

## ¿Está la Tierra en nuestras manos o vivimos a merced de nuestro planeta?

GONZALO GARRIDO BAÑUELOS<sup>1</sup>  
*Universidad de Salamanca*  
lalogaba@usal.com

### RESUMEN

El pasado de la Tierra es clave para entender los acontecimientos recientes. Nuestro planeta se desarrolla dentro de unos límites, reaccionando y sobreponiéndose ante alteraciones de la naturaleza, pero la superpoblación y la acción humana están agrandando la magnitud del daño de estos fenómenos naturales y acelerando procesos como el calentamiento global. Debemos procurar respetar nuestro entorno porque al fin y al cabo es el que nos da la vida.

*Palabras clave:* Teoría de Gaia, calentamiento global, fenómenos naturales, CO<sub>2</sub>.

### SUMMARY

Earth's past is something really important to understand what is happening in recent times. Our planet is developing over determinate limits, reacting and recovering of the nature distortions, but the overpopulation and the human action are increasing the damage magnitude of these nature phenomenons and accelerating some process as the global warming. We might procure to respect our environment because at the end it is what gives us our life.

*Keywords:* Gaia's theory, global warming, nature phenomenons, CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Gonzalo Garrido Bañuelos es estudiante de tercero de Biología en la Universidad de Salamanca. En 2005 participó en la fase española de la Competición Científico Europea EUSO.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes temas de actualidad, tratado tanto en coloquios, como conferencias informativas e incluso debates políticos, es el pasado, presente y futuro de nuestro planeta y en qué medida somos nosotros responsables del periodo que comúnmente denominamos cambio climático.

En los últimos años, la alarma social se dispara cada vez que una catástrofe natural tiene lugar en cualquier parte del mundo. Pueden ser citados como ejemplos el tsunami -maremoto tectónico- que arrasó en 2004 el océano Índico, el huracán Katrina que devastó la conocida ciudad norteamericana de Nueva Orleans, el deshielo de los polos o cualquiera de los movimientos sísmicos que se producen a diario en diversos puntos del planeta. Todos ellos crean una conmoción mediática enfocada al hecho de advertir al hombre de su poca preocupación por la naturaleza hasta que ocurre algún desastre.

Pero, también es cierto que la Tierra, tras miles de millones de años de vida, ha sufrido mucho y de muchas formas. El hombre no siempre ha estado aquí para causarle daño y sin embargo lo ha sufrido. Diversos factores naturales han intentado alterar su ciclo, pero la Tierra ha sabido regularse y controlar estos cambios dentro de unos límites. Entonces la pregunta que debemos contestarnos es hasta qué punto somos nosotros partícipes de esta alteración ambiental. ¿Se debe a nuestra presencia en la Tierra y a nuestro abuso sobre el medio natural o, si no estuviésemos aquí ocurriría algo similar?

## 2. ORIGEN DE LA TIERRA

Toda historia tiene un principio que, para hablar de su desenlace, debemos conocer. Al igual que un doctor se informa del expediente clínico de un paciente al que va a tratar por primera vez, nosotros no podemos entender los problemas de nuestro planeta sin tener una idea base de cómo se originó. Puede que sean estos detalles de millones de años atrás los que nos hagan entender qué es lo que le está pasando a la Tierra.

En la actualidad, el origen del universo sigue siendo tema de estudio mediante diversas teorías establecidas. La más popular, quizás, sea la del fenómeno del *Big Bang*, pero no es la única. Hay incluso ampliaciones de esta teoría, como la que, intentando explicar ese *Bang*, propone el estadounidense Alan Guth con la Teoría de la inflación.

La teoría del “Estado Estacionario” es otro planteamiento del origen del universo. También la de un “Universo Pulsante”, en la que se habla de la existencia de un universo previo al actual, el cual, tras haberse expandido, se habría contraído

de nuevo mediante procesos gravitacionales para formar un gran átomo. Posteriormente, habría explotado para volver a materializarse. En resumen, se trataría de un ciclo que hablaría de un eterno retorno del universo. Según la teoría del *Big Bang*<sup>2</sup>, los científicos datan el comienzo del universo hace 15.000 millones de años, mediante la explosión de una partícula mucho más pequeña que un protón que generaría las dimensiones espacio-tiempo. Se produjeron unos fortísimos campos gravitatorios con fuerzas repulsivas, responsables de la expansión de las partículas liberadas, que irían alejándose unas de otras en todas las direcciones. Con el transcurso del tiempo, de acuerdo con la teoría de la relatividad, se demostró que el universo está en movimiento constante y que puede prolongar indefinidamente su expansión o frenarla de manera que se produzca una contracción cósmica, a la cual se denomina “*Big Crunch*” o “Gran Colapso”.

Las temperaturas fueron disminuyendo hasta el punto en que los quarks y gluones (componentes básicos de la materia) indujeron la formación de protones y neutrones, los cuales, a temperaturas aún más bajas, fueron dando lugar a la formación de las partículas elementales. Este sucesivo enfriamiento del universo provocó que, en diversas regiones, la materia se fuese haciendo más densa, formando las estrellas, las galaxias y los sistemas planetarios actuales.

Sería a partir de entonces, desde la formación individual de cada planeta, cuando empezaría el verdadero desarrollo de la vida en la Tierra. Desde el punto de vista de las diferentes religiones, se establecen conflictos con estas teorías de la formación del universo. Desde el punto de vista cristiano, a lo largo de los siglos, la Iglesia ha considerado que Dios creó todo lo que hoy conocemos con vida; se encargó de forjar nuestro planeta en tan sólo siete días y creó al hombre a su imagen y semejanza. En la actualidad, ha aceptado la teoría del *Big Bang* como una posible descripción de la creación del universo, porque no entra en conflicto con las vías que estableció Santo Tomás de Aquino (la primera vía dice que todo lo que se mueve es impulsado por otro; y éste, a su vez, está siéndolo por otro, y así infinitamente, hasta llegar a un motor inicial que no necesita ser movido por nada y que se entiende que es Dios). Es posible, quizás, desde el punto de vista religioso, que la intervención divina tuviese lugar en el impulso de creación de toda esa materia que explotó según la teoría del *Big Bang*, señalado Dios como ese motor inicial que impulsa el resto de motores y el cual no necesita ser movido. Puede que ambos pensamientos, científico y religioso, estén ligados, o simplemente que aún estamos muy lejos de saber la verdad del origen de nuestro planeta.

