

## ¡Hola de nuevo!

Este es nuestro primer número del año, esperamos que la hayas gozado en tus vacaciones y que regreses a clases lleno de entusiasmo y buenas vibras. Ahora te vamos a platicar sobre la hidrogeología que es una de las ciencias con mayores aplicaciones prácticas. Pero ¿sabes en las que anda metido un Hidrogeólogo? Me imagino que no, así que lee este artículo para que lo descubras. También encontrarás información sobre el muy, pero muy viejo campo magnético terrestre, y para ello debes leer el artículo de Paleomagnetismo.

Si te fijas, en la última sección UNA OJEADA A LOS AUTORES te contamos algo sobre los autores y te damos sus teléfonos y correos electrónicos. La razón es que nos interesa que nos busques, si quieres saber más sobre los temas que encuentres aquí. Así que léenos, comunícate con nosotros y ¡llégale a las Ciencias de la Tierra!

### **¿SABES EN LAS QUE ANDA METIDO UN HIDROGEOLOGO?**

**RAMIRO RODRIGUEZ CASTILLO**

¿Sabías que el 60% del abastecimiento de agua de nuestros compatriotas proviene del subsuelo? En el centro y norte del país no contamos con ríos caudalosos y salvo el Lago de Chapala, no tenemos grandes lagos que nos sirvan como fuentes superficiales de agua. ¿Y sabías que son los hidrogeólogos los que deben de estudiar el agua que se encuentra en el subsuelo y en los acuíferos?

La Hidrogeología es una conjunción de métodos y técnicas que se encarga del estudio de las aguas subterráneas, su origen, ocurrencia, movilidad y contaminación. Aunque es un área de desarrollo y trabajo relativamente nueva y muy atractiva, en México no existe la licenciatura en Hidrogeología; lo más cercano es una carrera en Hidrología que ofrece la UAM Iztapalapa.

¿Cómo pues se llega a ser hidrogeólogo? Se puede iniciar este camino académico desde diferentes carreras del área dura, como Geología, Geofísica o Geografía y por supuesto Física, Matemáticas y Química. También es posible hacerlo a partir de carreras de Ingeniería afines, como la Ingeniería Civil, Hidráulica, Sanitaria, en Sistemas Computacionales, etc. Incluso hay quien, después de terminar Biología, se decide a incursionar en la Hidrogeología, todo depende de la vocación que se tenga.

Una vez que hayas obtenido la licenciatura, te tienes que decidir por un Posgrado, para lo cual no necesitas ser el chavo genio de tu generación. Tampoco hay que ser hijo de papi, puesto que la mayoría de los Posgrados ofrecen becas atractivas a sus estudiantes. ¡No hay pretexto! Ya casi todas las universidades del país, públicas o privadas, ofrecen maestrías o doctorados en el área ambiental.

¿Cómo seleccionar el posgrado más adecuado? Un primer paso es buscar información sobre Posgrados en Ciencias de la Tierra, Medio Ambiente o Aguas Subterráneas. En este fin de milenio, puedes recurrir a una fuente de informa-

ción barata y fácil; vía Internet puedes acceder un universo de conocimiento. Todos los programas educativos de posgrado cuentan con su página en las redes de información cibernética. De esta manera puedes saber el tipo de programa que ofrecen, prerequisites, tiempos, materias por cursar.

Aquí es donde empiezas a darte cuenta de la importancia del promedio, ya que casi todos los Posgrados piden promedios superiores a ocho, incluso hay quienes exigen como mínimo un promedio de 8.5 (gulp!). Y te caerá el veinte sobre el inglés (para que no te vean la cara de ... what!). Lo nuevo, lo relevante, se publica en inglés. En los Posgrados no sólo se estudia en libros, se tienen que consultar revistas especializadas escritas por lo general en inglés. También comprenderás lo importante que es saber computación, que se ha convertido en una herramienta indispensable. No hay de otra, triunfan los que perseveran.

Una maestría te permitirá ampliar tus conocimientos en un área específica. Hay maestrías en Ciencias de la Tierra, en Aguas Subterráneas, Geología, Geofísica, en Ingeniería Ambiental, en Ingeniería Sanitaria, en Medio Ambiente, en Exploración de Recursos, etc. Después puedes optar por un doctorado para completar tu formación profesional. Las opciones son muy variadas, puedes continuar en tu universidad o en otra con programas de doctorado sobre el tema que te interesa, o bien, buscar apoyo para continuar tu preparación en alguna universidad extranjera.

