

## **CAMBIO DE CLIMA**

*Comunicación del doctor Mario R. Feliz,  
en la sesión pública del Instituto de Política Ambiental,  
el 12 de agosto de 2014*



# CAMBIO DE CLIMA

Por el Dr. MARIO R. FELIZ

## **Pangea, tierra de dinosaurios**

La larga historia la Tierra ha dejado innumerables rastros que geólogos, paleontólogos y otros, han sabido interpretar para contarnos los cambios sufridos por el planeta. Cambios en su geografía, en el clima y en la evolución de la vida<sup>1</sup>.

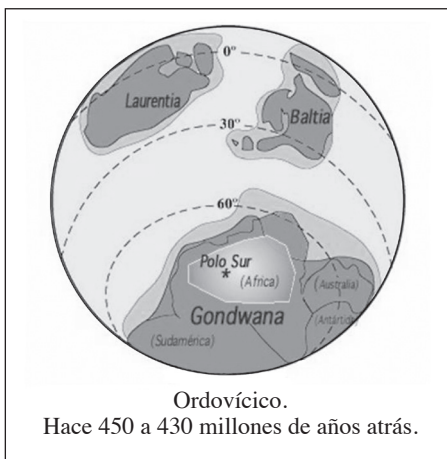
No es sencillo resumir más de 4000 millones de años de transformaciones en pocos párrafos y, por lo tanto, nuestro breve relato se limitará a una visión somera de los últimos 750 millones de años.

Desde bien temprano el planeta estuvo sujeto a períodos fríos (glaciaciones) y épocas cálidas. Es así que durante el Neoproterozoico (entre 750 y 580 millones de años atrás) se produ-

---

<sup>1</sup> Historical Geology. J. Erickson. Fact On File, INC.

ieron varias glaciaciones<sup>2</sup>, probablemente las más intensas, tanto que las zonas heladas se extendieron hasta latitudes tropicales. La Tierra casi dejó de ser apta para la vida aunque, haciendo gala de su tozudez, ésta no desapareció. Muy por el contrario, unos 40 millones de años después, se produciría una proliferación de organismos pluricelulares complejos sin precedentes y no superada: la explosión cámbrica<sup>3</sup>. Desde entonces la vida se ha caracterizado por sufrir expansiones y depresiones. Aun así las especies se diversificaron de un modo grandioso aunque fueran aniquiladas en cantidades ingentes por ocasionales extinciones en masa.



La primera de ellas se produce unos 100 millones de años<sup>4</sup> más tarde como consecuencia de una nueva glaciación. En esos tiempos, los fragmentos de corteza terrestre, los continentes, en su vagar por el globo le daban al planeta un aspecto muy diferente al actual.

Concluida esa era de hielo, un clima cálido y húmedo, por millones de años, permitirá, una vez más, la proliferación de la vida y de los bosques que se extenderán por gran parte de la corteza terrestre<sup>5</sup>.

Es a fines del Carbonífero –300 millones de años atrás– cuando llega un nuevo período frío y con él una nueva extinción masiva. Durante esta glaciación, como durante las anteriores los

<sup>2</sup> Historia del Clima de la Tierra. Antón Uriarte. <http://www.herbogeminis.com>

<sup>3</sup> *La sexta extinción*. R. Leakey y R. Lewin. Tusquets Editores.

<sup>4</sup> Durante fines del Ordovícico y comienzo del Silúrico.

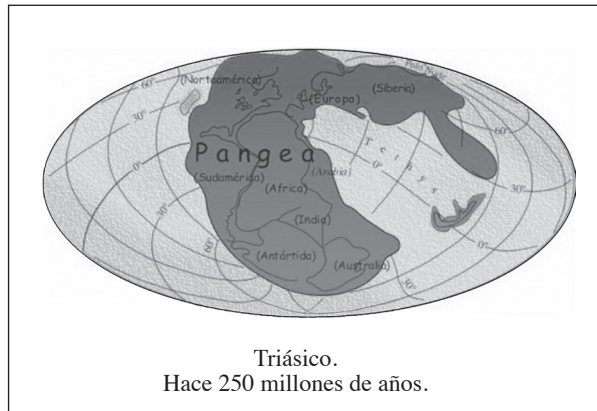
<sup>5</sup> Estas condiciones se extienden desde hace 450 millones de años atrás hasta los 300 millones de años atrás, es decir durante los períodos Devónico y Carbonífero.

océanos se retiraron y, junto con la menor temperatura, causaron la desaparición de la gran mayoría de las especies marinas. No obstante, ésta no sería la última catástrofe biológica.

Hace unos 250 millones de años, durante la transición entre el Paleozoico y el Mesozoico, tuvo lugar uno de los desastres ecológicos más duros que ha sufrido el planeta. Sucumbieron en unos pocos miles de años (¡realmente muy poco tiempo!) el 85% de las especies marinas y el 70% de las terrestres. Hasta los insectos se extinguieron casi por completo. Como sabemos, las cucarachas zafaron.

Ese cataclismo no parece haber estado asociado, a diferencia de los anteriores, a una glaciación. Para explicarlo existen varias teorías. Las dos de mayor consenso son: la colisión de un asteroide o erupciones volcánicas masivas. Una tercera sugiere que se trató de una muerte por asfixia provocada por una disminución del oxígeno de la atmosfera, que habría reaccionado con la abundante materia orgánica, produciendo dióxido de carbono.

