

## **GAIA: DE HIPOTESIS A TEORÍA Y LA XVII OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

Enrique Gómez Treviño

egomez@cicese.mx

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

En esta la decimoséptima olimpiada quisimos recordar cómo se hace la ciencia, esta vez con un ejemplo que explícitamente reconoce su inicio como hipótesis y que busca convertirse en teoría. La Ciencia del Sistema Tierra está en sus inicios y ya ha dado algunos frutos, pero necesitamos más, muchos más si hemos de intervenir en procesos globales sin mayores riesgos para el planeta. Le llaman geo-ingeniería: la manipulación intencional a gran escala del medio ambiente planetario para contrarrestar el cambio climático producido por la quema de combustibles fósiles. ¿Sabemos lo suficiente para no hacer del remedio algo peor que la enfermedad?

Sabemos bastante de física, química, geología y biología, pero como disciplinas más o menos aisladas, cada una en su propio ámbito. Recién hemos empezado a pensar en forma global e interdisciplinaria como una ciencia en sí misma. Desde siempre ha habido interacciones entre las diferentes disciplinas, pero no engarzadas bajo una hipótesis para guiar la búsqueda de procesos desconocidos. Si la Hipótesis de Gaia resulta, a final de cuentas, ser sólo una hipótesis de trabajo y no una teoría general es lo de menos. Sus logros a la fecha son bastante significativos.

Un total de 90 estudiantes de bachillerato provenientes de todas las ciudades de Baja California participaron en la XVII Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra. En esta ocasión resultaron ganadores: Brenda Esperanza Salvador García (primer lugar) y Sergio Damián Camacho Aguilar (segundo lugar), del COBACH, plantel La Mesa, quienes fueron asesorados por el profesor Manuel Armando Gómez. El tercer lugar fue para Rodrigo Silva Meza del Centro Educativo Patria, quien fue asesorado por la profesora Rita Guevara.

En lo que sigue se incluye la guía para el examen, la cual es simplemente un pequeño ensayo sobre La Hipótesis de Gaia y temas relacionados, así como indicaciones sobre los temas de olimpiadas anteriores que también se incluyen en el examen. Al final se presentan las preguntas nuevas sobre el tema de la Hipótesis de Gaia.

**Gaia: de Hipótesis a Teoría. Guía de la XVII Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 1 de junio de 2012, Auditorio de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California.**

La Teoría de Gaia es tal vez el mejor ejemplo reciente que ilustra cómo se hace la ciencia. En la pasada olimpiada exploramos la historia fascinante de cómo Aristarco de Samos midió el tamaño de la Luna y del Sol y sus distancias a la Tierra hace muchísimos años. Para esta olimpiada hemos preparado un tema también fascinante pero de actualidad. De hecho, de bastante actualidad porque está relacionado con el tantas veces mencionado en los medios como Cambio Climático Global, del que una de las consecuencias es el Calentamiento Global de la Tierra. El tema mismo del Cambio Climático Global lo tratamos en 2004. Lo que veremos ahora es la historia del descubrimiento de un mecanismo que tiene la Tierra para mantener una temperatura más o menos constante, a pesar de perturbaciones externas que tienden a cambiar su temperatura.

### **Homeostasis: ¿Una enfermedad?**

Imagínense dentro de una casa en invierno, con temperaturas exteriores que fluctúan entre -10 grados centígrados en la noche y hasta 10 grados en el día. Esto es, con fluctuaciones de 20 grados en 24 horas. Y sin embargo, ustedes que han puesto el termostato de la calefacción a 25 grados, notarán, si es que lo notan, que en el interior de la casa los cambios son de tan sólo uno o dos grados. No es difícil imaginar cómo se las arregla la calefacción para mantener constante la temperatura de las casa sin la intervención de ustedes. Simplemente si la temperatura baja hasta determinado valor se enciende la calefacción y, cuando sube a ese valor se apaga. Lo mismo para el aire acondicionado o refrigeración, pero al revés y, así, ocurre con muchos aparatos que utilizamos diariamente y que no necesariamente tienen qué ver con temperaturas. Tinacos, cisternas y tanques de sanitarios utilizan un flotador donde, si baja el agua a menos de cierto nivel, se abre una válvula para que entre agua y así volver al nivel requerido.

