

RAYOS Y CENTELLAS Y LA XV OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño

División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California

Es una gran suerte para nuestra generación y para las generaciones futuras que existan todavía muchos fenómenos misteriosos en nuestro planeta. Por lo general, uno termina la preparatoria con la idea de que la ciencia es lo que se dice en los libros de física, biología, química o matemáticas. Que lo que uno tiene que hacer es simplemente aprenderse las fórmulas, conceptos y datos que ahí se dan, y que con eso ya se posee una educación científica. De hecho así son las cosas, pero se pierde lo que para muchos, desde Platón, es lo más importante de la ciencia: un docto ignorar. Ignorar algo, enmarcarlo en el conjunto de conocimientos que ya se tienen, planear y ejecutar experimentos u observaciones que nos lleven de la ignorancia al conocimiento, y así lograr incrementar el nivel de conocimientos, es, y siempre será, la esencia de la ciencia.

Este año decidimos compartir esta sensación del no saberlo todo con los estudiantes y maestros de preparatoria. Escogimos fenómenos que mucha gente ha observado, como los rayos, las centellas y las luces de terremotos. Los últimos dos apenas si se han reconocido como objetos para ser tratados por la ciencia, y apenas si sabemos qué los causa o a qué se deben en detalle. Antes era difícil informarse uno desde su casa o en la escuela sobre estos fenómenos, pero ahora con la existencia de la Red uno puede conseguir información de última hora en unos cuantos minutos. Existen videos de rayos cayendo sobre aviones, autos o edificios, así como de centellas, luces de terremotos y hasta de nubes asociadas a terremotos. También se pueden leer artículos al respecto, ya sea de divulgación o publicados en revistas de prestigio. Los temas mencionados se complementaron con otros dos, el del cambio climático y el de los colores del cielo, que ya habían sido tratados en concursos anteriores.

El primer lugar fue ganado por Jesús Manuel Durán Morales, estudiante del Cobach plantel Guadalupe Victoria de Mexicali, quien recibió un premio económico y una medalla, así también su asesor, José Espinoza González. El segundo sitio lo obtuvo el joven Miguel Ángel Hernández Cruz, del Cobach Siglo XXI de Tijuana y Gabriela de la Selva Rubio como su asesora; y el tercer puesto recayó en Miguel Galeno Rocha de Cobach La Mesa y su asesor Manuel Armando Gómez Piñón.

En lo que sigue se incluye la guía proporcionada a los estudiantes un mes antes del examen, así como las 25 preguntas sobre el nuevo tema de rayos y centellas. En la liga siguiente encontrarán una reseña del evento:

<http://www.youtube.com/watch?v=Q5d-4HvP32U>

Rayos y Centellas: guía para la XV Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Sábado 28 de Noviembre de 2009. Salón de Usos Múltiples. CICESE. Ensenada, Baja California.

La ciencia no lo sabe todo ni pretende saberlo todo. Lo que sí pretende, y de hecho lo hace y lo hace muy bien, es saber cada vez más sobre múltiples aspectos de la realidad. En eventos anteriores ustedes y sus maestros han explorado los avances en lo que respecta al origen del Universo y lo que pasa en el interior de las estrellas, así como lo relativo al cambio climático, sismos, tsunamis, huracanes y hasta sobre los colores del cielo y de las puestas de sol. Esta vez el tema nuevo abarcará diversos fenómenos eléctricos que suceden en la atmósfera, como los familiares rayos y relámpagos, así como otros menos conocidos y aún otros que son controversiales. Busquen y lean sobre centellas o rayos en bola, fuegos de San Telmo, fuegos fatuos, y luces y nubes asociadas a terremotos. La ciencia no lo sabe todo sobre varios de estos fenómenos. Es increíble que sepamos más sobre lo que sucede en el interior de las estrellas que lo que sucede en la atmósfera en determinadas circunstancias. En parte esto se debe a que la misma estrella se puede observar muchas veces, mientras que algunos de estos fenómenos son únicos o duran muy poco, y no es fácil hacer mediciones cuando ocurren.

Investigando estos temas en la Red se van a asombrar y a divertir mucho. Aunque todos los temas son muy interesantes, seguramente encontrarán que el de las centellas es el más fascinante y misterioso. Hasta hace algunas décadas no se le consideraba como tema científico serio, sino como producto de alucinaciones o ilusiones ópticas. Si alguien veía una, mejor se quedaba callado porque seguro lo tildarían de loco. Y es que no es para menos, porque las centellas parecen cosa de otro mundo. Según reportes pueden entrar por las chimeneas, por debajo de las puertas, por una ventana aunque esté cerrada y hasta atravesar paredes. Actualmente, con tantas cámaras

fotográficas en el mundo ya no se tienen dudas de su existencia, pues hay muchas fotografías y videos que confirman las observaciones y reportes de antaño.

