frente a este problema. Se nombró presidente a Lloyd Berkner⁹. Este grupo se encargaba de mejorar la vigilancia sísmica de explosiones secretas y de promover la investigación en sismología, en particular en los Estados Unidos, en relación con la detección e identificación de explosiones nucleares subterráneas.

La primera consecuencia en los Estados Unidos fue un salto en el gasto en investigación al aprobarse el programa denominado Vela Uniform. Este programa se acompañó con esfuerzos paralelos en otros países con el objetivo de desarrollar una red de sismógrafos mejorados y estandarizados. Estos nuevos equipos se instalaron en la década de 1960 en cerca de 200 estaciones sismográficas por todo el mundo creando, por fin, una red sismográfica estandarizada, denominada WWSSN. Copenhague fue uno de los observatorios que entraron a formar parte de esta red (For.Mem.RS Electos 1969 Por Bruce A. Cerrojo, www.physics.ucla.edu/~cwp/articles/bolt.html).

Las explosiones nucleares realizadas por los países occidentales desde la década de los cincuenta hasta la década de los setenta supusieron un gran avance indirecto para la sismología. Los geofísicos sabían el lugar exacto y el momento concreto en que se iba a producir una gran explosión, y del estudio de sus registros sacaron muchas conclusiones para calibrar sus sismógrafos e interpretar sus lecturas.

A partir de la creación de la red de observatorios WWSSN, con equipos mucho más sofisticados y precisos que los que existían hasta el momento, y con la publicación de todos los datos obtenidos sin

9) Lloyd Viel Berkner (1905-1967), [físico](#) y [técnico](#) norteamericano. Experto en fenómenos ionosféricos y en radio. Later he investigated the development of the Más tarde realizó investigaciones sobre la atmósfera de la Tierra. Berkner was elected a Fellow of the in 1956. The was carried out by the International Council of Scientific Unions while he was president in 1957-59. A partir de 1926, como oficial naval, participó en el desarrollo de sistemas de radar y navegación, ingeniería naval y electrónica. Berkner fue elegido miembro de la [Academia Americana de Artes y Ciencias](#) en 1956. He was also a member of the in 1958 while he was president of Associated Universities Inc. Miembro del Comité Científico Asesor del Presidente en 1958 cuando era presidente de Associated Universities Inc. In 1963, Berkner, with LC Marshall, advanced a theory to describe the way in which the atmospheres of the 's inner planets had evolveBeginning in 1926, as a naval officer, Berkner assisted in the development of radar and navigation systems, naval aircraft electronics engineering, and studies that led to the construction of the system, a chain of radar stations designed to give the United States advance warning in the event of a missile attack across the North Pole. ¹Berkner worked with Dallas community leaders to establish the Graduate Research Center of the Southwest (later renamed the Southwest Center for Advanced Studies, which would eventually become The University of Texas at Dallas). En 1961, fue nombrado presidente del [Institute of Radio Engineers](#). Cofundador de la Universidad de Texas en Dallas. He wrote more than 100 papers and several books, including *Rockets and Satellites* (1958), *Science in Space* (1961), and *The Scientific Age* (1964). Escribió más de 100 artículos y varios libros. In 1961, Berkner was president of the .¹⁵

restricciones para la comunidad internacional, la sismología se transforma y avanza rápidamente. A partir de 1960 el trabajo de Inge Lehmann se simplifica y una mente despierta como la suya, acostumbrada a dificultades técnicas de todo tipo, disfruta con las nuevas posibilidades. Una vez más en la historia la ciencia avanza gracias a las necesidades militares.

Hasta el año 1964, Inge Lehmann volvió varias temporadas a trabajar al LGO, así como a otros observatorios de Estados Unidos. Destaca su trabajo en las estaciones sismográficas de la Universidad de California en Berkeley, que visitó repetidas veces. Su prestigio ya es indudable y comienzan los reconocimientos: le es concedida la prestigiosa medalla Emil Wiechert de la Deutsche Gesellschaft Geophysikalische (Sociedad Geofísica Alemana).