Los dispositivos descritos son muy simples y controlan procesos también muy simples. Procesos más complejos pueden requerir combinaciones de dispositivos y programas de computadora que tomen las decisiones de activarlos o desactivarlos. Hay automóviles que tienen lo que se llama control de crucero el cual, si se activa, hace que el auto viaje a la velocidad estipulada aunque haya subidas o bajadas. Si la velocidad disminuye el auto automáticamente acelera y viceversa, de tal forma que la velocidad se mantiene alrededor del valor indicado. Las plantas que producen energía eléctrica como la que se encuentra en Rosarito, Baja California, también requieren de muchos de esos dispositivos para controlar la producción de energía eléctrica según la estemos necesitando los usuarios.

Todos los dispositivos mencionados son invenciones humanas. Algunos son muy simples y otros son tan complejos que necesitan computadoras para funcionar, pero todos tienen en común que están hechos de diferentes componentes y que esas partes funcionan en su conjunto para un fin determinado. El término que se utiliza para caracterizar al conjunto de las partes y su comportamiento es el de sistema de control. Y resulta que por más orgullosos que estemos de nuestros inventos, los sistemas de control no son nuevos pues los utilizan los seres vivos desde hace miles de millones de años, desde microorganismos unicelulares hasta los seres más complejos. En nuestro cuerpo están actuando en cada minuto muchos sistemas de control para mantener niveles constantes de azúcar, sales, líquidos y demás. No nos damos cuenta pero nuestro cuerpo es muy efectivo en mantener una temperatura constante, haga frío o calor. En casos extremos suda o envía sangre extra a la piel, dependiendo del caso. En general, trátase de temperaturas o de cualquier otra propiedad, el término que se utiliza para caracterizar esta tendencia automática al equilibrio es el de homeostasis y no es una enfermedad, sino todo lo contrario. El diccionario de la Real Academia Española lo define así: homeostasis. (De homeo-y el gr. stasis, posición, estabilidad). 1) f. Biol. Conjunto de fenómenos de autorregulación, que conducen al mantenimiento de la constancia en la composición y propiedades del medio interno

de un organismo. 2. f. Autorregulación de la constancia de las propiedades de otros sistemas influidos por agentes exteriores.

### **La Hipótesis de Gaia**

¿Y qué tiene que ver todo esto con la Tierra? Pues resulta que la temperatura de la Tierra se ha mantenido más o menos constante durante la mayor parte de su existencia, a pesar de que el Sol ha estado aumentando su luminosidad en la escala de millones de años. También se esperaría que la erosión continua de los continentes aumente la salinidad de los océanos, sin embargo, ésta no ha llegado hasta valores críticos que impidan la existencia de vida en el mar, a pesar de que recibe de los ríos tanta sal que ya debería ser al menos diez veces más salado. También la composición de la atmósfera ha permanecido más o menos constante por muchos millones de años. En todos los casos se trata de condiciones que favorecen la existencia de vida en la Tierra. Por mucho tiempo se pensó que estas condiciones eran producto de la casualidad. Pero no para James Lovelock, científico inglés que por cierto todavía vive, a quien estas condiciones de estabilidad no le parecían debidas a la casualidad, y se propuso encontrarles una explicación. Para ello planteó la Hipótesis de Gaia, en la que propone que en la Tierra actúan sistemas de control homeostático y, que esos sistemas, los controlan los seres vivos. Esto es, que la Tierra se comporta como un ser vivo que controla su propia temperatura para beneficio de la vida y, que los responsables de dicho control, son los propios seres vivos en su conjunto.

### **Un malentendido**

Desafortunadamente para Lovelock, los biólogos no tardaron en descalificar la Hipótesis de Gaia, considerándola como pseudociencia. En realidad todo se trató de un malentendido, lo que demuestra que aún entre científicos existen malentendidos. Los biólogos entendieron que Lovelock proponía que la Tierra era un ser vivo, cuando en realidad sólo decía que la Tierra se comportaba en muchos sentidos como un ser vivo, no que era un ser vivo. Mientras duró el malentendido uno de los argumentos de los

biólogos era que las diferentes especies de seres vivos buscan su propia supervivencia, y que nunca colaboran en forma altruista para un fin común. Si acaso llegan a colaborar, como en los casos de simbiosis, necesitan estar tan cerca unas de otras que difícilmente afectan al ambiente. A lo más, como en el caso de los castores que pueden crear lagos artificiales, el alcance de sus efectos está limitado a pocos kilómetros. Pensar en colaboraciones que alcancen a toda la Tierra y por millones de años era simplemente impensable. Que la vida pudiese controlar la temperatura de la Tierra para su propio beneficio se antojaba, y todavía se antoja, como una especie de argumento místico ya superado hace siglos por la ciencia. Tampoco ayudó mucho que movimientos como new age (nueva era) acogieran la Hipótesis de Gaia con mucho entusiasmo, lo cual confundió a muchos científicos quienes se negaban a acreditar estas ideas como científicas.