Sin embargo, ya para aquel entonces todos los continentes del planeta estaban unidos, en virtud de la deriva continental, y formaban un supercontinente, Pangea, que se extendía de polo a polo. Era una tierra plana, sin grandes cadenas de montañosas.



Esa fusión de continentes redujo el litoral marino, hábitat de las especies de aguas superficiales, mientras las masas conti-

mentales desprotegidas se secaron en su interior. La formación de Pangea, por lo tanto, pudo haber aniquilado las especies de esos lugares por el simple mecanismo<sup>6</sup> de su formación.

A finales del Triásico, hace 208 millones de años, Pangea comienza a fracturarse. Primero se separan dos grandes fragmentos Laurasia y Gondwana<sup>7</sup>. Estos movimientos tectónicos van acompañados de numerosas erupciones volcánicas y de gigantes cas coladas de basalto que surgen de las entrañas de la Tierra, a través de las líneas de fractura. Estos episodios dan lugar a la 4ta extinción masiva que aniquila el 80% de las especies planetarias. Se abre nuevamente la puerta a una renovación de la vida animal y vegetal. Este renacimiento traerá consigo a los dinosaurios, que reinarán por más de 100 millones de años.

Los dinosaurios disfrutaron de un clima excepcionalmente agradable por un período inusualmente prolongado. Los bosques se extendieron y enormes superficies se cubrieron de vegetación exuberante. Seguramente estas condiciones benignas contribuyeron al éxito de los reptiles.

Si se observa con atención la figura anterior (pág. 5), se ve que durante Pangea existía un único gigantesco océano que se extendía de norte a sur sin interrupciones, favoreciendo el intercambio de calor entre los polos y el ecuador, disminuyendo la diferencia de temperatura entre ellos. Al decrecer el gradiente de temperatura la fuerza impulsora de vientos y corrientes marinas disminuye conduciendo a un clima sin extremos. Esta diferencia era entonces de unos 20°C, mucho menor que la que existe en nuestros días. Además la temperatura de las aguas profundas del océano, que hoy rondan los cero grados, eran cercanas a 15°C.

Por otra parte, la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

<sup>6</sup> The Cosmic Dance of Siva. Stephen Jay Gould. Natural History, 1987.

<sup>7</sup> Nuestra Patagonia donde se encuentran yacimientos fósiles muy importantes formaba parte de Gondwana.

debido al vulcanismo (y probablemente a la mayor temperatura de los mares)<sup>8</sup>, era entre 4 y 8 veces superior a la del presente. Finalmente, con temperaturas medias entre 7 y 12 °C superiores a las actuales el clima era realmente cálido. Sin embargo, la vida prosperaba vigorosa. Hoy nos dicen que duplicar el CO<sub>2</sub> atmosférico nos acarreará innumerables males. ¿Será cierto?

El caso es que, en su interminable derrotero, los continentes se separaban más y más, generando increíbles fenómenos telúricos –volcanes, desgarramiento



de la corteza, emergencia de ríos de lava, colisión de continentes—que transformaron la faz de la Tierra. A medida que el proceso avanzaba el clima se hacía cada vez más frío. Llega un punto, cuando la Antártida se instala en el polo sur, el polo norte queda, prácticamente, rodeado de tierra y el océano Atlántico apenas se conecta, con los otros, por sus extremos.

Alrededor de 65 millones de años atrás los dinosaurios desaparecen<sup>9</sup>. Son así las víctimas notorias de la 5ta. extinción masiva,



despues de dominar todos los rincones del planeta: tierra, aire y océanos. En verdad, si los dinosaurios no se hubiesen extinguido, los mamíferos nunca habrían alcanzado a predominar sobre la tierra y los humanos no habiéramos existido.

<sup>8</sup> El CO<sub>2</sub> se disuelve en el agua. La cantidad disuelta disminuye con la temperatura.

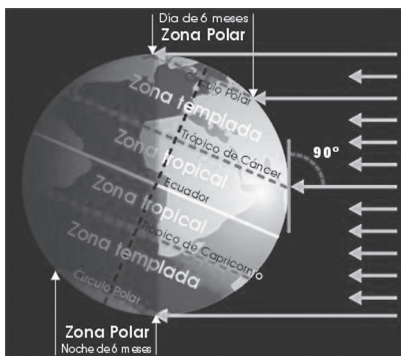
<sup>9</sup> En esos tiempos un meteorito impacta en el actual golfo de México. Se genera así la hipótesis de que esta fue la causa de la desaparición de los dinosaurios.

Efectivamente, los mamíferos seguirían siendo pequeñas criaturas nocturnas procurando estar fuera del alcance de los dinosaurios.

Por fin, hace 30 millones de años la Antártida se cubre de hielo y nuestro mundo comienza a parecerse al presente. Variaciones climáticas de diverso tono, incluidas nuevas glaciaciones, se han sucedido desde entonces. Sin embargo, ninguno de esos cambios ha acarreado nuevas extinciones masivas. Aunque el juego entre la muerte y la vida, de la mano de las oscilaciones climáticas, no se ha interrumpido.

