

EL DESCUBRIMIENTO DEL *TIEMPO PROFUNDO* Y LA NOVENA OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño
División de Ciencias de la Tierra, CICESE,
Ensenada, Baja California, México

La Tierra gira alrededor del Sol, y lo ha estado haciendo desde siempre. ¿Cuántas vueltas significa *siempre*? A finales del siglo XVIII ya se tenía el modelo mecánico del sistema solar prácticamente tan desarrollado como lo tenemos ahora. Las leyes del movimiento de Newton y su ley de la gravitación universal predecían exactamente las órbitas de los planetas, incluyendo la forma de la órbita y su periodo alrededor del Sol. Sin embargo, el modelo no tenía, ni tiene actualmente, el otro factor tiempo, el que se refiere al tiempo acumulado en que se ha estado moviendo el sistema. El sistema podría tener cinco, diez o veinte mil años. Y no es que a nadie le importara el origen del mundo, la cuestión era simplemente que se trataba de un problema difícil, más difícil que el del modelo mecánico del sistema solar. Si tan sólo el modelo tuviera un contador de vueltas el problema estaría resuelto. Sin embargo, la cuestión del inicio, del cuándo, no era ni es un problema que se pueda abordar con las leyes de Newton. Las leyes de Newton son precisas y universales, pero son universales no porque se apliquen a todo. Se les dio el calificativo de universales porque permitían explicar fenómenos tanto en la Tierra como en el cielo. Era la primera vez que alguien proponía algo semejante pues, por lo general, se pensaba que los objetos celestes obedecían a reglas diferentes que los terrestres. Esta sigue siendo una de las grandes aportaciones de Newton a la cultura universal. El otro problema, el del inicio, era una cuestión que no resolvió Newton, aunque sí que era una de sus preocupaciones.

La cuestión del inicio del mundo requería de mucha intuición y de la habilidad para trabajar con datos imprecisos. Aquí se podría aplicar aquella observación de Einstein de que en la ciencia es más importante la imaginación que los conocimientos. De hecho, el reconocimiento de un *tiempo profundo* en la Tierra vino de personas sin entrenamiento formal en la mecánica celeste. Un médico, un constructor de canales y un abogado fueron los fundadores de la nueva ciencia de la geología en los alrededores de 1800. En general se puede afirmar, como lo han hecho muchos de los más destacados científicos en el pasado, que la ciencia no es sino un sentido común riguroso. A los primeros geólogos no les faltaba el sentido común, y tampoco el rigor, pero al principio no fueron muy bien comprendidos por sus colegas de otras disciplinas, sobre todo por los físicos. El principal oponente a la idea de que la Tierra podría tener miles de millones de años fue Lord Kelvin. Su amplio prestigio y la rigurosidad de sus métodos mantuvieron en entredicho por muchas décadas las conclusiones de los geólogos y, de paso, las de los biólogos. El mismo Darwin, quien también necesitaba mucho tiempo para su teoría de la evolución, sentía el peso del argumento de Kelvin, quien, a lo más, admitía, en sus cálculos de termodinámica, 100

millones de años para la edad de la Tierra. Tanto geólogos como biólogos necesitaban más tiempo. Sus estimaciones así lo indicaban y no estaban equivocados.

Si bien los cálculos basados en tasas de erosión y acumulación de sedimentos eran rigurosos y con mucho sentido común, había suposiciones e incertidumbres más allá de la usanza en otras disciplinas. Tal vez por eso los científicos educados en las disciplinas existentes en ese tiempo no se interesaban en el tema, excepto al modo de Lord Kelvin, para invalidar inferencias basadas en datos inciertos. Y sin embargo todo terminó aclarado, biólogos y geólogos fueron reivindicados, pero hasta el siglo XX, cuando la misma física proveyó del argumento para invalidar a Kelvin, y también un método para estimar independientemente la edad de la Tierra. A principios del siglo XX se descubrió la radioactividad y su poder para calentar las rocas. Este descubrimiento no sólo vino a invalidar los resultados de Lord Kelvin basados en las leyes del enfriamiento, sino que además proveyó de un reloj natural para medir la edad de la Tierra. Por fin se pudo saber cuántas vueltas le ha dado la Tierra al Sol. Y resultó que eran muchas, muchísimas, muchas más de las que esperaban geólogos y biólogos. Ahora tienen tiempo de sobra. O tal vez no: se ven tan apurados como cualquiera de nosotros.

