

## El radiocarbono, un método de fechamiento

Laura Beramendi Orosco, Galia González Hernández

Quizás hayas escuchado que en algún estudio arqueológico han fechado restos de plantas o de telas que indican la edad en la que las personas habitaban en alguna región. Estos fechamientos con frecuencia se realizan con la técnica del radiocarbono, también conocido como carbono 14. Pero ¿en qué consiste esta técnica? Aquí lo veremos, pero primero debemos revisar dos conceptos muy básicos de las clases de química: ¿qué es un átomo y qué es un isótopo?

**Átomo:** Es la mínima cantidad de materia de un elemento químico y está compuesto por un núcleo de carga positiva, donde se concentra la mayoría de su masa (protones y neutrones), y electrones de carga negativa, alrededor del núcleo como un enjambre de abejas. La carga eléctrica neta de un átomo es cero.

**Isótopo:** Los isótopos son los átomos de un mismo elemento que difieren en masa (número de protones más neutrones en el núcleo), pero no en número atómico (número de protones que es igual al número de electrones). Es decir todos los isótopos de un elemento tienen la misma carga en los núcleos de sus átomos y el mismo número de electrones, pero difieren en la masa del núcleo porque tienen diferente número de neutrones. Hay dos tipos de isótopos, los estables, que no varían a lo largo del tiempo y los radiactivos, que varían de masa atómica o número atómico con el tiempo (decaen) debido a que emiten partículas o radiaciones.

Ahora sí, veamos como funciona la técnica del carbono 14 para fechar. El radiocarbono es el isótopo más pesado y el único radioactivo del elemento carbono (representado por el símbolo químico C). La mayoría de los átomos de carbono tienen una masa de 12 una (unidades de masa atómica). Un átomo de carbono con dicha masa es el isótopo carbono 12, expresado en símbolos como <sup>12</sup>C. Pero en la naturaleza también existe el isótopo carbono 13 o <sup>13</sup>C, ya que cerca del 1% de los átomos de carbono tienen una masa de 13 una. Ambos isótopos, el <sup>12</sup>C y <sup>13</sup>C, son estables. Existe un tercer isótopo del carbono, el radiocarbono o <sup>14</sup>C, que es el menos abundante (hay un átomo de <sup>14</sup>C por cada 10<sup>12</sup> átomos de <sup>12</sup>C) y es el único radioactivo.

¿Pero cómo se forma el <sup>14</sup>C? y ¿Cómo entra a los seres vivos? El radiocarbono se forma en las capas altas de la atmósfera, como resultado de la colisión de los rayos cósmicos con las

moléculas del aire. Esta colisión produce neutrones libres que son absorbidos por los núcleos de los átomos de Nitrógeno 14 (<sup>14</sup>N) de la atmósfera, convirtiéndolos en átomos de <sup>14</sup>C (Figura 1). El <sup>14</sup>C es rápidamente distribuido en toda la atmósfera y al combinarse con el oxígeno da lugar al monóxido de carbono (<sup>14</sup>CO) y dióxido de carbono (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>). Este <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> está revuelto con el <sup>12</sup>CO<sub>2</sub> que es más abundante, y ambos tipos de CO<sub>2</sub> entran en la biosfera a través de la fotosíntesis de las plantas y a través de las cadenas de alimentación pasan a todos los seres vivos (animales), por lo que todo ser vivo tiene un porcentaje más o menos constante de <sup>14</sup>C en su organismo.

Mientras están vivos, las plantas y los animales están en equilibrio con la concentración atmosférica de <sup>14</sup>C, es decir el número de átomos de <sup>14</sup>C que asimilan es similar al número de átomos de <sup>14</sup>C que pierden por su decaimiento radiactivo. Al morir, los organismos dejan de absorber carbono por lo que la concentración inicial de radiocarbono comienza a disminuir ya que los átomos de <sup>14</sup>C que decaen ya no son reemplazados. El <sup>14</sup>C, como todo isótopo radioactivo, decae o se desintegra a una velocidad aproximadamente constante. Esta velocidad es generalmente expresada como la vida media (el tiempo necesario para que la mitad de los núcleos en una muestra se desintegren). En la década de los cincuenta, un equipo de científicos liderados por W.F. Libby determinó por primera vez que la vida media del <sup>14</sup>C era de 5568 ± 40 años y desarrolló el método del fechamiento por radiocarbono.