## Del Sol a la Tierra

La mayor parte de la energía que recibe nuestro planeta proviene del sol y nos llega a través del espacio en forma de radiación

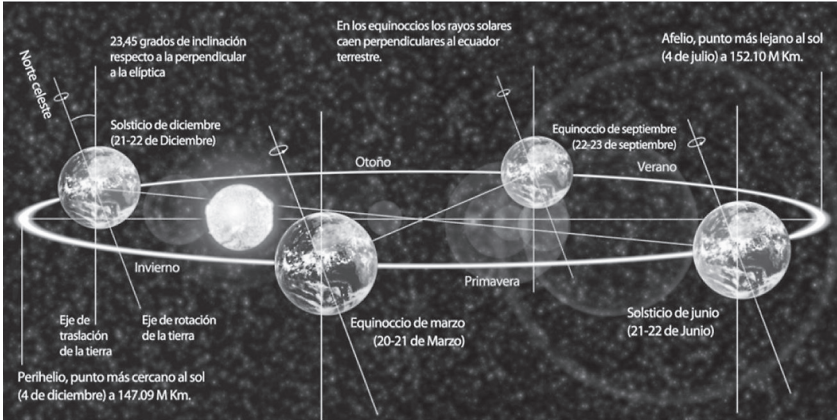


electromagnética. Podemos decir que estos rayos de luz son paralelos al llegar a la tierra e impactan plenamente en la zona ecuatorial y en los polos lo hacen tangencialmente. Esta situación, y la mayor reflexión de los casquetes de hielo, genera un gradiente de temperaturas entre los polos y la zona tropical.

Por otra parte, no hay que olvidar que la tierra gira alrededor del sol y a su vez lo hace sobre su eje. La órbita que la Tierra describe en torno al sol es ligeramente elíptica (ovalada) y el sol se ubica apenas desplazado de lo que sería el centro del sistema si la trayectoria fuera circular.

Es de conocimiento común que la rotación de la Tierra sobre su eje da lugar al día y la noche. La supresión de la luz durante la noche hace que las temperaturas descendan. Además las dife-

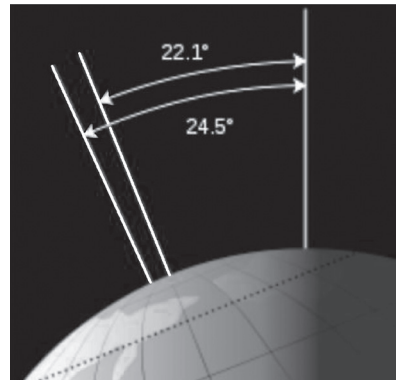




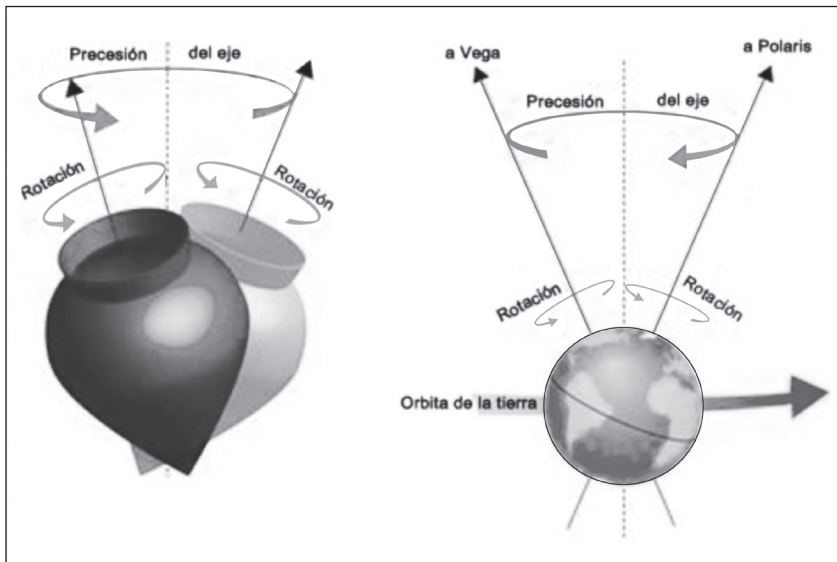
rencias entre las capacidades caloríficas<sup>10</sup> entre la tierra y el mar hacen que la primera, estando más cálida durante la insolación, se enfríe más rápido que el mar durante la noche. El gradiente de temperatura se invierte y se modifica la dirección del viento costero. Podríamos decir que el clima cambia cuando pasamos del día a la noche.

Por otra parte, el derrotero de la Tierra alrededor del sol en órbitas ligeramente excéntricas es la causa del cambio climático que se produce con cada estación.

Un factor que también hay que tener en consideración es que la inclinación del eje de rotación de la Tierra, respecto del plano de su órbita, cambia entre 22.1 y 24.5 grados. Esta variación ocurre con un período de alrededor de 40.000 años. Allí no termina la cosa, debemos agregar otro fenómeno vinculado a la



<sup>10</sup> Capacidad calorífica es la cantidad de calor que hay que entregar para que una masa determinada aumente su temperatura en 1°C.



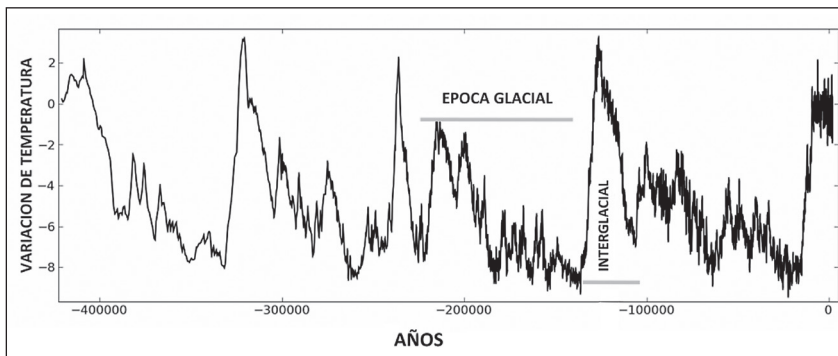
rotación terrestre. Para visualizarlo recordaremos cómo se comporta un trompo cuando gira sobre su eje. En algún momento observaremos que comienza a “cabecear” describiendo un círculo. Ese movimiento se denomina precesión y para la Tierra el círculo se completa cada 23.000 años.