¿Y después qué? No creas que un doctor sólo puede trabajar en un Instituto de Investigación o en una Universidad, la meta no es que te conviertas en sucesor de Ciro Peraloca. Como doctor puedes trabajar no únicamente en investigación. Ahora un gran número de dependencias requieren de expertos en aguas subterráneas que les ayuden, por ejemplo, con la implementación de programas de gestión de agua. Si tienes además, espíritu de empresario, puedes integrarte a una empresa de consultoría ambiental o formar una.

¿De qué se ocupa pues un hidrogeólogo? Para quienes su fuerte sean los números, existe un gran cantidad de procesos que deben transcribirse matemáticamente para poder entenderlos y predecirlos (intrusión marina, flujo en medios fracturados, contaminación por hidrocarburos). Procesos que requieren de datos, los cuales hay que capturar en campo o generar en experimentos controlados de laboratorio, para lo cual se puede recurrir a métodos conocidos o por desarrollarse. La gran mayoría de aparatos y equipo para tales fines es extranjero. Los que conjugan la habilidad mental con la destreza manual pueden contribuir en el diseño y construcción de instrumentos especializados. El instrumental hay que usarlo en campo, bueno, pues si tienes espíritu observador y de Boy Scout, puedes gozar recorriendo nuestros valles, planicies y montañas en búsqueda de información que permitirá resolver diferentes problemas de abastecimiento o contaminación de agua subterránea.

Los datos requieren de ser procesados, y son cientos o miles, por lo que es imperativo el manejar procesos estadísticos por computadora. El tipo de datos utilizados (geológicos, geofísicos, hidrológicos, meteorológicos, químicos) obliga a una constante interrelación con profesionales de distintas áreas.

Un hidrogeólogo no sólo busca agua o los mecanismos para su mejor explotación. Tampoco se limita a estudiar cómo ésta se mueve en el subsuelo o cómo se contamina. Una importante función es

la de detectar problemas asociados al consumo de agua contaminada. Situaciones de las que se ocupa la toxicología ambiental y la epidemiología, pero en dónde un profesional de las aguas subterráneas puede contribuir. En México hay gente que muere por consumir agua con arsénico o que está en riesgo de contraer cáncer por beber agua con hidrocarburos. Un hidrogeólogo tiene que ver con el manejo de los residuos domiciliarios e industriales. Si éstos están mal colocados, pueden contaminar las aguas subterráneas.

En nuestro país hay cerca de 200 000 comunidades con menos de 500 habitantes, muchas de ellas usan norias o pozos para abastecerse de agua. ¿Acaso por ser pocos, pobres y marginados nadie debe preocuparse por el tipo de agua que toman? Mientras que ellos sobreviven con una dotación de 20 litros por día, en esta megalópolis el consumo es de 300-400 litros por habitante por día. ¿Se te hace justo?

Como pudiste ver, hay un enorme abanico de problemas y gran cantidad de maneras de resolverlos. Por lo que debemos entrarle a la planificación y administración del vital recurso.

### **PALEOMAGNETISMO (PALEO=ANTIGUO)**

*LUIS ALVA VALDIVIA*

Como seguramente ya leyeron el número 2 de *Geofísicas*, se habrán enterado de algunos de los secretos respecto al campo magnético terrestre. Ahora les explicaré algunos detalles más al respecto, a fin de que mi exposición del método paleomagnético sea más fácilmente comprendida.

#### **La Tierra y su campo magnético**

El campo geomagnético (CGM) no es estático (inmóvil), sino por el contrario, es variable en el espacio (superficie terrestre) y el tiempo (geológico), esto es, cambia con frecuencia, quizá más que cualquier otra característica del glo-

bo terrestre (exceptuando el clima). Estos cambios son registrados por las diversas componentes que definen el CGM en un determinado punto (su intensidad y dirección). Por ejemplo, la localización de los polos magnéticos cambia con el tiempo respecto a los polos geográficos (casi nunca coinciden). Además, se ha observado que a intervalos que promedian medio millón de años, la intensidad del CGM disminuye y gradualmente se anula. Desde 1830, la intensidad del campo magnético ha disminuido aproximadamente un 6%. Si continúa disminuyendo a esa razón, desaparecerá en unos 2000 años. Posteriormente, el campo empieza a desarrollarse otra vez, frecuentemente en dirección opuesta o con "polaridad invertida". El norte y el sur magnéticos han intercambiado sus lugares cientos y quizás miles de veces durante la historia terrestre. Los efectos de las inversiones magnéticas fueron descubiertos en Francia al inicio del siglo, cuando los científicos observaron que algunas rocas volcánicas estaban magnetizadas en dirección opuesta al campo magnético actual. ¿Cómo se adquirió esta magnetización, si la respuesta esperada es que todo material magnético se alinee en dirección del campo magnético presente? La respuesta obvia es que lo que se invirtió fue la polaridad del CGM.

