

Tsunamis, sismos y huracanes y la XI Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra en Baja California

Enrique Gómez Treviño
División de Ciencias de la Tierra

CICESE
Ensenada, Baja California, México

ATMÓSFERA VIRTUAL

Algunos fenómenos naturales, tales como los sismos, tsunamis y huracanes, ya no son un misterio, aunque seguimos temiendo sus efectos y aún no podemos predecir su ocurrencia con suficiente confianza. Podemos, sin embargo, modelarlos matemáticamente en una computadora. Nuestros modelos son cada vez más parecidos a los fenómenos reales, y son muy útiles porque podemos analizar por adelantado diferentes escenarios y aprender de ellos. Podemos simular miles de posibles eventos y analizar sus efectos, en una especie de juego virtual en donde no hay limitaciones físicas. El que no haya limitaciones físicas no significa que en el juego pueda suceder cualquier cosa. De hecho sí hay limitaciones, pero en la forma de reglas del juego. Estas reglas son virtuales en el sentido que operan dentro de la computadora, pero se refieren al mundo real. Se trata de fórmulas o relaciones matemáticas entre las variables que definen el modelo. Por ejemplo, entre la presión, temperatura y densidad del aire en un pequeño volumen de la atmósfera (ley de los gases), entre las variables de volúmenes contiguos (la ecuación diferencial con respecto a las coordenadas), así como entre todas las variables y el tiempo (el término diferencial con respecto al tiempo). Una fuente virtual de calor y una variable más para el grado de evaporación del agua y completamos el cuadro: una atmósfera virtual que se comporta, en términos generales, en forma similar a la atmósfera real, con huracanes y todo.

NIVELES DE CONOCIMIENTO

Simular científicamente un fenómeno implica hacerlo desde algo que está antes o detrás del

fenómeno mismo, o sea desde otro nivel. Cuando Newton simuló el sistema solar y reprodujo las elipses de Kepler, lo hizo desde el nivel de su ley de la gravitación universal y de sus otras tres famosas leyes. Todas las regularidades que observó Kepler en el movimiento de los planetas aparecen en la simulación de Newton como por arte de magia. Su teoría reprodujo lo conocido y aún predijo lo no conocido, estableciéndose como la teoría ejemplar digna de ser imitada por las demás disciplinas. Y así fue. Le siguieron series y series de leyes relacionando diferentes órdenes de fenómenos: las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz, al principio contradictorias pero finalmente reconciliadas, la teoría atómica de la materia, la teoría cinética de los gases, la teoría de la evolución, la teoría de la relatividad, la teoría del big bang y muchas otras más. Como en el caso de Newton, estas teorías consisten de un pequeño número de reglas o principios de los cuales se derivan innumerables comportamientos de fenómenos en determinado ámbito natural. Las teorías representan lo que está antes o detrás de los fenómenos.

TEORÍA Y “TEORÍA”

En ciencia una teoría es conocimiento comprobado; no es así en el lenguaje común, en donde llamamos teoría al conocimiento especulativo que no tiene aplicación. Esta ambivalencia de la palabra ha confundido y sigue confundiendo a muchos estudiantes y al público en general, sobre todo cuando se discute la teoría de la evolución, juzgándola como especulativa sin más ni más, aludiendo a que se trata simplemente de una

“teoría”. Nada más lejos de la verdad. La teoría de la evolución en biología está en la misma categoría que la teoría de la tectónica de placas en las ciencias de la Tierra. Darwin descubrió lo que está detrás del asombroso acople que existe entre especies biológicas y hábitat. ¿Qué está detrás?: variabilidad y selección natural. Los pioneros de la tectónica de placas, por su parte, descubrieron lo que está detrás de sismos y volcanes, así como de la formación misma de los continentes y de las cuencas oceánicas. ¿Qué está detrás?: las placas y sus interacciones.

DISCERNIMIENTO LIMITADO

A los humanos no se nos da descubrir o inventar teorías verdaderas a la primera. Esto es, no se nos da espontáneamente ver lo que está detrás de lo que vemos. Eso sí, somos muy buenos para hacer o imaginar “teorías” a la menor provocación. Esta habilidad que tenemos explica la cantidad y variedad de explicaciones que las diferentes culturas han producido sobre lo que hay detrás de los fenómenos. Todavía conservamos esta habilidad. Pregunten a las primeras tres personas que encuentren si piensan que hubo algo detrás de las últimas elecciones presidenciales, y que den su versión al respecto. Primero, las tres versiones serán diferentes y, segundo, estarán basadas en suposiciones y apreciaciones personales difíciles de comprobar. La verdad existe, pero no es fácil conocerla. En la ciencia nos pasa lo mismo. Nos cuesta mucho trabajo ver más allá de lo cotidiano, ya sea hacia atrás en el tiempo como en la geología, hacia lo muy pequeño como en la física y la química o hacia lo más grande como en la astronomía. ¿Quién podría haber visto, por ejemplo, que detrás del agua, un líquido, están dos gases?

Tampoco se nos da espontáneamente descubrir que existe regularidad detrás de la irregularidad. Por ejemplo, que detrás de la formación de una nube, los diferentes entes que intervienen se comportan de acuerdo a reglas matemáticas precisas. ¿Podríamos, observando la formación de una nube, descubrir las leyes de la termodinámica, las de los gases, la de la gravedad, las tres de Newton y las de la electricidad? No, no podríamos. No tenemos esa capacidad de discernimiento. Ahora sabemos que lo que está en juego es la combinación de todas estas reglas o leyes actuando al mismo tiempo. Por eso le tomó a la

humanidad mucho tiempo para siquiera sospechar que existían reglas detrás de estos fenómenos. Hubo que descubrir que aislando diferentes aspectos se podían encontrar reglas particulares, y que combinando las diferentes reglas se podía modelar los fenómenos complejos. Dicho sea con todo respeto, Newton tuvo mucha suerte porque el sistema solar es mucho más simple que cualquier huracán.

CONOCIMIENTO ASINTÓTICO

No obstante que las teorías consisten de conocimientos comprobados, las reglas o leyes que contienen pueden sufrir modificaciones. Más que verdades absolutas, la ciencia es un proceso en el que unas teorías se suceden a otras. Esto ha propiciado que en algunos círculos se considere que la ciencia nunca podrá encontrar la verdad, argumentando que ella misma se contradice cuando cambia una teoría por otra. Así, los conceptos de tiempo, espacio, masa, gravitación, por citar algunos, han ido cambiando según se suceden las teorías, y no hay garantía de que no cambien en el futuro. Entonces, por ejemplo, ¿qué es la gravitación? ¿Lo que era antes, lo que es ahora, o lo que será en el futuro? De cierta manera son convincentes los argumentos de que nunca llegaremos a conocer las cosas como realmente son. Sin embargo, la situación no es tan simple y mucho menos sin esperanza. Lo que pasa es que el éxito sin precedente que tuvieron teorías como las de Newton nos hizo pensar, allá por el siglo XIX, que efectivamente habíamos llegado al final de lo que existe detrás de los fenómenos que observamos. Con el descubrimiento de nuevos hechos o fenómenos que no se contemplaban en las teorías anteriores, hubo que modificar o crear enteramente nuevas teorías para acomodar lo conocido. De la idea de teorías absolutas, pasamos al de teorías imperantes o paradigmas aceptados, que pueden cambiar si se descubren hechos que no estaban considerados. Por lo general, al menos últimamente, las teorías inadecuadas no son enteramente descartadas, sino que siguen siendo válidas y aplicables para las condiciones en que fueron originalmente desarrolladas. A la fecha, este proceso de la ciencia ha sido convergente. Tal vez nunca lleguemos a conocer todo lo que está detrás de lo que vemos. Lo que sí sabemos es que vamos en la dirección correcta y que nos estamos acercando cada vez más.

TEORICULTURA Y AGRICULTURA

Podríamos llamar *teoricultura* al cultivo de esta actividad de hacer teorías. Así como la agricultura propició un incremento sin precedentes en la producción de alimentos, así la teoricultura propició un incremento sin precedentes en la producción de conocimientos. Antes de la agricultura los cazadores-recolectores estaban limitados por lo que se producía naturalmente. De modo similar, antes de la teoricultura, la producción de conocimientos estaba limitada por lo que se acumulaba naturalmente por la experiencia. La agricultura no sólo dedicó espacios y tiempo a la producción de una especie determinada, sino que además se propuso mejorar las características de las variedades seleccionadas. Por su parte, también podemos decir que la teoricultura no sólo dedicó espacios y tiempo a la producción de conocimientos, sino que además se propuso mejorar las teorías que iba proponiendo. Como se ve, hay cierto paralelismo entre las dos actividades que merece explorarse un poco más. Como veremos en el siguiente párrafo, la analogía finalmente se rompe, pero es precisamente en el punto de divergencia donde se iluminan mejor las características únicas de la teoricultura.