La inclinación del eje de rotación y la precesión hacen que las variaciones en la insolación sean más importantes en los polos que en la zona ecuatorial.

Para completar el panorama diremos que la órbita terrestre varía con el tiempo, se estira y se acorta. Es decir, cambia su excentricidad debido a los efectos gravitacionales de los otros planetas. El período entre la órbita de mayor y la de menor excentricidad es de aproximadamente 100.000 años.

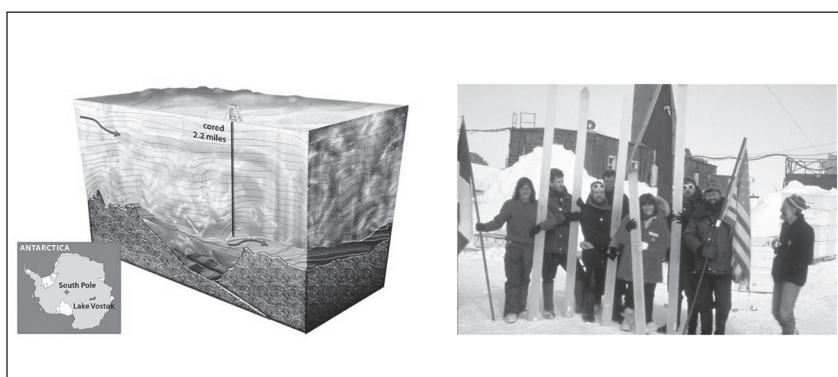
Estos ciclos<sup>11</sup> –cambio en la excentricidad de las órbitas, variación en la inclinación del eje de la Tierra y movimiento de

<sup>11</sup> Reciben el nombre de ciclos de Milankovich. Milutin Milankovich fue un astrofísico serbio que descubrió y estudió en detalle su comportamiento. Ver: <http://earthobservatory.nasa.gov>



precesión– combinados producen alteraciones en la radiación solar que alcanza la Tierra influenciando directamente el sistema climático terrestre, por ejemplo impactando en el avance o retroceso de los glaciares.

Todos hemos oído hablar de la edad de hielo, hemos visto alguna película, o leído sobre ella. Fue la última glaciación pero no la única de los últimos 500 mil años. Estudiando la relación  $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ,<sup>12</sup> que se encuentra en los hielos de la Antártida (Base rusa de Vostok), se puede estimar la temperatura que tenía el aire cuando la nieve se formó<sup>13</sup>.



<sup>12</sup>  $^{16}\text{O}$  y  $^{18}\text{O}$  son isótopos del oxígeno. Ver **Amenaza Nuclear** en <http://profefeliz.blogspot.com.ar/2011/11/amenaza-nuclear-fision-y-ficcion.html>

<sup>13</sup> *Evidence-Based Climate Science*. Don Easterbrook. Ed. Elsevier.

El resultado muestra que en ese lapso hubo 4 períodos glaciales que se extendieron por aproximadamente 120 mil años, en tanto que los períodos interglaciales, como el que estamos viviendo, han tenido una duración de unos 15.000 años.

Los factores orbitales que hemos comentado son de importancia definitiva, sin embargo, no alcanzan para comprender cómo el sistema climático trabaja y para lograrlo es necesario mirar con cierto detalle la Tierra.

### **El planeta azul<sup>14</sup>**

La mayor parte del planeta se halla cubierta por agua, a ello debe su color azul cuando se lo observa desde el espacio, y tenemos una fracción mucho menor de la superficie ocupada por los continentes. Pero, además la Tierra está rodeada por una delgada capa de gases, retenidos por la gravedad, que llamamos atmósfera.

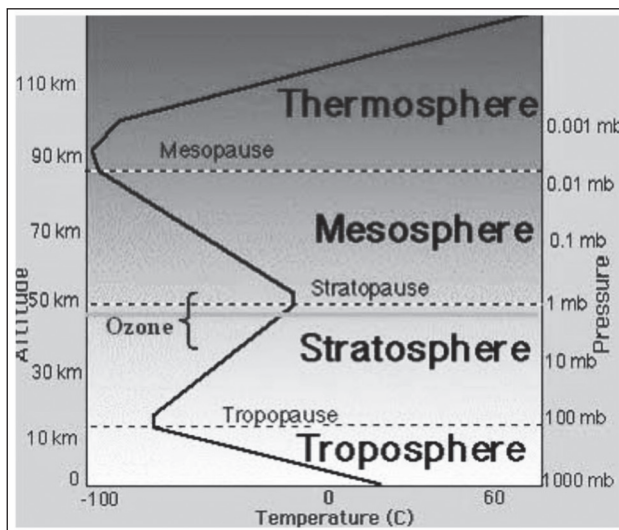


<sup>14</sup> *The Earth's Atmosphere, its Physics and Dynamics*. Kshudiram Saha. Ed. Springer.