Durante estos años el trabajo de Inge Lehmann se centró en el estudio de las discontinuidades que existen dentro del manto terrestre. Estas discontinuidades son debidas a cambios mineralógicos producidos por el paulatino aumento de presión y temperatura que se produce con el aumento de profundidad. Gracias a los fondos y a la tecnología del programa Vela Uniform, junto con el estudio de los registros de las explosiones nucleares, éstos fueron años de grandes avances en esta materia (Michael Carlowicz, www.sites.agu.org › ... › Award, Medal, or Prize).

Entre los años 1963 y 1967, siguiendo con su propósito de fomentar el intercambio efectivo de datos entre observatorios y organismos, desempeñó el puesto de vicepresidenta de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica.

En 1964 la Universidad de Columbia, que tanto había visitado para trabajar junto con su colega y amigo del LGO Maurice Ewing, la otorgó el Doctorado Honoris Causa. Tuvo que esperar cuatro años para que la universidad en la que había estudiado, la de Copenhague, le otorgase su Doctorado Honoris Causa. (*El Mundo de la Ciencia de la Tierra, Gale Cengage* © 2003. www.enotes.com › Science).

Son momentos de reconocimiento por la labor desarrollada durante tantos años, sobre todo en el campo de la cooperación internacional, tan necesaria en geofísica. En 1965 recibe la medalla de oro de la Real Academia Danesa de Ciencias y Letras. En 1969 es elegida miembro extranjero de la Royal Society de Londres.

En 1971 es la primera mujer en recibir la Medalla de Bowie de la Unión Geofísica Americana, otorgada por sus sobresalientes contribuciones a la geofísica y, sobre todo, a la cooperación desinteresada para fomentar la investigación. En 1977 le otorgan la medalla de la Sociedad Sismológica de América.

En 1986, durante un simposio especial en su honor en la Reunión Anual de la American Geophysical Union, Lehmann escribió: “Soy consciente de que se cumplen 50 años desde que descubrí el núcleo interno, pero no se presta mucha atención al hecho. Ahora veo que tengo que aprovechar este aniversario más en serio”.

Quizá a raíz de esto, en 1988 se intenta establecer el nombre de “Discontinuidad de Lehmann” para denominar el límite entre el núcleo externo y el interno. No tiene éxito. Se alega que Lehmann colaboró determinadamente en el descubrimiento de esta discontinuidad, pero también en el descubrimiento de otras tres discontinuidades en el manto terrestre, por lo que este nombre podría llevar a equívocos. La pregunta puede ser por qué no se le puso el nombre de “Discontinuidad de Lehmann” en el momento de su descubrimiento.

En 1988 participó en una recepción celebrada en su honor en el Instituto Danés de Geodesia con motivo de su 100 cumpleaños. En esta reunión participaron un gran número de geofísicos de ambos lados del Atlántico.

Inge Lehmann muere el 21 de febrero de 1993 en Copenhague, donde vivió toda su vida a los 104 años de edad. No puede haber ninguna duda de que sus casi 105 años fueron extraordinariamente estimulantes y creativos.

En 1993 es bautizado con su nombre un cinturón de asteroides (en.wikipedia.org/wiki/5632_Ingelehmman - asteroide 5632). En 1996, la Unión Geofísica de los Estados Unidos establece la Medalla Inge Lehmann, para premiar a científicos que destaquen en el campo de la geofísica. Se concede cada dos años, los años impares. Son los reconocimientos póstumos a su valía científica.

Durante toda su larga y productiva vida sus intereses no se limitaron a la ciencia. Se preocupó por los pobres en su país natal, y por la difícil situación de los refugiados europeos tras la Segunda Guerra Mundial. Sus viajes de trabajo también le brindaron oportunidades para visitar con frecuencia galerías de arte en toda Europa y los Estados Unidos. Lehmann disfrutó toda su vida con el senderismo, el montañismo y el esquí, sobre todo en los Alpes y en Noruega.