Pero, ¿qué ocurrió para que surgiese la vida? En sus comienzos, la Tierra era un planeta inhóspito y tuvo que pasar mucho tiempo desde su formación hasta que germinaran las primeras formas de vida.

Las condiciones eran extremas, con temperaturas muy elevadas, gran actividad volcánica e inexistencia de una capa atmosférica que tuviese cantidades significativas de oxígeno. Ésta se componía en su mayoría de hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua. Era una atmósfera de tipo reductor. Estas temperaturas de la Tierra comenzaron a disminuir, posibilitando que el agua líquida (antes en forma de vapor) se fuese acumulando en el planeta. Si la mezcla de estos gases, que se creía que estaban en la atmósfera, es irradiada con luz UV o sufre descargas eléctricas en el laboratorio, puede formar moléculas bioquímicamente tan importantes como aminoácidos, purinas, pirimidinas y ácidos grasos. Esto es lo que muchos científicos creen que ocurrió. Así sería el origen de las partículas primitivas que posteriormente polimerizarían para dar lugar a moléculas de mayor importancia.

Las formas más primitivas de vida serían similares a los procariotas termófilos que conocemos actualmente, por su amplia tolerancia a estas condiciones. Las primeras “células” se formarían contenidas en vesículas lipoprotéicas y en cuyo interior poseerían RNA autorreplicativo. Las condiciones irían favoreciendo el cambio a DNA como genoma celular. Al principio, estas células obtendrían la energía necesaria en un medio anóxico (carente de oxígeno), pero la aparición de las cianobacterias propiciaría una fotosíntesis oxigénica, consumiendo  $\text{CO}_2$  y emitiendo  $\text{O}_2$  que generaría una nueva atmósfera debido al aumento de la proporción del oxígeno. Según esta teoría, este cambio provocó la aparición de organismos aerobios que utilizaban ese  $\text{O}_2$  para sus funciones metabólicas y emitían  $\text{CO}_2$ . Así, la obtención de energía era más sencilla, se impulsó el crecimiento de las poblaciones y posibilitó procesos evolutivos, empezando por la aparición de organismos eucarióticos con orgánulos (el proceso endosimbiótico<sup>3</sup> facilitó este desarrollo) a partir de los cuales se conformarían organismos más complejos<sup>4</sup>.

Desde la aparición del primero hasta la actualidad sólo abarcamos una sexta parte de la vida de nuestro planeta, que corresponde al último de los tres eones de vida de la Tierra. De los primeros periodos de vida no tenemos registros de estos organismos, y ¿por qué nos ha llegado un extenso registro fósil? En las etapas posteriores, los organismos comenzaron a desarrollar un exoesqueleto, mediante un proceso conocido como biomineralización. Más adelante presentarán esqueletos internos.

Otra ventaja de la atmósfera oxigénica es la formación de  $\text{O}_3$  (ozono), responsable de la creación de la capa de ozono que hoy conocemos, y cuya función es proteger la Tierra frente a la radiación UV. La flora y fauna de la Tierra no se ha

3 C. de Duve, “El origen de la vida, Eucariotas”, *Investigación y Ciencia Tema 52* (2008).

4 S. Luck - G. Sweet - J. Morton - M. Waliesewicz - M. Darton - C. Twist (eds.), *Cómo funciona la naturaleza*, Madrid 1992.

mantenido intacta a lo largo de todos estos millones de años. Los procesos evolutivos y factores ecológicos han afectado considerablemente a estos cambios.

### 3. TEORÍA DE GAIA: LA TIERRA MARCA SUS PROPIOS LÍMITES

Sabemos o intuimos que, en los últimos millones de años, la Tierra ha mantenido sus características y niveles vitales dentro de unos límites. Desde la formación de la atmósfera actual, la concentración oxigénica ha permanecido más o menos constante, oscilando ésta entre unos valores del 15 al 25 %. ¿Cómo es posible que sepamos esto? Porque, si la concentración de  $O_2$  hubiese sido inferior a estos límites, nunca se hubiesen dado incendios sobre la superficie terrestre. Y por el dato contrario: si el  $O_2$  superase una concentración del 25%, la Tierra hubiese ardidido como si de una hoguera en medio de la Vía Láctea se tratara, y parece imposible que la vegetación se hubiese desarrollado<sup>5</sup>.

¿Cómo es posible que la Tierra haya conseguido mantener este equilibrio de manera tan exitosa? En la teoría de Gaia se considera a nuestro planeta un superorganismo que también es capaz de autorregularse y mantener sus “constantes vitales” lo más estables posible, como si de un proceso homeostático se tratase (la homeostasis es el mecanismo mediante el que un organismo es capaz de mantener sus caracteres de manera estable). Es regulada mediante procesos de retroalimentación negativa. Es un mecanismo en el que, si en una reacción se obtiene un producto en exceso, el mismo producto final es el encargado de regular que cese su formación. Para verlo más claro citemos un ejemplo: en el ser humano, tras realizar una ingesta de comida, nuestros niveles de glucosa aumentan produciendo una hiperglucemia. Esta alta concentración de glucosa “avisa” al páncreas que segrega más insulina (niveles hipoglucémicos), que se encarga de contrarrestar el efecto. Nótese que la retroalimentación negativa es un proceso imperfecto ya que se da cuando la alteración se ha producido.

