

¡Hola de aquí para allá!

En nuestro segundo número del año te preparamos la segunda parte de la radiación solar, ya que seguramente te quedaste picado después de leer la primera parte. También te invitamos a un fascinante viaje al centro de la Tierra, y ¡no es fantasía! Y como siempre, en la última sección UNA OJEADA A LOS AUTORES, te contamos algo sobre los articulistas 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!

LA RADIACIÓN SOLAR.

(Segunda Parte).

Mauro Valdés

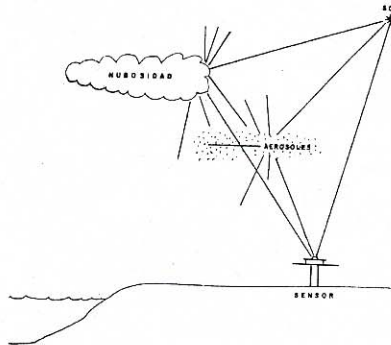
Como se mencionó en el número anterior, para realizar cualquier aprovechamiento de la energía solar, algún tipo de estudio climatológico, de contaminación ambiental, o cualesquiera donde se involucre a la radiación solar (energía de radiación) como parte de la energía disponible en el sistema a estudiar, es preciso primeramente evaluar el recurso; para realizar dicha evaluación, existe en la actualidad un buen número de sensores que resuelven casi en la totalidad las necesidades de medición de este parámetro meteorológico. Se podría decir que el único límite es la disponibilidad de recursos para la compra del equipo adecuado.

En primer lugar diremos que la radiación solar la podemos dividir en tres flujos principales (Fig. 1):

a) La radiación solar global (RG) es por definición la suma del flujo de radiación solar directa (RD) y el flujo de radiación solar difusa (Rd) que pasan a través de una unidad de superficie en posición horizontal.

b) La RD es aquella que llega al observador sin cambiar de dirección desde su salida del Sol.

c) La Rd es la radiación que llega al observador desde cualquier punto de la bóveda celeste a excepción de la que proviene directamente del Sol.



Para propósitos prácticos la radiación solar energéticamente "importante" tiene longitudes de onda que se pueden fijar entre los 0.29 mm y los 3.5 mm y es posible medirla con sensores termoelectrónicos; a través de la práctica se ha visto que éstos son los que presentan mayores ventajas: respuesta lineal (irradiancia vs. voltaje), un funcionamiento no complicado y con una gran estabilidad de su respuesta en el tiempo. El sensor propiamente dicho es una termopila; está constituida por termopares, los cuales conectados en serie producen un voltaje que se puede medir con gran precisión.

En la figura No. 2 se muestra un piranómetro, sensor que se utiliza para medir la RG; el sensor de este instrumento es el círculo negro que se encuentra en el centro (termopila), el cual está protegido de cualquier elemento climático y de cuerpos extraños por un domo de cristal de cuarzo, que es transparente a la radiación en el intervalo de ondas electromagnéticas mencionado anteriormente. De esta termopila las mitad de las uniones de los termopares están expuestas a la radiación solar y se pintan de negro para presentar mayor absorción a la radiación, y la otra mitad está en la parte inferior en contacto térmico directo con el cuerpo del instrumento, el cual está constituido por lo general por una masa de bronce y en algunos casos de aluminio manteniendo estas uniones frías, logrando así generar la corriente eléctrica directamente proporcional a la irradiancia solar incidente que llega a la superficie.

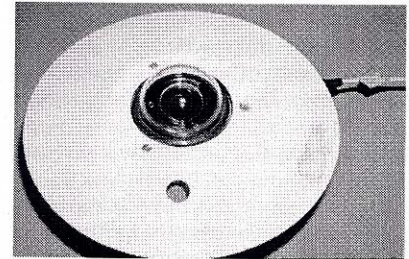


Fig. 2. Piranómetro

La figura No. 3 nos muestra un sensor para medir la RD; como verán es exactamente el mismo que mide la RG (piranómetro), pero éste cuenta con un anillo sombreador, el cual a lo largo del día no permite que la RD llegue a la termopila; a lo largo del año esta banda se debe ajustar de acuerdo con las variaciones de la declinación solar.