Alrededor de este tema de relojes naturales giró principalmente la Novena Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra en Baja California. En el texto de las preguntas se incluyó información al respecto haciendo hincapié en las dificultades del tema. El recorrido termina con preguntas sobre la solución final del problema. También se incluyeron preguntas sobre relojes biológicos, como el basado en variaciones en las proteínas de la sangre de humanos y chimpancés, con el cual se estableció el tiempo que tienen ambos linajes de haberse separado. En otra variación del tema se hace referencia al tiempo en que todos los humanos tuvimos un ancestro común. Se explica el método de las variaciones en los genes de las mitocondrias de las células humanas y se pregunta específicamente el tiempo del evento mencionado. Otras preguntas se refieren a la tasa de sedimentación en el delta del Río Colorado, así como a eventos locales como los conocidos e incómodos vientos Santa Ana y sus efectos en el mar, o bien, a fenómenos recientes como el último eclipse lunar. También se incluyeron preguntas y explicaciones sobre las últimas investigaciones acerca del papel que juega el color de la piel en los procesos de reproducción de los seres humanos (por un lado protege de ciertos compuestos químicos y, por el otro, inhiben la producción de otros, todo según la latitud en donde viven, o más bien, donde vivieron sus ancestros). Si bien hubo muchas

sorpresas en las preguntas, posiblemente la más inesperada fue la relativa a los países con los mejores índices de felicidad en el mundo. ¿Qué país obtuvo el segundo lugar? : México. El primer lugar nos lo ganó Nigeria. Sin embargo, hay esperanzas para el 2004. ¿Cooperamos?

El evento se llevó a cabo el 29 de noviembre pasado en el Aula I de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE. Participaron estudiantes de preparatoria de los cinco municipios del estado, los ganadores fueron:

Marisol Sánchez Marmolejo COBACH La Mesa
Profesor: Manuel Armando Gómez Piñón

José Juan Pérez Delgadillo COBACH La Mesa
Profesor: Manuel Armando Gómez Piñón

Alice Daniela Flores Lara CETIS #156
Profesora: María Julia Robles Quintero

A continuación se presentan treinta de las cien preguntas del examen 2003. Como podrán observar, las preguntas no son fáciles de responder correctamente en una primera instancia. Hacemos la aclaración de que prácticamente todo el examen se pone a disposición de los estudiantes más o menos un mes antes del evento. La idea es que aprendan solos, buscando. Los que buscan terminan por contestar correctamente alrededor del 80 o 90% de las preguntas.

TREINTA DE LAS CIENTAS PREGUNTAS DE LA NOVENA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

UGM – CICESE. ENSENADA, B.C. A 29 DE NOVIEMBRE
DE 2003

1. La Biblia no dice cuál es la edad de la Tierra. Sin embargo, contando el número de generaciones con los datos y nombres que se dan en la Biblia, se han realizado desde la Edad Media cálculos para averiguar la fecha en que se creó el mundo. Uno de los últimos intentos lo realizó el clérigo James Ussher, quien encontró que la fecha fue el lunes 23 de octubre a las 9:00. ¿De qué año?
 - a) 40,040 ac
 - b) 404 ac
 - c) 40 ac
 - d) 4,004 ac
2. Estamos en el mes de noviembre de 2003. ¿Cuál sería la edad de la Tierra hoy, según Ussher?
 - a) 42,043 años
 - b) 2,407 años
 - c) 2,043 años
 - d) 6, 007 años