Para verlo a gran escala, fijémonos en que nuestro planeta, seguramente como cualquiera de los otros cuerpos celestes de nuestra galaxia, ha sufrido el impacto de diversos meteoritos, un factor externo del que poco puede prevenirse. Una de las teorías de formación de nuestro satélite, la Luna, se basa en uno de estos impactos<sup>6</sup>. Cada día, sufrimos la llegada de restos planetarios de muy diversos tamaños, la mayoría considerados polvo espacial por sus dimensiones despreciables. No todos llegan a impactar con la superficie; pero se piensa que, cada 70 millones

5 J. Lovelock, *La venganza de la Tierra: la teoría de Gaia y el futuro de la humanidad*, Barcelona 2007.

6 J. Erickson, *La vida en la Tierra. Origen y evolución*, Aravaca 1992.

de años, la Tierra ha sufrido la colisión de uno de ellos lo suficientemente grande como para alterar la vida del planeta. A uno de estos meteoritos se le atribuye ser el responsable de la extinción de los grandes reptiles que poblaron la Tierra durante parte de la era Secundaria. El impacto habría provocado la formación de una nube de Iridio, alterando la atmósfera. En ese momento se produjo la extinción de cerca del 60% de los microorganismos acuáticos. La nube de polvo habría impedido el paso de luz suficiente y por tanto la realización de la fotosíntesis. La superficie americana es la que mayor número de colisiones ha sufrido. Pueden identificarse cráteres, como el del desierto de Arizona (177 metros de profundidad), aunque la erosión paulatina provoca la disminución o incluso desaparición de muchos de ellos.

El planteamiento inicial de la teoría de Gaia fue realizado por el inglés James Lovelock en 1969, pero no fue publicada hasta diez años más tarde con el apoyo de Lynn Margulis.

La primera hipótesis, establecida a partir de unos estudios realizados en la composición atmosférica de Marte, investigando la posible existencia de vida en el planeta rojo, indica que los organismos vivos regulan el clima y la composición química de la atmósfera según sus propios intereses. Gaia afirma que la biosfera es un sistema de control activo y adaptable. Esta teoría pronto entró en conflicto con las bases del darwinismo, ya que algunos biólogos comenzaron a cuestionarse que una biosfera que se autorregulara nunca podría haber evolucionado, porque consideraban que la selección se entendía específicamente para organismos, no para la biosfera como un todo.

Para salvar las diferencias establecidas en estos debates, se diseñó un modelo de simulación en el que se pudiese vislumbrar que no eran teorías incompatibles: “el mundo de las margaritas”<sup>7</sup> simula un planeta donde hay sólo dos especies de plantas cada cual compitiendo por su desarrollo. El planeta del estudio se encontraba iluminado por una gran estrella semejante al Sol que conocemos. En ese mundo, las dos especies de plantas se caracterizaban por ser unas de tipo oscuro y otras claras. Las primeras absorbían la luz del sol para mantenerse a sí mismas, la región que ocupaban y el conjunto del planeta en un ambiente templado. Las margaritas claras reflejaban la luz y, por tanto, se mantenían más frías, ejerciendo un efecto análogo al de las oscuras, esta vez enfriando el ambiente en el que se desarrollaban. A medida que la estrella se calentaba, las margaritas claras adquirían mayor predominancia sobre las oscuras y, gracias a la competencia que se establecía entre ambas, existía una alternancia de dominancia, con lo que el planeta siempre se encontraba cercano a las temperaturas ideales para que se desarrollase la vida.

7 J. Lovelock, *La venganza de la Tierra...*, 48-50.

En el 2001, en una conferencia celebrada en Amsterdam Gaia comenzó a ser reconocida. Allí, más de mil delegados firmaron una declaración que establecía como premisa que la Tierra se comporta como un sistema único y autorregulado, formado por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos.

La clave para entender la teoría de Gaia es tener en cuenta que todo se desarrolla dentro de unos límites; de lo contrario, nos encontraríamos ante casos de crecimientos exponenciales descontrolados. Los organismos vivos se desarrollan dentro de unos límites, que si los superan, tanto por exceso como por defecto, provoca efectos críticos en su desarrollo. Dentro de estos límites, existe un punto en el que el crecimiento y desarrollo es óptimo, siendo éste diferente para cada ser, controlándose de esta manera el crecimiento desmesurado de algunas especies. También se restringe su desarrollo en determinadas zonas del planeta donde las condiciones no son favorables para su viabilidad.

Aunque existen especies que se han adaptado a vivir en ambientes extremos, han desarrollado mecanismos para que no cese su crecimiento. Un ejemplo a citar lo encontramos en Yellowstone, en Estados Unidos, donde encontramos una especie de mosca que vive en unos manantiales termales, donde surgen pequeñas charcas o lagunas de hasta 90°C. ¿Cómo es posible? Encontramos que, en el intervalo de temperaturas entre 40-55°C, los organismos más abundantes son unas algas, en cuyo interior vive una especie de mosca que se alimenta de ellas. Pero los límites de tolerancia de ambas no coinciden. Las algas poseen unos rangos de temperatura muy elevados, mientras que las moscas deben vivir en temperaturas algo más bajas (20-40°C). Lo que ocurre es que las algas viven en la superficie del agua y forman una masa muy espesa, que actúa como aislante térmico. De esta manera, a medida que nos introducimos hacia el interior de esta masa de algas, la temperatura va descendiendo. Al bajar la temperatura, parte de la materia vegetal muere; pero esto mismo favorece el desarrollo del otro organismo que se alimenta de ellas, las moscas, que se aprovechan de estas nuevas condiciones, más favorables para su desarrollo.

Y nos preguntaremos cómo en el proceso evolutivo, estas moscas no han adquirido la capacidad de desarrollarse a temperaturas más elevadas. La respuesta es muy sencilla, simplemente porque es muy costoso, implicaría el desarrollo de nuevas proteínas que poseyeran altas temperaturas de desnaturalización para conseguir únicamente incrementar un poco la disponibilidad de alimento. Si no lo han desarrollado es porque el gasto energético de este cambio no compensa.