Lovelock ahora agradece a sus críticos por haberlo estimulado a buscar un sistema de control homeostático que pudiese estar actuando al nivel de toda la Tierra. Se propuso resolver el problema de que la temperatura de la Tierra no había aumentado de manera paralela a la luminosidad del Sol en la escala de cientos y miles de millones de años. ¿Si el Sol está cada vez más caliente, cómo es que la Tierra se las podría arreglar para mantener constante su temperatura? Lo que Lovelock hizo no fue descubrir cómo lo hace la Tierra, eso lo veremos más adelante, sino cómo podría hacerlo. Esto es, que diseñó un mecanismo para que la Tierra pudiera lograr ese fin. Sus talentos de inventor salieron a relucir. Y, como veremos más adelante, nadie creía que eso era posible. En ese entonces Lovelock ya era considerado como un gran inventor. Había inventado instrumentos para medir cantidades pequeñísimas de contaminantes como los clorofluorcarbonos (CFC), los principales compuestos industriales responsables del famoso Hoyo del Ozono. También se le atribuye la invención del horno de microondas, aunque no lo diseñó para preparar comida sino para revivir hámsteres congelados en experimentos criogénicos.

## El Mundo de Margaritas

Busquen la palabra Daisyworld o Mundo de Margaritas. Así le llamó Lovelock al sistema de control homeostático que ideó para demostrar que su propuesta era una posibilidad real. Supuso que el Sol aumentaba su luminosidad con el tiempo y, como consecuencia, la Tierra estaría cada vez más caliente. Supuso además que en la Tierra existían dos tipos de flores (daisies o margaritas), unas blancas y otras negras, así como suelo raso sin margaritas. Las blancas absorben menos luz que el suelo y el suelo menos que las negras. Por lo tanto, las negras tenderán a calentarse más que el suelo y el suelo más que las blancas. En cada caso el grado de calentamiento modifica los alrededores de las margaritas y del suelo. Se tiene además que ambos tipos de margaritas se reproducen mejor a una temperatura media y mueran a temperaturas menores de una mínima, y mayores de una máxima. Esto es todo.

Veamos ahora qué pasaría si la Tierra sin margaritas tuviera una temperatura menor a la mínima. Obviamente ninguna margarita podría existir. Sin embargo, si ponemos una margarita negra ésta hará que su alrededor se caliente y, si la temperatura sube más allá de la mínima, entonces empezarán a reproducirse. Se reproducirán tanto negras como blancas, pero las negras tendrán ventaja porque el planeta está frío. ¿Pero qué pasará si hay demasiadas? Pues el planeta se calentará más allá de la temperatura máxima. Sin embargo, como también hay margaritas blancas, éstas al reproducirse estarán afectando su entorno hacia un enfriamiento. Y si el Sol aumenta su luminosidad, pues entonces las favorecidas serán las blancas, porque ellas pueden bajar la temperatura. Y si la bajan demasiado, favorece a las negras que la pueden aumentar. Y si la aumentan demasiado, pues eso favorece a las blancas que la pueden bajar. Y si la bajan demasiado..... ¿Se entiende?

Simple, brillante y demoledor. Lovelock se sacudió las críticas de los biólogos utilizando los mismos argumentos manejados por ellos. Mostró cómo dos especies que actúan en su propio beneficio pueden terminar creando

condiciones que las beneficien a ambas. La idea es importante pero más importante es que sea realista. Una manera de demostrarlo es hacer un modelo matemático con ecuaciones basadas en las leyes físicas y mostrar que los efectos anticipados son realmente posibles en un planeta como la Tierra. La investigación de Lovelock incluyó el desarrollo de las ecuaciones y su solución. De hecho, el trabajo se realizó como tesis de doctorado de uno de sus estudiantes. Ya existen en Internet programas interactivos que ustedes pueden utilizar y hasta jugar con las variables para experimentar con el modelo. <http://www.gingerbooth.com/flash/daisyball/DaisyBall.html> es la liga que utilizaremos. En esta liga hay dos opciones, DaisyWorld and DaisyBall. La última considera que la Tierra tiene una inclinación de 23.5 grados con respecto al plano de su órbita con respecto al Sol, y que la cantidad de luz por metro cuadrado que llega a la Tierra depende de la latitud. DaisyWorld y DaisyBall utilizan las mismas ecuaciones pero en este último se resuelven para diferentes latitudes. Por eso verán que unas margaritas se concentran en el ecuador y otras en los polos. Consulten las ecuaciones en DaisyWorld-theMathy piensen cómo las resolverían ustedes. ¿Cuál resuelven primero?