Su ética en el trabajo fue estricta, como tenía que ser para una mujer que trabajaba como científico en su tiempo. La vida de Inge Lehmann se caracterizó por el trabajo duro, muy duro, un esfuerzo científico magnífico. El resultado fue más de 60 años de contribuciones científicas entre 1928 y 1986 (Nils Groes).

No era fácil para una mujer ser matemática y científica en la primera mitad del siglo XX. Como ella dijo: “Debe saber usted con qué cantidad de hombres incompetentes he tenido que competir en vano”. Inge no fue siempre muy diplomática. Sin embargo, obtuvo grandes resultados científicos. A Lehmann siempre le gustó estimular la conversación y el debate inteligente. Siempre sintió la necesidad de ser crítica. Fue pionera como mujer y como científico.

AVANCES CIENTÍFICOS DE INGE LEHMANN: SABER APROVECHAR LAS CIRCUNSTANCIAS, AUNQUE PAREZCAN ADVERSAS

Inge Lehmann inició su carrera científica como matemática, pero el destino le llevó a la geología y a la geofísica. Ser geofísica, especializada en sísmica, en un país donde no se producen terremotos de relevancia puede parecer un obstáculo para llegar a destacar como científica, pero Lehmann supo buscar las ventajas y llegar a destacar en este campo.

El conocimiento del interior de la Tierra siempre supuso un problema para los geólogos. La Tierra tiene un radio aproximado de 6373 kilómetros, variando unos pocos kilómetros según donde se realice la medición (en el ecuador o en los polos). Los sondeos más profundos realizados para prospección minera y extracción de hidrocarburos no van más allá de los 7 kilómetros. El sondeo de investigación más profundo realizado es el Kola Well, realizado en la península rusa de Kola. Este sondeo llegó a los 13 kilómetros, distancia muy pequeña si se compara con el radio de la Tierra. El problema para llegar a mayor profundidad es el calentamiento de los materiales de la cabeza perforadora de la máquina de sondeos. A pesar de los avances realizados en materiales en las últimas décadas no se cree que se pueda llegar a una profundidad significativa.

Por este motivo, los geólogos buscan conocer el interior del planeta por métodos indirectos. Estos métodos están basados en los meteoritos recogidos y en la geofísica: la gravimetría, el magnetismo terrestre, la geotermia, y, sobre todo, los métodos sísmicos.

Los métodos sísmicos consisten en el estudio de las ondas generadas por los terremotos, o por explosiones artificiales (nucleares o convencionales), y son los métodos que más datos han generado sobre la estructura del interior de la Tierra, sobre todo a grandes profundidades. Todos los años se producen miles de terremotos, unos fuertes y devastadores, otros débiles que las personas no sentimos, pero todos ellos nos aportan un poco de conocimiento sobre la estructura de la Tierra.

Un terremoto se forma por la liberación brusca de la energía acumulada en una falla. Al someter a la falla a un aumento de tensión, en determinado momento se desplaza, y libera de golpe toda la tensión (energía) acumulada durante mucho tiempo. Las ondas que genera un terremoto se estudian recogiéndolas en un sismógrafo, que no es más que una masa suspendida para que no vibre cuando lo hace la tierra, así, si la masa no vibra y el suelo sí, se puede registrar la vibración. Hace siglos que los chinos poseían sismógrafos sencillos. Los sismógrafos actuales con un sistema de registro normalizado comenzaron a instalarse en la década de 1880.