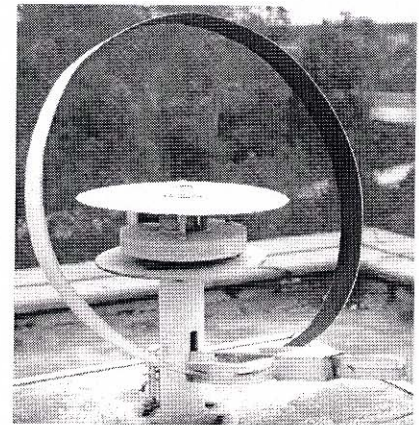


Fig. 3. Piranómetro con anillo sombreador.

La figura No. 4 exhibe un pirheliómetro, instrumento utilizado para medir la RD. Se puede decir que el sensor es idéntico al del piranómetro (termopila), pero la arquitectura varía, ya que el tubo está diseñado para que la RD no penetre y por lo tanto no llegue al fondo donde se encuentra la termopila, así que bien apuntado hacia el Sol, solamente se calienta el sensor con los rayos provenientes de la dirección donde está el Sol.

Estos sensores deben de contar con ciertas características físicas bien conocidas, las cuales después de muchos años de estudio y experiencia, la

Organización Meteorológica Mundial determinó:

a) **Constante de calibración.** Esta es la relación que existe entre el flujo de radiación solar recibido por el sensor y el voltaje de salida del mismo.

b) **Estabilidad.** Se refiere a la constancia de las características del sensor con respecto a la edad del mismo.

c) **Estabilidad a los cambios de temperatura.** Debido a los cambios de temperatura, el sensor puede variar sus características, entre las más importantes está la deformación de la superficie receptora y la variación de la sensibilidad o constante de calibración.

d) **Respuesta espectral.** La sensibilidad del sensor con respecto a diferentes longitudes de onda.

e) **Linealidad.** La proporcionalidad que existe entre los cambios de la señal de salida y los cambios del flujo radiacional.

f) **Constante de tiempo.** El tiempo necesario para que el sensor se estabilice después de un cambio brusco de radiación.

g) **Respuesta angular.** Es la variación de la sensibilidad con respecto a la variación del ángulo con que llega el flujo de radiación al sensor, es decir las variaciones de la altura del Sol a lo largo del día.

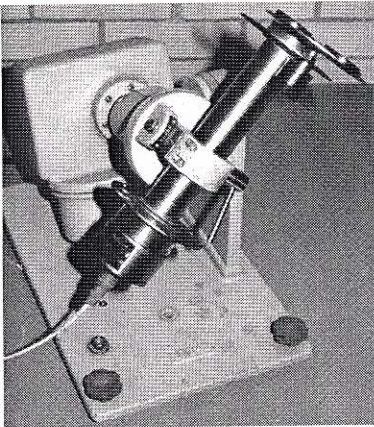


Fig. 4. Pirheliómetro.

Estas características a lo largo del tiempo varían, por lo que es necesario que cada año por lo menos, estos sensores se sometan a una calibración, para que la información que se mida esté referida a una escala de Referencia Radiométrica Mundial y así las medidas realizadas tengan validez internacional.

En la actualidad, existen estudios sobre óptica atmosférica, contaminación ambiental, agroclimatología, medicina, química de la atmósfera entre otras ramas del conocimiento, que necesitan información de la radiación solar, en lo que se llaman ventanas espectrales (radiación espectral), por ejemplo:

-El ozono en la atmósfera de la ciudad de México es considerado un contaminante secundario, ya que este se genera a partir

de los precursores de ozono como son los óxidos de nitrógeno principalmente, pero necesitan de la energía de la radiación solar ultravioleta en su banda "A", para que el proceso fotoquímico se lleve a cabo.

-La radiación solar ultravioleta en su banda "B", es indispensable para que el ser humano pueda fijar la vitamina D en los huesos, pero también el exceso de ésta provoca el cáncer en la piel, para lo cual es necesario estar midiendo cotidianamente el parámetro.

Para llevar a cabo este tipo de estudios o algunos otros que necesiten medir la radiación solar en longitudes de onda muy específicas, se pueden hacer uso de los espectrofotómetros, los cuales son instrumentos que cuentan con un sistema óptico para separar la radiación en diferentes longitudes de onda, y que puede ser una rejilla de difracción o filtros de interferencia, que sean sensibles a la energía que llega en estas ventanas espectrales. El problema radica en que su construcción no es tan sencilla como la de los sensores termoelectrónicos y por lo tanto, su costo es considerablemente mayor; este tipo de sensores se fabrican en la actualidad con mayor frecuencia, aunque su costo no ha disminuido significativamente, y los puede uno encontrar en el mercado para las ventanas espectrales que uno desee, en las figuras 4 y 5 podemos observar pirómetros y espectrofotómetros.