Siéntanse libres de cambiar las diferentes variables en la opción de *avanzado (advanced)*, para familiarizarse con el simulador. Empiecen con la opción por **omisión (default)**, y revisen que la temperatura de la Tierra realmente se estabiliza cuando hay margaritas en comparación con la situación cuando no las hay. Cambien albedos, temperaturas máximas y mínimas, luminosidad, etc. Para volver a la opción por omisión utilicen *restore defaults*.

El examen tendrá algunas preguntas específicas sobre las gráficas de la opción por omisión, en su modalidad de DaisyBall. Por ejemplo ¿Cuál es la temperatura de la Tierra para el Sol actual, cuando hay margaritas blancas y negras? Al inicio del calentamiento por las margaritas negras ¿Por qué prosperan las margaritas blancas? Y ¿Por qué las margaritas negras disminuyen cuando aparecen las blancas? Por otro lado, para luminosidades grandes, inmediatamente

antes de que mueran todas las margaritas, la temperatura de la Tierra es muy inferior a la máxima de 40 grados que pueden soportar las margaritas. La pregunta sería: ¿Por qué entonces se mueren las margaritas en masa?

Una de las variables del simulador de Gaia es la cantidad mínima de suelo raso en donde no existen margaritas. La variable la llaman *deathrate* y por omisión tiene el valor de 0.3, significando que al menos 30% del terreno está sin margaritas. La *deathrate* puede variar desde 0 hasta 1.0 y según podrán observar la estabilización de la temperatura depende mucho del valor que utilicen. ¿Cuál es el mínimo terreno libre de margaritas para que la temperatura sea la adecuada para las margaritas? ¿Y cuál es el máximo terreno libre de margaritas para que la temperatura sea la adecuada para las margaritas? Utilicen como criterio de temperatura adecuada el que ésta no sea inferior a 21.5 ni mayor a 23.5 para luminosidad =1.0.

Otra de las opciones a las que se puede acceder en la opción de *avanzado (advanced)* es la de seleccionar un solo tipo de margaritas. La opción supone que sólo hay margaritas negras. La opción de sólo margaritas blancas se puede acceder optando por una sola especie y moviendo el albedo de las margaritas negras al lugar de las blancas. Vean qué pasa en cada caso y traten de explicarlo.

### Teoría por Fin

Para que una hipótesis se convierta en teoría es necesario, primero, que haga predicciones sobre algo nuevo y, segundo, que esas predicciones se comprueben en la realidad. Hemos aprendido a través de milenios que ésta es la manera más segura de avanzar los conocimientos sobre la realidad. En nuestro caso, la Hipótesis de Gaia plantea que, de alguna manera todavía desconocida, en la Tierra operan mecanismos que regulan procesos globales en beneficio de los seres vivos y que los propios seres vivos son los que producen estos efectos. Lo que faltaría es encontrar uno de esos procesos en la naturaleza y la hipótesis se convierte en una teoría científica. Pero si ni siquiera se cree en la hipótesis nadie va

a buscar esos procesos. Por eso es que Lovelock tuvo que desarrollar su Mundo de Margaritas, para convencer a los demás científicos, no para probar la existencia de tales procesos en la naturaleza sino, por el momento, sólo mostrar que son posibles.

El Mundo de Margaritas es más un invento que un descubrimiento. De hecho, Lovelock lo considera su mayor invento. Le faltaba el descubrimiento en la Tierra de uno de esos procesos y, con los años lo encontró, pero no resultó ser exactamente el Mundo de las Margaritas porque uno los actores resultó no ser un ser vivo. Veamos los detalles. El proceso es el de la regulación de la temperatura de la Tierra mediante el reflejo de la luz del Sol por las nubes. A mayor nubosidad menor temperatura y viceversa. Nada nuevo hasta aquí. Tampoco es nuevo que a mayor nubosidad menos luz que llega al mar, ni que a menos luz menos fotosíntesis y por lo tanto menos producción de algas. En corto, que las nubes afecten a las algas no es nada nuevo. Lo que sí es nuevo, sorprendente, increíble y hasta inverosímil, es que las algas afecten a las nubes. ¿Cómo podrían hacerlo? Pues resulta que si no hay algas no hay nubes en el mar, o hay muy pocas. Las algas producen como desecho un compuesto de azufre conocido como sulfuro de dimetilo, que en la atmósfera se descompone y produce pequeñísimas gotitas de ácido sulfúrico que son indispensables para la formación de las nubes en el mar. Con esto, las nubes afectan la producción de algas y a su vez las algas afectan la producción de nubes.