De hecho, en varios laboratorios y universidades de prestigio en el mundo han logrado producir centellas con características similares a las observadas. Sin embargo, a pesar de los avances en física y química y otras disciplinas, no sabemos a ciencia cierta lo que son las centellas. El problema es que diferentes investigadores han sintetizado lo que parecen ser centellas, usando diferentes métodos y materiales, de tal forma que sus centellas son de diferente naturaleza entre sí. Y como nadie ha logrado hacer mediciones en centellas reales, pues entonces no se sabe si algunas de las centellas creadas en laboratorio son de la misma naturaleza que las reales. Uno de los logros más espectaculares en la síntesis de centellas artificiales lo lograron en enero de 2007 investigadores brasileños. Un año antes un profesor de una universidad de Texas en San Marcos logró también resultados alentadores pero usando métodos y materiales diferentes. Revisen estos reportes, vean fotos y videos de centellas y lean anécdotas sobre ellas. Tal vez ustedes, sus familiares o amigos hayan visto una y no quieren decir, o lo han dicho y no les creen.

Sobre los fuegos de San Telmo no hay ninguna duda. Se trata de un fenómeno eléctrico muy común, bien conocido y reproducible. Sobre los fuegos fatuos existen varias hipótesis, ninguna comprobada cabalmente. Revisen lo que son estos fuegos y las hipótesis y críticas al respecto. Las luces de terremotos es otro fenómeno que ahora se acepta en la comunidad científica y se estudia con seriedad, pero aún no tenemos una explicación satisfactoria. Otra vez, lean al respecto y vean fotos y videos de estas luces. Más controversial es el tema de que semanas antes de que ocurra un gran terremoto aparecen extrañas nubes en el cielo. Estas nubes se reportan desde la antigüedad en Grecia, China e India como algo normal antes de un sismo fuerte. Recientemente, algunos científicos han retomado esta idea para predecir la ocurrencia de terremotos. Para monitorear un continente

se requieren fotografías de satélite, pero localmente las observaciones se pueden hacer a simple vista. Según los entusiastas de esta técnica de predicción las nubes deben ser de cierta forma. Busquen ejemplos e identifiquen la forma, busquen quién en la antigua Grecia dejó escritos al respecto y quién en la India.

Además, busquen cómo se llama el científico contemporáneo que revivió estas ideas y de qué nacionalidad es. La idea es que en el proceso de buscar los nombres se familiaricen con las ideas y las teorías que ellos manejan. Por ejemplo: ¿Qué saldrá de la Tierra antes de un temblor para que se formen esas nubes? Como se mencionó anteriormente, estas ideas de las nubes no están aceptadas por la corriente principal de estudiosos de los sismos. Sin embargo, nada se pierde si todos los días inspeccionan el cielo buscando nubes con las características adecuadas. Tal vez ayuden a confirmar o desmentir estas ideas.

El tema mejor investigado es el de los rayos y relámpagos, en donde sí se han tomado innumerables mediciones, fotografías y videos, y en donde existe una teoría con todo y ecuaciones para simular el proceso en una computadora. Se desconocen todavía algunos detalles, pero en términos generales se conoce muy bien el fenómeno. En la Red encontrarán no sólo fotos y videos sino además detalles como rayos negativos y positivos, distribuciones de cargas eléctricas en las nubes y en la tierra, valores típicos de la duración de los rayos, de los voltajes necesarios para que sucedan, valores de corrientes eléctricas y longitudes medias, así como la cantidad de rayos que caen por segundo en la Tierra. Busquen todos estos datos y traten de memorizarlos, pero no sólo memorizarlos, sino también imaginarlos. Busquen el tipo de nubes en las que se producen los rayos, vean fotos y videos de las mismas y déjense impresionar por su aspecto majestuoso. No sólo se aprendan el nombre de esas nubes, eso sólo sirve para medio impresionar a otros, véanlas en las fotos y videos y recuerden si las han visto en el cielo, y si no las han visto seguro algún día las verán. Lo importante es poder relacionar lo que se aprende con lo que se ve, o al revés, relacionar lo que se ve con lo que se aprende.