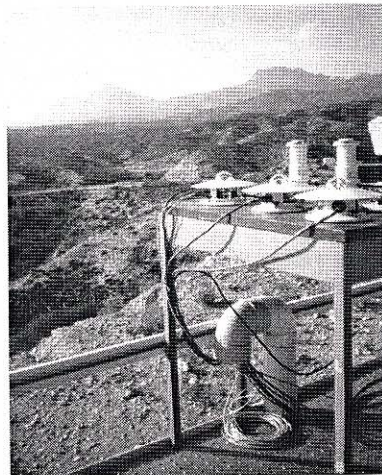


Fig. 5. Pirómetros y espectrofotómetros.

UN FASCINANTE VIAJE AL CENTRO DE LA TIERRA - ¡Y NO ES FANTASIA!

Raúl Valenzuela

Seguramente muchos mexicanos todavía recuerdan las tristes imágenes y experiencias del sismo de 19 de septiembre de 1985. Una de las ciudades más castigadas fue precisamente la de México; sin embargo, el terremoto tuvo su epicentro frente a las costas de Michoacán, a unos 375 km de distancia. ¿Cuáles son

entonces las fuerzas que nos obligan a los mexicanos a soportar semejantes torturas? Pues resulta que la mayor parte del territorio mexicano se encuentra en la placa tectónica de América del Norte, mientras que el fondo del mar frente a las costas desde Jalisco hasta Chiapas está en las placas de Cocos y Rivera. Estas placas son muy diferentes ya que América del Norte está compuesta principalmente de granito, que es menos densa que las placas de Cocos y Rivera, las cuales son de basalto. Debido a esta diferencia en densidades, las placas de Cocos y Rivera se subducen (se hunden) debajo de América del Norte. Las placas de Cocos y Rivera "tocan" a la de América del Norte en sus orillas, las cuales constituyen lo que se conoce como fallas geológicas. Mientras que las placas tectónicas tienden a moverse unas con respecto a otras lentamente (cuando mucho varios centímetros al año), sus orillas se encuentran trabadas unas contra otras debido a la fricción entre las rocas. Este proceso hace que las placas se deformen y una vez que se ha acumulado la suficiente deformación, se produce un movimiento súbito de una placa con respecto a la otra para liberar la deformación. A este desplazamiento repentino se le conoce como sismo. La superficie de la Tierra se encuentra dividida en unas 12 placas tectónicas principales que están en constante movimiento. Los terremotos no son fenómenos exclusivos de México y lo mismo se producen en Estados Unidos que en Japón, China, Nueva Zelanda o Italia. La teoría de la tectónica de placas nos ha servido para explicar muchos fenómenos geológicos, por ejemplo la formación de volcanes y la ocurrencia de sismos. Así podemos observar que las costas del océano Pacífico producen muchos y grandes sismos y que también existen muchos volcanes. Este es el Cinturón de Fuego del Pacífico. Al hundirse las placas de material oceánico debajo de las continentales, hacen que el manto de la Tierra se derrita y que esa roca ascienda para formar volcanes como el Popocatepetl.

Además del proceso de subducción, el cual se debe al choque entre dos placas, las placas tectónicas interactúan de otras dos formas. Se separan una de otra en las dorsales (cadenas montañosas submarinas) para formar, por medio de volcanes, el nuevo material del fondo de los océanos. Con el correr de decenas de millones de años estas rocas oceánicas se irán alejando más y más de la dorsal que las vio nacer hasta que alcancen alguna zona de subducción que las devolverá al interior. Muchas de estas dorsales albergan organismos como ostiones, bivalvos, gusanos poliquetos, camarones, cangrejos anémonas y peces que sobreviven sin recurrir a la fotosíntesis, ni a la luz del Sol

necesaria para realizarla. Estos seres, adaptados a vivir a grandes presiones, obtienen los nutrientes y la energía que necesitan de ciertas bacterias, las cuales a su vez producen energía al romper los enlaces químicos del sulfuro de hidrógeno disuelto en el agua después de que circula a través de la roca caliente. Aunque no podemos saberlo a ciencia cierta, es posible que bacterias similares a éstas hayan sido los precursores de la vida que conocemos actualmente en la Tierra. El tercer tipo de interacción entre placas corresponde a un simple deslizamiento horizontal entre ella. Por ejemplo la península de Baja California pertenece a la Placa del Pacífico y se aleja lentamente (hacia el noroeste) del resto del país, el cual permanece en la Placa de América del Norte.