Esa mezcla de gases –el aire– está compuesta principalmente por dos sustancias, un 78% de nitrógeno ( $N_2$ ) y un 21% de oxígeno ( $O_2$ ). El restante 1% lo constituyen el argón (Ar) y trazas de varias sustancias entre las que se encuentra el  $CO_2$ . Además el aire contiene agua en cantidades muy variables. La atmosfera terrestre es, en cuanto a su composición actual, una consecuencia del desarrollo de la vida.

La atmósfera se encuentra estratificada y su densidad varía con la altura. Esta disminuye a medida que ascendemos, también descienden la presión y la temperatura. Estas variaciones pueden ser advertidas cuando viajamos desde terrenos próximos al nivel del mar hasta zonas altas como la Puna de Atacama o cuando volamos en avión.

En la figura siguiente se esquematizan las capas de la atmósfera. En la tropósfera la presión es de  $1\text{ atm}^{15}$ , en la superficie, y cae a la décima parte cuando se alcanza el límite con la estratósfera. La línea negra indica que la temperatura disminuye hasta



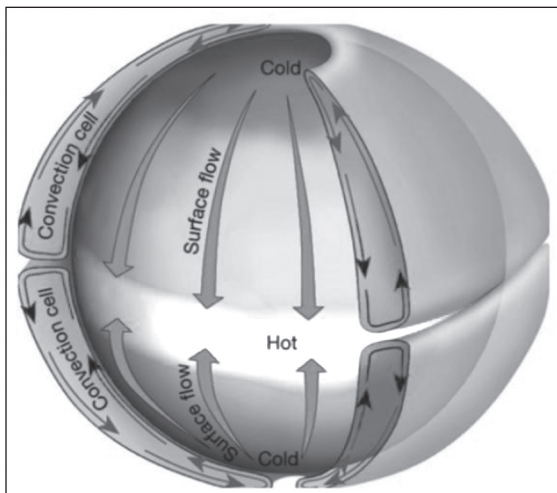
<sup>15</sup> 1 atm = 1013 mb (milibares) = 1013 hPa (hecto pascales).

-60°C. Luego se mantiene constante (tropopausa) y finalmente crece hasta alcanzar la estratopausa. Este aumento de temperatura de la estratósfera se debe a las reacciones químicas y fotoquímicas relacionadas con la formación y descomposición del ozono<sup>16</sup>. Para nosotros, por ahora, esto tiene importancia, para entender que el aire que se calienta en la superficie puede ascender no más allá de del punto de inversión de la temperatura.

El rol preponderante de la atmósfera en el clima se relaciona con la tropósfera, que da cuenta del 85% de la masa de aire, y con las capas inferiores de la estratósfera.

## La circulación global

Hemos visto que debido a la forma esférica de la Tierra y a la inclinación de su eje de rotación, los polos reciben menos radiación que el ecuador. Eso establece una diferencia de temperaturas, densidades y presiones<sup>17</sup> que impulsa el desplazamiento de masas de aire buscando el equilibrio térmico que se alcanzaría si esas diferencias fueran eliminadas. Sin embargo, ello



que el ecuador. Eso establece una diferencia de temperaturas, densidades y presiones<sup>17</sup> que impulsa el desplazamiento de masas de aire buscando el equilibrio térmico que se alcanzaría si esas diferencias fueran eliminadas. Sin embargo, ello

<sup>16</sup> El ozono y su agujero es un tema que debe ser tratado aparte.

<sup>17</sup> Nos referimos a la presión hidrostática que ejerce la columna de aire que se encuentra por encima del punto elegido.

nunca ocurre ya que el flujo de energía es constante. En consecuencia la Tierra es un sistema en estado estacionario lejos del equilibrio. Esto hace que sea muy sensible frente a perturbaciones externas o fluctuaciones internas<sup>18</sup>.

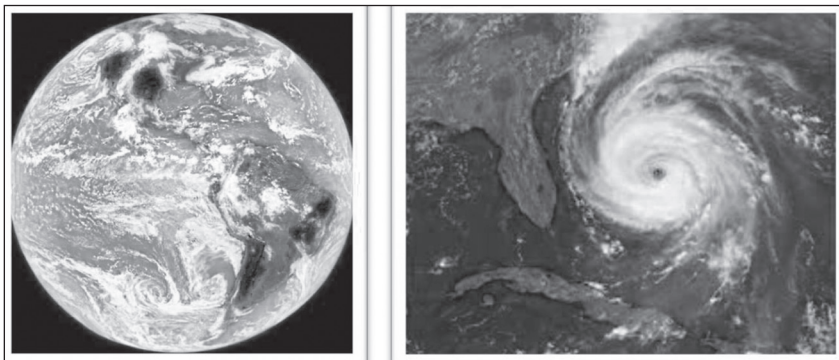
En la figura se representan los flujos de aire frío polar superficial que se dirigen hacia el ecuador. Además se observa cómo el aire ecuatorial calentado en la superficie se eleva y se desplaza hacia los polos<sup>19</sup>. Este mecanismo que redistribuye la energía sería tan simple si la Tierra no rotara, pero lo hace, y ese movimiento induce una fuerza perpendicular a la dirección establecida por el flujo térmico, la fuerza de coriolis.