¿Cómo usar al <sup>14</sup>C para fechar? Si conocemos la actividad inicial, es decir la actividad de <sup>14</sup>C en la atmósfera, que es proporcional a la que deben tener los organismos cuando todavía están vivos, y si medimos en el laboratorio la actividad de <sup>14</sup>C de la muestra, o sea en un organismo ya muerto, conociendo el tiempo de vida media del <sup>14</sup>C, podemos saber cuánto tiempo ha pasado desde el momento de la muerte del organismo hasta el que se fecha la muestra. De esta manera, midiendo los decaimientos por minuto por gramo de carbono de una muestra orgánica, comparándola con los decaimientos por minuto por gramo de carbono en materiales orgánicos modernos (es decir que están en equilibrio con el <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> atmosférico) y conociendo el tiempo de vida media del <sup>14</sup>C, es posible calcular la edad de la muestra, o sea el tiempo que ha transcurrido desde que dejó de existir como materia viviente.

Hay una situación curiosa con las fechas de <sup>14</sup>C, y es que la actividad de <sup>14</sup>C en la atmósfera es en realidad variable debido a cambios en el flujo de radiación cósmica, en el campo magnético terrestre y como consecuencia de las pruebas nucleares atmosféricas que se llevaron a cabo en los años 50 y 60. Entonces, para corregir estas variaciones de <sup>14</sup>C atmosférico por las

pruebas nucleares, se toma como actividad inicial la actividad atmosférica que había en el año 1950, que es de 13.56 decaimientos por minuto por gramo de carbono. Esto tiene también la ventaja de que no es necesario saber cuándo se realizó el fechamiento, pues todos están referidos al mismo año. Así una fecha por <sup>14</sup>C se conoce como edad convencional y se expresa en años antes del presente, o BP por sus siglas en inglés, siendo el presente el año 1950.

Para corregir las otras variaciones (cambios en el flujo de radiación cósmica y en el campo magnético terrestre) se han construido curvas de calibración midiendo el <sup>14</sup>C en muestras fechadas por otros métodos, principalmente midiendo el radiocarbono en anillos de árboles fechados por dendrocronología (la dendrocronología mide la edad de un árbol contando los anillos que se forman anualmente). Estas curvas de calibración relacionan la edad convencional de <sup>14</sup>C con la edad calendario (o sea una fecha histórica por ejemplo) y el patrón de variación del <sup>14</sup>C atmosférico. La edad calendario se expresa en años antes o después de Cristo (aC o dC) o siguiendo las siglas en Inglés, cal BC (antes de Cristo) y cal AD (después de Cristo), donde cal indica que son edades obtenidas después de una calibración. Actualmente calibrar una fecha convencional de <sup>14</sup>C es muy sencillo de realizar mediante programas de cómputo especializados.

¿Qué tipo de material se puede fechar por <sup>14</sup>C? El método de radiocarbono es la principal metodología existente para fechar muestras que sean de origen orgánico, es decir que alguna vez hayan estado vivas, que contengan carbono y que no tengan una antigüedad superior a los 60 000 años. Podemos fechar madera, huesos, conchas, semillas, pergaminos, textiles, carbón y restos carbonizados, suelos y sedimentos entre otros materiales. El método de fechamiento por radiocarbono es un instrumento muy valioso para los arqueólogos puesto que les permite establecer la cronología de los acontecimientos que estudian. Desde que se desarrolló este método se han fechado infinidad de objetos arqueológicos de gran relevancia; entre ellos se encuentra la madera de la tumba del faraón Zoser con una edad de entre 2700-2600 años antes de Cristo (aC) y el hombre de hielo llamado Otzi, hallado en los Alpes italianos, para el cual se reporta una edad de 3300 años aC. En México su aplicación en contextos arqueológicos también ha sido muy valiosa y podemos mencionar como ejemplos el fechamiento de los sedimentos de la base de la pirámide de Cuicuilco, los cuales dieron una edad de entre los 380 a 174 años aC y el fechamiento de muestras de madera carbonizada de Teotihuacan, que ha hecho posible establecer el evento del fuego que destruyó esta ciudad y que coincidió con su abandono en el año 650 dC.