### El ciclo del azufre

Al mismo tiempo que Lovelock buscaba su mecanismo de control, otros científicos buscaban de dónde obtenían las algas el azufre con el que hacen el sulfuro de dimetilo. Sabían que lo obtenían del mar, y que el mar lo recibía de los continentes mediante los ríos. Lo que no sabían era cómo regresaba el azufre del mar a los continentes. Y es que se trata de cientos de millones de toneladas. En los continentes hay pocas fuentes de azufre que, como los volcanes, provean de este elemento tanto a los continentes como al mar. El azufre lo necesitan los seres vivos

porque forma parte de las proteínas y otros compuestos esenciales para la vida. Si ni en los continentes ni en el mar hay suficientes fuentes de azufre que aporten esas cantidades, la posibilidad que queda es que se esté reciclando entre los continentes y el mar. Pero permanecía el enigma de cómo regresa del mar a los continentes. La respuesta seguramente ya la están entreviendo ustedes con lo que han leído aquí sobre Gaia. De hecho, la búsqueda de la solución al enigma del azufre fue estimulada por la otra búsqueda, la del mecanismo de control de la temperatura de la Tierra. Y bien: ¿Cómo regresa el azufre a los continentes? Para los que no lo han adivinado: en la lluvia. Lovelock considera como su mayor invento al Mundo de las Margaritas, y como su mayor descubrimiento al Ciclo del Azufre. No es lo mismo invento que descubrimiento.

## La Ciencia del Sistema Terrestre

La Ciencia del Sistema Terrestre (EarthSystemScience) es una disciplina nueva inspirada por la Teoría de Gaia. Se basa en las disciplinas tradicionales pero el enfoque lo define el concepto de sistema. La Tierra como un sistema global donde interactúan la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biósfera. El énfasis es en descubrir y entender fenómenos o procesos en los que intervienen las cuatro esferas, y que nunca se entenderían trabajando aisladamente. El ciclo del azufre es un ejemplo. El metabolismo de las algas, la formación de nubes en los océanos y el acarreo de azufre por los ríos, aparentemente no se relacionan entre sí. En su descubrimiento fue muy importante pensar en forma gaiana –esto es, en forma global y considerando posibles mecanismos homeostáticos. Ésta es posiblemente la mayor contribución de la Hipótesis de Gaia a la cultura universal: una nueva forma de pensar sobre los procesos que suceden en la Tierra, más allá de como lo hacen las disciplinas tradicionales.

## ¿Es Gaia Todopoderosa?

Seguramente que ya se les habrá ocurrido que el mecanismo de homeostasis que descubrió Lovelock podría encargarse de evitar el Calentamiento Global. La opinión de Lovelock

es que no. De hecho, como seguramente se enterarán, uno de sus últimos libros tiene el título apocalíptico de *La Venganza de Gaia*. Su posición es que debemos de dejar de quemar carbón, gas y petróleo en las plantas generadoras de energía eléctrica y que debemos reemplazarlas por plantas que no emitan dióxido de carbono. Sus predicciones eran muy pesimistas pero poco a poco las ha ido suavizando. Al parecer, lo que deseaba era asustarnos para de esa manera llamar la atención y que los gobiernos hagan algo al respecto. Sea lo que sea, encontrarán que hay todavía mucha controversia sobre los efectos del Cambio Climático Global. Por lo tanto, no se asusten. Infórmense, comparen opiniones y analicen por ustedes mismos. Y a propósito: ¿Quién es Gaia?

## Lovelock vs Molina

A pesar de todos sus éxitos como científico e inventor Lovelock no es infalible, como ningún científico lo es. El hecho de que su Hipótesis de Gaia resultara correcta en sus predicciones, no garantiza que sus opiniones sobre el Cambio Climático Global lo sean. Asimismo, si en algún momento anterior se equivocó sobre otras cuestiones, no significaba que sus ideas sobre Gaia estuvieran equivocadas. Cada cosa tiene que analizarse siguiendo un criterio de verdad y no por el prestigio o desprestigio de quien lo diga. Así es como se trabaja en la ciencia. Los científicos se critican y se revisan sus resultados unos a otros de tal forma que en corto tiempo se acaban las controversias. El mismo Lovelock fue protagonista de un incidente en el que estuvo completamente equivocado por varios años. Siendo el inventor del aparato para medir cantidades pequeñísimas de compuestos CFC, y además el descubridor de que estos se encontraban distribuidos por toda la Tierra (atmósfera), fue llamado por el congreso de los EEUU para atestiguar si estos eran potencialmente dañinos para la vida. El problema era que Mario Molina de la Universidad de California había demostrado en 1974, que los CFC pueden liberar cloro al descomponerse en la las altas capas de la atmósfera y así destruir la capa del ozono. Lovelock atestiguó que los CFC eran extremadamente estables y que los resultados de Molina no eran concluyentes. A la