Un paralelo más estriba en que ambas actividades tuvieron que inventarse, o si se quiere, descubrirse. Ninguna de las dos se da espontáneamente en los humanos. Ambas requieren de observación atenta, de reflexión, de experimentación y de selección de características deseables. Por ejemplo, los cereales (maíz, trigo y arroz) que cultivamos actualmente fueron seleccionados por milenios con el criterio del tamaño de grano. En cada ciclo agrícola se seleccionaban los mejores granos, y eran precisamente esos los que se sembraban en el siguiente ciclo, con el resultado de que continuamente se mejoraba la cosecha. De forma similar, las teorías que tenemos actualmente se lograron a lo largo de muchos siglos de manera similar: proponiendo algo primero, discutiendo y observando después, reflexionando y observando de nuevo, buscando siempre mejorar la explicación, y por ende perfeccionar el conocimiento de lo que está detrás de los fenómenos. Ahora bien, como se sabe, la agricultura fue descubierta independientemente por diferentes pueblos, en diferentes continentes y en

diferentes tiempos. No así la teoricultura, la cual es mucho más reciente y al parecer su nacimiento fue más exclusivo. Nació una sola vez y en un solo lugar. Aquí termina el paralelismo entre ambas actividades y se ilumina la teoricultura como un descubrimiento único en la historia de la humanidad.

TEORICULTURA DE UNO MISMO

¿Porqué la teoricultura, a diferencia de la agricultura, no fue descubierta independientemente por diferentes pueblos, en diferentes continentes y en diferentes tiempos? ¿En donde está la dificultad? La dificultad no puede estar en la capacidad inquisitiva de las diferentes culturas para preguntarse el origen de los fenómenos. Invariablemente todas se lo preguntaban. Tampoco la dificultad puede estar en la capacidad imaginativa para responderse las preguntas, pues como se sabe, invariablemente tenían explicaciones para todo. La capacidad y todo lo necesario para realizar la actividad ya estaba en funcionamiento. De hecho, podría decirse que todas las culturas de mundo han practicado desde siempre la teoricultura, pero que lo hacían con las *plantas* equivocadas. Las plantas eran mitos y leyendas antropomórficas que le daban identidad a las culturas mismas, por lo que una vez instaladas en el ego colectivo, era muy difícil o imposible escapar de sus efectos. Y ahí está la dificultad. Así como uno se apega a su ego, a sus razones y demás, así los pueblos se apegan a lo suyo. El problema no es tanto el apego en sí, sino el apego a qué. Y en este caso se trata nada menos que del apego a la “teoría” que hizo uno mismo de sí mismo. El sincretismo religioso es un ejemplo de las sutilezas a las que se puede llegar para mantenerse sin cambiar.

TEORICULTURA POR REDUCCIÓN AL ABSURDO

Las religiones y gobiernos centralizados y jerarquizados, antaño fundidos en una sola institución, nunca han sido muy tolerantes de las ideas extrañas. Para plantear alternativas a lo establecido es preciso que exista cierto grado de libertad política, económica y religiosa, por lo menos en buena parte de la población. También es necesario que las autoridades políticas y religiosas no se sientan amenazadas por la propagación de ideas

extrañas. Estas condiciones se dieron en la antigua Grecia varios siglos antes de nuestra era. A los filósofos que iniciaron el cambio se les conoce actualmente como los jónicos y también como los presocráticos. Conocían no sólo su cultura sino también la de muchos otros pueblos en el Mar Mediterráneo. Se dieron cuenta que las diferentes mitologías de los pueblos que visitaban en sus correrías no podían ser ciertas al mismo tiempo, pues tenían muy poco en común. Había mucha similitud, sí, pero entre las condiciones locales de existencia de los diferentes grupos humanos y sus mitologías. Y ahí estaba la clave para quien pudiese descifrarla, y ellos la descifraron. La conclusión no podía ser otra que todas eran inventadas y que obedecían a las condiciones locales de existencia de los diferentes pueblos. Tuvieron la suficiente humildad y grandeza de espíritu para aceptar que aún su propia mitología fue inventada en tiempos inmemoriales. Y eso era mucho aceptar, pues en esa época el pueblo griego dominaba ampliamente el Mediterráneo.

Darse cuenta de que algo es falso es una cosa, y otra muy diferente proponer una alternativa. Las deidades estaban descartadas por reducción al absurdo, pero quedaba la parte más difícil, la parte creativa. ¿Qué proponer en su lugar? El primer grupo o escuela en proponer algo fue la de Tales de Mileto. Por primera vez en la historia de la humanidad, estos griegos, libres de dogmas intelectuales y religiosos, rechazaron las explicaciones en términos de mitos y dioses caprichosos, y propusieron las suyas propias, basadas en observaciones y reflexiones, en términos de causas y relaciones entre los fenómenos mismos. Fueron los primeros en “descubrir” la naturaleza, y con ello realizaron una revolución sin precedentes en la historia del pensamiento. Civilizaciones muy avanzadas en otros sentidos en Egipto y China nunca dieron ese paso. Tampoco lo dieron en América las civilizaciones inca, azteca o maya.

¿SON LAS TEORÍAS MEJORES QUE LOS MITOS?

La diferencia histórica que hizo que los mitos fueran reemplazados por las teorías no fue tanto que los primeros fueran falsos y las últimas verdades. Los mitos en realidad eran intelectualmente más

elaborados y más bellos, y las primeras teorías demasiado simples y burdas. Sin embargo, la ventaja de estas últimas es que por su misma naturaleza, podían evolucionar para irse ajustando a la realidad, descartando las que no cumplieran. No así los mitos, que no pueden compararse entre sí o evolucionar para acercarse a los fenómenos.

Una de las características de ese tiempo fue la discusión de prácticamente todos los temas discutibles, y de todas las teorías posibles sobre todos los aspectos de la realidad.

La explosión de una estrella podría servirnos de metáfora a lo que sucedió en la sociedad griega de Tales de Mileto hace alrededor de 2,600 años. Después de millones o miles de millones de años, una estrella originalmente compuesta de sólo hidrógeno y helio, explota y da lugar al nacimiento de todos los elementos químicos que existen en la Tierra. La escuela de Tales y quienes le siguieron fue la explosión que dio nacimiento a todas las teorías que existen actualmente en la Tierra, desde la teoría atómica de la materia hasta el origen del universo, pasando por la teoría de la evolución y el origen de las enfermedades. Algunas eran muy ingenuas desde nuestra perspectiva actual, pero todas abordaban los fenómenos desde el punto de vista de causas o fuerzas naturales, buscando las reglas detrás de los fenómenos. Por primera vez en la historia de la humanidad se separaba el mundo natural del sobrenatural.

LA PRIMERA ATMÓSFERA VIRTUAL

Nuestra atmósfera virtual en computadora está mucho muy lejos de la primera explicación de los presocráticos, de que los remolinos y tifones se debían a que las nubes atrapaban aire, el cual siendo muy fino y ligero, terminaba por escaparse violentamente. Sin embargo, ambas están en la misma dirección. Había escuelas rivales que tenían otras explicaciones, pero siempre manteniéndose en el mundo natural. Lo sobrenatural estaba superado. Sabían que sus formas de interpretar el mundo eran las verdaderas, y veían como a niños a los extranjeros y a sus mismos compatriotas que imaginaban deidades actuando por todos lados. Se sabían imparciales. Los temblores, por ejemplo, ya no eran producto de la furia de Poseidón, sino del escape

violento de aire que se acumulaba en cavernas subterráneas. Ahora sabemos mejor, pero seguimos en la misma línea marcada por ellos.

LAS TEORÍAS SE VUELVEN MITOS

Sería exagerado decir que la sociedad griega de ese tiempo compartía en su totalidad las concepciones de los presocráticos. En realidad se trataba de pequeños grupos y escuelas que coexistían más o menos toleradas por el resto de la sociedad. Esta coexistencia duró varios siglos, con unas teorías refutando a otras y logrando con el tiempo resultados asombrosos. Resulta también asombroso que en la actualidad, después de tanto tiempo, sigan coexistiendo ambas formas de pensar, y que una no haya desplazado por completo a la otra. Es como si la mente se resistiera a que le quiten su platillo favorito, y acepta las teorías sólo como una medicina amarga.

Tal vez el gusto por los mitos sea producto de nuestra evolución. Tal vez la sobrevivencia dependió en un tiempo de la cohesión social que ofrecían los mitos a los primeros grupos humanos. Es posible que en su momento esto fue determinante y que aún sigue entre nosotros, en nuestros genes. Tal vez esto también explique porqué las ciencias no son las materias más populares en las escuelas, y que se empieza a aprender ciencia simplemente memorizando lo que se enseña. También podría explicar que nosotros mismos, pudiendo enseñar teorías, terminamos siempre por enseñar mitos, y no es lo mismo. Enseñamos teorías como si fueran mitos o, lo que es lo mismo, enseñamos mitos con piel de teorías.