El rayo, el relámpago y el trueno son fenómenos diferentes, aunque están íntimamente relacionados. Los tres son consecuencia de que en cierto tipo de nubes se separan cargas positivas y negativas. Revisen a qué se refieren cuando usan cada uno de los tres términos. Los rayos son fenómenos que suceden en una pequeña fracción de segundo. Fue necesaria la invención de cámaras muy rápidas para revelar detalles y demostrar que los rayos también tienen historia, aunque es una historia muy corta. Sobre esto revisen lo que son los líderes escalonados hacia arriba y hacia abajo. Sobre el relámpago busquen de dónde proviene la luz o cómo es que se produce luz, y lo mismo para el trueno, de dónde proviene el sonido o cómo es que se produce. Busquen estadísticas sobre la incidencia de rayos en personas y aviones y seguramente se sorprenderán. Busquen las precauciones que uno puede tomar para estar menos expuesto a que le caiga un rayo.

En el examen de este año habrá de 25 a 30 preguntas sobre estos fenómenos eléctricos de la atmósfera. Se recomienda que busquen en la Red artículos al respecto. Existe bastante información sobre ellos en español. También pueden buscar en inglés. Para esto necesitarán conocer los términos en inglés. Rayo es lightning, centella es ball lightning, fuego de San Telmo es Saint Elmo's fire, fuego fatuo es ghost-lights, luces de terremotos es earthquake lights, nubes de terremotos es earthquake clouds, trueno es thunder y relámpago es flash. Un buen lugar para empezar es la Wikipedia, la cual además de contener información tiene muchas ligas hacia otras fuentes. En youTube encontraran videos de rayos, centellas, crecimiento de nubes, luces de terremotos y de temas relacionados.

Otras 25 preguntas del examen estarán basadas en las 25 preguntas nuevas del examen de la XIV olimpiada en 2008. Esto es, versaran sobre los colores del cielo, del porqué el cielo es azul y demás material relacionado. Revisen muy bien esas 25 preguntas, aunque algunas estén muy extensas. No sólo busquen las respuestas correctas, porque en las mismas preguntas hay mucha información y sobre esa información se pueden reformular preguntas nuevas. Encontrarán estas preguntas

en el informe sobre la XIV olimpiada, el cual se incluye en esta misma página. El resto del examen se basará en las 50 preguntas incluidas en el informe de la X olimpiada, la cual se llevó a cabo en el año 2004. Este informe también se incluye aquí para mayor comodidad. El tema de ese año fue el de Cambio Climático, y se incluyó el año pasado como parte del examen porque es un asunto muy importante. Este año repetimos esta parte porque muchos de ustedes no eran estudiantes de preparatoria ni en el 2004 ni el año pasado. En total serán 100 preguntas. Las nuevas 25 preguntas sobre los rayos y centellas las conocerán hasta el día del examen y valdrán el doble que las restantes 75.

Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en grupo, al fax 646-175-05-67, o mejor electrónicamente según se indica en esta página, porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, así como el número de mesa-bancos que necesitaremos y la cantidad de comida que debemos ordenar. Sin embargo, aún si no se inscriben con anticipación, pueden llegar ese mismo día e inscribirse. A la fecha hemos podido manejar perfectamente a los pocos que a última hora se deciden en participar.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10: AM se entregarán los gafetes con sus nombres. A las 10:00 AM inicia el examen y se termina a las 12:01 PM. Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Entre las 2:00 y 3:00 PM se harán las premiaciones.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño
Coordinador de las Olimpiadas

Las 25 preguntas nuevas para la XV olimpiada.

1. De 1959 a 1994, en los Estados Unidos fallecieron 3,239 personas que fueron alcanzadas por rayos, un promedio de alrededor de 100 por año. Este promedio es mayor que el de fallecimientos por huracanes y tornados, pero su impacto en los medios de comunicación es pequeño porque se trata de eventos aislados. De 1995 a 2004 fallecieron por la misma causa 489, un promedio de alrededor de 50 por año. La reducción se le atribuye a la mayor educación en cuestiones de prevención y seguridad. Si uno se encuentra en medio de una tormenta eléctrica los peores lugares son los lugares altos o debajo de un árbol, y los más seguros son una casa o un auto. Más detalles al respecto los pueden buscar en la Red. Los aviones también son muy seguros por los sistemas de protección que tienen. En la aviación comercial se estima que a un avión le caen en promedio 2 rayos por año, y sin mayores consecuencias. La cuestión es que una vez en un lugar seguro uno no debería de tener miedo a los rayos, o a lo sumo tener un poco de miedo pero controlado. Sin embargo, está documentado alrededor del mundo que muchas personas experimentan una fobia o miedo irracional a los truenos y relámpagos. Es especialmente común en los niños. Los síntomas, como en las demás fobias, incluyen el pánico, dificultad para respirar, taquicardia, sudoración, y náuseas. El fóbico suele sentirse sin control de estos síntomas. Muchos afectados intentan controlar su fobia escondiéndose durante las tormentas. Los niños típicamente se esconden en lugares sin ventanas, como en un armario, debajo de la cama, o en cualquier otro lugar donde puedan evitar ver el relámpago y escuchar el trueno. Esta fobia se conoce con el nombre de