vuelta de 20 años a Mario Molina le otorgaron el Premio Nobel de Química. En los últimos años Lovelock ha sido reconocido con muchos premios alrededor del mundo, aunque no con un Nobel, aunque tal vez lo merezca. ¿Ustedes qué piensan, lo merece? Y a propósito: ¿Quién es Mario Molina? Lean también sobre Thomas Midgley y sus inventos.

### El Examen

Como siempre, se presentarán 100 preguntas. Sobre el tema de Gaia serán 20 preguntas, sobre Aristarco de Samos (XVI olimpiada) serán 30, sobre Rayos y Centellas (XV) serán 25 y, sobre Los Colores del Cielo (XIV), serán 25. Las preguntas nuevas serán sobre el presente tema de Gaia, así como en la XVI fueron nuevas las de sobre Aristarco de Samos, en la XV las de Rayos y Centellas y en la XIV sobre los Colores del Cielo. Estas 80 preguntas las pueden consultar en los informes correspondientes a las olimpiadas mencionadas, los cuales están disponibles en esta misma página ([www.ugm.org.mx](http://www.ugm.org.mx)).

Para los que nunca han asistido a una de nuestras olimpiadas se les recomienda ver en YouTube:

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

### Inscripciones

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

Habrán pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado.

De 8:00 a 10:00 se entregarán los gafetes con sus nombres.

A las 10:00 inicia el examen y se suspenderá a las 12:01.

Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios de Geología y Geofísica Aplicada, incluyendo la red sísmológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Entre las 14:00 y 15:00 PM se harán las premiaciones.

Les envío un saludo cordial y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño.  
Coordinador de las Olimpiadas

### Las 20 preguntas nuevas del examen

1) En su faceta de inventor, James Lovelock ideó y construyó un aparato para medir cantidades pequeñísimas de CFC en el aire. Con ese instrumento se estableció que había presencia de compuestos de CFC hasta en el aire de la Antártida, el lugar más lejano de donde se producían, el hemisferio norte. El nombre de este instrumento es el de Detector por Captura de Electrones y su principio se sigue utilizando en equipos modernos. Hace 40 años la concentración de CFC en la atmósfera era de 50 ppt (partes por trillón) y actualmente es de 250 ppt. Esta concentración está actualmente

- a) aumentando      b) es estable
- c) disminuyendo    d) no se sabe

2) Una de las críticas que recibió el Mundo de Margaritas es que era demasiado simple. Que la interacción de sólo dos especies no correspondía a la realidad en la Tierra, en donde conviven muchas especies de plantas y que no contemplaba a los animales que se comen a las plantas, ni a animales que se alimentan de otros animales. Las matemáticas en este caso son más complicadas que para los dos tipos de margaritas. Cuando se incluyen más tipos de margaritas además de animales virtuales en el Mundo de Margaritas, el sistema regulador de temperatura debería cambiar. ¿En qué sentido cambia?

- a) mejora      b) empeora  
c) queda igual      d) nunca se hizo esa prueba

3) Thomas Midgley, Jr. fue un inventor norteamericano quien en su tiempo recibió muchos premios y distinciones además de cuantiosas regalías por sus patentes. Sin embargo, con el tiempo sus inventos se convirtieron en verdaderas pesadillas para la humanidad. Algunos historiadores consideran que Thomas Midgley “Tuvo más impacto en la atmósfera que cualquier otro organismo en toda la historia de la Tierra”. Y es que no es para menos. En 1921 descubrió que agregando plomo a la gasolina se corregía el retraso en la combustión de gasolina en los motores de combustión interna, problema conocido en español como pistoneo. La patente la compartía con la compañía General Motors, y para no perder sus ganancias, mintieron siempre sobre el efecto tóxico del producto. Ustedes no tienen plomo en sus cuerpos pero gran parte de la humanidad sí lo tiene porque hace apenas unas décadas que se prohibió su uso. Otro de los inventos de Midgley fueron los CFC, utilizados por décadas en refrigeración con el nombre comercial de Freón, y que son los principales responsables del famoso Hoyo del Ozono. Midgley nació en 1889 y murió a los 55 años de edad. ¿Mintió Midgley sobre los efectos nocivos de los CFC?