Hemos hablado sobre la Tierra y su capacidad de autorregularse y de adaptarse a cambios que se produzcan en ella; pero ¿qué clase de cambios son esos? ¿Tiene el hombre algo que ver en estos estímulos al planeta?

#### 4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TIERRA

##### 4.1. FACTORES NATURALES

A lo largo de la gran historia evolutiva de nuestro mundo se han producido muchas alteraciones inesperadas que desequilibran el buen funcionamiento del planeta azul, que la humanidad no puede predecir. Los más destacables son citados a continuación.

Entre los factores terrestres a destacar están los movimientos sísmicos, que son ondas que se propagan en el interior y en la superficie de la Tierra.

Hoy sabemos que un terremoto<sup>8</sup> es producido por la colisión o separación de las placas tectónicas de la corteza. Estos temblores generan tres tipos de ondas: las ondas P o primarias son ondas de compresión y dilatación (hacia atrás y hacia delante) semejantes a las ondas sonoras; las ondas S o secundarias se mueven más despacio y a una mayor profundidad en el manto terrestre, son ondas transversales que se desplazan moviendo la roca de arriba abajo o de lado a lado. Hay un tercer tipo que son las ondas de sacudida o superficiales. Para medir un terremoto se emplean dos conceptos: la magnitud y la intensidad. La primera la hallamos midiendo la amplitud de las ondas sísmicas propagadas y los resultados obtenidos se valoran según un baremo establecido, la escala de Richter, que es una escala logarítmica en la que cada unidad representa el aumento multiplicado por diez de la amplitud de las ondas. En ella, los terremotos más relevantes son los que se acercan al valor de 8,8. El mayor terremoto registrado se produjo en Japón en 1933, que llegó al grado 9 de esta escala. Por su parte, la intensidad depende del grado de temblores y se mide mediante la escala de Mercalli, que abarca desde el nivel I (en el que apenas percibimos el seísmo) al nivel XII (en el que se produce una destrucción total). Se mide según sus efectos: el grado IV es el que se percibe en el interior de las casas, el VII el que provoca el hundimiento de edificios, y el último nivel (XII) provoca una devastación completa de la zona afectada.

Cada año, se producen cerca de 150.000 terremotos perceptibles; pero si usamos aparatos sensibles para su medición, podemos registrar cerca de un millón. Esto demuestra la inestabilidad de la superficie terrestre, cubierta de grietas y fallas que se deslizan con frecuencia y de forma imprevisible.

Si la sacudida de placas, rozando unas con otras, se produce bajo el agua, estaremos hablando de un maremoto, pudiéndose originar un movimiento de la superficie oceánica en forma de olas gigantes conocida como tsunami. El antiguo concepto de tsunami<sup>9</sup> era el de una gran ola que avanzaba hacia la costa como

8 P. Whitfield, *Atlas de los fenómenos naturales*, Madrid 1991, 72-79.

9 *Ib.*, 80-84.



una devastadora muralla de agua. Hoy se ha observado que con frecuencia es un número variado de olas, incluso más de una docena, que se dirigen a la costa a intervalos de tiempo, de manera que no se puede predecir qué ola es la que será más grande y provocará mayores daños. Su desplazamiento a altas velocidades dificulta la evacuación de la población de las zonas cercanas. Sin embargo, si una persona se encuentra en una embarcación mar adentro está mucho más segura que en tierra firme, ni siquiera percibirá diferencia alguna en las olas, ya que éstas adquieren altura a medida que se acercan a la orilla.

Todos estos movimientos y choques se producen porque la Tierra está formada por gigantescas placas rocosas que no son fijas, ni tampoco inmóviles. Se mueven muy despacio y su deslizamiento o choque provoca fenómenos como los citados anteriormente. Se han identificado una serie de placas como la Pacífica o la Euroasiática.

Otro de los factores que han moldeado la superficie de la Tierra con el transcurso de la historia es el de los volcanes<sup>10</sup>, montañas que escupen fuego como si fuesen sacadas de los cuentos más quiméricos. En las capas interiores del planeta existe gran energía calorífica retenida a grandes presiones en forma de magma. En el proceso de la erupción, los gases disueltos en este magma se expanden, ascendiendo con fuerza hacia la superficie, creando un agujero en la corteza terrestre. Un chorro de gas sale hacia la atmósfera, creando una gran nube compuesta de cenizas y polvo, mientras por las laderas de la montaña desciende el magma en forma de lava.

Los volcanes no son periódicamente activos; no podemos decir que sus erupciones hayan sido rítmicas en el transcurso histórico. Nos limitamos a decir que un volcán está inactivo mientras que no se registre actividad en la corteza, pero sabiendo que en cualquier momento puede activarse o reactivarse. Hoy en día, la vulcanología es una disciplina científica y es mucho más fácil predecir o al menos calcular la probabilidad de la erupción de un volcán con la suficiente antelación como para prevenir desastres naturales y poblacionales. A lo largo de los siglos, ha habido grandes erupciones. A algunas de ellas se les atribuye la modificación de la superficies (con sus cráteres) o incluso desaparición de algunas islas casi al completo (isla de Krakatoa<sup>11</sup>).

Por otro lado, día a día nos enfrentamos a la invasión de fragmentos no planetarios que circulan por nuestro sistema solar y que llegan hasta el campo gravitatorio de nuestro planeta. Los conocemos como meteoritos. No somos conscientes de la mayor parte de ellos, debido a que al entrar en el campo gravitatorio, estos restos de materia sólida lo atraviesan a grandes velocidades y en la mayor parte de

10 *Ib.*, 60-67; I. B. Binderman, "Supervolcanes", *Investigación y Ciencia* 359 (2006) 6-13.

11 [www.temakel.com/geosagkrakatoa.htm](http://www.temakel.com/geosagkrakatoa.htm) (10/03/2009).

las veces, acaban por fundirse. Esto no quiere decir que el impacto de meteoritos contra la Tierra sea imposible, simplemente es poco probable. Aquellos restos planetarios de gran tamaño, al atravesar la atmósfera a esas altísimas velocidades, perderán forma y tamaño; pero sabemos que a lo largo de la historia han penetrado algunos lo suficientemente grandes como para no descomponerse, que han impactado contra la corteza.