#### **Polaridad inversa del Campo Magnético Terrestre**

Se cree que las inversiones magnéticas son el resultado de variaciones en los patrones de convección que se dan en el núcleo externo (líquido). Conforme la cantidad de calor producido por fuentes internas varía, también varía el flujo convectivo del núcleo externo; entonces la turbulencia de este flujo variable puede reforzar o debilitar el campo magnético. Los períodos durante los cuales la Tierra no posee campo magnético, pueden ser grandes, pero conforme un nuevo campo se desarrolla, su fuerza puede fluctuar erráticamente, llegando después a estabilizarse. Se cree que una inversión magnética (de un campo estable a otro de polaridad invertida) se tarda entre mil y cinco mil años. La polaridad actual se

caracteriza por líneas de fuerza magnética que emergen del polo magnético sur y regresan al polo magnético norte. Esta existe desde hace aproximadamente 780 000 años y es conocida como polaridad “normal”. Cuando el campo magnético de la Tierra se invierte, las líneas de fuerza emergen del polo magnético norte y regresan al polo magnético sur; esta polaridad es conocida como “inversa”. Actualmente, la aguja de una brújula apunta hacia el norte; durante períodos de polaridad invertida, la aguja apunta hacia el sur.

**Paleomagnetismo**

Ahora sí entramos en materia. Las evidencias de cambios en el campo magnético terrestre sucedidos dentro del registro geológico son el objeto de estudio del paleomagnetismo. Estos cambios son mejor detectados en rocas ígneas, tales como el basalto, así como también en sedimentos de lago y marinos. Conforme la lava se enfría, se forman pequeños cristales de magnetita que son por un momento, libres para moverse y orientarse con el campo magnético terrestre presente (Figura 1). Con el tiempo, cuando un cuerpo de lava se solidifica completamente, los cristales de magnetita adquieren una posición fija, registrando el alineamiento del campo magnético terrestre en ese instante. Similarmente, cuando los granos de magnetita se depositan en un medio acuoso, tal como un lago o una bahía, son libres de rotar como agujas de compás y alinearse con el campo terrestre (Figura 1). Después, al quedar sepultados por sedimentos subsecuentes, ya no pueden rotar libremente. De este modo se forma un registro permanente de los campos magnéticos pasados de la Tierra en sedimentos y rocas ígneas que contengan minerales magnéticos como la magnetita.

El registro de las inversiones del campo magnético de la Tierra que guardan las rocas continentales tiene muchas posibilidades de enmascarse debido a efectos del medio ambiente superficial y erosión (producida por viento, agua, cambios de temperatura, etc), lo cual ocasiona que esté incompleto. Un mejor

registro se obtiene del piso oceánico, donde hay sedimentación marina ininterrumpida con poca o ninguna erosión (Figura 2). Además, la expansión del piso oceánico proporciona otra magnífica oportunidad para estudiar las inversiones pasadas del campo magnético que se registran en el patrón de lavas basálticas que constantemente están saliendo y enfriándose en las cordilleras centro-oceánicas (Figura 3). El registro de las fluctuaciones en el campo magnético terrestre en el piso oceánico muestra que durante los pasados 75 millones de años solamente, el campo terrestre se ha invertido hasta 171 veces. Los períodos de polaridad estable, ya sea normal o invertida, han durado desde 25 000 hasta varios millones de años. No hay un patrón definido para el período de tiempo entre las inversiones de campo magnético y los geofísicos no saben a ciencia cierta cuando ocurrirá la siguiente inversión, ni qué efectos tendrá en los habitantes de la Tierra.