<<<<enigis

## un vistazo a los autores

**Laura E. Beramendi** (laura@geofisica.unam.mx) estudió el CCH en el Colegio Madrid y posteriormente cursó la carrera de Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM, en la cual se recibió con Mención Honorífica en 1998. Posteriormente (2000-2004) realizó estudios de doctorado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Nottingham, Reino Unido para lo cual contó con una beca del CONACYT. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Geofísica de la UNAM, colaborando en el Laboratorio Universitario de Radiocarbono.

**Galia González** (galia@geofisica.unam.mx) realizó estudios preuniversitarios en la Ciudad de La Habana, Cuba, de donde es originaria. Posteriormente cursó la carrera y especialidad en Hidrogeología e Ingeniería Geológica en la Facultad de Prospección Geológica del Instituto de Minas de San Petersburgo, en Rusia, recibiendo en 1992. Galia llegó a México para realizar estudios

de maestría en el Posgrado de Ciencias de la Tierra, en el Instituto de Geofísica de la UNAM, recibiendo en 2001. Actualmente es responsable técnico del Laboratorio Universitario de Radiocarbono.

**Adriana Caballero** (adriana.caballero@inegi.gob.mx) estudió en la ENP No. 5 "José Vasconcelos" de la UNAM, realizó la licenciatura en Geografía en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, terminando en 1969. Inició su carrera profesional trabajando en la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, que actualmente es la Dirección General de Geografía del INEGI, realizando inicialmente cartografía de suelos y posteriormente cartografía climática e integrando un banco de datos meteorológicos. A partir de 1988 trabaja en la difusión de los productos del INEGI y como todos en el INEGI participará en el **II Censo de Población y Vivienda 2005** que se llevará a cabo del 4 al 29 de octubre.

## charlas de divulgación

### "LAS ATMÓSFERAS PLANETARIAS"

HECTOR PÉREZ DE TEJADA  
13 DE OCTUBRE

### "LA RADIACIÓN SOLAR COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA LIMPIA"

AGUSTÍN MUHLIA  
10 DE NOVIEMBRE

### "NUEVOS AVANCES EN LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO VOLCÁNICO PARA EL ÁREA METROPOLITANA"

CLAUS SIEBE  
8 DE DICIEMBRE

**INSTITUTO DE GEOFÍSICA  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
AUDITORIO TLAYOTL 12:00HRS.  
(ENTRADA LIBRE)**

*La Unidad de Educación Continua y a Distancia en Ciencias de la Tierra le invita a las proyecciones que se llevarán a cabo los viernes a las 13:00 hrs. en el Auditorio Tlayotl en el Edificio Anexo del Instituto de Geofísica de la UNAM, en Ciudad Universitaria (Entrada Libre)*

### La Asombrosa Tierra

#### "Presente Violento"

14 de octubre

### La Roca Viviente

28 de octubre

### El Tiempo de los Dinosaurios

11 de noviembre

### El día del fin

25 de noviembre

### Viviendo entre bestias salvajes

2 de diciembre

## videocine 2005

# GEOFISICAS

¡HOLA!

EN ESTE NÚMERO TE PRESENTAMOS DOS ARTÍCULOS

**EL RADIOCARBONO:  
UN MÉTODO DE FECHAMIENTO;  
HURACÁN KATRINA  
¿VARIACIONES MULTIDECADALES O  
CALENTAMIENTO GLOBAL?**

Y UNA NOTA SOBRE EINSTEIN Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA,  
ESPERAMOS TE GUSTEN

**INSTITUTO DE GEOFÍSICA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, CIRCUITO EXTERIOR  
DELEGACIÓN COYOACÁN  
C. P. 04510 TEL. 56 22 41 15**



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y FÍSICAS

Num.25, octubre 2005

www.geofisica.unam.mx



**EDICIÓN los que lo hacemos**  
Dra. Margarita Caballero Miranda  
Tel. 56 22 43 33  
maga@geofisica.unam.mx  
Dra. Ana Ma. Soler  
Tel. 56 22 42 34  
anesoler@geofisica.unam.mx

**Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM**

**EDICIÓN TÉCNICA**  
Francois Graffé Schmit  
Freddy Godoy Olmedo

**DISEÑO**  
Alberto Centeno Cortés

**DISTRIBUCIÓN**  
Aída Sáenz



## Huracán Katrina ¿variaciones multidecadales o calentamiento global?

Adriana Caballero

Año con año, durante los meses de verano, tanto en el hemisferio norte como en el sur, se forman sistemas de tormentas sobre las cálidas aguas oceánicas de las zonas tropicales. Estas tormentas se originan debido a las altas temperaturas de la superficie marina, la elevada humedad y la baja presión atmosférica existente en dichas zonas; algunas de estas tormentas llegan a la categoría de huracán. Estas tormentas se desplazan sobre las aguas oceánicas, impulsadas hacia el oeste por las fuerzas de rotación de la Tierra, siguiendo aproximadamente el mismo camino que las corrientes marítimas cálidas.

### Etapas de un huracán

**Depresión tropical (nacimiento).**- Es cuando bajo condiciones de altas temperaturas (más de 24-26°C) se intensifica la evaporación, formación de nubes y los vientos empiezan a soplar, con velocidades por debajo de los 62 km/h.

**Tormenta Tropical.**- La velocidad de vientos aumenta entre 63 y 118 km/h y los vientos adquieren una circulación en espiral (ciclónica), alrededor de un vórtice de muy baja presión atmosférica que también se denomina ojo de tormenta. En este estadio ya reciben un nombre distintivo (como Gilberto o Katrina) siguiendo el orden alfabético, de manera que la primera tormenta tropical del año recibirá un nombre que inicie con la letra A y así sucesivamente.

**Huracán.**- Alcanza su máxima extensión, variable entre 500 y 1000 km de diámetro y la velocidad de sus vientos sobrepasa los 119 km/h. La fuerza destructiva de un huracán se mide de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson. Esta escala se diseñó y empezó a usarse en la década de 1970, tomando en cuenta tanto la intensidad de sus vientos como la altura del oleaje que ocasionan, conocido en las costas como marea de tempestad:

Escala de Saffir-Simpson

Categoría	Vientos (km/ h)
Uno	119-153
Dos	154-177
Tres	178-209
Cuatro	210-249
Cinco	Mayor de 250

De 100 depresiones tropicales, sólo el 10% alcanzan la categoría de tormenta tropical y más pocas aun son las que llegan a categoría de huracán.

### Zonas de origen de huracanes

Las condiciones que originan a los ciclones se presentan cada año sobre lo que se conoce como la zona de convergencia inter-tropical (ZCIT), típicamente alrededor de los 15° de latitud Norte. En la región de América de Norte, los huracanes del Pacífico tienen como lugar de origen el Golfo de Tehuantepec (Fig. 1) y siguen generalmente una dirección Oeste, alejándose de la costa. En ocasiones recurvan hacia el continente causando daños, según la intensidad de sus vientos y lluvias, las que pueden generar inundaciones. Sin embargo, los daños que pueden llegar a ocasionar se compensan con creces por las benéficas lluvias que aportan a nuestro territorio.

Del lado del Atlántico las zonas de origen de huracanes más comunes son el Mar Caribe, o más al este en el Atlántico tropical, frente a las Islas de Cabo Verde. Estos huracanes también se desplazan hacia el oeste y frecuentemente recurvan al norte e incluso hacia el noreste (Fig. 1), describiendo una parábola, siguiendo la dirección de la corriente de agua cálida conocida como Corriente del Golfo. Estos huracanes pueden, con probabilidad más elevada que la de los huracanes del Pacífico, penetrar a tierra, ya sea a las islas del Caribe, a las costas de Yucatán, o bien a las costas del Golfo de México, ya sean de México o de Estados Unidos.