Nuestra siguiente pregunta sería entonces ¿por qué se mueven las placas tectónicas? Hasta ahora hemos considerado únicamente la superficie de la Tierra, es decir sólo dos dimensiones. Debemos volver nuestra mirada hacia el interior del planeta, hacia la tercera dimensión. En la novela de Julio Verne, "Viaje al Centro de la Tierra" el profesor Lindenbrock, su sobrino y un experto alpinista se introducen en nuestro planeta a través del cráter de un volcán en Islandia. Siguen un túnel hasta llegar a una inmensa caverna y descubren un océano subterráneo. Entre las formas de vida que descubren se cuentan reptiles prehistóricos marinos que se traban en batalla, champiñones y algas gigantes, esqueletos de mastodontes y cráneos humanos. Su viaje termina abruptamente cuando una erupción volcánica los devuelve a la superficie en un volcán de alguna isla del Mediterráneo.

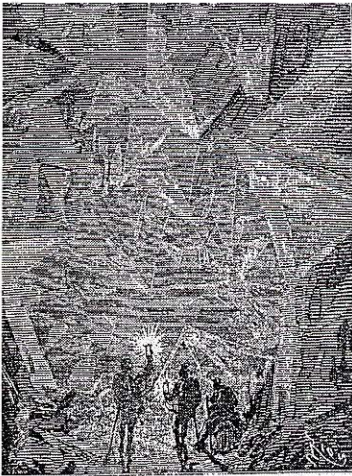


Fig. 6. En la novela "Viaje al centro de la Tierra" de Julio Verne las rocas brillan cual diamantes.

Ahora sabemos que la Tierra se parece a una pelota de golf. La cáscara de afuera, normalmente blanca, rodea a un hilo (elástico como una liga), el cual a su vez se envuelve alrededor de una pelotita de hule en su centro. La capa externa de la

Tierra es la corteza e incluye a los continentes y los fondos de los océanos (corteza continental y corteza oceánica, hechos de compuestos respectivamente). Debajo de la corteza encontramos el manto, hecho de minerales de silicatos y en el centro está el núcleo, hecho de los metales hierro y níquel. Al realizar el recorrido hacia el centro de nuestro planeta, nos damos cuenta que la presión aumenta de manera gradual y continúa conforme aumenta el peso de la columna de roca y hierro (en el núcleo) que se encuentra encima. También la temperatura aumenta con la profundidad. El calor del interior proviene de dos fuentes principales. Aproximadamente el 20% del calor que alcanza la superficie de la Tierra proviene del núcleo donde se encuentra desde que se formó la Tierra. El 80% restante se produce en el manto mismo por la desintegración de los elementos radioactivos uranio, torio y potasio. La Tierra se encuentra viva gracias a este calor del cual se desprende lentamente. Aunque está hecho de roca, el manto se mueve lentamente. Las condiciones de temperatura y presión a las que se encuentra le permiten fluir como si fuera de melaza. Como el material que se encuentra en la base del manto está a temperaturas mayores que el material cercano a la superficie, su densidad tiende a disminuir, lo cual hace que suba hacia profundidades menores, mientras que el material más frío y denso, cerca de la superficie, empieza a bajar. Este proceso de transferencia de calor asociado con el movimiento del material se conoce como convección. Esta es pues la respuesta a nuestra pregunta: La Tierra, al irse liberando del calor que se encuentra atrapado en su interior, da origen a procesos convectivos que causan el desplazamiento del manto y las placas tectónicas.

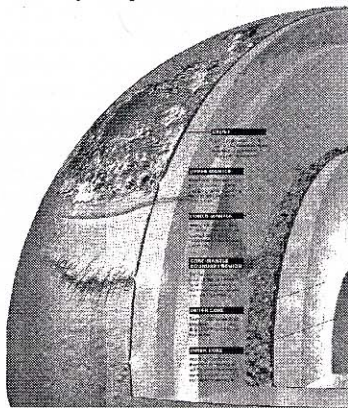


Fig. 7. Corte que muestra las distintas capas que componen el interior de la Tierra.