Entonces, fenómenos como los citados han ayudado al moldeado de la Tierra como el planeta que conocemos, con una superficie irregular: debido a los impactos de los meteoritos o a desplazamientos de tierra. La superficie terrestre no siempre ha tenido una distribución como la actual. Fue el alemán Alfred Wegner, en 1912, quien se dio cuenta de que los continentes no siempre habían ocupado la misma posición relativa que ocupan en la actualidad, habiendo existido un desplazamiento de los mismos. Habló entonces de una deriva continental<sup>12</sup>.

A lo largo del siglo XIX, se fue incrementando la información sobre la flora del pasado. Una de las primeras observaciones fue que la flora del Pérmico (género *Glossopteris*) de los continentes meridionales era diferente a la que había en los continentes septentrionales. La única explicación que encontraron fue que entonces la Tierra se dividía en dos grandes masas continentales: una al norte conocida como Laurasia y otra al sur que sería Gondwana, con un mar en medio, el mar de Thetys. Al final del Pérmico, los continentes se fusionaron en uno, que recibió el nombre de Pangea. Este supercontinente sufriría también cambios, separándose al principio en dos supercontinentes que posteriormente se dividirían en otros con una distribución más parecida a la actual. Así es como se entiende que los marsupiales se empezasen a expandir a principios del Cretácico en Sudamérica. Al existir el continente Gondwana consiguieron pasar a través de lo que hoy es la Antártida para llegar a la actual Oceanía. Al separarse los continentes, Sudamérica se habría unido con Norteamérica por el istmo de Panamá. Los placentarios habrían entrado entonces en el sur y desplazado a los marsupiales. Por este motivo, la mayoría de los marsupiales actuales se encuentran en Australia.

La Tierra actual se divide en regiones florales y en regiones zoogeográficas según las barreras geográficas establecidas; las primeras están compuestas por Boreal, Paleotropical, Neotropical, Australiana, Capense y Antártica; y las regiones zoogeográficas se corresponden prácticamente con las grandes masas continentales: Paleártica, Neártica, Neotropical, Etiópica, Oriental y Australiana. En cada región, podemos encontrar una diversidad de especies que pueden ser totalmente distintas a las de una región contigua en el pasado.

<sup>12</sup> J. Erickson, *La vida en la Tierra...*, 209-228; H. Curtis – N. Sue Barnes, *Biología*, Madrid 2004.

La cuarta de estas alteraciones ocasionales más trascendentes, sería la de las glaciaciones. En 1837, el biólogo suizo-norteamericano Louis Agassiz fue el primero que determinó la existencia de las edades de hielo.

La Tierra ha sufrido periodos glaciares. Los continentes se hallaban cubiertos por gruesas capas de hielo y el clima de Europa y Norteamérica era parecido al clima Ártico actual. Posteriormente, estas masas heladas se fundirían para entrar en un período interglaciar como es el que nos encontramos hoy. Los primeros periodos glaciares en Europa se identificaron en los Alpes y reciben el nombre de cuatro ríos próximos a Munich: Gunz, Mindel, Riss y Würm. La glaciación altera la flora y la fauna existente en el momento en que se produce.

En 1860, el escocés James Croll, basándose en los cálculos del astrónomo francés Urbain Leverrier, predijo que la órbita terrestre, afectada por fuerzas gravitacionales del Sistema Solar, cambia pasando de una forma casi circular a una elipse estirada. En el primer caso, la órbita circular correspondería a un periodo interglaciar, con condiciones cálidas por la cercanía al Sol en todo momento. Sin embargo, en la órbita elíptica, existen momentos en los que el planeta se encuentra muy alejado del Sol, produciéndose inviernos muy fríos donde las nieves se acumulan con mayor facilidad, lo que conseguirá reflejar la luz incidente en la Tierra, manteniendo fría su temperatura.

En 1941, el matemático y astrónomo Milutin Milankovitch propuso una teoría acerca de estos periodos glaciares, según la cual existe una variación en el eje terrestre entre  $21,6^\circ$  y  $24,5^\circ$  con una periodicidad de 41.000 años (a mayor grado de inclinación mayor será la diferencia de temperaturas entre veranos e inviernos). Hablaba también de la variación orbital citada y de un bamboleo del eje que determina cuál de los dos hemisferios poseerá el punto más cercano al Sol en la órbita elíptica; estudió estos tres procesos juntos para formular su teoría<sup>13</sup>.

#### 4.2. FACTORES CONDICIONADOS POR LA ACCIÓN HUMANA

##### *El cambio climático*

Cada vez que comienza un periodo glacial, le precede un cambio climático. En la actualidad, estamos sumergidos en un cambio climático<sup>14</sup>. La temperatura es uno de los factores más determinantes para la distribución mundial de plantas y animales, y este cambio podría tener efectos destacables en toda la biota de la Tierra. Si los animales ven alterado su biotopo por el cambio del clima, lo más normal es que

13 P. Whitfield, *Atlas...*, 48-51.

14 Ch. J. Krebs, *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*, San Francisco 2001, 596-603.

muchas especies se desplacen en busca de uno similar al que vivían. Ya que algunas no serán capaces de moverse, su supervivencia corre peligro. Sólo tenemos que ver los efectos de la última Edad de Hielo: muchas especies del hemisferio norte emigraron al sur en busca de climas más favorables. Sabiendo cómo respondió nuestro planeta, es más fácil averiguar cómo serán los acontecimientos que se avecinan. Estos cambios no se producen de un día para otro, sino que es un proceso lento. Pero la actividad del hombre puede ser responsable de su aceleración.

Llamamos cambio climático a todas aquellas modificaciones del clima: cambios en la temperatura, precipitaciones, deshielos de los polos, etcétera. Estos procesos se deben tanto a causas naturales como a la acción del hombre. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático cita este término para referirse al producido por culpa de la acción humana. Y la realidad es que si entendemos la Tierra como un superorganismo en el que habitamos, nosotros también tenemos que ser responsables de cuidarla y no dejar que “enferme” porque esto no haría más que perjudicarnos.