Un terremoto genera dos tipos de ondas, las superficiales y las profundas. Las ondas superficiales viajan solamente por la superficie de la Tierra, por lo que no nos facilitan datos sobre el interior, pero son las más destructivas. Las ondas profundas nos aportan datos sobre los materiales por los que viajan. Son de dos tipos, P o primarias (por ser las más rápidas y por tanto las primeras en llegar a los sismógrafos) y

S o secundarias (un poco más lentas, llegan en segundo lugar). La principal diferencia entre ellas es que las P son compresivas (como las ondas del sonido) y viajan por medios sólidos y líquidos, mientras que las S son de cizalla (como las de la luz) y sólo viajan por medios sólidos, nunca por medios líquidos que son incapaces de mantener su forma para poder vibrar.

Con estas dos ondas, poco a poco, aprovechando cada terremoto y cada explosión, los sismólogos han ido averiguando la estructura del interior de la Tierra. A partir de los años setenta y ochenta del siglo XX, con la llegada de los ordenadores y las mejoras electrónicas se ha avanzado rápidamente. Pero a principios del siglo XX la interpretación de las ondas sísmicas era un trabajo intelectual arduo que exigía amplios conocimientos de matemáticas y física, intuición y mucho trabajo.

Según sea la distancia del foco del terremoto (o de su epicentro) al sismógrafo que recoge las ondas, éstas habrán viajado por zonas más profundas o menos profundas por el interior de la Tierra. Si la distancia del foco al sismógrafo es pequeña, las ondas nos dan poca información sobre la estructura profunda. Pero si la distancia es grande, las ondas habrán viajado por zonas muy profundas del interior de la Tierra.

Inge Lehmann era sismóloga en Dinamarca. El norte de Europa no es una zona sísmica, lo cual para Lehmann podía ser un inconveniente. Pero ella en lugar de basarse en este hecho para realizar un trabajo rutinario en el Departamento de Sismología del Real Instituto Danés de Geodesia, comenzó a estudiar las ondas que llegaban a los observatorios de Copenhague y Groenlandia desde terremotos muy lejanos. Sus amplios conocimientos en matemáticas, su trabajo serio y metódico, la calibración excepcionalmente buena de sus sismógrafos (por el problema de los sismógrafos ubicados en Groenlandia) y su intuición hicieron que llegara a conclusiones sorprendentes desde un lugar en el que nunca se producía un terremoto de consideración.

Las zonas sísmicas de La Tierra son principalmente los límites entre placas tectónicas: las costas del océano Pacífico, desde el sur de Europa hasta la India e Indochina, el este de África, el Caribe y Centroamérica. Todas estas zonas están a bastante distancia de Dinamarca y de Groenlandia. Lo que en principio era un problema para Lehmann, supo convertirlo en una ventaja. No estudiaba los terremotos como tales, sino la estructura del planeta.

A principios del siglo XX se había llegado a la conclusión de que existían dos discontinuidades, dos cambios bruscos de la densidad de los materiales que constituyen la Tierra. En 1906 Richard Dixon Oldhan¹⁰ había descrito una discontinuidad a unos 2900 kilómetros de profundidad, esta discontinuidad que separa el manto del núcleo recibe el nombre de “Discontinuidad de Gutenberg”, en honor a dicho sismólogo. Oldhan llegó a descubrirla al percatarse de que en el extremo contrario del planeta al epicentro de un seísmo las ondas S no llegaban, y existía una zona de sombra a la que no llegaban las ondas P. Como las ondas S no se propagan a través de líquido, tenía que existir un núcleo fundido en el interior de la Tierra, y tenía que estar a 2900 kilómetros de profundidad según las medidas de la refracción de las ondas P, que generaban la zona de sombras.

Andrija Mohorovičić¹¹ en 1910 describió la discontinuidad que lleva su nombre al observar el comportamiento de las ondas sísmicas del terremoto ocurrido el 18 de octubre de 1909 en Croacia. Se percató de que las ondas P habían llegado a sismógrafos situados lejos del epicentro del seísmo antes del momento que les correspondía haber llegado según la velocidad calculada para esas ondas. Esta velocidad se había calculado con el dato del tiempo que habían tardado en llegar a sismógrafos cercanos al epicentro.