Otra pregunta que nos interesa es ¿qué les pasa a las placas después de que se subducen? Para responder necesitamos echarle un vistazo todavía más de cerca a la estructura del manto. Entonces nos daremos cuenta que está dividido en manto superior, manto inferior. El manto está

hecho de dos minerales de silicio y oxígeno ricos en hierro y magnesio. Uno de ellos lleva el nombre de olivino, también conocido como formador de la piedra preciosa peridoto, de color verde olivo. El segundo mineral es el piroxeno. Las condiciones de presión y temperatura a 410 km de profundidad hace que la estructura cristalina de las moléculas de olivino se vuelva más compacta y más densa. De igual manera, a los 670 km el olivino y el piroxeno se transforman a una estructura más densa (perovskita) y a un óxido de hierro y magnesio, la magnesiowáfcstita. Como consecuencia, la velocidad con que viajan las ondas sísmicas a través de este material se ve incrementada abruptamente a las mismas profundidades. La transformación a los 670 km de profundidad marca el límite entre el manto superior y manto inferior. El manto inferior es unas 30 veces más viscoso que el manto superior, lo cual implica que el material que allí se encuentra se mueve más lentamente. Parte de la respuesta a nuestra pregunta viene dada por la ocurrencia de sismos profundos. Los terremotos normalmente ocurren en la corteza y también dentro de las placas que se subducen.

Se han detectado sismos que ocurren hasta profundidades de 670 km, lo cual nos indica que las placas que se subducen pueden penetrar todo el manto superior. En 1995 ocurrió uno de los sismos profundos más grandes de los últimos tiempos. Su hipocentro se localizó debajo de Bolivia; sin embargo, el sismo fue tan grande que se llegó a sentir en el norte de Estados Unidos y sur de Canadá. Ciertos estudios de tomografía, similar a la técnica médica que nos permite ver el interior del cuerpo humano, nos han permitido hacer mapas del interior de la Tierra. Estos nos muestran que algunas placas subducidas se quedan estancadas sin poder penetrar el manto inferior mientras que en otras regiones las placas sí pueden introducirse al manto inferior. Por otra parte, imágenes tomográficas de la base del manto (donde entra en contacto con el núcleo), nos muestran algunas regiones de altas velocidades, lo cual sugiere que las placas al subducirse pueden en algunos casos recorrer el manto desde la corteza hasta el núcleo.

Hemos pues descubierto que el material puede viajar desde la superficie hasta la base del manto, entonces nuestra siguiente pregunta sería si el material de la base del manto puede viajar hasta la superficie. La respuesta es afirmativa, veamos los detalles. Por ejemplo, las islas de Hawai envejecen hacia el noroeste. La isla más joven y también más activa volcánicamente está en el sureste. De hecho, por debajo de la superficie del mar, la cadena de islas se continúa con unos montes submarinos y llega casi hasta

Alaska. Entre más nos alejamos de Hawai hacia el noroeste, más viejos son los montes submarinos. A los volcanes como Hawai se les conoce también con el nombre de puntos calientes. Y existen muchos más, entre ellos Islandia, Tahití, las Islas Galápagos y Yelloswtone (en Estados Unidos). Nuevamente acudimos a la tectónica de placas para buscar una explicación al origen de los puntos calientes; sin embargo, necesitamos un elemento adicional: las columnas del manto. Hawai se encuentra en la placa del Pacífico, la cual se desplaza lentamente hacia el noroeste y pasa por encima de una de estas columnas. La columna permanece fija en el manto y va creando volcanes nuevos conforme la placa pasa por encima de ella. Nuevamente recurrimos a nuestras imágenes tomográficas, las cuales nos indican que en la base del manto, debajo de los puntos calientes en la superficie, existe material a altas temperaturas. El calor atrapado dentro del núcleo escapa lentamente y calienta el material de la base del manto. Este material disminuye su densidad y empieza a ascender por el manto hasta llegar a la superficie donde da origen a volcanes como los de Hawai. El proceso es similar al de un globo aerostático, el cual se eleva porque el aire caliente en su interior es menos denso que el aire de afuera. Con esto podemos ver que existe una compleja interacción entre los procesos geológicos que observamos en la superficie de la Tierra y su dinámico interior. El planeta, nuestro hogar, está vivo.