LOS GANADORES DE LA XI OLIMPIADA

Correspondiendo los tres primeros lugares a alumnos del profesor Manuel Armando Gómez Piñón del COBACH La Mesa, Tijuana.

Primer Lugar: Bladimir García Murrieta

Segundo Lugar: Ásael Antón Antón

Tercer Lugar: Saúl Sotelo Gallardo

García Murrieta se hizo acreedor a un premio de mil 500 pesos en efectivo; Antón Antón ganó mil 250 pesos; y para Sotelo Gallardo fueron mil pesos. A cada uno se le entregó, además, una medalla. Para el maestro asesor de los ganadores, en este caso el maestro Gómez Piñón, fueron tres premios: mil pesos por el primer lugar, 750 y 500 pesos para segundo y tercero, respectivamente.

En otras ocasiones, alumnos del maestro Gómez Piñón se han llevado los primeros lugares; en esta ocasión, algunos de sus estudiantes lo reconocieron como un profesor que siempre los anima a seguir adelante, a confiar en sí mismos y a participar en estas olimpiadas con el único fin de adquirir nuevos conocimientos

EL EXAMEN

XI Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra

Unión Geofísica Mexicana, A.C.

CICESE

Sábado 26 de noviembre de 2005

Ensenada, Baja California

1. Michael Dobbs, sobreviviente en la isla de Sri Lanka del tsunami del 26 de diciembre de 2004, deseando saber la hora exacta a la que llegó el tsunami a la ciudad de Matara, buscó y finalmente encontró un reloj en una de las casas afectadas, el cual dejó de funcionar a las 9:12 a.m. (9 horas y 12 minutos). Por otro lado, el informe del servicio sismológico informó que el sismo ocurrió a las 6:59 a.m. hora local de Sri Lanka (6 horas y 59 minutos). ¿Cuánto tardó el tsunami en llegar de un lugar al otro, en horas?

a) 2.22 b) 2.12 c) 2.13 d) 2.11

2. La isla de Sumatra es alargada con dimensiones un poco mayores que las de la península de Baja California. Tiene alrededor de 300 km de ancho,

extendiéndose más o menos 800 km tanto al sur como al norte del ecuador. El epicentro del sismo se localizó:

- a) al este de la parte norte de la isla
- b) al este de la parte sur
- c) al oeste de la parte sur
- d) al oeste de la parte norte

3. Estimar a dos cifras significativas la distancia, en un globo terráqueo o en un mapa, entre el sur de la isla de Sri Lanka y el lugar del epicentro del sismo que causó el tsunami.

- a) 160 km b) 560 km
- c) 1,060 km d) 1,600 km

4. Con los datos anteriores se puede estimar la velocidad del tsunami. La velocidad es, en km/h

- a) 721 km/h b) 271 km/h
- c) 127 km/h d) 327 km/h

5. Estimar a dos cifras significativas la distancia entre el lugar del epicentro del sismo de Sumatra del 26 de diciembre y la Cd. de Río de Janeiro, Brasil. Hacer la estimación a través del sur de África. De preferencia utilizar un globo terráqueo porque los mapas por lo general distorsionan las distancias para puntos que se alejan del ecuador. Se sugiere considerar que la circunferencia de la Tierra ($C=2\pi R$) es aproximadamente 40,000 km. Si se divide esta cantidad entre 360 grados, se obtiene 111 km/grado. Con una hoja de papel o con un hilo, medir por segmentos (siempre en el mar) la distancia requerida. Una vez que se tenga el recorrido completo, colocar la hoja o el hilo sobre el ecuador, tomando como origen el meridiano cero. Los grados resultantes se multiplican por 111 km/grado y se tiene la distancia en km. ¿Cuál es esta distancia?

- a) 12,000 km b) 6,000 km
- c) 22,000 km d) 15,000 km

6. Hacer lo mismo para el puerto de Manzanillo, Colima, México. En este caso el camino efectivo más cercano es por el sur de Australia (ver la animación global del tsunami). ¿Cuál es la distancia?

- a) 12,000 km b) 21,000 km
- c) 15,000 km d) 35,000 km

7. El tsunami (ojo: se dice tsunami, no surimi) del sismo de Sumatra del 26 de diciembre fue un fenómeno global que afectó de una u otra forma a poblaciones costeras alrededor de todo el mundo (ver la animación global). En Brasil, si bien no hubo decesos, el agua llegó a inundar casas de pescadores cerca de las playas. Seguramente los pescadores y sus familias se enteraron a través de los medios de comunicación sobre los efectos devastadores del tsunami en el Océano Índico, sin imaginarse que en algunas horas la ola llegaría hasta Brasil. Con la velocidad estimada en la pregunta 4 calcular el tiempo en horas que le tomó al tsunami llegar a Brasil por el sur de África.

- a) 12 horas b) 15 horas
- c) 16 horas d) 21 horas

8. En general, la altura de los tsunamis en un punto particular de la costa, depende no sólo de la distancia y de la magnitud del evento, sino también de condiciones locales como la pendiente del fondo marino cerca de la costa. También influye la dirección de la ola, así como la forma particular de entrada y salida del agua en el caso de puertos con entradas estrechas. Manzanillo es uno de esos puertos en donde por las condiciones locales estos fenómenos se tienden a amplificar. De hecho el tsunami causó erosión en el puerto por la entrada y salida de olas anormalmente altas muchas veces al día, particularmente a la hora de marea alta. En algunos informes encontrarán que en Manzanillo el tsunami alcanzó más de 1 m de altura (medida de mínimo a máximo). ¿Cuál fue la altura reportada?

- a) 1.6 m b) 2.2m
- c) 2.6 m d) 6.2 m

9. Aunque se esperaba un efecto más o menos fuerte en Manzanillo, el reporte de los primeros días que se difundió a nivel internacional estaba equivocado, pues no se trataba de metros sino de pies (el error no lo cometimos los mexicanos, se cometió en la central internacional a donde llegan automáticamente vía satélite datos de todo el mundo). Convirtiendo a pies lo reportado en metros la altura es de:

- a) 2.6 m b) 5.2 m c) 0.79 m d) 6.2 m

10. Con la velocidad del tsunami estimada en la pregunta 4 calcular el tiempo en horas que le tomó al

tsunami llegar a Manzanillo por el camino efectivo más corto (por el sur de Australia).

- a) 29 horas b) 23 horas
c) 19 horas d) 15 horas

11. En el mundo existen muchas estaciones que registran continuamente el nivel del mar. Las variaciones principales se deben al efecto diario de las mareas, las cuales son causadas por la Luna y el Sol. En el registro del nivel del mar en la estación de Arrabal do Cabo, Río de Janeiro, Brasil, se pueden observar estas variaciones para días antes y después del sismo. Se puede observar que el efecto del tsunami se suma o se resta, según sea el caso, a las variaciones de la marea. Estimar la variación debida al tsunami en centímetros.

- a) 15 b) 35 c) 55 d) 95

12. Por lo general es difícil a simple vista separar los efectos en la gráfica de los dos tipos de fenómenos. Por ello es que los especialistas diseñan formas para filtrarlos o separarlos y así estudiar a cada uno por separado. En este caso se trata de una simple resta de los dos efectos. En el registro filtrado se puede apreciar claramente no sólo el efecto de la amplitud sino también el de la duración del efecto del tsunami. Se puede apreciar que no se trata de una sola llegada de la onda, sino que el mar sigue oscilando por muchas horas. Estimar en el registro filtrado el número de horas que le tomó al mar volver a su movimiento normal anterior al tsunami.

- a) 36 b) 17 c) 9 d) 6

13. En el registro filtrado de la estación de Manzanillo realizado por Modesto Ortiz del CICESE, se puede observar con mayor claridad la altura máxima (pico a pico) del tsunami de Sumatra de 2004. Según se reporta en este estudio la altura máxima se alcanzó varias horas después del primer arribo del tsunami. ¿Cuántas horas?

- a) 3 b) 6 c) 8 d) 11

14. ¿Cuál fue la altura máxima que alcanzó el tsunami en San Diego?

- a) 2 cm b) 12 cm c) 22 cm d) 62 cm

15. ¿Cuál fue la altura máxima que alcanzó el tsunami en Cabo San Lucas, Baja California Sur?

- a) 24 cm b) 42 cm c) 12 cm d) 1 cm

16. ¿De que magnitud fue el sismo de Sumatra del 26 de diciembre de 2004?

- a) 7 b) 8 c) 9 d) 10

17. ¿En que país ocurrió el sismo más grande que jamás se haya registrado con instrumentos?