10) Richard Dixon Oldham (1858-1936) nació en Dublín. Miembro en el Servicio Geológico de la India, trabajó en el Himalaya y en la India. Miembro de la Royal Society en 1911, y Presidente de la Sociedad Geológica de Londres desde 1920 hasta 1922. Sus estudios sobre los terremotos en la India y la propagación de las ondas sísmicas le llevó a descubrir el núcleo de la Tierra.

11) Andrija Mohorovičić (1857-1936), meteorólogo y sismólogo [croata](#). Estudió matemáticas y física en la Facultad de Filosofía de [Praga](#). Profesor en la escuela secundaria de [Osijek](#) y en la Real Escuela Náutica de [Bakar](#), fue profesor de [Geofísica](#) y [Astronomía](#) en la Facultad de Filosofía de la [Universidad de Zagreb](#). En [1898](#) se convirtió en miembro de la Academia Croata de Artes y Ciencias. Director del Observatorio Meteorológico de [Grič](#), estableció un servicio meteorológico para toda Croacia. En [1909](#), un terremoto azotó una región al sudeste de Zagreb. A partir del estudio de los sismogramas efectuó nuevos descubrimientos. Descubrió la reflexión y refracción de las ondas sísmicas, y las ondas sísmicas P y S. Concluyó que la Tierra está formada por capas alrededor del núcleo interno. La separación entre la corteza y el manto se denomina “[Discontinuidad de Mohorovicic](#)” o Moho. Los pensamientos e ideas de Mohorovicic fueron visionarias y sólo fueron verdaderamente comprendidas muchos años más tarde.

Es decir, las ondas que habían viajado lejos lo habían hecho más rápido que las que lo habían hecho cerca. Mohorovicic encontró una explicación. Las ondas que habían viajado a sismógrafos lejanos habían penetrado a mayor profundidad en el interior del planeta, luego en el interior del planeta la velocidad de las ondas P era mayor. La velocidad de las ondas sísmicas aumenta con la densidad de los materiales por los que transitan, por lo que se deduce que en profundidad existe un aumento de la densidad de los materiales. La profundidad a la que se produce ese aumento es la discontinuidad de Mohorovicic que se encuentra a unos 6 u 8 kilómetros de profundidad bajo los océanos, y a 60 ó 70 kilómetros de profundidad bajo los continentes.

En este estado, la única mujer en el mundo que se dedica a la geofísica con cierto prestigio, en un país sin terremotos que nunca había aportado nada a esta ciencia, publica en 1936 un artículo con un nombre mínimo: P' (P prima). En él explica que observando los registros de los sismógrafos recogidos durante el terremoto de Nueva Zelanda de 1929, existen unas ondas P en la zona de sombra de recepción de ondas P, que curiosamente esta zona de sombra coincide con el norte de Europa, y que estas ondas, y su velocidad de llegada sólo se explican si dentro del núcleo fundido de la Tierra existe un núcleo interno sólido, en el que las ondas se refractan y aumentan su velocidad.

Según Lehmann, en un terremoto de gran magnitud como el de Nueva Zelanda ciertos datos se hacen más evidentes, por lo que fue capaz de deducir la existencia del núcleo interno cuando dispuso de los datos de este terremoto. Supo jugar con la ventaja de que Dinamarca se encontrase a una distancia entre 105° y 142° terrestres de Nueva Zelanda. A esa zona no deberían llegar ondas P, y sin embargo llegaban (www.amnh.org/education/.../p_lehmann.html -).