Para visualizar mejor la situación haremos un experimento casero. Tomamos un recipiente con agua, en el centro colocamos otro recipiente con hielo y luego hacemos girar el sistema. Si cortamos la Tierra por el ecuador y una de las mitades la aplastamos hasta hacerla plana, queda un círculo con el polo en el centro, como en nuestro recipiente. Para apreciar lo que ocurre agregamos un colorante y vemos que el colorante forma volutas cuya forma dependerá de la diferencia de temperatura entre el centro y la periferia del recipiente y de su velocidad de rotación. Hoy las fotos satelitales nos permiten verificar un comportamiento similar para la Tierra, donde el rol del colorante lo cumplen las nubes. El sistema Tierra es más complicado porque ésta no es plana sino esférica.

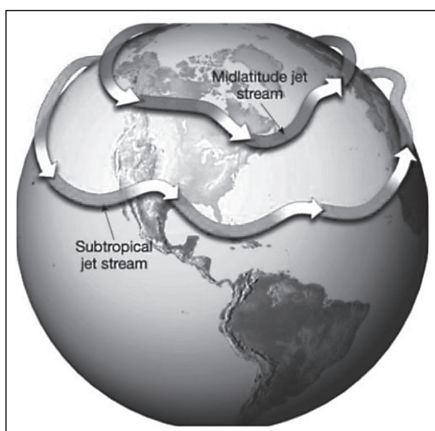


<sup>18</sup> *La Estructura de lo Complejo*. G. Nicolis y I. Prigogine. Ed. Alianza Universidad.

<sup>19</sup> La existencia de una celda que lleva el aire caliente desde el ecuador al polo es una suposición no verificada.



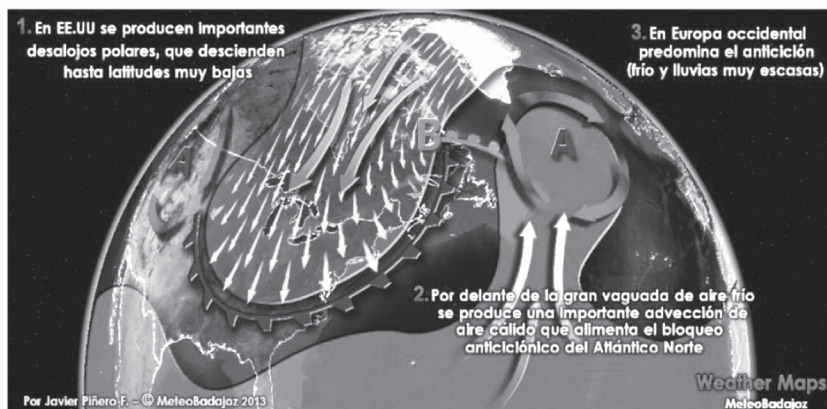
La rotación tiene un efecto adicional sobre las capas superiores de la tropósfera e inferiores de la estratósfera. Se generan corrientes de aire denominadas de chorro que circulan en dirección opuesta a la rotación. Sobre los polos por el mismo efecto aparecen los denominados vórtices polares. Aunque estos fenómenos ocurren entre 8 y 15 km de altura y la densidad del aire allí es pequeña, los meteorólogos actuales les atribuyen gran influencia sobre los frentes fríos y cálidos que se observan más próximos a la superficie.



En el reciente invierno (2013/2014) en el norte de América las temperaturas fueron extremadamente bajas y el área afectada se extendió muy al sur. Este comportamiento fue atribuido por los meteorólogos a los efectos del vórtice polar con la colaboración de la corriente de chorro. Tales fenómenos ocurren en capas altas de la

atmósfera, sin embargo, serían la causa de los frentes fríos que proveniente del polo barrían, prácticamente, el continente hasta





latitudes subtropicales. Esta explicación, no obstante, es puesta en tela de juicio por algunos especialistas<sup>20</sup> que consideran que es normal (especialmente en invierno) que el aire muy frío (muy denso) acumulado en el polo migre hacia latitudes más bajas como una masa polar móvil de alta presión (MPH)<sup>21</sup>. Como ese movimiento se produce en las capas próximas a la superficie su desplazamiento se ve fuertemente afectado por la orografía (montañas, valles, etc). Por otra parte, esa migración debe generar una corriente inversa de aire más cálido hacia el polo. Un comportamiento similar se observa en el hemisferio sur, donde ese retorno de aire cálido explica el “calentamiento” observado en la península antártica<sup>22</sup>.

Merece ser comentado, además, que el vórtice polar sobre la Antártida es mucho más potente y durable que en el Ártico. Ello tiene una enorme importancia en la formación del “agujero de ozono”.

<sup>20</sup> *Global Warming, The Erring Ways of Climatology*. Marcel Leroux. Ed. Springer.

<sup>21</sup> MPH = Mobil Polar High, en inglés.

<sup>22</sup> Ref. 20.

## **Aire que sube, baja**

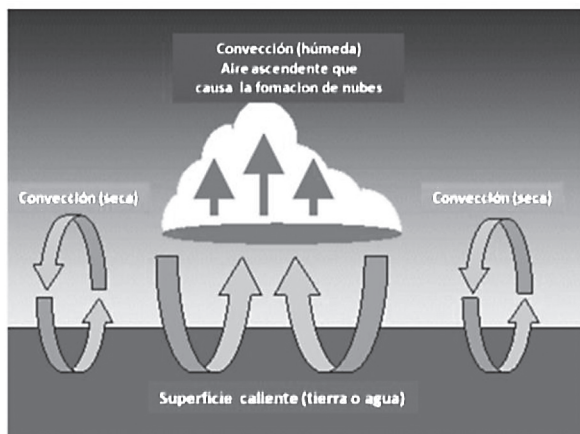
La Tierra es un sistema prácticamente cerrado, es decir no intercambia materia con el resto del Universo. Sólo algunos gases muy livianos como el hidrógeno y el helio pueden escapar a la trampa gravitacional y del exterior recibimos algunos meteoritos y rayos cósmicos formados por partículas con masa. No está aislado porque intercambia energía. Recibe la radiación solar y la energía que escapa del planeta, que la hay, no puede ser sino radiación electromagnética.