- a) Estados Unidos b) Japón
c) Indonesia d) Chile

18. Un tsunami es un tren o serie de ondas u olas en el mar que se producen por perturbaciones verticales en la columna de agua en el océano. Estas perturbaciones pueden ser producidas por sismos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra o incluso por meteoritos. En el caso de sismos el efecto no es tanto producido por las vibraciones mismas del temblor, sino por un desplazamiento efectivo del fondo marino, ya sea hacia arriba o hacia abajo. El agua en superficie tiende por gravedad a nivelarse a sí misma, pero no lo puede hacer sin perturbar las áreas adyacentes, y así las adyacentes con las otras adyacentes, etc... y en menos que canta un gallo ya se formó una ola viajera. Si la perturbación es suficientemente rápida y comprende un área considerable la incipiente ola se convierte en un tsunami. La palabra tsunami es de origen japonés y está compuesta de dos vocablos: "tsu" y "nami", los cuales significan, respectivamente:

- a) sube y baja b) puerto y ola
c) ola y alta d) destrucción y ola

19. Las olas que se ven todos los días a lo largo de las costas de California y de la Península de Baja California se producen por el efecto del viento mar adentro en el Océano Pacífico. El ritmo de las olas depende del régimen de vientos y puede variar, pero cada región tiene un ritmo más o menos regular que se considera normal para esa parte del planeta. En el caso de Baja California y California: ¿Cuántas olas llegan normalmente a la playa cada minuto?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 6

20. Una ola de tsunami difiere en muchos sentidos de una común producida por el viento. Una de las diferencias es la frecuencia con que llegan a la playa. La creencia general es que se trata de una sola ola: el tsunami. Sin embargo, en realidad el mar sigue oscilando más o menos regularmente por un tiempo y con cierto ritmo, y en muchas regiones la primera ola no es la más alta. ¿Cuál es la frecuencia típica de un tsunami?

- a) una ola por hora b) 10 olas por hora
- c) 20 olas por hora d) 30 olas por hora

21. Tsunamis con gran poder destructivo no son muy comunes. Se estima que ocurren sólo alrededor de 6 cada 100 años en todo el planeta. Esto significa que en promedio en la Tierra ocurre un tsunami de gran magnitud cada determinada número de años. ¿Cada cuántos años?

- a) 6 b) 12 c) 17 d) 23

22. Las olas además de caracterizarse por su frecuencia también poseen una longitud de onda característica. ¿Cuál es la típica longitud de onda de las olas comunes que llegan a las costas de Baja California?

- a) 1000 m b) 500 m
- c) 400 m d) 100 m

23. ¿Cuál es la longitud de onda típica en alta mar de un tsunami?

- a) 700 km b) 700 m
- c) 7.2 km d) 700 pies

24. Estamos tan acostumbrados a ver que las olas que llegan a la costa lo hagan perpendicularmente a la playa, que por lo general lo damos por un hecho, esto es, por algo que no requiere de ningún análisis ni explicación. Sin embargo, también es un hecho que de alta mar llegan olas en todas las direcciones, por lo que debe haber algo que las haga alinearse para terminar perpendicularmente a la playa. Ese algo es un comportamiento propio de las ondas que las hace cambiar de dirección en determinadas circunstancias. ¿De qué fenómeno se trata?

- a) reflexión b) refracción
- c) difracción d) normalización

25. Si bien en muchos sentidos los tsunamis y las olas comunes difieren en algunos aspectos, ambos fenómenos necesariamente tienen mucho en común, pues después de todo se trata en los dos casos de ondas en el mar. Una de las cosas que tienen en común es que cuando se acercan a la costa su velocidad cambia con respecto a la que tenían en alta mar. ¿Aumenta o disminuye la velocidad? O tal vez no cambia.

- a) no cambia b) aumenta
- c) disminuye d) no aplica

26. Para saber cómo varía la velocidad de una ola al acercarse a la costa, se le podría observar desde un acantilado, seguirla en una embarcación u observarla desde un avión. Sin embargo, para el caso que nos ocupa no es necesario nada de esto, aunque no sería mala idea hacerlo alguna vez. Una de las cosas más fascinantes de la ciencia es conectar unos hechos con otros, de tal forma que conociendo uno de ellos se puedan derivar o deducir los demás. De hecho eso es lo que es la ciencia. La ciencia no es simplemente un conjunto de conocimientos aislados que hay que aprender uno por uno. El poder de la ciencia deriva de que esos conocimientos están organizados, y de que uno puede deducir, partiendo de pocos principios o leyes, hechos conocidos y por conocer, sin tener que verlos directamente. O sea que podemos predecir. El caso que nos ocupa es muy simple pero ejemplifica esta conexión. El saber, por haberlo observado, que las olas llegan perpendicularmente a la playa a pesar de que se aproximan a ellas de todas las direcciones, implica una de las tres opciones:

- a) que su velocidad aumenta al acercarse a la playa,
- b) que su velocidad disminuye, o bien
- c) que no hay variación.

27. Para reconocer la conexión imaginen una ola que se aproxima oblicuamente a la playa, y consideren las opciones. En una de ellas la ola gira para alinearse a lo largo de la playa, en otra para dirigirse normal o perpendicularmente a la playa, y en la otra no gira. Obviamente la respuesta correcta es la que corresponde al caso que lleva a que las olas lleguen normalmente a la costa. ¿Cuál de las opciones conduce al hecho real?

- a) aumento de la velocidad
- b) disminución de la velocidad
- c) misma velocidad

28. En cualquier fenómeno existen cantidades que cambian y otras que no cambian. En el caso de las olas del mar ¿Cuál de las siguientes variables o cantidades no cambia en el proceso de pasar de alta mar a la playa?

- a) altura b) frecuencia
- d) longitud de onda d) velocidad

29. Al acercarse una ola de alta mar a la playa su longitud de onda:

- a) disminuye b) aumenta
- c) no varía d) no aplica

30. Los cambios que sufren las olas al pasar de alta mar a la playa se deben a que:

- a) los vientos en la playa son diferente
- b) la profundidad del mar disminuye
- c) el efecto de la Luna es mayor en la playa
- d) la playa es de arena

31. Para muchos fines prácticos sería muy útil tener una fórmula o receta que nos dijera cómo se combinan las diferentes cantidades o variables que intervienen en la caracterización de una ola. Esta fórmula existe y fue obtenida más de 100 años aplicando las leyes de Newton al movimiento de perturbaciones en el agua. Este tipo de fórmulas no se encuentran experimentalmente o con base en observaciones. Se descubren haciendo análisis matemáticos del comportamiento de una perturbación en el mar. Del análisis resulta que en la superficie del agua se pueden propagar ondas y se despeja la velocidad. La velocidad queda expresada en términos de la gravedad, de la longitud de onda de la ola y de la profundidad del mar. En la fórmula aparece una función trigonométrica parecida a las que se ven en la preparatoria, pero con una “h” al final que significa hiperbólica. De qué función se trata:

- a) senh b) cosh c) tanh d) csch

32. A pesar de que los científicos tienen fama de que les gustan las cosas complicadas, en realidad siempre buscan simplificarlas, no sólo para explicarlas a los demás, sino principalmente para entenderlas ellos mismos. Como ejemplo tenemos que raramente utilizan la fórmula mencionada anteriormente, prefiriendo utilizar dos formas particulares de la misma que se aplican en situaciones diferentes. La

fórmula general es válida para todas las profundidades y longitudes de onda, pero se reduce a una forma muy simple cuando se considera que el mar es muy profundo. La fórmula resultante es:

(velocidad)=(1.6)x(periodo). Con el periodo en segundos la velocidad resulta en m/s. Si el periodo de la ola es de 10 s: ¿Cuál es su velocidad en km/h?

- a) 28 b) 38 c) 48 d) 58

33. La fórmula anterior no nos dice cuál es la longitud de onda de la ola. Para saber la longitud de onda podemos aplicar la fórmula: (longitud de onda)=(velocidad)x(periodo), la cual es válida en general para todas las ondas independientemente de la profundidad del mar (esta fórmula es válida en general pues es una versión de la bien conocida $d=vt$). Utilizar la velocidad calculada en la pregunta anterior y el periodo supuesto de 10 s para calcular la longitud de onda. ¿Cuál es la longitud de onda?

- a) 1.6 m b) 16 m c) 160 m d) 1,600 m

34. Aunque a simple vista parece que una ola transporta agua en la dirección en que se mueve, en realidad el agua no se mueve tanto como parece. El agua se mueve hacia arriba y hacia abajo, y también hacia adelante y hacia atrás, como lo pueden comprobar observando un objeto flotando entre las olas (existe flujo neto de agua hacia la playa sólo cuando las olas empiezan a romper). En las olas el agua vuelve a su mismo lugar después de cada periodo. En su vaivén vertical y horizontal el agua describe una figura geométrica muy familiar en el caso que nos ocupa. Para las olas comunes en alta mar: ¿De qué figura geométrica se trata?