- a) no se sabe      b) sí mintió  
c) no mintió      d) sí, pero se arrepintió

4) La abreviatura CFC nos es una fórmula química, pero cada una de las letras corresponde a la primera letra de un elemento químico. En el mismo orden de la abreviatura, estos elementos son (Cadmio=Cd, Flúor=F, Hierro=Fe, Cloro=Cl, Carbono=C)

- a) Cd F Cl      b) Cl Fe C  
c) C F Cl      d) Cl F C

5) El Mundo de Margaritas sorprendió a los biólogos porque les demostró que dos especies que buscan su propio beneficio pueden sin proponérselo crear condiciones para la supervivencia de ambas. Extrapolando esto a muchas especies resultaría un super-organismo o super-especie que modifica la temperatura de la Tierra para su propia supervivencia. Las células en nuestro cuerpo hacen precisamente eso, están organizadas de tal forma que conservan nuestra temperatura más o menos constante a pesar de que haga frío o calor, evitando en lo posible la fiebre y la hipotermia. Pero que las multitudes de especies estuvieran organizadas como si fueran células en un cuerpo que es la Tierra, pues ya era y de hecho lo es, algo difícil de aceptar. ¿Es la Tierra un ser vivo? A juicio del mismo Lovelock, el Mundo de Margaritas es su mayor

- a) hallazgo      b) proyecto  
c) invento      d) descubrimiento

6) En la búsqueda de un mecanismo estabilizador de la temperatura de la Tierra se determinó el Ciclo del Azufre. A juicio del mismo Lovelock, el Ciclo del Azufre es su mayor

- a) creación      b) proyecto  
c) invento      d) descubrimiento

7) Cuando Lovelock le comentó sus idas sobre la Tierra a su vecino William Golding, éste le sugirió el nombre de Gaia para su hipótesis. Gloding era escritor y posteriormente recibió el Premio Nobel de literatura en 1983, no por su sugerencia sino por sus novelas, la más conocida de las cuales es El Señor de las Moscas, sobre la cual se hizo una película. Gaia es la diosa de la Tierra en la mitología



- a) griega
- c) galia

- b) romana
- d) celta

8) Si bien en algunos círculos científicos la Hipótesis de Gaia fue recibida con escepticismo, en otros fue acogida como la salvación a muchos de nuestros problemas ambientales. Esto es, que no importa lo que nosotros hagamos para alterar su funcionamiento, la Madre Tierra (Gaia) de alguna manera arreglará las cosas por ella misma. La opinión de Lovelock es que las cosas no son así, y que debemos actuar rápido con relación al Calentamiento Global. Que debemos dejar de quemar carbón, petróleo y gas para producir energía eléctrica y que debemos optar por otras fuentes de energía. Para Lovelock la mejor solución es el uso de energía

- a) solar
- c) nuclear

- b) eólica
- d) geotérmica

9) Se ha detectado que en las últimas seis décadas ha disminuido del 10 al 15 % la luz que llega a la superficie de la Tierra. Esto es, que se trata de una obstrucción de la luz cuyo origen está en la atmósfera. Si está llegando menos luz a la superficie de la Tierra entonces la temperatura de la Tierra debería estar

- a) aumentando
- c) equilibrándose

- b) disminuyendo
- d) deteriorándose

10) Al fenómeno del decremento de la luz que llega a la superficie de la Tierra se le ha llamado Oscurecimiento Global, y hasta hace unos pocos años, no se les ponía atención a los científicos que lo reportaban porque al parecer va en contra del Calentamiento Global. ¿Cuánto ha aumentado la temperatura promedio de la Tierra en los últimos 100 años, en grados centígrados?

- a) 0.5
- c) 2.0

- b) 1.0
- d) 3.0

11) Parte de la luz que llega a la Tierra se refleja al espacio. La luz la reflejan en diferente medida desiertos, bosques, océanos, nubes y suelos cubiertos de nieve. A la fracción de luz que se refleja se le ha llamado albedo. ¿Qué tiene más albedo?