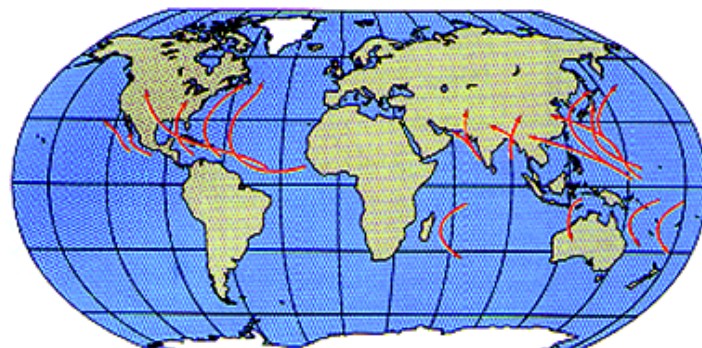


Figura 1. Rutas más frecuentes de huracanes.

### Condiciones ciclónicas en los últimos años

La media observada de tormentas tropicales anualmente en el Pacífico es de 15 por temporada y de 9 en el Atlántico. Sin embargo, durante el 2004 la actividad ciclónica en el Pacífico fue menor que la media. En el Atlántico, por el contrario, se presentó una actividad más intensa que lo normal.

En mayo y junio de 2005, justo antes del inicio de la temporada de huracanes, diversos científicos especializados dieron a conocer sus predicciones, de acuerdo con el comportamiento histórico observado, en particular a las tendencias del año anterior. Pronosticaron que al igual que en el 2004, para el 2005 era de esperarse un mayor número de ciclones respecto a lo normal en el lado del Atlántico. Estas declaraciones fueron hechas por el equipo del Dr. William Gray, de la Universidad del Estado de Colorado. Una predicción muy parecida fue la de la National Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA), indicando el probable desarrollo de 12 a 15 tormentas tropicales, con 7 a 9 llegando a huracanes, 3 a 5 de ellos superiores a categoría tres de la escala Saffir-Simpson. En México, la Comisión Nacional del Agua, con base en el análisis de los datos históricos, avaló estos pronósticos.

El aumento de número de ciclones en el Atlántico fue explicado por el Dr. Gray debido a una elevación en la temperatura de la superficie del océano Atlántico, de alrededor de 0.5 °C, a causa de cambios climáticos cíclicos denominado como "variaciones multidecadales", cuyo patrón todavía es desconocido en su totalidad, pero empieza a ser desentrañado por los científicos. El Dr. Gray fue enfático al negar que este aumento tuviera que ver con el fenómeno del calentamiento global del planeta: debido a un incremento sostenido y cada vez mayor de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera, la temperatura media del planeta se ha elevado aproximadamente en 0.5 °C. Si este fuera el caso, dijo el Dr. Gray, el aumento en la actividad de huracanes sería generalizado en todas las zonas de origen de huracanes del planeta y esto no es así.

Sin embargo, otros científicos como Peter Webster, del Instituto Georgia de Tecnología en Atlanta y Michael Man, director del Earth System Science Center de la Universidad de Pennsylvania, han comentado que hay evidencias de que el aumento en la intensidad de los huracanes se debe al aumento de temperatura relacionado con el calentamiento global. La revista Science del 16 de septiembre de 2005 da cabida a artículos que tratan estos temas.

### Advenimiento del huracán Katrina

Independientemente de las causas del aumento en intensidad de los huracanes del Atlántico, para 2005 el pronóstico era preocupante, con 3 a 5 huracanes de intensidad superior a tres. En un pronóstico más detallado para los Estados Unidos, la probabilidad de que un huracán incursionara en tierras continentales de ese país era más elevada, de 59% para las costas de Florida, siendo 28% lo normal, y de 44% para los estados que bordean la costa del Golfo, siendo lo normal del 30%.

Esto último fue lo que ocurrió, con resultados verdaderamente catastróficos el 29 de agosto de 2005, cuando a las 7:00 AM el **Katrina** llegó a las cercanías de Nueva Orleans, con vientos de más de 250 km / h, así como marejadas e intensas lluvias que provocaron poco después el desbordamiento del sistema de diques que protegen a la ciudad de las



inundaciones (Fig. 2). Aquí conviene hacer notar que en este caso todas las previsiones y señales de alarma estaban hechas con claridad antes de que el fenómeno ocurriera y no sólo por los pronósticos meteorológicos, sino también del campo de la ingeniería, que había dictaminado que en caso de presencia de un huracán de categoría 4 o mayor, el sistema de diques no resistiría.