- a) trébol b) corazón
- c) círculo d) cuadrado

35. La figura geométrica que describe el agua en la superficie también se reproduce a profundidad, pero su tamaño es cada vez más pequeño según aumenta la profundidad. La profundidad a la que el agua casi no se mueve depende de la longitud de onda de la ola. A mayor longitud de onda mayor es la profundidad a la que se sigue moviendo el agua. Por convención se escoge una profundidad a la que ya no hay movimiento como una fracción de la longitud de onda. ¿Qué fracción?

- a) $\frac{1}{2}$ b) $\frac{1}{3}$ c) $\frac{1}{4}$ d) $\frac{1}{5}$

36. En la pregunta 32 se determinó la longitud de onda de una ola de 10 s de periodo para el caso de un océano muy profundo. A este tipo de olas se les conoce como olas de agua profunda, porque las perturbaciones prácticamente no llegan al fondo del océano. Según el criterio de aguas profundas de la pregunta 35, la ola de la pregunta 32 puede ser considerada en esta categoría dependiendo de la profundidad del mar. Si el mar tiene una profundidad de 100 m: ¿Sería considerada una ola de aguas profundas?

- a) sí b) no c) queda ambigua d) no aplica

37. En los océanos pueden coexistir diversos tipos de olas, sobreponiéndose y pasándose unas a otras según su rapidez. Está la ola de marea con periodo de 12 horas, las de tsunami con periodos típicos de 1 hora, las producidas por los vientos con periodos entre 1 y 30 segundos, y las llamadas ondas capilares que poseen longitudes de onda de pocos centímetros y que tienen periodos menores de 1 segundo. La fórmula descrita anteriormente se aplica a las olas producidas por el viento mientras permanecen en alta mar. Buena parte de estas olas se producen durante tormentas en alta mar, llegando a la playa tiempo después de acuerdo a su velocidad. Las personas que practican surfing están atentas al desarrollo de estas tormentas y esperan la llegada de buenas olas un tiempo después. Si en una tormenta determinada se producen olas de 5 y 15 segundos de periodo: ¿Cuáles llegarán primero a la playa?

- a) llegan al mismo tiempo
b) las de 5 s de periodo
c) las de 15 s de periodo
d) nunca llegan

38. En la fórmula $(\text{velocidad}) = (1.6) \times (\text{periodo})$ que utilizamos en las últimas preguntas en relación con olas de aguas profundas, el factor 1.6 proviene de dividir la aceleración de la gravedad $g = 9.8 \text{ m/ss}$ entre $2\pi = 2 \times (3.1416)$. El hecho de que la velocidad de las olas dependa del valor de la gravedad no es fortuito. De hecho la fuerza de la gravedad es la fuerza que hace que el agua que sube vuelva a bajar, y la que baja vuelva a subir porque es empujada por la que ya subió. En un planeta donde la fuerza de gravedad sea el doble de lo que es en la Tierra, ¿Cuál sería la velocidad en km/h de las olas de aguas profundas de periodo 10 segundos?

- a) 56 b) 76 c) 96 d) 116

39. Así como existe una fórmula muy sencilla para las olas que prácticamente no sienten el fondo porque se atenúan con la profundidad, también existe una fórmula para la velocidad de las olas que prácticamente no se atenúan con la profundidad. Esto es, para ondas cuya longitud de onda es grande comparada con la profundidad del mar. A estas olas se les llama de aguas someras. La fórmula en este caso es $(\text{velocidad}) = \text{raíz cuadrada de } (gh)$, donde g es la aceleración de la gravedad y h es la profundidad del mar. Veamos cual es la velocidad en km/h de una ola que se propague en un océano que tenga una profundidad de 4,000 m. ¿Cuál es su velocidad?

- a) 713 b) 363 c) 181 d) 93

40. La velocidad que se obtiene es del mismo orden que la obtenida en la pregunta 4 para la velocidad del tsunami del 26 de diciembre de 2004. En la pregunta 4 la velocidad se obtiene como un resultado empírico, correcto y verdadero, que puede ser complementado con lo que da la teoría. Podemos plantear como hipótesis que el tsunami es una ola de aguas someras. Si esto es así entonces la teoría debe ser compatible con todo lo que se sepa de los tsunamis. Lo primero que se requeriría para empezar a aceptar la teoría es explicar porqué el resultado empírico es un poco mayor que el teórico. Aceptando la teoría como correcta tendríamos que revisar alguno de los supuestos y cuestionarlos un poco. Por ejemplo, tal vez la profundidad promedio del mar en el área de aplicación no sea de 4,000, como se supuso en los cálculos. El valor de 4,000 m es el promedio de todos los océanos del mundo. Para que la teoría resulte correcta tendríamos que revisar y comprobar que en el área de estudio la profundidad del mar es:

- a) igual a 4,000 m b) menor que 4,000 m
c) mayor que 4,000 m d) no aplica

41. Otra cosa que tendríamos que revisar es si los tsunamis cumplen con el supuesto básico de olas de aguas someras. Esto es, si su longitud de onda es mayor que la profundidad. Para revisar este supuesto podemos utilizar el hecho de que el periodo de los tsunamis es típicamente de 1 hora, como lo pueden comprobar en cualquiera de los registros disponibles. Con la velocidad empírica de la pregunta 4 y con el periodo también empírico, y utilizando la fórmula

universal para ondas (recuerden $d=vt$), la longitud de onda del tsunami es de:

- a) 760 m b) 7,210 m
c) 72 km d) 721 km

42. ¿Es la longitud de onda obtenida empíricamente mayor que la profundidad media del mar?

- a) no b) es igual c) sí d) no aplica

43. Si en lugar de 1 hora de periodo utilizamos media hora, como muestran algunos registros, ¿Cuál sería la longitud de onda?

- a) 380 m b) 3,800 m
c) 38 km d) 360 km

44. ¿Se cumpliría en el caso del periodo de media hora la condición básica de olas de aguas someras?

- a) no b) es igual c) sí d) no aplica

45. Si empujamos el periodo hasta 6 minutos, ¿Se cumpliría la condición básica de ondas de aguas someras?

- a) no b) es igual c) sí d) no aplica

46. Según las comprobaciones anteriores, ¿Serán los tsunamis olas de aguas someras? Nota: El calificativo de aguas someras puede ser confuso en el sentido de que sugiere que las olas existen solamente en aguas someras. Paradójicamente, los tsunamis se originan y se desplazan en aguas bastante profundas. En realidad el término de aguas someras hace alusión a que, como en aguas someras, toda la columna de agua vibra igualmente, y que la ola tiene tanta energía en la superficie como en el fondo del mar. De nuevo: ¿Serán los tsunamis olas de aguas someras?

- a) no se puede saber b) no
c) sí d) no aplica

47. El domingo 22 de mayo de 1960 ocurrió el sismo de mayor magnitud que se haya registrado jamás desde que contamos con aparatos para medir sismos. ¿De que magnitud fue este temblor?

- a) 8.5 b) 9.5 c) 9.9 d) 10.5

48. ¿En qué país ocurrió este sismo?

- a) Australia b) Italia
c) Japón d) Chile

49. El tsunami producido por este sismo causó muertes en varios países del mundo. ¿Cuántas personas murieron en Japón por este tsunami?

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

50. El tsunami causado por este sismo viajó miles de kilómetros hasta llegar a Japón: ¿Cuántos miles de kilómetros?

- a) 5 b) 10 c) 16 d) 35

51. Al tsunami de las preguntas anteriores le tomó muchas horas para llegar del lugar de origen hasta Japón. ¿Cuántas horas le tomó?

- a) 7 b) 14 c) 22 d) 40

52. ¿Cuál fue la velocidad media del tsunami en su recorrido anterior?

- a) 780 km/h b) 727 km/h
c) 870 km/h d) 277 km/h

53. Usando la fórmula de la velocidad de un tsunami en términos de la profundidad, despejar la profundidad y, utilizando la respuesta a la pregunta anterior, calcular la profundidad media del Océano Pacífico. Nota: Qué gran fórmula que les permite estimar la profundidad de un océano sin tener que medirla directamente.

- a) 4,003 m b) 4,031 m
c) 4,061 m d) 4,161 m

54. Volviendo a las olas comunes que forma el viento y que continuamente llegan a la playa, existen fenómenos asociados con ellas que es muy conveniente saber cuando se mete uno al agua. Uno de esos fenómenos se conoce como corrientes de retorno o "rip currents", y se presenta en playas en donde las olas llegan a romper, o sea en prácticamente todas las playas. Antes de romper, las olas sólo transportan energía, no existe flujo neto de agua a lo largo de su recorrido. Sin embargo, cuando rompen se puede observar que efectivamente lanzan agua a la playa. Por lo general el agua no tiene tiempo

de retronar al mar porque se ve empujada por una nueva ola que acaba de romper, y así en la misma forma para varias olas. El resultado es que se acumula agua entre la playa y la zona donde rompen las olas, agua que está de más y que tarde o temprano deberá volver mar adentro. En alguna parte el equilibrio se rompe y se establece una corriente de retorno más o menos perpendicularmente a la playa. Estas corrientes son muy peligrosas para los bañistas. Las estadísticas muestran que un buen porcentaje de los rescates por parte de los servicios de salvavidas en las playas están directamente asociados a estas corrientes. ¿Cuál es el porcentaje?