Había deducido la existencia del núcleo interno. En un primer momento ningún otro geofísico dijo nada. Dos o tres años más tarde los sismólogos más importantes del momento, Beno Gutenberg, Charles Richter y Harold Jeffreys, secundan la idea y dan por buena la interpretación de Lehmann. Hasta la década de los setenta no se construyeron aparatos de medición con una tecnología suficientemente precisa para determinar con exactitud la existencia del núcleo interno. Inge Lehmann no la había deducido por "arte negra", como decían sus colegas, sino a base de perspicacia, constancia, observación y capacidad de cálculo, siendo una pensadora crítica e independiente capaz de separar lo importante de lo accesorio. La sismología actual nada tiene que ver con los duros tiempos de Lehmann, con equipos imprecisos y mala coordinación entre laboratorios donde el trabajo se sacaba adelante a base de esfuerzo e inteligencia como únicas herramientas.

La existencia de un núcleo interno sólido a partir de los 5100 kilómetros de profundidad explica el magnetismo terrestre, generado por el giro del núcleo interno dentro del núcleo externo a una velocidad un grado al año más lenta que la velocidad del planeta. Este fenómeno se conoce como precesión. El eje de giro del núcleo interno está desalineado 10° con respecto al de la Tierra.

Durante los años en torno a su jubilación del Real Instituto Danés de Geodesia, Lehmann estudia con colegas de Estados Unidos otras pequeñas discontinuidades dentro del manto de la Tierra. Estas discontinuidades son más difíciles de deducir. Se deben a cambios de fase en la mineralogía del manto. El manto terrestre está formado mayoritariamente por una roca denominada peridotita. Esta roca está formada por dos minerales, olivino y piroxenos. Con el aumento de la profundidad dentro del manto, aumenta la presión y la temperatura a la que está sometida la roca. Estos cambios hacen que a 400 kilómetros de profundidad el olivino (silicato de hierro y magnesio) se transforme en otro mineral, la espinela (óxido). A 660 kilómetros de profundidad el aumento de presión y temperatura hace que la espinela se transforme en perovskita (trioxido). Estos dos cambios generan discontinuidades que se observan en el comportamiento de las ondas sísmicas.

Por otro lado, en la parte inferior del manto, a una profundidad entre 2700 y 2900 kilómetros, existen zonas en las que la roca está parcialmente fundida, se denomina la capa D. Estas zonas están relacionadas con la existencia de islas volcánicas en el interior de algunas placas tectónicas, como es el caso de Hawai, Cabo verde, Midway y Canarias. Inge Lehmann también estudió las perturbaciones que causa esta capa D en las ondas sísmicas.

Con estos estudios Inge Lehmann fue reconocida como una autoridad en el estudio de la estructura del manto terrestre.

CONCLUSIONES: ¿POR QUÉ INGE LEHMANN NO ES MÁS CONOCIDA DENTRO DEL MUNDO DE LA GEOLOGÍA?

Se argumenta que la discontinuidad existente entre el núcleo exterior y el núcleo interior no lleva el nombre de “Discontinuidad de Lehmann” porque ella localizó también estas pequeñas discontinuidades en el manto, y si se nombrara así a cualquiera de ellas podría llevar a error. ¿Por qué no se denominó al límite entre el núcleo interno y el núcleo externo “Discontinuidad de Lehmann” en 1936 cuando Inge la descubrió? ¿Fue por el hecho de ser mujer? Aunque en el momento de su descubrimiento no se denominara “Discontinuidad de Lehmann”, posteriormente se ha podido imponer este nombre en muchas ocasiones, y nunca se ha hecho. ¿Existe una exclusión en el momento del descubrimiento y otra exclusión actual?

Inge Lehmann fue pionera como mujer estudiante de secundaria, como mujer estudiante universitaria, como mujer doctora, como mujer miembro de un instituto de investigación, como mujer miembro de sociedades científicas y como mujer que ha recibido premios científicos de prestigio internacional.

En aquellos años los avances científicos conseguidos por mujeres eran pocos. La pregunta puede ser si, además de ser pocos, están mal transmitidos a los demás científicos y a la sociedad. Puede que falte humanizar la ciencia, no quedarse en la idea científica en sí, sino llegar a preguntarnos quién la generó, por qué, cómo,... sea hombre o mujer. ¿Se oculta el hecho de ser mujer, o se transmiten mal los conocimientos?