3. La edad de la Tierra, según se ha determinado en los últimos años por métodos radiactivos, es más o menos la edad determinada por Ussher multiplicada por un millón. Para algunos observadores del desarrollo de las ideas científicas, este descubrimiento de un *tiempo profundo* en la Tierra, es la principal contribución de la geología a la cultura universal. En realidad el descubrimiento se realizó alrededor de 150 años antes de la determinación de la edad de la Tierra por métodos radiactivos. Uno de los argumentos se basaba en observaciones de las tasas de erosión actuales y de formación de nuevos sedimentos, tomando en cuenta los espesores de sedimentos antiguos. En su libro de tres volúmenes "*La Teoría de la Tierra*", escrito hace alrededor de 200 años, *el padre de la geología* describe sus observaciones y conclusiones. ¿De quién se trata?
 - a) Wallace
 - b) Hutton
 - c) Lyell
 - d) Smith
4. Otro gran descubrimiento realizado ya en el siglo XIX, derivó en la disciplina que se conoce actualmente como estratigrafía, en relación con estratos sedimentarios muy antiguos. El descubrimiento consistió en darse cuenta que "*los mismos estratos siempre se encuentran en el mismo orden de superposición, y siempre contienen el mismo tipo peculiar de fósiles*". Se trata de algo que actualmente casi se considera obvio, pero que le tomó a la humanidad miles de años para darse cuenta. La persona que hizo el descubrimiento también hizo el primer mapa geológico de la historia. Se dedicaba a hacer levantamientos topográficos para cavar canales para transporte de carbón en Inglaterra, en la época inmediatamente anterior a los ferrocarriles. Así se dio cuenta de las regularidades en los estratos. Su teoría se aceptó cuando pudo predecir los estratos que se encontrarían en un lugar que nunca había visitado. ¿De quién se trata?
 - a) Wallace
 - b) Hutton
 - c) Lyell
 - d) Smith

5. El astrónomo Edmund Halley (1656-1742), el del famoso cometa, propuso hace varios siglos calcular la edad de la Tierra, o más bien la edad del océano, tomando como base la cantidad de sal que se ha estado acumulando con el tiempo en el mar. Continuamente los ríos están añadiéndole poco a poco sal al mar. La idea es la misma que la del reloj de arena; la sal juega el papel de la arena y el mar es el recipiente donde se acumula. El método no es muy confiable y está sujeto a muchas suposiciones. Por ejemplo, no sabemos cuál era la salinidad del agua cuando se formó la Tierra. En términos de la analogía del reloj de arena, no sabemos si en el principio el depósito inferior estaba vacío. Sin embargo, antes del descubrimiento de la radiactividad la idea de utilizar la acumulación de sal en el mar era una de las opciones a las que más se recurría para estimar la edad de la Tierra. Este

método dejó de utilizarse a principios del siglo XX. ¿Cuál era la edad de la Tierra según este método? (Ma=millón de años)

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

6. El reloj de arena ejemplifica la idea básica de cómo medimos el tiempo. La cantidad de arena que se acumula en su parte inferior representa una medida del tiempo transcurrido desde que se le dio vuelta al reloj. Si se cuentan los granos de arena se podría incluso aumentar la resolución. Los modernos relojes electrónicos se basan en la misma idea de acumular o contar algo para cuantificar el tiempo. ¿Qué acumulan o qué cuentan los relojes electrónicos modernos?