- a) 20 b) 40 c) 50 d) 80

55. ¿Cuál es el ancho típico de las corrientes de retorno?

- a) 1-3 m b) 5-10 m
c) 15-30 m d) 50-100 m

56. ¿En qué dirección se recomienda nadar si uno se encuentra llevado mar adentro por una corriente de retorno?

- a) hacia la playa b) hacia mar adentro
c) paralela a la playa c) sumergirse

57. En la página del USGS sobre la actividad sísmica reciente en el mundo, localizar un sismo en la misma área que el de Sumatra del 26 de diciembre de 2004 y amplificar sucesivamente hasta llegar al sismo particular. Aparecerá entonces toda la información sobre el sismo elegido, así como ligas para acceder a la actividad sísmica histórica de esa región. Activar la liga sobre la actividad histórica del área y examinar las localizaciones y las profundidades de los sismos ocurridos desde 1990 a la fecha. Notarán que hay sismos someros y profundos, y que estos siguen un patrón tal que a los someros les siguen lateralmente sismos más profundos y así hasta los de más de 150 km de profundidad. Los sismos al parecer se sitúan sobre un plano inclinado. Los científicos interpretan esto como una placa que se está hundiendo en el manto. Los sismos se producen por la fricción entre la placa que se está hundiendo y la que está enfrente, así como por la fricción en el manto. ¿En qué dirección se está hundiendo la placa según el patrón de sismos?

- a) noreste (NE) b) noroeste (NO)
c) suroeste (SO) d) sureste (SE)

58. Además de la dirección de hundimiento se puede estimar más o menos la pendiente del plano inclinado sobre el cual se localizan los sismos. Recuerden que 1 grado en esa área equivale a 111 km. La escala de profundidad no es muy precisa porque los colores incluyen profundidades entre rangos más o menos amplios. Por lo tanto sólo se puede estimar la pendiente a lo más con una cifra significativa. ¿Cuál es la pendiente en grados?

- a) 10 b) 20 c) 40 d) 80

59. En la Tierra existen varias regiones donde dos placas tectónicas convergen como en el caso anterior, hundiéndose una bajo la otra. Para localizar estas regiones acceder a la misma página del USGS sobre actividad sísmica reciente en el mundo, pero en lugar de proceder a revisar los sismos de los últimos 8 días, bajar por el lado izquierdo de la página y acceder a la liga “Past & Historical Earthquakes”. Seleccionar después “World-Maps Only” y después “World”. Aparecerá un mapa mundial con la distribución espacial de los sismos de 1990 al 2000, con los mismos colores que antes para distinguir las diferentes profundidades. Podrán observar que en el mundo existen muchas regiones con patrones de sismos muy parecidos al que vieron en Sumatra. Estas regiones se conocen como zonas de subducción, y por lo general se encuentran en el mar o cerca de las costas. Se tiene además, en relación con los tsunamis, que a diferencia de los otros dos tipos de fronteras entre placas (que veremos más adelante), es precisamente éste el que produce más tsunamis. ¿Cuál de los océanos del mundo tiene más zonas de subducción según se aprecia en los patrones de sismos?

- a) Índico b) Atlántico
c) Ártico d) Pacífico

60. Volver atrás en la página anterior y seleccionar, en lugar de “World”, “South-Atlantic Ocean”. Encontrarán que más o menos a 60 grados de latitud (ojo: no longitud) sur existe una zona con el mismo patrón de sismos que el que existe en Sumatra. ¿En qué dirección se está dando la subducción en esta zona?

- a) norte b) sur c) este d) oeste

61. En el Océano Atlántico existe otra zona de subducción (volver al mapa mundial). ¿En donde se encuentra?

- a) Atlántico Norte b) En Islandia
c) En el Caribe d) Entre Brasil y África

62. En México también existe el fenómeno de subducción. Seleccionar la opción de América Central y del Caribe para ver en detalle la distribución de sismos y sus profundidades. ¿En cuál de los siguientes estados de la república existe el fenómeno de subducción?

- a) Baja California b) Yucatán
c) Tamaulipas d) Chiapas

63. ¿En qué dirección, según el patrón de sismos, se esta dando la subducción?

- a) NO b) SO c) SE d) NE

64. En primera instancia podría pensarse que en los procesos de subducción la Tierra se devora a sí misma, pues una placa que antes formaba parte de su superficie termina por ser consumida y pasa a formar parte del manto de la Tierra. Y de hecho así es, pero ésta no es toda la historia. Se ha observado que sobre las zonas de subducción existen muchos volcanes activos, y todavía muchos más que ya no son activos, pero que en una época remota lo fueron. De hecho, los que ya no son activos muchos ni siquiera tienen la forma de volcán, porque con el tiempo se erosionaron y el material erosionado llenó los espacios entre unos y otros. Montañas como los Andes en América del Sur así fue como se formaron. Los científicos han encontrado que los volcanes son parte de la placa que se está hundiendo. Se sabe que la temperatura en la Tierra aumenta con la profundidad, por lo que a determinada profundidad se debe alcanzar la temperatura a la que se funde la roca de la placa. La roca fundida asciende poco a poca hacia la superficie, y termina por formar volcanes que, como el Popocatepetl y el Volcán de Colima, continuamente alarman a la población. ¿A qué profundidad estiman los científicos que se funden las placas?

- a) 10 km b) 30 km c) 60 km d) 100 km

65. Como resultado de los procesos de subducción los continentes se hacen cada vez más grandes. Las placas que se hunden son siempre placas oceánicas, las cuales son más densas que las rocas de los continentes. Al fundirse a profundidad las rocas de la placa, los minerales menos densos son los que ascienden a la superficie, estableciéndose así una diferenciación natural y estable: lo más denso abajo y lo menos denso arriba. El crecimiento de los continentes es tan lento que no es apreciable. En algunos lugares una placa oceánica se hunde bajo otra placa oceánica, dando como resultado que los volcanes aparezcan como islas. Un ejemplo de esto es la isla: (deducir la respuesta con base en el patrón típico de la distribución de sismos en una zona de subducción)

- a) Islandia en el Atlántico Norte
b) Hawai en el Pacífico
c) San Vicente en el Caribe
d) Isla Mujeres en el Caribe

66. Las placas tectónicas de la Tierra se mueven constantemente unas con respecto a otras, impulsadas por procesos térmicos en el interior del planeta. Al moverse, naturalmente chocan unas con otras. Uno de los resultados de estos choques es la aparición de zonas de subducción, en donde una placa termina por hundirse bajo otra, estableciendo de paso un patrón de sismos que anuncia y denuncia su misma existencia y que permite que nosotros nos demos cuenta de lo que está pasando. Además de choques frontales en los que una de las placas termina por ceder y hundirse bajo la otra, existe la posibilidad de que las placas simplemente se deslicen lateralmente una al lado de la otra. La fricción entre las placas de todas formas genera sismos, como lo comprueba la existencia de sismos en California y Baja California, en donde existe una frontera de este tipo. En esta zona los sismos ocurren en el rango de profundidades de:

- a) 0 a 35 km b) 35 a 70 km
c) 70 a 150 km d) 150 a 300 km

67. Si entre las placas tectónicas sólo existieran fronteras convergentes como las zonas de subducción, o de desplazamiento lateral como en California y Baja California, en el interior de la Tierra se estaría acumulando cada vez más materia y tarde o temprano nuestro planeta terminaría por explotar.

Afortunadamente las cosas no son así. Se ha descubierto que también existen fronteras divergentes, en donde las placas se separan y nuevo material de manto se incorpora a las placas, haciéndolas más grandes, de tal manera que existe un equilibrio entre lo que el manto de la Tierra devora en las zonas de subducción, y lo que el manto devuelve en otras partes haciendo crecer las placas. Se trata de un fenómeno global que, hasta donde sabemos, esta más o menos en equilibrio, de tal manera que la Tierra como planeta ni aumenta ni disminuye de tamaño. La zona más impresionante donde se expulsa material del manto se sitúa en la mitad del Atlántico, prácticamente de polo a polo. Este fenómeno es responsable de que América se haya separado de Europa y África hace millones de años, y de que se siga separando actualmente. El mismo fenómeno es responsable de la apertura del Mar de Cortés. En esta zona los sismos ocurren en el rango de profundidades de:

- a) 0 a 35 km b) 35 a 70 km
- c) 70 a 150 km d) 150 a 300 km

68. Los tsunamis son muy rápidos, pero todavía más rápidas son las ondas sísmicas que viajan por la parte sólida de la Tierra. Las llamadas ondas P son las que llegan primero, y pueden servir de aviso de que posiblemente se acerque un tsunami. El tsunami del 26 de diciembre de 2004 llegó en poco más de dos horas a la isla de Sri Lanka. ¿Cuánto tardaron las primeras ondas P generadas por el terremoto en llegar a Sri Lanka? Para responder a esta pregunta, seleccionar un terremoto reciente en el área de Sumatra y proceder hasta las características del sismo, seleccionando en las opciones el tiempo de viaje teórico de las ondas P. En caso de que en estos días no haya ocurrido un sismo en esa región, pueden buscar en la misma página el temblor original del 26 de diciembre de 2004. La primera onda P tardó:

- a) 1 minuto b) 4 minutos
- c) 8 minutos d) 16 minutos

69. Conociendo la distancia entre el epicentro del sismo y la isla de Sri Lanka, así como el tiempo que tardan en llegar las ondas P, podemos calcular la velocidad de estas ondas. ¿Cuál es esta velocidad?