- a) Agarofobia
- c) Astrafobia

- b) Truenofobia
- d) Rayofobia

2. La destrucción que causan los rayos, la majestuosidad de los relámpagos y la sensación que producen los truenos de que algo terrible está pasando, nos sugieren, al igual que a los antiguos, que los rayos poseen una energía inimaginable. De cierta manera esto es así, pero también es cierto que tienen una debilidad, y esta es que no duran casi nada, apenas si menos de una milésima de segundo.

Si existiera la tecnología para aprovechar su energía, que de hecho no existe, y convertirla en energía eléctrica utilizable, el negocio seguramente no sería rentable. Un rayo negativo promedio de una sola descarga despliega una energía equivalente a mantener encendido un foco de 100 W por dos meses. Suponiendo que el kWh vale 2 pesos: ¿Cuántos pesos se obtendrían de uno de esos rayos?

- | | |
|--------|----------|
| a) 3 | b) 30 |
| c) 300 | d) 3,000 |

3. Un rayo negativo promedio de una sola descarga puede bajar de la nube a la tierra una carga eléctrica negativa de 5 Coulombios. Esta cantidad de carga es pequeña si la comparamos con las cargas que circulan por nuestros aparatos electrodomésticos. Por ejemplo, por un tostador de pan pasan 10 Amperios, lo que significa que pasan 10 Coulombios cada segundo. Esto es, el doble de lo que baja de la nube. La gran diferencia es que de la nube los 5 Coulombios no bajan en un segundo, sino en una fracción muy pequeña de un segundo. La situación es tal que mientras en el tostador la corriente es de 10 Amperios, en el canal de descarga del rayo la corriente es de 30,000 Amperios. Con corrientes de esta magnitud es sorprendente que muchos a los que les cae un rayo sobrevivan, como de hecho sobrevive el 80 %, aunque con lesiones de leves a severas. Utilizando los datos de 5 Coulombios de carga eléctrica y de 30,000 Amperios de corriente, calcular el tiempo de descarga del rayo. Este tiempo en milisegundos es de:

- | | |
|--------|---------|
| a) 160 | b) 16 |
| c) 16 | d) 0.16 |

4. Aunque ahora nos parezca obvio que los rayos son de naturaleza eléctrica, o sea producidos por cargas eléctricas, hubo un tiempo en que esto era sólo una sospecha. Eran los tiempos anteriores al famoso experimento que realizó Benjamín Franklin en 1752. Franklin notó que las fibras sueltas de la cuerda de la cometa o papalote se repelían más a medida que el papalote se acercaba a la nube. La chispa que saltó entre uno de sus dedos y la llave al final de la cuerda completaba la prueba:

la nube y el suelo tenían cargas contrarias capaces de crear chispas, al igual que sucedía en experiencias de laboratorio donde se tenía control sobre las cargas. El experimento, cuidadosamente diseñado para probar o refutar la hipótesis-sospecha, había sido un éxito. Franklin también tenía consigo instrumentos de la época además de la cometa y la llave de bronce al final de la cuerda. La pregunta es: ¿Determinó Franklin el signo de la carga en la nube?

- a) No. No pudo.
- b) Sí. Determinó que era (+).
- c) No. Ni lo intentó.
- d) Sí. Determinó que era (-).

5. Georg Wilhelm Richmann fue un físico perteneciente a la Academia Imperial de Ciencias de San Petersburgo, donde estaba a cargo del observatorio astronómico. Tras la publicación de los escritos de Benjamin Franklin se dedicó al estudio de la electricidad atmosférica. Mientras trataba de reproducir los experimentos de Franklin con la cometa, falleció electrocutado por una descarga en 1753. ¿Qué tipo de descarga golpeó a Richmann?

- a) un rayo positivo
- b) una centella
- c) un fuego de San Telmo
- d) un rayo negativo

6. Franklin no fue el primero en demostrar que los rayos son de naturaleza eléctrica. Thomas Dalibard realizó un mes antes que Franklin un experimento equivalente, pero basándose en una publicación de 1750 del mismo Franklin, en donde éste proponía dicho experimento. Franklin aclara en su autobiografía que comparando las fechas, su experimento con la cometa lo realizó varias semanas después del de Dalibard, pero que en 1752 él no lo sabía. Se dice que ellos se conocieron personalmente en 1767 y se hicieron amigos cuando Franklin, quien vivía en lo que ahora son los Estados Unidos, visitó el país de Dalibard.