La radiación solar que la atmosfera deja pasar es absorbida por las aguas y las tierras. Esa energía se usa para aumentar la temperatura pero, buena parte, se consume en realizar trabajo. Es decir, se utiliza en mover grandes masas de aire y agua, o en reacciones químicas y en la fotosíntesis, etc.

Las superficies cubiertas por hielo o nieve reflejan prácticamente toda la luz que reciben. Por su parte, las nubes cumplen un rol semejante, aunque más difícil de cuantificar porque la cubierta nubosa es muy variable.

El agua es un factor decisivo en la redistribución de la energía y los cambios de estado (vapor, líquido e hielo) son muy importantes en la transferencia de calor entre la superficie y las capas superiores de la tropósfera.

Cuando una porción de aire seco se calienta sobre la superficie se expande, disminuye su densidad y asciende. A medida que se eleva se va enfriando y en algún momento su densidad ha crecido lo suficiente como para que esa parcela de aire descienda. Sin embargo, si tenemos agua, como ocurre sobre el mar, al calentarse su superficie se produce evaporación lo que hace que el aire tenga “humedad”. Primero consideremos, que cuando el aire se evapora absorbe calor y contribuye a enfriar la superficie. Y segundo, que el aire que asciende ahora contiene vapor de agua. Como antes al as-



cender se enfría, pero esta vez el vapor se condensa formando gotas de agua, y en este proceso desprende calor lo que hace que, el aire a su alrededor, se caliente. Como consecuencia, la velocidad

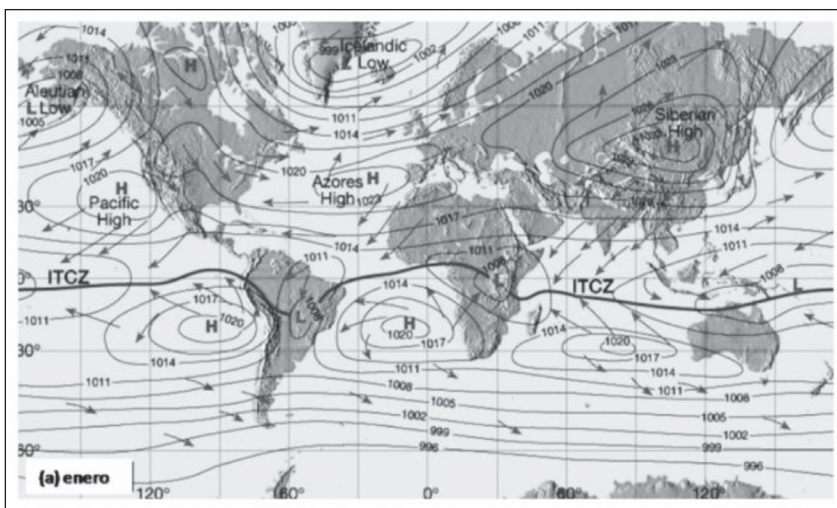
de ascenso disminuye. Dicho de otra manera con aire húmedo la temperatura decrece, al ascender, más lentamente. Desde luego en algún momento las gotas formadas son suficientemente grandes y llueve. Importante es notar que si la superficie del océano se calienta más habrá mayor evaporación y se formarán más nubes y, consecuentemente, se reflejará más radiación solar, la superficie recibirá menos energía y la temperatura de la superficie disminuirá.

El lector habrá advertido que estos procesos de convección trasladan calor desde la superficie a las capas superiores de la tropósfera y la temperatura allí arriba debería aumentar y el mecanismo descrito se paralizaría. Como ello no ocurre esa energía debe ser derivada a los polos o puede abandonar la tierra como radiación<sup>23</sup>. En próximos episodios dedicaremos unas líneas a este y otros procesos de emisión de radiación desde la Tierra hacia el espacio exterior.

Es útil agregar aquí que para un gas (aire) la temperatura es una “medida” de la energía cinética media de sus moléculas. Es decir, que a mayor temperatura las moléculas se desplazan con velocidades más altas y su energía cinética es más grande.

<sup>23</sup> *Climate, History and the Modern World*. H. H. Lamb. Ed. Routledge.

Las figuras siguientes muestran una descripción de los factores que permiten analizar y “predecir” el tiempo (weather) según la ciencia meteorológica oficial<sup>24</sup>. En ellas se pueden ver isobaras (líneas que unen puntos de igual presión), señalados con una H los núcleos de alta presión (anticiclones), con una L se identifican los centros de baja presión (ciclones), con flechas la dirección de los vientos que circulan en las capas altas de la tropósfera, vientos del oeste y del este o de intercambio, por debajo y por encima de la línea ITCZ<sup>25</sup> (Zona de convergencia intertropical). Como se puede observar la ubicación de los centros de alta y baja presión, como la línea ITCZ, cambian según la época del año.



También puede verse cómo los vientos convergen hacia los centros ciclónicos donde el aire asciende, en tanto que, el aire desciende y los vientos divergen en los anticiclones. Por otra parte la zona ITZC se caracteriza por la baja presión en la superficie y por

<sup>24</sup> Ref. 20.