- a) 2.2 km/s b) 3.3 km/s
- c) 6.6 km/s d) 9.9 km/s

70. Las ondas que llegaron primero a Sri Lanka viajaron por la parte más superficial de la parte sólida de la Tierra. Esto es, por el camino más corto entre el epicentro y la isla. Por lo tanto, la velocidad a la que se refiere la pregunta anterior corresponde a las rocas que se encuentran inmediatamente bajo el mar. Para conocer la velocidad a la que viajan las ondas a profundidades mayores es necesario escoger puntos más distantes. Como vivimos sobre una esfera, la distancia más corta entre puntos cada vez más distantes penetra cada vez más en la Tierra. Calculando velocidades de esta manera, los científicos descubrieron hace muchas décadas que la Tierra no es homogénea y que tiene un núcleo externo líquido y otro interno sólido. Los cálculos para llegar a estas conclusiones son más o menos elaborados, pero hay un caso particular que es muy sencillo. Si consideramos que el camino más corto entre un epicentro y su posición antípoda es una recta que pasa por el centro de la Tierra, podemos calcular la velocidad media de las ondas P en su viaje por el centro del planeta. Para esto necesitamos primero saber el tiempo que tardan las ondas en cruzar la Tierra. Utilizando el mismo diagrama que en el caso anterior, estimar este tiempo. El tiempo es:

- a) 10 minutos b) 20 minutos
- c) 30 minutos d) 40 minutos

71. Si ahora utilizamos como distancia el diámetro de la Tierra, la velocidad promedio a través de toda la Tierra es, como era de esperarse, mayor que en la superficie. La velocidad promedio es:

- a) 10.6 km/s b) 15.6 km/s
- c) 18.6 km/s d) 20.6 km/s

72. Así como existen patrones en la distribución geográfica de sismos en la Tierra, también existen patrones en cuanto a su distribución en el tiempo. Entre más pequeños ocurren más, y sismos de gran magnitud ocurren menos frecuentemente. Según las estadísticas: ¿Cuántos sismos de magnitud igual o mayor de 8 ocurren anualmente en la Tierra?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

73. ¿Cuántos sismos ocurren de magnitud 7 a 7.9 anualmente?

- a) 4 b) 8 c) 17 d) 34

74. ¿Cuántos sismos ocurren de magnitud 6 a 6.9 anualmente?

- a) 18 b) 56 c) 93 d) 134

75. Identificar un sismo en la parte norte de la Península de Baja California o en el sur de California, acceder a la información histórica del área y contar los sismos de magnitud mayor de 7 que han ocurrido en Baja California en el área de Mexicali. ¿Cuántos son?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

76. A principios de octubre de 2005 ocurrió un sismo en Pakistán que afectó también a la India y a Afganistán, causando casi 100,000 muertes. En esta parte del mundo dos placas tectónicas están en colisión permanente desde hace millones de años. Se trata en este caso de dos continentes. En un principio se trataba de subducción normal de corteza oceánica de mayor densidad bajo corteza continental. Sin embargo, en la misma placa estaba montada la India la cual terminó por chocar con el otro continente (ver animación de los últimos 750 millones de años en "Plate Tectonics"). El proceso normal de subducción se detuvo porque ambas masas continentales son más o menos de igual densidad. Ahora, en lugar de movimiento vertical hacia abajo existe movimiento vertical hacia arriba: por eso existen aquí las montañas más altas del mundo, y dicho sea de paso, siguen aumentando de altura. ¿De qué magnitud fue el sismo?

- a) 7.6 b) 8.6 c) 9.6 d) 10.6

77. Vivimos rodeados de aire. De hecho, vivimos en el fondo de un gran mar de aire que alcanza varios kilómetros de altura, y al igual que sucede en el océano, la mayor presión está en el fondo. El fondo por lo general se considera que es el nivel del mar, y ese mismo nivel se toma como referencia para expresar alturas y profundidades en la Tierra. La presión atmosférica al nivel del mar es de 1013.25 mb (milibares). Además del valor mismo de la presión, el nivel del mar también se caracteriza por el cambio de presión que se experimenta al aumentar la altura. La disminución de presión por metro es:

- a) 0.01 mb/m b) 0.1 mb/m
c) 1 mb/m d) 10 mb/m

78. Hay lugares en la Tierra que están bajo el nivel del mar. El más espectacular es el Mar Muerto, el cual se encuentra a 400 m (400!!!) bajo el nivel del mar. En este caso la presión aumenta al descender hasta sus aguas. ¿Cuánto aumenta la presión?:

- a) 0.4 mb b) 4 mb
c) 40 mb d) 400 mb

79. Un huracán podría compararse con una gigantesca aspiradora succionando aire húmedo del mar y elevándolo a grandes alturas en la atmósfera. La función de la aspiradora sería bajar la presión atmosférica para que el aire de los alrededores, el cual está a presión normal, sea empujado continuamente hacia el tubo. En un huracán la baja presión la causa el aire caliente. A menor presión mayor es la categoría del huracán. Además de la velocidad de los vientos, la presión es otro de los parámetros que generalmente se reportan en los noticieros. Antes de la temporada 2005 de huracanes el record en el Océano Atlántico era de 888 mb. Esta presión se midió en un huracán en 1988. ¿De qué huracán se trata?

- a) Gilberto b) Camila
c) Hugo d) Mitch

80. El record en el Océano Atlántico de 888 mb se rompió en 2005 con la medición de 882 mb en uno de los huracanes de la presente temporada. ¿Cuál huracán?

- a) Katrina b) Rita
c) Stan d) Wilma

81. El record mundial de la presión más baja que se haya medido al nivel del mar corresponde a un tifón (así les dicen a los huracanes en Asia) de la temporada 1979 en el Océano Pacífico Occidental. La medición se realizó alrededor de 1,600 km al este de las islas Filipinas. ¿Cómo se llamaba el Tifón?

- a) Zao b) Tip c) Wo d) Hao

82. Sabiendo la dirección en que se acerca un huracán, y el lugar donde uno mismo se encuentra, es posible saber la dirección en que empezarán a soplar los vientos. Esto podría ser muy importante en un momento dado para poner particular atención a tal o cual lado de la casa, o bien para mover el auto al otro lado del árbol, para que no le caiga arriba. El huracán

Wilma se acercó a Cancún desde el sur. ¿En qué dirección se dieron los vientos en Cancún a medida que se acercaba el huracán?

- a) hacia el sur b) hacia el este
c) hacia el oeste d) hacia el norte

83. Uno de los primeros huracanes que causó daños en México en la temporada 2005 fue Emily. Este huracán que llegó a categoría 4 entró en julio pasado por San Fernando, Tamaulipas, perpendicularmente a la costa. ¿En qué dirección se dieron los vientos en Linares, N.L. a medida que se acercaba el huracán a esta ciudad?

- a) hacia el sur b) hacia el este
c) hacia el oeste d) hacia el norte

84. El huracán Stan causó severos daños en el sur de nuestro país, particularmente en Chiapas, y también en Guatemala. ¿Qué categoría alcanzó Stan?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4

85. Los nombres de los huracanes de cada temporada se conocen de antemano. La lista se hace alternando nombres propios de mujer y de hombre que son comunes en la región. En el caso del Océano Atlántico se utilizan nombres en español, inglés y francés. Los nombres se repiten cada seis años, pero si en una temporada se presentan uno o más huracanes que hayan hecho mucho daño, esos nombres se retiran y se reemplazan por otros con la misma inicial.