Pero nuestro viaje aún no ha terminado, pues no hemos llegado al centro. Al igual que el manto, el núcleo está dividido en dos partes, un núcleo externo que es líquido y un núcleo interno que es sólido. Ambos están hechos de hierro. El núcleo interno está hecho de un cristal de hierro que crece lentamente conforme el núcleo externo se enfría y se congela. El núcleo líquido se encuentra en constante movimiento de convección. La energía que produce estos "vientos en una atmósfera de hierro" proviene del mismo calor que está atrapado en el núcleo desde que se formó la Tierra y que escapa lentamente hacia el manto. La convección del núcleo líquido, junto con la rotación de la Tierra, produce "huracanes" que dan origen al campo magnético que observamos en la superficie y el cual nos permite saber hacia dónde está el norte si contamos con una brújula. Al fluir el hierro dentro del núcleo externo induce corrientes eléctricas, las cuales a su vez generan un campo magnético. Es el mismo principio con el cual funcionan los electroimanes. En vista de los cambios continuos que ocurren en el flujo del hierro del núcleo, así como de su interacción con el manto, el campo magnético que medimos en la superficie también cambia gradualmente. A veces los cambios son tan

dramáticos que los polos norte y sur magnético se han invertido uno con otro repetidas veces en el transcurso de millones de años. Incluso es posible que la Tierra se quede sin campo magnético por periodos de varios cientos de años, aunque esto no ha ocurrido en tiempos históricos.

PARA LOS MAS PRENDIDOS

Checa esto:

El 17 de agosto, el Mtro. Juan Martín Gómex González te platicará sobre *Los sismos lejanos: una fuente de información rápida*.

El 19 de septiembre aprenderás *Lo nuevo en sismología en México* que te informará el Dr. Shri Krishna Singh.

Todas las conferencias se llevarán a cabo en el Auditorio Ricardo Monges López en el 2do piso del Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria. 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 y Vulcanología, Recursos Naturales, Paleomagnetismo y Exploración y Ciencias Espaciales y Planetarias. Si te interesa comunícate al teléfono 56 22 41 37.

UNA OJEADA A LOS AUTORES

El **Dr. Mauro Valdés** fue estudiante del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH Sur), donde realizó sus primeros experimentos con la radiación solar, la Licenciatura en Geografía, Maestría y Doctorado (con especialización en Recursos Naturales); las realizó en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Ingresó al grupo del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM durante el segundo año de la licenciatura como observador de la radiación solar debido a su interés en la meteorología. Actualmente trabaja en ese mismo Observatorio, y le puedes preguntar lo que quieras sobre la radiación solar a su correo electrónico:

mvaldez@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

La curiosidad del **Dr. Raúl Valenzuela** por la ciencia se despertó a medidos de los 70 al ver las imágenes del planeta Marte que las sondas Vikingo mandaban a la Tierra. ¡Cuán fascinante debe ser el conocer otros planetas! A partir de

entonces se interesó por las Ciencias Naturales con una predilección por la Física. En algún momento se dio cuenta que no era necesario ir hasta Marte para poder trabajar en cuestiones científicas y volvió su mirada hacia ese lugar que siempre conocemos mejor que ningún otro: nuestro hogar, la Tierra. Obtuvo su licenciatura en Física y Matemáticas en el Calcester College de Saint Paul., Minnesota, EUA. Realizó sus estudios de doctorado en la Universidad Washington de Saint Louis, Missouri, EUA. Actualmente trabaja como Investigador en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Su teléfono es el 5622-4138, su dirección electrónica es reul@ollin.igeofcu.unam.mx

Y su página en la Internet es <http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/~raul/> Si deseas saber más sobre los sismos en México, consulta la página del Servicio Sismológico Nacional en <http://sismol.ssn.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 sede en Juriquilla, Querétaro. Los que formamos parte de este Instituto hemos estudiado carreras tales como Ingeniería Geofísica, Geología, Física, Matemáticas, Química o Geografía.

Dra. Blanca Mendoza Ortega
Tel 56 22 43 84
blanca@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Dra. Leticia Flores Márques
Tel. 56 22 41 17
leticia@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Dr. Carlos Mortera
Tel. 56 22 41 38
carlosm@ollin.igeofcu.unam.mx

Mtro. Jaime Durazo
Tel. 56 22 41 33
durazo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Mtro. Armando Carrillo
Tel. 56 22 41 42
acvips@fis-esp.igeofcu.unam.mx

Edición Técnica:
Dr. Enrique Cabral Cano
Tel. 56 22 40 27
ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

Francois Graffé Schmit
Freddy Godoy
Impreso en la Unidad de Apoyo Editorial del Instituto de Geofísica, UNAM