Ese país ayudó mucho a lo que ahora son los Estados Unidos a independizarse en 1776, y para celebrar los 100 años de independencia ese mismo país le regaló en 1876 a los Estados Unidos la estatua de la libertad. ¿De qué país era Dalibard?

- a) Inglaterra b) Italia
- c) Canadá d) Francia

7. Los aztecas tenían su dios de la lluvia, el cual también era el dios de los rayos y las tormentas. Este dios era Tlaloc. Para los mayas el dios era Chaac. Para los antiguos griegos era Zeus, y para los romanos era Júpiter, aunque Zeus y Júpiter eran en realidad la misma deidad. ¿Cómo llamaban los vikingos a su dios de los rayos?

- a) Odin b) Thor
- c) He-Man d) Ullr

8. El metro es la unidad de longitud y el segundo es la unidad de tiempo en el sistema internacional de medidas. La duración de un rayo es menor que un segundo, la unidad de tiempo, y resulta que el diámetro del rayo es también menor que un metro, la unidad de longitud. Considerando que la longitud media de un rayo típico es de 5,000 metros, resulta que los rayos son entes bastante esbeltos, muy altos y muy delgados. ¿Cual es el diámetro o grosor del canal del rayo en metros?

- a) 0.001 a 0.002 b) 0.01 a 0.02
- c) 0.1 a 0.2 d) 1 a 2

9. Cuando una corriente eléctrica tan grande como la de los rayos pasa por un canal tan estrecho, implica que hay muchos iones que deben pelearse por seguir su camino, los positivos en una dirección y los negativos en la dirección opuesta, resultando en golpeteos que necesariamente aumentan la temperatura del aire en el canal de descarga. Esta temperatura puede alcanzar unos 30,000 grados Centígrados, la cual equivale a varias veces la temperatura de la superficie del Sol. ¿Cuántas veces?

- a) 2 b) 3
- c) 5 d) 8

10. La mayor parte de las descargas eléctricas que se inician en las nubes terminan en las mismas nubes. Si en la misma nube se llaman intra-nube, y si es entre diferentes nubes se les llama inter-nube. Le siguen en frecuencia los rayos entre la parte inferior de las nubes, por lo general con carga negativa, y la tierra, la cual responde por simple inducción con cargas positivas. A estos se les llaman rayos negativos porque bajan carga negativa a la tierra. Después de muchos de estos rayos, hacia el final de las tormentas, las nubes tienen exceso de cargas positivas. Al parecer, este exceso de cargas positivas es la causa de la existencia de los rayos positivos, llamados así porque bajan carga positiva a la tierra. Estos rayos se inician en la parte alta de la nube y por lo general no bajan verticalmente, como los negativos, sino que suelen tocar tierra a una distancia promedio de 10 km de la nube, aunque en esa área no haya habido tormenta. Son mucho más peligrosos que los rayos negativos, pues descargan en promedio 300 Coulombios y la corriente típica es de 300,000 Amperios, afortunadamente sólo representan alrededor de 5 % de los rayos que caen a tierra. Otra de las causa por las que son más peligrosos es que duran mucho más tiempo que los rayos negativos. Con los datos de la carga de 300 Coulombios y la corriente de 300,000 Amperios, calcular la duración de un rayo positivo. El tiempo en milisegundos es

- a) 1 b) 10
- c) 100 d) 1000

11. Hace apenas si dos décadas que se descubrió que durante las tormentas eléctricas se disparan rayos positivos gigantescos que, en lugar de caer a la tierra, o sea hacia abajo, se disparan hacia arriba, hacia las altas capas de la atmósfera. Estas descargas depositan cargas positivas particularmente en una capa de la atmósfera que se extiende desde los 50 hasta los 100 km de altura llamada ionosfera.