- a) Átomos
- b) Electrones
- c) pulsos eléctricos
- d) fotones

7. El método que gozaba de mayor prestigio a principios del siglo XX para la determinación de la edad de la Tierra estaba basado en las leyes físicas del enfriamiento térmico. En las películas de detectives, cuando el detective mayor desea saber si alguien escapó de una casa o se escondió al verlos llegar, toca una taza de café que se encuentra en la mesa y se da cuenta que está caliente. Deduce que el malo de la película recién escapó o está escondido en la casa y que no puede estar muy lejos. En general la temperatura de cualquier objeto tiende a disminuir a medida que pasa el tiempo. De hecho hay fórmulas para calcular el tiempo que le toma a un objeto enfriarse hasta determinada temperatura. Al aplicar esta fórmula a un objeto del tamaño y propiedades de la Tierra, Lord Kelvin a mediados del siglo XIX calculó el tiempo que le tomaría a la Tierra pasar de un estado de fusión a la temperatura que actualmente tiene. Para esto Kelvin tuvo que suponer la temperatura de fusión de las rocas, algo que en ese tiempo no se conocía. ¿Cuál era la temperatura (en grados centígrados) que supuso Kelvin en su primera estimación de la edad de la Tierra?

- a) 500
- b) 1000
- c) 2,000
- d) 4,000

8. Con el descubrimiento de la radiactividad, el método de Kelvin y sus estimaciones perdieron autoridad. Se descubrió que las rocas en general contienen elementos radiactivos que están continuamente produciendo calor, por lo que la Tierra no es un objeto que simplemente se está enfriando desde un estado original de fusión, sino que posee fuentes internas de energía que no la dejan enfriarse tan rápido. Esto significaba que la Tierra podría tener una edad muy diferente a la calculada por Kelvin, pues su fórmula sólo se aplicaba a objetos

sin fuentes internas de calor. Después de todo los biólogos y geólogos tenían razón. ¿El descubrimiento de la radiactividad y sus efectos térmicos, aumenta o disminuye la edad calculada para la Tierra?

- a) Queda igual
- b) aumenta
- c) disminuye
- d) ninguna de las anteriores

9. La energía térmica que se produce en la Tierra por efecto del decaimiento de elementos radiactivos se libera cuando:

- a) el núcleo de un átomo explota
- b) el átomo pierde todos sus electrones
- c) se produce fusión nuclear
- d) se condensa el silicio

10. El descubrimiento de la radiactividad no sólo *echó por tierra* los cálculos de Kelvin, sino que también se convirtió en una herramienta para calcular la edad de la Tierra. Además del efecto térmico, la radiactividad misma es indicativa de que la composición química de las rocas cambia con el tiempo. Las radiaciones que emanan de los elementos o isótopos radiactivos son sólo parte del proceso que ocurre internamente. Unos elementos se transforman en otros y al hacerlo lo hacen violentamente, produciendo calor o movimiento. La roca se calienta un poco pero hablando estrictamente, ya no es la misma roca, pues tendrá menos Radio o Uranio, ambos radiactivos, y tendrá más Plomo y Helio como residuos del proceso. Entre más tiempo pase se acumulan más residuos o *hijos* de los elementos originales. Esta acumulación es exactamente análoga a la acumulación de arena en un reloj de arena, por lo que puede utilizarse para calcular el tiempo que llevan acumulándose en la roca. Esta es la base de los métodos modernos para fechar rocas. ¿Quién fue la primera persona que a principios del siglo XX realizó la primera determinación de la edad de una roca midiendo isótopos radiactivos?

- a) Becquerel
- b) Rutherford
- c) Holmes
- d) Kelvin

11. Cuando una roca se calienta puede perder los elementos gaseosos que se encuentran en su interior. Esto significa que al intentar calcular su edad a través de elementos gaseosos que son productos del proceso radiactivo, se obtendrá una edad más pequeña de la real, pues parecerá que hace menos tiempo que se han estado acumulando en su interior. Se puede dar el caso que la roca se funda completamente. En este caso la edad que se obtiene corresponde al tiempo desde que se fundió la última vez. Por ésta y otras razones se tiene mucho cuidado en la recolección de muestras que se utilizan para fechar. Por lo general se hacen muchas correcciones y com-

paraciones con diferentes elementos antes de que se considere que una determinación es confiable. La edad que actualmente se acepta para la Tierra es de:

- a) 3,500 Ma
- b) 4,600 Ma
- c) 6,400 Ma
- d) 64, 000 Ma

12. Las rocas terrestres más antiguas que se han encontrado en la Tierra tienen en realidad alrededor de un 10 % menos edad que la edad que se acepta para la Tierra. Esto significa que la Tierra volvió a fundirse después de su primera formación, o que las rocas de su primera formación se erosionaron completamente y se convirtieron en otras. ¿De dónde viene entonces el valor aceptado para la edad de la Tierra?

- a) la edad del manto
- b) la edad de meteoritos
- c) la edad del núcleo
- d) la edad de la Luna

13. Un reloj de arena puede medir tiempos pequeños con tal que su flujo sea lo suficientemente rápido. Se podría graduar un reloj de este tipo para medir periodos de segundos. Sin embargo, un reloj con estas características tendría el inconveniente de dejar de funcionar después de unos minutos, pues su depósito superior de arena se agotaría rápidamente. Algo parecido pasa con los relojes radiactivos. Si su vida media es muy pequeña se pueden medir fácilmente tiempos muy pequeños, pero no son de mucha utilidad para medir tiempos grandes, pues el material radiactivo después de alrededor de diez vidas medias prácticamente desaparece. El carbono 14 es más útil para fechar eventos que sucedieron hace:

- a) 5,000 años
- b) 50,000 años
- c) 500,000 años
- d) 5,000,000 años

14. Un reloj de arena puede medir tiempos muy grandes con tal que su flujo sea lo suficientemente lento. Se podría graduar un reloj de este tipo para medir periodos de varios días. Sin embargo, un reloj con estas características tendría el inconveniente de no ser muy preciso para medir periodos de segundos, pues su graduación estaría en días o en horas. Algo parecido pasa con los relojes radiactivos. Si su vida media es muy grande, se pueden medir tiempos muy grandes, pero no son de mucha utilidad para tiempos muy pequeños, puesto que en periodos pequeños se desintegra muy poco material radiactivo como para poder apreciar la disminución del isótopo que se desintegra o el aumento en la cantidad de los elementos residuales. El potasio 40 es más útil para fechar eventos que sucedieron hace:

- a) 5,000 años
- b) 50,000 años
- c) 500,000 años
- d) 5,000,000 años

15. No hace mucho se pensaba que los linajes del hombre y el chimpancé se habían separado hace 25 millones de años. Lo anterior se basaba en evidencias de fósiles encontrados en África. Sin embargo, ahora se sabe que la fecha es más reciente. La corrección vino de donde menos se esperaba, y no fue bien acogida por los paleontólogos. Los biólogos moleculares dieron la sorpresa anunciando que la separación de los linajes era mucho más reciente, para lo cual presentaron evidencias que nada tenía que ver con fósiles. Se basaron simplemente en análisis de sangre de humanos y chimpancés actuales. La base de su método es que con el tiempo y a medida que se separan las especies, las proteínas de la sangre van cambiando debido a mutaciones naturales. Determinaron la tasa de mutaciones y calcularon el tiempo necesario para que se produjesen. En este caso estaban estableciendo un nuevo reloj basado en proteínas, o más bien en cambios regulares en las proteínas. Vincent M. Sarich realizó estas determinaciones en 1967. Su nueva determinación para la edad de la separación fue más tarde confirmada por hallazgos de nuevos fósiles. ¿Cuánto hace que se separaron los dos linajes según su método?