Es un tema del que quizá se ha empezado a hablar relativamente tarde. En el pasado, los científicos veían el agujero de la capa de ozono como el gran problema terrestre, hasta el momento en que se dieron cuenta de que el cambio climático era un hecho y que había que actuar frente a los problemas medioambientales. Incluso el climatólogo Humber Lamb, en su libro *Climate: Present, Past and Future*, publicado en 1972, únicamente dedicó una página para hablar del efecto invernadero. Y es que prácticamente hasta hace un par de décadas, en 1988, la población de a pie no tenía conocimiento de este calentamiento global<sup>15</sup>.

Los científicos Stephen Schneider y Jim Hansen fueron unos de los pioneros en tratar el tema. En 1984, Schneider publicó, junto a Randi Londer, un libro en el que advierte de las consecuencias que se derivan de la emisión a la atmósfera de determinados gases, procedentes del uso de combustibles fósiles. Hace un llamamiento a controlar este tipo de emisiones desfavorables para nuestro planeta.

Efectivamente, se comprobó que la Tierra se desarrollaba a una temperatura mayor a todo lo registrado por el hombre y las previsiones de futuro no eran precisamente positivas. Si seguíamos con un desarrollo mundial como el producido hasta entonces, en unos cien años alcanzaríamos la temperatura más elevada de la Tierra en los últimos dos milenios, acelerando el deshielo de los polos y sumergiendo bajo las aguas ciudades costeras como Amsterdam, Hong Kong, Sydney o New York.

Estos científicos encontraron un apoyo fundamental en políticos como Al Gore que, como cualquier persona involucrada en la política, tiene cierta repercu-

15 J. Lovelock, “La venganza de la Tierra...” 21.

sión en el pensamiento social y más aún si se trata de un vicepresidente y posterior candidato al gobierno de los Estados Unidos de América. En diciembre de 1990, en la gala de los premios Nobel, el mexicano Octavio Paz, cuando fue galardonado con el de Literatura, declaró que: “el siglo se cierra con muchas interrogaciones. Algo sabemos, sin embargo: la vida en nuestro planeta corre graves riesgos. Nuestro irreflexivo culto al progreso y los avances mismos de nuestra lucha por dominar a la naturaleza se han convertido en una carrera suicida...”<sup>16</sup>.

Lamentablemente, también nos encontramos con el posicionamiento totalmente opuesto: muchas personas no quieren ver la existencia de este cambio que está sufriendo nuestro planeta, consideran excesivas las medidas de las que se habla porque para ellos no es algo evidente o que tan siquiera pueda ocurrir en el futuro cercano. Es verdad que es un proceso lento, del que muchos de nosotros no conoceremos el desenlace final, pero si no controlamos el abuso del hombre sobre los recursos naturales puede que este proceso se vea acelerado.

La industria cinematográfica se ha aprovechado de este “boom” mediático. La película *El día de mañana*<sup>17</sup> intenta plasmar un cambio climático como el que podría producirse. En ella, Jack, un paleoclimatólogo, basándose en un estudio que él mismo realiza en los polos para averiguar el efecto de las glaciaciones del pasado, formula una hipótesis que habla de la entrada en una edad de hielo a consecuencia de un sobrecalentamiento, palabras contradictorias, pero el calentamiento global puede causar un enfriamiento; debido a la alteración del equilibrio de las corrientes oceánicas. Como todo trabajo cinematográfico tiene cierto grado ficticio, como el hecho de que tan sólo transcurren unos días desde la predicción de esta posible era glacial hasta que el hielo cubre prácticamente el hemisferio norte en su totalidad; pero a su vez muestra todo tipo de catástrofes y alteraciones naturales que bien podrían producirse tal cual en algún momento futuro. Al comienzo de la trama, los primeros datos observados corresponden al descenso de 13°C de las aguas en diversos puntos del Atlántico Norte. La precipitación de piedras de hielo en Tokio, la destrucción de Los Ángeles a causa de sorprendentes tornados o la inundación de Manhattan por olas gigantes producidas por incesantes lluvias, desatan la alarma social y evacuación masiva de la población del hemisferio norte hacia zonas más cálidas en el sur del planeta. Puede que únicamente sea una película de ciencia-ficción, ya que nadie sabe verdaderamente qué es lo que va a

16 “El siglo se cierra con muchas interrogaciones. Algo sabemos, sin embargo: la vida en nuestro planeta corre graves riesgos. Nuestro irreflexivo culto al progreso y los avances mismos de nuestra lucha por dominar a la naturaleza se han convertido en una carrera suicida...” palabras pronunciadas por Octavio Paz en la gala de los premios Nobel citadas en A. King – B. Scheinder, *La primera revolución global. Informe del consejo al club de Roma*.

17 R. Emmerich (dir.), “*El día de mañana*” (*The day after tomorrow*), 20th Century Fox 2004.

producir este cambio climático; pero, ante el desconocimiento de algo, todas las propuestas deben ser examinadas hasta considerarlas válidas o ser refutadas.

¿Cuáles son los principios de este cambio climático terrestre? El Sol es la esencia de la vida de nuestro planeta. La radiación que emite nos proporciona la energía necesaria para las funciones vitales. La temperatura estaría regulada por la cantidad de radiación electromagnética procedente de la estrella más cercana que sirviese como fuente de energía.

La ley de Stefan-Boltzmann determina este principio: la temperatura que tendría un cuerpo en función de la cantidad de energía que recibe ese cuerpo.

$$T (^{\circ}K) = \left[ \frac{F \cdot (1-A)}{4S} \right]^{0.25}$$

Donde: F= radiación recibida;

A= coeficiente de albedo;

S= valor constante.