El balance de las cargas que llegan a la tierra y las que se depositan en la ionosfera es tal que la tierra tiene cargas negativas y esa capa de la atmósfera tiene cargas positivas. Como resultado, en la superficie de la tierra, o sea donde nosotros estamos y caminamos todos los días, existe un campo eléctrico de 100 voltios por cada metro de altura. Por otra parte, el voltaje entre las dos esferas, la ionosfera y la tierra, es de alrededor de 350, 000 voltios y es más o menos estable, a pesar de que todos los días hay alrededor de 2,000 tormentas eléctricas que harían que este voltaje aumentara indefinidamente y que toda la atmósfera explotara en una gran descarga. La razón de que no explote es que la atmósfera es un poco conductora, de tal forma que deja que bajen lenta y continuamente cargas de arriba hacia abajo. Este flujo es pequeñísimo, pero sumado alrededor de toda la tierra es de alrededor de 2,000 Amperios. Si no hubiera tormentas eléctricas esta corriente terminaría por bajar toda la carga positiva de la ionosfera y cancelar la negativa en la tierra. Considerando que son alrededor de 1,200,000 Coulombios de carga que tendrían que bajar a tierra: ¿Cuánto tiempo se necesitaría para descargar la ionosfera?

- a) 10 segundos
- b) 10 minutos
- c) 10 horas
- d) 10 días

12. Los rayos positivos que caen a tierra son mucho más poderosos que los negativos. Si uno negativo despliega una energía capaz de mantener un foco de 100 Watts encendido por dos meses, la energía de uno positivo mantendría ese mismo foco de 100 Watts encendido por 100 años. Haciendo el mismo ejercicio que con la energía del rayo negativo, calcular los ingresos de una supuesta compañía ficticia que logró captar esa energía concentrada del rayo positivo, y convertirla en energía menos concentrada para venderla a 2 pesos por kWh. ¿Cuáles serían los ingresos, en pesos, de la supuesta compañía por vender la energía de un rayo positivo?

- | | |
|------------|--------------|
| a) 2,000 | b) 20,000 |
| c) 200,000 | d) 2,000,000 |

13. Los rayos, positivos o negativos, descargan su energía una vez que los líderes escalonados abren el conducto de descarga. Los rayos positivos por lo general consisten de una sola descarga y todo vuelve a la normalidad. Sin embargo, los rayos negativos por lo general consisten de más de una descarga. Estas descargas se suceden una a otra cada 50 milisegundos, un tiempo relativamente largo comparado con la duración de la descarga misma, la cual toma alrededor de 50 microsegundos. Los rayos negativos más comunes no son los de una sola descarga sino de varias. Por eso es que cuando cae un rayo observamos una especie de luz intermitente. Lo que pasa en realidad es que varias descargas aprovechan el mismo canal. Después de la primera descarga, otras partes de la nube descargan su carga negativa a través del mismo canal porque es el camino de menos resistencia a tierra. Cuando ya no hay más carga, el canal se enfría y rayos subsecuentes tendrán que construir su propio canal con nuevos líderes. ¿Cuántas descargas presentan típicamente los rayos negativos?

- | | |
|----------|-----------|
| a) 3 a 4 | b) 5 a 6 |
| c) 7 a 8 | d) 9 a 10 |

14. Comparando con otros países, en México cae una cantidad de rayos por kilómetro cuadrado que no es ni muy grande ni muy pequeña, sino más o menos promedio. El lugar de la Tierra donde caen más rayos se encuentra en África ecuatorial, en la República Democrática de el Congo. En ese lugar caen 160 rayos por kilómetro cuadrado cada año. Como un kilómetro cuadrado es lo mismo que cien manzanas, eso quiere decir que en promedio, cada año cae más de un rayo en una manzana. Esto no parece mucho pero: ¿Qué tal si tus padres te dicen que en la manzana donde tú vives han caído 30 rayos desde que naciste? Es lo mismo que 1.6 por año si tienes alrededor de 18 años de edad. Dentro de nuestro propio país la distribución de rayos no es uniforme, siendo algunos estados más propensos que otros. ¿En cuál de los siguientes cuatro estados de México caen menos rayos.

- | | |
|--------------------|------------|
| a) Tamaulipas | b) Yucatán |
| c) Baja California | d) Sinaloa |

15. De todas las descargas eléctricas el 70 % son intra-nube o inter-nube y 30 % caen a tierra, incluyendo el mar, donde si bien caen menos que en la tierra su contribución no es despreciable. Cuando se habla de rayos que caen a tierra se sobreentiende que se incluyen también los que caen en el mar. Un 5 % de ese 30%, o sea sólo 1.5 % son positivos, afortunadamente. Los rayos que se producen en tormentas de arena y en erupciones volcánicas no son tan comunes y no cuentan casi nada en las estadísticas. En toda la tierra existen en cualquier momento alrededor de 2,000 tormentas eléctricas activas, cada una contribuyendo al total de rayos que caen a la tierra. Antes de la existencia de satélites especializados para contar rayos, se estimaba una cantidad de rayos por segundo mayor a la que se considera correcta actualmente. Se considera correcta la estimada con satélites. Considerando esta cantidad: ¿Cuántos rayos caen por hora en toda la tierra?