- a) 1 Ma
- b) 2.5 Ma
- c) 5 Ma
- d) 10 Ma

16. Las mitocondrias son estructuras especializadas que se encargan de proveer de energía a las células. Son algo así como una célula dentro de otra célula. Poseen su propio ADN independiente del ADN nuclear de las células. Cuando un espermatozoides y un óvulo se unen, ambos contribuyen igualmente al ADN nuclear de la nueva célula. Sin embargo, las mitocondrias (junto con su ADN) de la nueva célula provienen sólo del óvulo. Por lo tanto, estudiar el ADN de la mitocondria nos permite conocer los ancestros maternos de cualquier individuo. Por ejemplo, hijos e hijas de una misma madre tienen las mismas mitocondrias. Las hijas pasarán las mismas mitocondrias a sus hijos e hijas y así sucesivamente, siempre por el lado materno. Si toda la humanidad viene de una misma madre entonces todos tenemos las mismas mitocondrias. De hecho resulta que el ADN de las mitocondrias de todos los humanos es el mismo, excepto por mutaciones que se van acumulando con el tiempo. Este proceso de acumulación de diferencias se comporta como un reloj. A más diferencias más lejano es el parentesco, lo cual se puede traducir al tiempo en que se tuvo un ancestro común. Hace algunos años se compararon las mitocondrias (su ADN) de grupos humanos de diferentes partes de la Tierra. Se llegó a la conclusión de que todos venimos de una madre común que vivió en África hace mucho tiempo. ¿Hace cuánto tiempo?

- a) 6,007 años
- b) 18,000 años
- c) 36,000 años
- d) 150,000 años

17. Hace unas semanas (en la primera semana de noviembre de 2003) hubo un eclipse de Luna. ¿En qué fase de la Luna ocurrió el eclipse?
- Luna llena
 - Luna nueva
 - cuarto menguante
 - cuarto creciente
18. En un principio, cuando se propuso que un meteorito de gran tamaño había caído a la Tierra en la época de la extinción de los dinosaurios, no se tenía ninguna señal de donde podría haber caído. Lo que se tenía era la evidencia de que había caído, pero no dónde. Una posibilidad era que hubiese caído en el mar. La preocupación de los geofísicos era que de haber caído en el mar, la probabilidad era grande de que se lo hubiese tragado el manto de la Tierra, pues el piso del océano se recicla, muy lentamente pero se recicla. Se sabe que en las zonas de subducción se hunde en el manto y en las zonas de dispersión sale del manto. ¿Suponiendo una velocidad de subducción de 5 cm/año, en 65 millones de años qué longitud de piso del océano desaparece en el manto en una zona de subducción?
- 32.5 km
 - 325 km
 - 3,250 km
 - 32,500 km
19. ¿Si el meteorito hubiese caído a 500 km al oeste de la costa de Acapulco, podríamos haberlo encontrado actualmente?
- sí, por supuesto
 - no, imposible
 - probablemente sí
 - probablemente no
20. Una teoría alternativa que explica la extinción de los dinosaurios se basa en que en la misma época hubo en la India una gran actividad volcánica. Cantidades enormes de lava se derramaron en el continente en un periodo relativamente corto, con consecuencias similares en la atmósfera que las producidas por la caída de un meteorito. ¿Cómo se le conoce en geología a este evento volcánico?
- Meridian Traps
 - Extinction Traps
 - Arizona Grand Traps
 - Deccan Traps
21. En la revista *New Scientist* (Oct. 4, 2003) se reportan los resultados de encuestas llevadas a cabo en 65 países por la organización *World Values Survey*, para evaluar el grado de felicidad de sus poblaciones. Evalúan lo que denominan el GNH (gross national happiness), a la manera como se evalúa el GNP (gross national product) en economía. Los países que tienen mayores GNP per cápita son los más ricos de la Tierra, y los que tienen mayores GNH per cápita son los más felices de la Tierra. ¿Qué país obtuvo el primer lugar en GNH en 2003?
- Portugal
 - México
 - Canadá
 - Nigeria
22. ¿Y qué país obtuvo el segundo lugar?
- Portugal
 - México
 - Canadá
 - Nigeria
23. Desde hace mucho tiempo se reconoció la correlación entre el color de la piel de los humanos y la latitud donde residen, o más bien donde residieron sus ancestros, pues en los últimos 500 años ha habido migraciones relativamente rápidas alrededor del globo. De alguna forma el color de la piel representa una respuesta evolutiva para la supervivencia. Sin embargo, no estaba del todo claro a qué se estaba respondiendo. Quedaba más o menos claro que a la radiación ultravioleta, pero no se sabía exactamente qué procesos estaban en juego que fueran tan importantes para la supervivencia. El cáncer de piel era el principal sospechoso. Sin embargo, el cáncer de piel por lo general se desarrolla después de que se ha alcanzado la madurez sexual, por lo que su impacto en la supervivencia de las poblaciones no sería de fuerte impacto. Además: ¿Qué ventaja tendría tener la piel blanca en latitudes donde se recibe poca radiación solar? Se trataría de una característica neutral. En los últimos años se han realizado avances que apuntan a que en cada caso existen ventajas reproductivas. Si el color de la piel es oscuro se está protegiendo la destrucción de sustancias que se ha probado tienen relación directa con la reproducción. ¿De qué sustancia se trata?
- vitamina D
 - folatos
 - hormonas reproductivas
 - vitaminas en general
24. Por otra parte, en latitudes donde se recibe poca radiación solar, si se tiene piel oscura no se logra sintetizar otra sustancia que se ha descubierto que tiene relación directa con la reproducción. De esta manera tener piel blanca en altas latitudes resulta en una ventaja. ¿De qué sustancia se trata?
- vitamina D
 - folatos
 - hormonas reproductivas
 - vitaminas en general