- a) desiertos
- c) océanos

- b) bosques
- d) nieve

12) Las gráficas que aparecen en el simulador del Mundo de Margaritas corresponden a valores por omisión (by default) que el autor del programa utiliza para ilustrar el funcionamiento del simulador. La opción que utilizaron según se indicó en la Guía es la de DaisyBall, en lugar de la DaisyWorld que es la alternativa por omisión. La temperatura ideal para las margaritas es 22.5 grados. Sin embargo, este valor raramente se obtiene para la temperatura de la Tierra, sino valores cercanos. También pudieron observar que la temperatura depende de la luminosidad del Sol, la cual varía desde menos de 0.7 hasta 1.65 en la opción por omisión. El valor de luminosidad de 1.0 corresponde a la del Sol actual, valores menores son para el pasado y mayores para el

futuro. ¿Cuál es la temperatura de la Tierra para el Sol actual?

- a) 21.2
- c) 23.2

- b) 22.2
- d) 24.2

13) Una de las variables que se pueden cambiar en el simulador de DaisyBall le llaman allí deathrate, y significa que en ningún momento podrán existir todas las margaritas que puedan caber en la Tierra, sino que siempre debe existir esa fracción libre de margaritas. Por omisión esa fracción es de 0.3, lo cual puede comprobarse en la gráfica superior monitoreando el área denominada barren, la cual corresponde a terreno sin margaritas. Este valor se puede cambiar desde 0 al 100% (0 a 1.0). ¿Cuál es el mínimo terreno libre de margaritas para que la temperatura sea la adecuada para las margaritas?

- a) 0%
- c) 3%

- b) 1%
- d) 5%

14) ¿Y cuál es el máximo terreno libre de margaritas para que la temperatura sea la adecuada para las margaritas?

- a) 49%
- c) 69%

- b) 59%
- d) 79%

15) Cuando se ejecuta el simulador con la opción por omisión, se puede observar que para luminosidades pequeñas la Tierra está tan fría que las margaritas no pueden reproducirse. Sin embargo, la Tierra se está calentando y a la temperatura mínima empiezan a aparecer margaritas negras. El crecimiento es muy rápido porque, al no haber margaritas blancas, tienen todo el espacio para ellas solas. El resultado es que la temperatura de la Tierra aumenta demasiado rápido, porque las margaritas negras calientan su entorno, por eso pueden reproducirse. ¿Pero por qué prosperan las margaritas blancas? Prosperan porque

- a) pueden
- b) hay espacio
- c) la temperatura aumentó
- d) se requiere disminuir la temperatura

16) ¿Por qué las margaritas negras disminuyen cuando aparecen las blancas? Porque

- a) la temperatura es alta
- b) las blancas les ganan
- c) se requiere disminuir la temperatura
- d) hay espacio para las blancas

17) Una de las opciones que se pueden acceder en la opción de avanzado (advanced) es la de seleccionar un solo tipo de margaritas. La opción supone que sólo hay margaritas negras. En este caso el efecto de las margaritas es que la temperatura de la Tierra en comparación con la temperatura sin margaritas es

- a) menor
- b) mayor
- c) igual
- d) no se puede comparar

18) La opción de sólo margaritas blancas se puede acceder optando por una sola especie y moviendo el albedo de las margaritas negras al lugar de las blancas. En este caso el efecto de las margaritas es que la temperatura de la Tierra en comparación con la temperatura sin margaritas es

- a) menor
- b) mayor
- c) igual
- d) no se puede comparar

19) El Mundo de Margaritas es en realidad un modelo matemático que simula el comportamiento de dos especies en particular. Las ecuaciones no son complicadas y pueden entenderse cada una en términos de álgebra de nivel de preparatoria (según lo vieron en DaisyWorld the Math). Sin embargo, su simplicidad es sólo aparente porque no se pueden resolver como ecuaciones simultáneas normales. Lo que se hace para resolverlas es suponer valores para unas de las variables y calcular las otras, y del resultado volver a calcular las primeras y así hasta que los resultados finales no cambien. El autor del programa recomienda inspeccionar las ecuaciones y descubrir su sentido:

- a) circular
- b) ambiguo
- c) redundante
- d) impreciso

20) Cuando se utiliza la opción por omisión se puede observar que la temperatura de la Tierra aumenta abruptamente para una luminosidad cercana a 1.5. En ese punto las margaritas se mueren y ya no influyen en la temperatura. Sin embargo, se puede observar que la temperatura de la Tierra es de 27.6 grados que si bien no es la óptima de 22.5, está por debajo de la temperatura máxima de 40 grados. ¿Por qué entonces se mueren las margaritas? Se mueren porque

- a) las temperaturas locales son extremas
- b) hay muchas blancas
- c) hay muy pocas negras
- d) se acabaron el espacio disponible

Manuscrito recibido: 14 de junio, 2012.

Manuscrito aceptado: 14 de julio, 2012.