La actual temporada de huracanes, que pronto llegará a su término, proporciona a los meteorólogos la oportunidad de probar sus teorías, para tratar de comprender hasta qué punto es válida la afirmación de que el **Katrina**, **Rita** y otros huracanes de similar intensidad son o no un resultado de variaciones cíclicas propias de la circulación atmosférica y oceánica (multidecadales), o bien son una respuesta ante el calentamiento global que sufre el planeta, poniendo en relevancia la importancia de la investigación científica en el campo de la meteorología, climatología y paleoclimatología.

## El radiocarbono, un método de fechamiento (cont.)

Hay que señalar que, además de las aplicaciones en la Arqueología, este método constituye una herramienta muy importante en el campo de las Ciencias de la Tierra, en estudios ambientales, paleoambientales, reconstrucciones paleogeográficas, Vulcanología, entre otros. Es por ello que en la UNAM recientemente se ha desarrollado un nuevo laboratorio en donde se puede realizar este tipo de fechamiento. En el Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR) participan los institutos de Geofísica, de Geología y de Investigaciones Antropológicas de la UNAM.

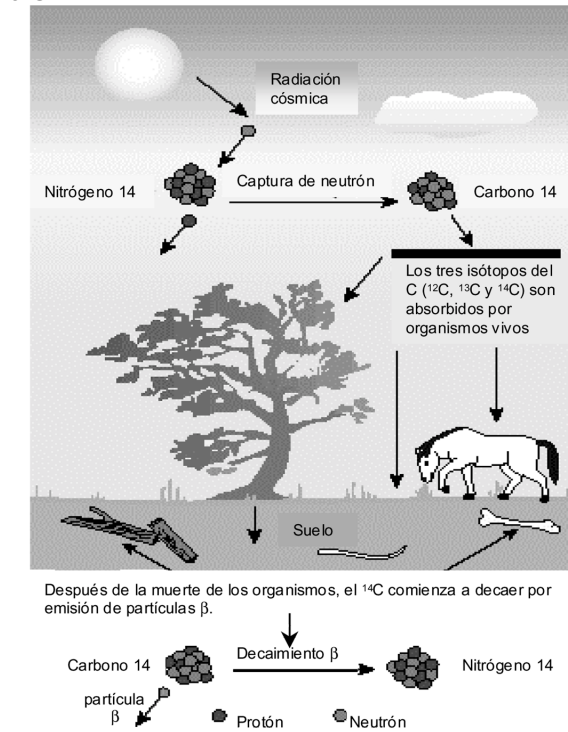


Figura 1. Diagrama esquemático de la incorporación a la biosfera y decaimiento del <sup>14</sup>C.

## Einstein y las Ciencias de la Tierra

Ana María Soler  
Laboratorio de Paleomagnetismo

En este año se está celebrando el Año Mundial de la Física, ya que se conmemoran los 100 años del llamado "Año Milagroso", año en que Albert Einstein publicó cuatro de sus más importantes trabajos:

1. El efecto fotoeléctrico, por el que obtuvo el Premio Nobel de Física de 1921
2. El movimiento Browniano
3. La teoría especial de la relatividad
4. El intercambio de masa y energía, la famosa  $E=mc^2$ .

Estos trabajos revolucionaron no sólo el mundo de la Física, sino de todas las ciencias y son la base de una gran cantidad de dispositivos electrónicos de uso cotidiano. En particular las Ciencias de la Tierra se revolucionaron simplemente con la aparición de los Sistemas de Posicionamiento Global o GPS, instrumentos que nos dan la latitud, longitud y altitud de un punto geográfico con sólo oprimir un botón y cuya precisión depende de los efectos relativistas. Otro desarrollo asociado a los descubrimientos de Einstein, el rayo láser, permitió el desarrollo de la interferometría láser que los geofísicos usan para realizar estudios detallados de movimiento y deformación de la corteza terrestre para evaluar riesgos sísmicos y volcánicos.