Todo cuerpo, al recibir una radiación, puede reflejar parte de ésta. En el caso de la Tierra, ésta es devuelta hacia el espacio exterior, no contribuyendo a aumentar la temperatura del planeta. Esto es lo que se conoce como albedo. El albedo dependerá de la superficie del planeta para actuar de un modo más o menos intenso a la hora de reflejar la radiación. La nieve y el hielo tienen un albedo superior tanto al de la tierra seca como al del agua líquida. Por eso, al producirse un calentamiento en el planeta, el albedo irá disminuyendo, reflejando menos radiación, reteniéndola por tanto en la superficie y aumentando así la temperatura. Este cambio térmico provoca el derretimiento de las grandes superficies de hielo (las que poseían un albedo alto y reflejaban mayor cantidad de radiación), que pasan su estado a agua líquida, incrementando así aún más la superficie del planeta que posee albedo menor. La radiación neta la obtenemos restando el albedo (radiación devuelta al exterior) de la radiación solar incidente.

El famoso efecto invernadero se basa en este hecho. La mayor parte de esta energía se encuentra en el espectro visible (entre 360 y 760 nm.), cercano al infrarrojo (por encima de los 760 nm.), una radiación para la cual el aire sin nubes ni partículas de polvo es transparente, como lo es la pared de vidrio de un invernadero. Al reflejar al exterior, no toda esta radiación atraviesa la atmósfera. Hay parte que se queda retenida en ella, calentándola. El dióxido de carbono, el vapor de agua, el ozono y el metano son los encargados de retener este calor para no dejarlo escapar hacia el espacio. Entonces es cuando la Tierra sufre un efecto similar al producido en un invernadero cuyas paredes no dejan escapar el calor, provocando que la superficie a la que recubren sufra los efectos de esa radiación retenida.

Puede que la mayoría de las personas al oír hablar del efecto invernadero asocien este término a algo perjudicial, considerado como la principal causa de las alteraciones que nuestro planeta está sufriendo; pero lo cierto es que el efecto invernadero es algo positivo. De no ser por él, la Tierra se encontraría hoy a una temperatura 30°C inferior a la que posee. Imaginar un mundo desarrollado como el que conocemos a temperatura de signo negativo sería algo difícil.

El problema radica en que la atmósfera actual no es lo suficientemente “transparente” y “limpia” como lo era antes. Encontramos que está verdaderamente afectada por poluciones que impiden el funcionamiento natural de regulación de la temperatura de la Tierra. Este vertido excesivo de gases, como el dióxido de carbono, el metano, o productos industriales, como los clorofluorcarbonados, es el responsable de que veamos aumentos de la desertificación planetaria, un retroceso de los casquetes polares o temperaturas inesperadas en ciertas regiones del planeta. Además, al ser gases estables, permanecerán en la atmósfera un largo periodo de tiempo.

¿Qué podemos hacer frente a esta situación? Hay que conseguir una concienciación mundial de la evidencia de que algo está ocurriendo. En lo que llevamos de 2009 (apenas unos meses) multitud de carreteras han sido cortadas a causa de la nieve, e importantes ciudades europeas, como París, Londres o Madrid, han sufrido cancelaciones de cientos de vuelos debido a la inestabilidad de los aeropuertos para realizar maniobras de despegues y aterrizajes. Que nieve en estas ciudades no es algo anormal, pero sí lo son los cambios tan repentinos de temperaturas que se producen debido a que nuestro clima está controlado por una corriente polar. Si los polos se ven alterados, esta corriente provocará una oscilación desequilibrada de nuestras temperaturas, encontrándonos tan pronto con grandes nevadas como con temperaturas primaverales a comienzos de año.

La sociedad mundial decidió tomar parte en la detención de este cambio climático. El protocolo de Kioto<sup>18</sup> es un acuerdo internacional para reducir la emisión de estos gases que se firmó en 1997; pero no entró en vigor hasta hace unos años, en 2005, tras la ratificación de Rusia meses antes. Estados Unidos firmó el acuerdo, pero no lo ratificó, retirándose del protocolo en el gobierno de George W. Bush en 2001, ya que consideraba injusta la involución exclusiva en estas restricciones de los países desarrollados y no de aquellos en vías de desarrollo como China. La propuesta planteada es reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera en un 5% con respecto a la que se producía en 1990. Es decir, si consideramos que entonces ésta era el 100%, que entre el 2008 y el 2012 ésta fuese del 95%. A cada país se le asignó un porcentaje diferente sobre la cantidad que debía reducir su emisión o en algunos casos el tanto por ciento límite hasta el que la podía incre-

18 [www.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Kioto](http://www.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto) (27/02/2009).



mentar. Sirva de ejemplo España, que poseía hasta un margen del 15% en su incremento, límite que ha rebasado y por el que tendrá que tomar medidas. Hace unos meses, se firmó un nuevo acuerdo de reducción de hasta un 20%, respecto del 5% acordado en años anteriores. España, por su parte, debe reducir en hasta un 70% su emisión. Esto ha provocado que algunos de estos países emisores masivos intenten negociar con países en vías de desarrollo, que apenas vierten gases a la atmósfera, por la adquisición de parte de su porcentaje no usado.

La energía nuclear es uno de los temas más delicados del protocolo de Kioto. Es una forma “limpia” de generar electricidad sin generar gases de efecto invernadero, comparándolo con otro tipo de energías. La nuclear, para generar un kilovatio/hora, emite a la atmósfera cero gramos de carbono, mientras que, por ejemplo, la eólica emite entre 5 y 10 gramos, la solar entre 30 y 60 gramos, el petróleo de 220 a 240 gramos y el carbón entre 260 y 355 gramos. Si es tan limpia, ¿por qué no está siendo usada a gran escala? Porque es una energía costosa y, sobre todo, porque atemoriza el control de sus residuos contaminantes, difíciles de almacenar por su largo periodo de enfriamiento (entre 20.000 a 100.000 años). Este temor viene provocado, en parte, por el suceso que tuvo lugar en la central nuclear de Chernobil (Ucrania) en 1986<sup>19</sup>. El reactor nuclear explotó debido a un sobrecalentamiento de su núcleo, produciendo una nube de partículas radiactivas. Esto no tiene que servir de ejemplo para todas las centrales nucleares, en las que hay un control exhaustivo para que hechos gravísimos pero también puntuales como éste no vuelvan a suceder. Quizás una gran inversión económica en las centrales, más que en su propia creación, debiera ser en el control que diese la total seguridad de que es la energía menos contaminante y que a largo plazo podría ser menos perjudicial para nuestra atmósfera.