Lehmann es, desde luego, la sismóloga más conocida, y una de las geólogas más conocidas de toda la historia, pero su fama no llega a la de sus colegas masculinos de aquellos años: Mohorovicic, Ritche, Gutenberg...

BIBLIOGRAFÍA

- Anguita, F., *Origen e historia de la Tierra*, Alcorcón (Madrid), Ed Rueda, 1988.
- Anguita Virella, Francisco y Moreno Serrano, Fernando, *Procesos geológicos internos* Alcorcón (Madrid), Editorial Rueda, 1991.
- Davis, G.H. *Structural Geology of rocks and regions*, Indianapolis (U.S.A.), Editorial Wiley, 1984.
- Foucault, Alain y Raoult, Jean-Francois. *Diccionario de Geología*, Barcelona, Editorial Masson, S.A., 1985
- Lozano Clavo, Luís. *Introducción a la Geofísica*, Madrid, Editorial Paraninfo.
- Nicolas, A. *Principios de Tectónica*, París, Ed. Masson.
- Udías, Agustín y Mezcuca, Julio. *Fundamentos de Geofísica*. Fuenlabrada (Madrid), Alianza editorial.
<http://www.agu.org/pubs/crossref/1987/EO068i003p00033-02.shtml>, 02-08-2012.
- www.earthref.org/Alfred_Georg_Ludvik_Lehmann, 01-08-2012.
- Polanco Masa, Alejandro, *Las explosiones convencionales más potentes de la historia*. 06-08-2012. www.alpoma.net/tecob/?p=892
- Mathez., Edmond A., 2000 American Museum of Natural History. www.amnh.org/education/.../p_lehmann.html
- Erik Hjortenberg*. www.annalsofgeophysics.eu/index.php/.../4625, 04-08-2012.
- Anales de geofísica*. www.annalsofgeophysics.eu/index.php/.../4693 -, 08-08-2012.
- www.biografiasyvidas.com/biografia/m/mohorovicic.htm, 04-08-2012.
- Christchurch City Council. www.christchurchcitylibraries.com/kids/nzdisasters/eqmurchison1929.asp, 09-08-2012.
- CIRES. Instituto Cooperativo de Investigación en Ciencias Medioambientales. Universidad de Colorado. www.cires.colorado.edu/~bilham/Oldham.html, 08-08-2012.
- Richardson, Eliza, Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad del Estado de Pennsylvania. 02-08-2012. https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p23.html
- www.encyclopedia_universal.esacademic.com/58073/Beno_Gutenberg, 11-08-2012.
- www.encyclopedia_universal.esacademic.com/154058/Scoresbysund, 02-08-2012.
- El Mundo de la Ciencia de la Tierra*, Gale Cengage © 2003. www.enotes.com/Science, 03-08-2012.
- JJ O'Connor y EF Robertson. www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Jeffreys.html, 02-08-2012.
- JJ O'Connor y EF Robertson. www-history.mcs.st-and.ac.uk/.../Norlund.html, 07-08-2012.
- Observatorio Lamont. Universidad de Columbia. www.ldeo.columbia.edu/vetlesen/.../me_bio.html, 13-08-2012.
- Observatorio Lamont. Universidad de Columbia. <http://www.ldeo.columbia.edu/about-ldeo/misión>, 10-08-2012.
- www.ieeeahn.org › ... › Topic Articles www.iugg.org/, 07-08-2012.
- Cerrojo, Bruce A. , *Universidad de California en Berkeley*. www.physics.ucla.edu/~cwp/articles/bolt.html, 01-08-2012.
- Carlowicz., Michael, 07-08-2012. www.sites.agu.org › ... › Award, Medal, or Prize .