Seguramente no volverá a haber huracanes llamados Katrina o Wilma, y posiblemente tampoco Stan o Rita. Para que una perturbación atmosférica sea bautizada con un nombre propio debe cumplir con varios requisitos. Uno de ellos es que la perturbación esté más o menos organizada en la forma de ciclón (ciclo, rueda, giro), de allí el nombre genérico de ciclones tropicales que se les da a las depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes. A las depresiones tropicales no se les da nombre. Solamente si se convierten en tormentas tropicales se les asigna uno de los nombres de la lista. Si después se convierte en huracán porque los vientos aumentan de velocidad se conserva el mismo nombre. La velocidad de los vientos de una tormenta tropical está en los límites:

- a) 25-61 km/h b) 62-117 km/h
c) 118-140 km/h d) 141-150 km/h

86. La marejada ("storm surge") que produce un huracán es más que un simple incremento en la altura de las olas. En realidad es un incremento efectivo del nivel del mar en la zona afectada que puede alcanzar hasta 4 metros para un huracán de tan sólo categoría 3. Los diques que protegían a la ciudad de Nueva Orleans de inundaciones estaban diseñados para categoría 3, mientras que el Katrina llegó a categoría 5 mientras se acercaba a tierra, disminuyendo a 4 al pasar por un lado de la ciudad. Si bien es obvio que una marejada está asociada a la cercanía de un huracán, los mecanismos de cómo es que el huracán produce la marejada no son tan obvios. Para descubrirlos podemos utilizar el método científico, lo cual no es otra cosa que aplicar el sentido común con cierto rigor. Si ya sabemos que en la zona del huracán hay un sistema de baja presión que hace que ascienda el aire, podemos proponer que el mecanismo es el mismo para el agua. Sin embargo, no basta con proponerlo y que el mecanismo sea plausible, como de hecho lo es. Hay que ponerle además un poco de rigor, estimando la altura que se esperaría con este mecanismo. Es muy fácil calcular, suponiendo equilibrio hidrostático, la diferencia de alturas cuando se conoce la diferencia de presiones, como se hace en los cursos de física con un tubo de Bernoulli. Suponer que la diferencia de presiones es del 10 % de la presión normal (categoría 5). (Ojo: la presión normal en el sistema mks es de 100,000 Newtons sobre metro cuadrado, $g=9.8$ metros sobre segundo al cuadrado, y la densidad del agua es de 1,000 kilogramos por metro cúbico). La diferencia de alturas es de:

- a) 0.05 m b) 0.1 m c) 0.5 m d) 1.0 m

87. Como pudieron comprobar con los cálculos anteriores, el efecto de la diferencia de presión existe, pero no explica en su totalidad la altura que generalmente se observa en las marejadas, por lo que hay que buscar otra causa entre los fenómenos que componen al huracán. Podríamos proponer, por ejemplo, a la lluvia misma que al acumularse hiciera que el mar aumentase de nivel en el área del huracán. En caso de proponer este mecanismo habría que explicar, además, porqué el agua no se nivela como normalmente lo hace. De cualquier forma: ¿Se tiene noticia de que la lluvia en alguna parte del mundo haya alcanzado varios metros de altura en unas horas? (los ríos no cuentan):

- a) sí b) no c) no se aplica d) no se aplica

88. Otra hipótesis es que los vientos al soplar en una misma dirección continuamente por varias horas, puedan acumular y acarrear suficiente agua para producir las marejadas que observamos. Según esta hipótesis, la más aceptada, las marejadas que se producen alrededor del huracán no son simétricas. Si el huracán como tal no se mueve de lugar, los vientos tangenciales tienen más o menos la misma velocidad a su alrededor, por lo que serán simétricas. Sin embargo, si el huracán se mueve en determinada dirección, los vientos en esa misma dirección aumentan de velocidad. El huracán Emily, ya de categoría 3, entró perpendicularmente a tierra a la altura de San Fernando, Tamaulipas. Según la hipótesis de los vientos, la marejada debió ser mayor, y de hecho lo fue:

- a) al este de San Fernando
- b) al oeste de San Fernando
- c) al norte de San Fernando
- d) al sur de San Fernando

89. En el Océano Pacífico también ocurren huracanes. ¿En 2004, cual fue el único huracán que afectó a la Península de Baja California? Revisar las trayectorias de todos los huracanes del 2004.

- a) Otis b) Paulina c) Julia d) Javier

90. La zona costera del norte de Baja California y parte de California experimentan un clima con pocas lluvias y más o menos caluroso en verano, e inviernos moderados y con lluvias, creando el clima perfecto para el cultivo de la vid y de aceitunas. A este tipo de clima se le conoce con el nombre de mediterráneo, en alusión al Mar Mediterráneo en cuyos alrededores se concentra gran parte de los territorios que existen en la Tierra con este tipo de clima. En realidad existen muy pocos lugares del planeta con este tipo de clima. ¿Qué porcentaje de la superficie de la Tierra (excluyendo los océanos) tiene clima mediterráneo?

- a) 0.5 % b) 1 % c) 2 % d) 4 %

91. Existen varias regiones en el mundo con clima mediterráneo (en Europa, Australia, América del Norte, América del Sur, África, e incluso Asia). Se trata de áreas muy pequeñas en los diferentes continentes. A primera vista parecería que están distribuidas sin ninguna relación. Sin embargo, en realidad sí existe un patrón que las incluye a todas. ¿Cuál es este patrón?

- a) todas están en el hemisferio norte
- b) todas están en el hemisferio sur
- c) todas están al occidente de los continentes
- d) todas están al oriente de los continentes

92. Uno de los fenómenos naturales que mejor se puede predecir cuantitativamente es la marea que produce la Luna y el Sol en nuestros océanos. Los cálculos para hacer las predicciones se basan en la aplicación de la ley de Newton de gravitación según van cambiando las posiciones de la Luna y el Sol. Las graficas de mareas generalmente se presentan por mes, como los calendarios, y son muy útiles para los pescadores y para cualquier persona que de alguna manera depende del mar en su vida diaria. Las mareas varían tanto en el tiempo como en el espacio, por lo que los cálculos deben hacerse para cada mes particular y para cada lugar específico. En la página del CICESE se puede entrar directamente a la página de mareas accediendo a “predicción de mareas” en la parte derecha, inmediatamente abajo de “sismicidad reciente”. Se pueden consultar calendarios de mareas para muchos puertos de México. En términos generales la marea presenta más o menos dos máximos y dos mínimos diarios, los cuales como pueden observar se presentan a diferentes horas según pasan los días. Por ejemplo, para San Felipe se predice que para el día del examen (sábado 26 de noviembre de 2005) habrá un máximo en la mañana. ¿A qué hora se presenta el máximo?

- a) 7:00 AM b) 8:00 AM
- c) 9:00 AM d) 10:00 AM

93. Para el mismo día, sábado 26 de noviembre de 2005, en Ensenada se predice un máximo también en la mañana. ¿A qué hora se presenta el máximo?

- a) 2:32 AM b) 3:32 AM
- c) 4:32 AM d) 5:32 AM

94. Para el mismo día, sábado 26 de noviembre de 2005, en Acapulco se predice un máximo en la mañana. ¿A qué hora se presenta el máximo?

- a) 8:37 AM b) 9:37 AM
- c) 10:37 AM d) 11:37 AM

95. Analizar la forma en que se comportan las mareas en relación con las fases de la Luna para el caso de San Felipe para el mes de noviembre de 2005.

Encontrarán que el tamaño o amplitud de la marea está muy relacionada con la iluminación de la Luna. No es que la iluminación importe, sino que la iluminación a su vez depende de la posición relativa de la Luna, la Tierra y el Sol. Las mareas más pequeñas se presentan cuando la Luna está:

- a) entre la Tierra y el Sol
- b) en el lado opuesto del Sol
- c) perpendicular a la línea Tierra-Sol
- d) del otro lado del Sol

96. Cuando hay Luna nueva, o sea cuando no se ve la Luna porque no la vemos iluminada: ¿Cómo es la marea?

- a) muy pequeña
- b) intermedia
- c) igual que cuando es Luna llena
- d) no hay marea

97. En la página del Observatorio de Variables Ambientales de El Sauzal, en el municipio de Ensenada, se presentan gráficas de las variaciones de la humedad relativa para los últimos días. Podrán observar que en las madrugadas la humedad relativa es mayor, y que disminuye durante el día. La humedad relativa generalmente se expresa como porcentaje. ¿Cuál es la diferencia de porcentajes promedio entre madrugada y mediodía?

- a) 5 b) 10 c) 12 d) 20

98. En los registros del mismo observatorio se incluye la velocidad del viento. Podrán notar que las gráficas para los diferentes días tienen un pico después del mediodía. ¿De qué tamaño son los picos expresados en km/h?

- a) 2 b) 4 c) 10 d) 20

99. ¿Y cuál es la dirección de donde vienen los vientos que corresponden a los picos?

- a) norte b) sur c) este d) oeste

101. Hacer lo mismo para el sur de México, América Central, Venezuela y Colombia. ¿Hacia donde sopla el viento?

- a) hacia el norte b) hacia el sur
- c) hacia el este d) hacia el oeste