25. Se ha estimado que el volumen de sedimentos que ha acumulado el Río Colorado en su delta es de 75,000 km cúbicos. Si el delta se aproxima por un prisma de 100x200xespesor (km) ¿Cuál es el espesor promedio del delta?

- a) 3.7 m
- b) 37 m
- c) 370 m
- d) 3,700 m

- a) corrientes marinas más rápidas
- b) alta presión
- c) polvo en el ambiente
- d) mayor evaporación

Recepción del manuscrito: 10 de diciembre, 2003

Aceptación del manuscrito: 20 de febrero, 2004

26. Considerando el espesor calculado en la pregunta anterior y el hecho que el Río Colorado tiene 4 millones de años desembocando en el Mar de Cortés ¿Cuál es el espesor promedio de sedimentación por año?

- a) 0.1 mm
- b) 0.3 mm
- c) 1.0 mm
- d) 3.0 mm

27. ¿Cada cuándo te cortas las uñas de las manos? La velocidad de las placas tectónicas terrestres es, en promedio, de 5 cm por año. Esta es más o menos la misma razón de crecimiento de las uñas de los humanos. ¿A cuanto equivale esta cantidad por semana?

- a) 0.01 mm
- b) 0.3 mm
- c) 1.0 mm
- d) 3.0 mm

28. ¿Cuánto tardaría un continente que se mueva continuamente a 5 cm/año en darle una vuelta a la Tierra?

- a) un Ma
- b) diez Ma
- c) cien Ma
- d) mil Ma

29. En 1993 se decretó en México casi un millón de hectáreas como zona protegida en el Alto Golfo de California para proteger a la vaquita marina. Esto equivale a un cuadrado de: ¿Cuántos km de lado?

- a) 100
- b) 70
- c) 10
- d) 1000

30. En el último evento de vientos de Santa Ana (oct-nov 2003) se confirmó una disminución de la temperatura del mar en las costas de Baja California, contrariamente a lo que podría esperarse, pues el aire está mucho más caliente que en condiciones normales. La disminución en un evento de Santa Ana fuerte puede llegar a un grado centígrado. El fenómeno puede explicarse porque existen factores que quienes no estamos familiarizados con el fenómeno no tomamos en cuenta. ¿De qué factores se trata?