El paleomagnetismo ha jugado un papel determinante en la teoría de tectónica de placas, ya que puede ayudarnos a reconstruir la posición geográfica de los continentes en el pasado. Puesto que un cristal de magnetita en las rocas se alinea con el campo magnético terrestre presente al tiempo de formación de la roca, el cristal funciona como la aguja de una “paleobrújula” apuntando hacia los polos magnéticos que existían entonces. Por lo tanto, podemos determinar la latitud geográfica original de la roca comparan-

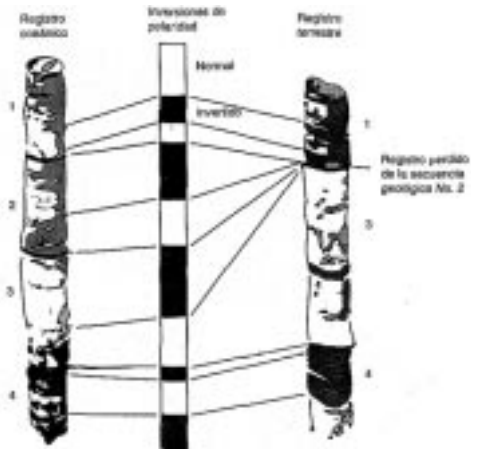


Figura 1. Los cristales de magnetita en roca fundida son libres de orientarse con el campo magnético terrestre, al solidificarse los cristales se fijan registrando el campo magnético terrestre.

do el ángulo que forman el paleocampo de los cristales y la superficie terrestre con el ángulo del campo magnético terrestre actual que intersecta la superficie. El ángulo aumenta conforme aumenta la latitud. El paleomagnetismo posibilita estimar qué tan lejos y en qué dirección se movió una roca y por lo tanto la placa tectónica sobre la cual está ubicada.

**PARA LOS MAS PRENDIDOS**

Checa esto:

El lunes 22 de febrero, los Drs. José Valdés, Juan Carlos D’Olivo y Lucas Nellen te hablarán sobre Los Aceleradores Cósmicos (El Observatorio Auger).

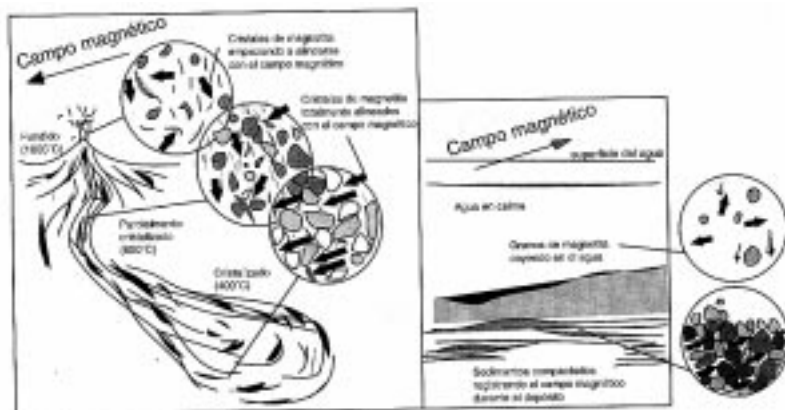


Figura 2. El registro continental de inversiones magnéticas es interrumpido por la erosión. El registro oceánico, generado por sedimentación marina ininterrumpida, es más completo.

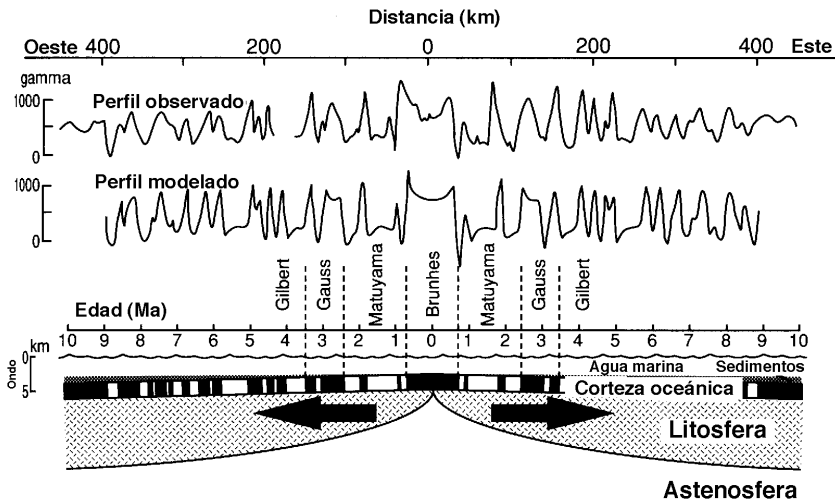


Figura 3. Formación de anomalías magnéticas marinas en una cordillera oceánica sufriendo expansión del piso oceánico. La corteza oceánica se forma en la cordillera, posteriormente es cubierta por sedimentos; los bloques negros (o blancos) de corteza representan la polaridad normal (o inversa) de la magnetización adquirida durante este proceso.