- | | |
|-----------|------------|
| a) 10,000 | b) 30,000 |
| c) 60,000 | d) 120,000 |

16. Decir que los rayos caen a la tierra no es completamente correcto. En realidad el proceso de los rayos es más complejo, pues además del líder negativo que baja de la nube, existe otro positivo que, aunque de menos longitud, sube del suleo hacia la nube. Veamos cómo es el proceso completo: El líder escalonado negativo que baja de la nube, el cual no es otra cosa que cargas negativas, a medida que se acerca a tierra atrae y concentra cargas positivas en el suelo, las cuales pueden ser tan grandes que ionicen el aire cercano y formen un líder positivo hacia arriba. Cuando ambos se encuentran se crea el canal de descarga por donde suben iones positivos y bajan negativos. O sea que el rayo en realidad no baja, sino que sube y baja al mismo tiempo. Lo que sí es cierto es que todo se inicia porque el líder escalonado negativo empieza a bajar. Se le llama líder escalonado porque se va formando por escalones o pasos, los cuales duran si apenas 1 microsegundo y avanzan de 10 a 50 m cada uno. El siguiente paso tarda en aparecer como 50 microsegundos. En total el líder tarda en formarse cientos de milisegundos, hasta 1 segundo, y aunque es poco brillante comparado con el rayo que viene después, se puede ver en la mayoría de los casos. La forma ramificada hacia abajo se debe a que muchos de los escalones no tienen éxito y hasta allí llegan, quedando fuera del canal de descarga. A veces todo empieza con un líder positivo desde abajo. Esto pasa principalmente en los edificios altos con pararrayos, en donde frecuentemente se ve que las ramificaciones son hacia arriba, como debería de ser. Si bien estos líderes positivos en edificios se conocen desde hace mucho, los que aparecen en tierra como producto de un líder negativo son difíciles de observar. Su existencia se predijo teóricamente en 1950 por Heinz W. Kasemir pero sus trabajos fueron ignorados hasta 1980. Ahora que se han fotografiado no hay duda de que existen. Los líderes negativos que bajan de las nubes tienen varios kilómetros de longitud, mientras que los positivos que ascienden de la tierra son más pequeños. Su longitud típica hasta encontrarse con el líder negativo es del orden de

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| a) centímetros | b) metros |
| c) decenas de metros | d) centenas de metros |

17. La caída de un rayo sobre un terreno arenoso provoca la fusión de los granos de sílice (óxido de silicio) hasta una profundidad de más de un metro, en una zona muy estrecha de no más de 5 cm, resultando una especie de tubo retorcido y ramificado. Tienen una apariencia de raíz y a veces muestran pequeños agujeros. Algunos les llaman tubos de rayos, electricidad petrificada o rayos congelados. Su nombre científico es

- | | |
|---------------|---------------|
| a) tunderitas | b) fulguritas |
| c) electritas | d) rayitas |

18. El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno. Por otro lado, cuando a rocas o arenas ricas en óxido de silicio les cae un rayo, el silicio puede evaporarse y separarse del oxígeno, para después volver a oxidarse y liberar energía. La abundancia del silicio y su forma de recombinarse con el oxígeno lo hace un buen sujeto de experimentación en la búsqueda de formas artificiales para producir centellas en el laboratorio. Para probar esta hipótesis los científicos brasileños Antonio Pavão y Gerson Paiva diseñaron un experimento en el que fundieron óxido de silicio y sí, sí aparecen bolas que parecen centellas y además duran varios segundos, como las que se reportan asociadas con las tormentas eléctricas. ¿Qué utilizaron como fuente de energía para simular el rayo?

- | | |
|-------------------|---------------------|
| a) microondas | b) radiofrecuencias |
| c) arco eléctrico | d) positrones |

19. El científico Karl D. Stephan de la Texas State University-San Marcos, generó centellas en el laboratorio, en el aire y a presión atmosférica, y lo más importante, sin el uso de vapores de sólidos como requieren otros experimentos. ¿Qué utilizó como fuente de energía para simular el rayo?

- | | |
|-------------------|---------------------|
| a) microondas | b) radiofrecuencias |
| c) arco eléctrico | d) positrones |

20. Los fuegos de San Telmo son descargas de efecto corona provocadas por la ionización del aire dentro del fuerte campo eléctrico que originan las tormentas eléctricas. Aunque se llaman “fuegos”, son en realidad plasmas de baja densidad y relativamente bajas temperaturas. Los fuegos de San Telmo se observan con frecuencia en los mástiles de los barcos durante tormentas eléctricas en el mar, de ahí su nombre, pues San Telmo es el santo de los marineros. También se da en aviones y dirigibles. Se cuenta que también se da en las puntas de los cuernos del ganado durante tormentas eléctricas. En realidad, se trata del mismo fenómeno que se utiliza en los focos de muchas casas. ¿Qué tipo de focos?