<sup>25</sup> ITCZ = Intertropical Convergence Zone, en inglés.



la convergencia de masas de aire que dan origen a la formación de nubes y lluvias<sup>26</sup>.

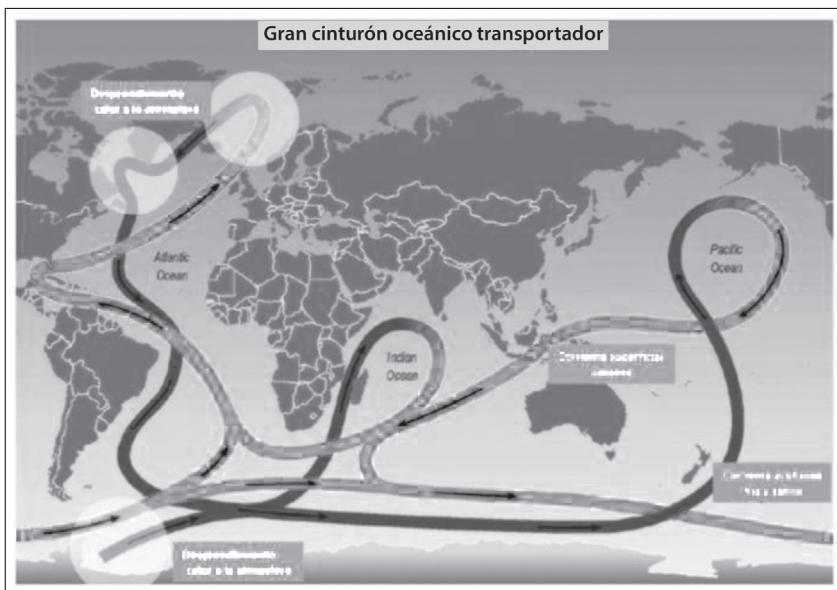
Los sistemas de alta presión (H) se localizan entre las latitudes 200 y 400 en ambos hemisferios. Se caracterizan por vientos ligeros y tiempo (weather) bueno y claro. Tales sistemas eran conocidos en el pasado como zonas calmas de Cáncer o Capricornio. Las explicaciones predominantes sobre la causa y posición de los anticiclones subtropicales son insuficientes<sup>27</sup> o misteriosas.

En el proceso de redistribución de calor no debe olvidarse el rol de los océanos. Como vimos<sup>28</sup>, en los polos el agua pierde calor, se enfría, aumenta su densidad y se hunde hacia las profundidades. Estas aguas densas migrarán hacia regiones de menor densidad. Los vientos impulsan las corrientes marinas superficiales, en tanto que la evaporación aumenta la salinidad del agua (y con ello su densidad). Estas aguas más saladas al llegar al círculo polar se enfrían y aumenta aún más la densidad precipitándose ha-

<sup>26</sup> *The Global Climate System*. H. A. Brdman y J. E. Oliver. Cambridge University Press.

<sup>27</sup> Ver ref. 23.

<sup>28</sup> Episodio I.



cia el fondo oceánico. En la figura están en gris claro las corrientes cálidas superficiales y en gris oscuro las frías que corren por el fondo marino.

Repasando vemos que la visión predominante sobre la circulación global presta poca atención a los MPH<sup>29</sup>, que transportan aire frío desde el polo hacia latitudes bajas. Estos constituyen capas de 1500 m de espesor y unos 2500 km de diámetro que se desplazan por zonas delimitadas por los accidentes orográficos.

Estos factores geográficos, además, son normalmente ignorados, especialmente en los modelos climáticos.

La circulación general de la atmósfera está rigurosamente organizada, siempre sujeta a los mismos principios físicos y siempre funciona de acuerdo con los mismos mecanismos (en condiciones geográficas bien definidas). Sus variaciones no son, por lo tanto,

<sup>29</sup> *Climate Process Change*. E. Bryant. Cambridge University Press.

cambios en su naturaleza sino variaciones en su intensidad<sup>30</sup>. Es decir, el clima tiene cierto grado de predictibilidad; por ejemplo la sucesión de las estaciones o, en referencia al paleoclima, la repetición periódica de glaciaciones. Dicho en palabras difíciles, el clima se rige por una dinámica determinista que posee un atractor de baja dimensión fractal lo que explica la variabilidad intrínseca y la impredecibilidad del sistema climático, dado que estas dos propiedades pertenecen a las características más importantes de la dinámica caótica<sup>31</sup>. En fin, ¡el clima es un caos pero no tanto!

Creo que, para finalizar, podemos extraer un par conclusiones. En primer lugar, vimos que un aumento de la temperatura “global” haría que la diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador disminuyera o no cambiara, haciendo el clima menos severo o manteniéndose sin mayores alteraciones. Luego, predicciones en sentido contrario son infundadas.

En segundo lugar, hemos visto que los factores tectónicos y orbitales han sido las principales causas de modificaciones importantes en el paleoclima, y lo siguen siendo. Por ejemplo, la variación de temperatura entre el máximo glacial el período interglacial es de 10°C o más.

Por último, conviene aclarar que hay algunos otros factores que afectan el clima, no mencionados aquí. Sin embargo, serán abordados en próximos episodios.

Continuará...

---

<sup>30</sup> Ver ref. 20.

<sup>31</sup> Ver ref. 18.