### *Superpoblación*

El gran crecimiento demográfico del siglo pasado hace que diversos puntos del planeta se encuentren superpoblados. En el modelo de crecimiento propuesto por Malthus, ya se observaba que los recursos naturales crecían de forma logarítmica mientras que la población sufría un crecimiento geométrico, llegando un punto en que la población superaba los recursos disponibles. La escasez de recursos útiles provoca la competencia. Los organismos compiten por su supervivencia y esta competencia puede ser con miembros de la misma especie (intraespecífica) o de otras (interespecífica). Para el abastecimiento de la población harán falta gran cantidad de recursos, produciéndose una sobreexplotación sobre los recursos naturales. El hecho es que la población mundial ha crecido demasiado rápido. Aún estamos en unos niveles aceptables; pero, ¿cuánta más carga de acción humana podrá

19 H. Curtis – N. Sue Barnes, *Biología*, Madrid 2004.



aguantar el planeta? La mayor parte de la población reside entre los trópicos<sup>20</sup>, 30° y -30° con respecto del ecuador. Los efectos de un calentamiento global pueden provocar que toda la parte norte de África ocupada por el desierto del Sahara se extienda hasta niveles centroeuropeos, y que el clima tropical se desplace a los actuales países nórdicos. “El resto del mundo será un gran desierto con unos pocos oasis”, declara Lovelock. Los actuales habitantes de la zona tropical del planeta se verían desplazados a los países de altas latitudes y con el tamaño de la población mundial habría serios problemas para su mantenimiento.

A escala individual, ¿cómo nos afecta? ¿Qué podemos hacer para evitar esta aceleración? El simple reciclaje de cajas de cartón o el uso de papel reciclado evita la tala masiva de árboles de forma innecesaria. Estos componentes del reino vegetal son importantes para nosotros porque se encargan de purificar el aire que respiramos. Los humanos cambiamos la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a una mayor velocidad de la que varía por sí sola. El reino vegetal se encarga de procesar este gas para devolverlo al ambiente en forma de O<sub>2</sub>. Si la superficie “verde” disminuye, el dióxido de carbono seguirá en aumento en detrimento del oxígeno que nosotros necesitamos para nuestras funciones vitales.

También debemos evitar el uso abusivo e innecesario tanto de agua<sup>21</sup> (evitando, por ejemplo, las duchas de media hora) como de electricidad (por ejemplo, aprovechando al máximo la luz solar), ya que su adquisición es costosa y a su vez contaminante. Es también aconsejable evitar abusar de aparatos de aire acondicionado o de calefacción. El coche es un gran emisor de gases; sabemos que es algo necesario y de lo que dependemos a diario, pero si hiciéramos uso del transporte público reduciríamos la contaminación en la cantidad equivalente a las personas que van dentro y no están conduciendo en sus vehículos particulares. La bicicleta sería un medio ideal para desplazarse; una tendencia a la que se han sumado varias grandes ciudades europeas.

En ocasiones, la solución más eficaz no es la más complicada. Lo que está ocurriendo es algo ante lo que no podemos estar pasivos, ya seamos una milésima o quién sabe si una millonésima parte del universo. Pero, cierto es que por mucho que un individuo se esfuerce en cuidar la Tierra, no merece la pena si no existe una conciencia mundial.

20 G. Vince, “Surviving in a warmer world”, *New Scientist* v. 201 n° 2697 (28/02/2009), 29-33.

21 G. Higuera entrevista a Rajendra Pachauri (Presidente del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de la ONU), “Los escépticos deben irse del planeta”, *El País* (12 de enero de 2009).

## 5. CONCLUSIONES

Muchas veces el mirar exclusivamente al presente y al día a día en que vivimos, nos hace incapaces de apreciar que en algún momento futuro las cosas serán distintas, puede que tan diferentes como lo fueron en el pasado.

Pero, ¿está la Tierra en nuestras manos o vivimos a merced de nuestro planeta? Puede que pensemos que tenemos la sartén por el mango, pero la Tierra es la que dictaminará la última palabra sobre su futuro. Mientras tanto, el hombre es, junto al resto de seres vivos, un mero inquilino de este planeta; hemos visto que muchos factores naturales provocan alteraciones en la tranquilidad de la Tierra, factores que el ser humano no tiene capacidad de predecir, simplemente puede ser precavido, tomando precauciones para que estos fenómenos no alteren su residencia en el planeta azul. Pero, también nos damos cuenta de que el incesante afán por mejorar nuestro nivel de vida puede acelerar o alterar estos procesos naturales.

Nos hemos habituado a vivir a un nivel tecnológico y a la vez contaminante, que ha conseguido en poco tiempo dañar la capa de ozono que tantos millones de años tardó en formarse. La ciencia moderna no es la culpable; hoy en día no podríamos prescindir de la mayor parte de los artefactos potencialmente contaminantes que usamos. La clave radica en desarrollar fuentes de energía que no sean tan perjudiciales para el medio ambiente e intentar aprovechar los recursos naturales siempre que podamos. Quizá todo ello no frene este cambio climático, porque como hemos visto no es algo que ocurra por vez primera en la Tierra, pero podría ser que el día en el que nuestro clima sea distinto, esté aún muy lejano.

¿Cómo será la vida en un futuro? ¿La Tierra será capaz de establecer sus límites como ha hecho hasta ahora? ¿Quién habitará el planeta? ¿Dejará de brillar nuestro Sol? Son preguntas de las que quizá algún día sepamos la respuesta.