- | | |
|-------------------|-----------------|
| a) incandescentes | b) de neón |
| c) diodos de luz | d) de tungsteno |

21. Los fuegos fatuos son fenómenos consistentes en la inflamación de ciertos materiales que se elevan de las sustancias animales o vegetales en putrefacción, y forman pequeñas llamas que se ven andar por el aire a poca distancia de la superficie, especialmente en los lugares pantanosos y en los cementerios. Son luces pálidas que pueden verse a veces de noche o al anochecer. Se dice que los fuegos fatuos retroceden al acercarse a ellos. Existen muchas leyendas al respecto. El gas que supuestamente origina los fuegos fatuos es producto de la descomposición de la materia orgánica y arde a temperatura ambiente. ¿De qué gas se trata?

- | | |
|----------------|------------|
| a) metano | b) butano |
| c) gas natural | d) fosfina |

22. La primera mención escrita sobre luces de terremotos viene del historiador griego Calístenes, quien en 373 AC escribió que antes del terremoto que destruyó las ciudades de Helice y Buris aparecieron columnas de fuego. Calístenes es mejor conocido por sus escritos sobre las conquistas de Alejandro Magno, a quien acompañó en muchas de sus campañas. Por otra parte, ya en nuestros tiempos Marcel Ouellet en su artículo Earthquake lights and seismicity, publicado en la revista científica Nature del 6 de diciembre de 1990, reporta en relación con sismos ocurridos en 1988-1989 en Québec, Canadá, bolas luminosas de varios metros de diámetro que salían del suelo una detrás de otra a pocos metros de los observadores. En general, los diversos reportes que existen sobre luces indican que estas pueden aparecer antes, durante o después de un terremoto. El fenómeno no fue aceptado como real por la comunidad científica hasta que se tomó una fotografía en 1966 durante la ocurrencia de un enjambre de temblores. ¿En que país se tomó esa fotografía?

- a) Chile b) EEUU
- c) Japón d) China

23. La ciencia no ha logrado a la fecha uno de sus sueños dorados: predecir los terremotos. Ha habido éxitos aislados aquí y allá con base en fenómenos precursores, o sea fenómenos que anticipan el temblor, pero que a veces funcionan y a veces no, por lo que no son confiables en la mayoría de los casos. Para los antiguos las cosas eran más sencillas. Al parecer, ellos sí sabían cómo predecir terremotos, o por lo menos creían que sabían. Sobre la formación de cierto tipo de nubes antes de un terremoto Aristóteles hace la siguiente observación: “Hay también un indicio en los cielos, pues cuando se acerca una sacudida, en el cielo despejado se extiende una nube como línea fina y larga. Zhonghao Shou, químico jubilado de origen chino, revivió hace algunos años esta idea relacionando cierto tipo de nubes con terremotos, partiendo de imágenes públicas procedentes de satélites meteorológicos.

Según Shou, la nube que aparece antes del terremoto proviene del vapor de agua que sale del lugar de la falla geológica donde ocurrirá el terremoto. Las predicciones de Shou son a corto plazo, en una ventana de tiempo de alrededor de 30 días. Según Shou su método funciona en un porcentaje de

- a) 70 b) 80
- c) 90 d) 100

24. La teoría de Shou llamó la atención de los científicos cuando anticipó el terremoto que asoló Irán el 26 de diciembre de 2003. Unos días antes, el 21 de diciembre, Shou predijo para la zona un terremoto de 5.5 grados o mayor, basándose en el tamaño de la nube. El terremoto resultó de mayor magnitud que 5.5 y costó la vida de 26,000 personas. ¿De cuantos grados fue el terremoto?

- a) 6.5 b) 7.0
- c) 7.5 d) 8.0

25. El capítulo 32 de La Gran Compilación, una especie de “Enciclopedia Británica” del siglo VI escrita en sánscrito por el filósofo, matemático y astrónomo Varahamihira, está dedicado a fenómenos precursores de terremotos. Entre esos fenómenos se menciona la aparición de nubes inusuales una semana antes de un terremoto. La Gran Compilación, también conocida como Brihat Samhita, fue escrito en

- a) China b) Japón
- c) India d) Mesopotamia