El martes 23 de febrero, los Drs. Luis Marín, Arcadio Poveda y Jaime Urrutia te platicarán sobre El Cráter del Chicxulub y la Muerte de los Dinosaurios.

El miércoles 24 de febrero, los Drs. Leticia Flores, René Chávez y Oscar Campos te harán saber sobre lo útil que es la Exploración Geofísica.

El jueves 25 de febrero, los Drs. Shri Krishna, Cinna Lomnitz y Javier Pacheco te van a contar algo sobre Los Sismos y Tú.

Todas estas conferencias se llevarán a cabo en el Amoxcalli de la Facultad de Ciencias, UNAM, a las 13.00hrs.

Las conferencias abajo indicadas se llevarán a cabo en el Auditorio Ricardo Monges López en el 2do piso del Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria, a las 12.00hrs.

El jueves 25 de febrero, la Fís. Alejandra Cortés te invitará a conocer como es el abastecimiento de agua a comunidades rurales.

En marzo 11, el Dr. Román Pérez te platicará sobre ¿Qué le ocurrió a la Tierra en marzo de 1989?

El 8 de abril, el Dr. Luis Quintanar te hablará sobre origen y previsión de sismos.

Tanto a la Facultad de Ciencias como al Instituto de Geofísica puedes llegar caminando desde el metro CU. Asiste a

las conferencias, te van a gustar, así que allí nos vemos.

También te queremos decir que existe el Posgrado en Ciencias de la Tierra. Puedes estudiar cosas referentes a Sismología, Vulcanología, Recursos Naturales, Paleomagnetismo, Exploración y Ciencias Espaciales. Si te interesa, comunícate con Norma Bravo al teléfono 622 4137.

## UNA OJEADA A LOS AUTORES

Ramiro Rodríguez estudió la Preparatoria en Córdoba, Veracruz y la carrera de Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Durante la carrera empezó a preguntarse qué tan buena era el agua que bebía; siguiendo este interés, estudió el Doctorado en la Facultad de Geología y Geografía de Bucarest, en Rumania. Posteriormente se incorporó como investigador al Instituto de Geofísica de la UNAM. Si te interesan las cosas referentes al estudio del agua, ponte en contacto con él al tel. 622 4128, o al correo electrónico: rrdz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx.

Luis Alva Valdivia estudió Ingeniería Geofísica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Realizó su maestría en la Facultad de Ciencias y el doctorado en la UACPyP de la UNAM. Posteriormente hizo una estancia pos-doctoral de 2 años en la Universidad de Toronto en Canadá.

Actualmente es investigador del Instituto de Geofísica de la UNAM. Te puedes poner en contacto con él al tel. 622 4028 o al correo electrónico: lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx.

## LOS QUE LO HACEMOS

*Geofisicosas* es preparado por miembros del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El Instituto se encuentra en Ciudad Universitaria y tiene una subsección en Juriquilla, Querétaro. Los que formamos parte de este Instituto hemos estudiado carreras tales como Ingeniería Geofísica, Ingeniería Geológica, Física, Matemáticas, Química o Geografía.

**Blanca Mendoza,**  
(Depto. de Física Espacial)  
Tel. 622 4142  
blanca@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Leticia Flores,**  
(Depto. de Geomagnetismo y Exploración)  
Tel. 622 4027  
leticia@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Ma. Dolores Maravilla Meza,**  
(Depto. de Física Espacial)  
Tel. 622 4142  
doloresm@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Jaime Durazo,**  
(Depto. de Recursos Naturales)  
Tel. 622 4133  
durazo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Carlos Mortera,**  
(Depto. de Sismología y Vulcanología)  
Tel. 622 4138  
carlosm@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Enrique Cabral,**  
(Depto. de Geomagnetismo y Exploración)  
Tel. 622 4117  
ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

**Edición Técnica**  
François Graffé Schmit  
Mónica Nava Mancilla

Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM Ciudad Universitaria, México, D.F.  
<http://www.igeofcu.unam.mx>