

# Calentamiento global

*Por Ing. Juan Carlos Couceyro*

## Introducción

La humanidad consume energía y se moviliza quemando fundamentalmente combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), lo que llamamos energías no renovables.

En el proceso de la combustión, se consume oxígeno de la atmósfera y se eliminan gases residuales altamente contaminantes, en especial el dióxido de carbono que además tiene, como veremos más adelante, incidencia directa en el calentamiento global.

Gracias al reino vegetal, ese dióxido es absorbido y el oxígeno es devuelto a la atmósfera durante el proceso llamado fotosíntesis. Las hojas de las plantas toman el carbono de la atmósfera y, a través de las raíces, toman el agua, nitrógeno y algunos minerales del suelo, para elaborar moléculas orgánicas (celulosa, almidón, azúcares, aminoácidos y proteínas) con las que alimenta el reino animal.

Naturalmente en este proceso se necesita energía que proviene del sol y que las plantas absorben en los extremos del espectro visible, reflejando el resto y produciendo en nuestros ojos el hermoso color verde que caracteriza la vegetación.

El hombre primitivo al quemar madera, liberaba nuevamente esa energía en forma de calor para cocinar sus alimentos, ahuyentar a las fieras y, ya pasando el neolítico, haciendo posible las grandes eras de bronce, hierro, etc..

Pero por aquel entonces, la acción del hombre era insignificante como para alterar el medio ambiente. Recién en el siglo diecinueve, luego de la revolución industrial y el uso del calor quemando combustibles fósiles para accionar grandes máquinas, se inicia una etapa donde la polución atmosférica se incrementa hasta llegar a la actualidad, cuando sus efectos son ya muy negativos para la vida en el planeta.

Por esa razón hace más de dos décadas las naciones altamente industrializadas, y por alerta de los científicos, se reunieron en Japón, para elaborar el protocolo de Kiotto, que proponía una reducción gradual en la producción de gases de efecto invernadero, pero los resultados no fueron demasiado exitosos.

El aumento de las tormentas en intensidad y frecuencia, que provocaron grandes desastres naturales en los últimos tiempos, re flotaron felizmente la necesidad de un acuerdo de características planetarias. Así, el 22 de junio de 2016, nace el Gran Acuerdo de París, en el cual 196 países, luego de arduas negociaciones, se comprometen a mitigar el calentamiento global hasta casi minimizarlo durante la próxima década 2020-2030.

La propuesta fue, como en el caso anterior de Kiotto, la reducción de los gases de efecto invernadero que se describen a continuación:

- Dióxido de carbono, producto residual de la combustión de los motores.
- Productos cloro-fluor-carbonados, utilizados como impelentes en todos los sprays y que ascienden a las capas superiores de la atmósfera.
- Gases refrigerantes utilizados en la industria del aire acondicionado.

Tanto en su producción como por las pérdidas, como en el caso anterior de los cloro-fluor-carbonados, se liberan cantidades significativas a la atmósfera.

- Además establecieron las cuotas verdes, que imponen una reforestación con una superficie proporcional a los kilowatt-hora de energía consumida con combustibles fósiles. Es una manera de utilizar el extraordinario poder regulador de la naturaleza para restablecer el equilibrio atmosférico.

Ahora bien, ¿qué es el efecto invernadero? Como su nombre lo indica el invernadero es un recinto cerrado en donde se cultivan plantas en invierno, debido al proceso vital de la fotosíntesis, tiene que ingresar la energía solar y por ese motivo las paredes y sobre todo el techo son de vidrio. Éste material se comporta como un filtro de alta frecuencia, permeable a la energía luminosa y ultravioleta del sol e impermeable a la radiación infrarroja de baja frecuencia, que al no poder salir queda retenida calentando el aire interior y aumentando la temperatura, que es el efecto buscado.

En el caso de la alta atmósfera el papel del vidrio en el ejemplo anterior lo cumplen las capas ionizadas, abajo de las cuales se va acumulando el dióxido de carbono y los gases refrigerantes, que por su gran calor específico, que no pudo disiparse, queda retenido en ellos, aumentando el calentamiento global. Esta es una explicación somera, ya que es un mecanismo complejo que requiere primero un análisis general de la acción del sol en nuestro planeta al atravesar las distintas capas atmosféricas.

## El Sol

El sol es una estrella entre más de cien mil millones que pueblan nuestra vía láctea. Como todas ellas consiste en una gran esfera con gas hidrógeno, su combustible, y helio producto de la combustión. Su tamaño no es de los más grandes como tampoco su masa, a pesar que todos los planetas juntos no llegan al uno por ciento de la misma.

Según los astrónomos, el sol se encuentra en una fase llamada "secuencia principal", muy estable, en la cual la presión radiante y la presión gravítica están en equilibrio. La energía radiante procede del hidrógeno, que sometido a altísimas temperaturas y presiones fusiona, transmutándose en helio, luego de pasar por una fase isotópica (deuterio, helio 3 y helio 4). En ese proceso se libera una enorme cantidad de energía que alimenta todo el sistema solar y que describiremos a continuación:

1. Rayos alfa: núcleos de helio y protones acelerados a 1/15 de la velocidad de la luz.
2. Rayos beta: electrones libres acelerados a 1/100 de la velocidad de la luz.
3. Radiación electromagnética: se propaga a la velocidad de la luz y posee una dualidad de comportamiento corpuscular-ondulatoria, que adopta según las particulares circunstancias del entorno.

Dada la complejidad que encierra la física de partículas, nosotros adoptaremos en esta descripción el modelo ondulatorio que por ser una alternancia de campos eléctricos y magnéticos, responde a las ecuaciones de Maxwell, y es perfectamente cuantificable en el modelo estándar de la física, mediante solo dos variables:

- el vector de Pointing ( $P = E \wedge M$ ) que cuantifica la potencia de la radiación
- la frecuencia ( $f = c / \lambda$ ) responsable de la penetración de los rayos ( $c =$  la velocidad de la luz,  $3 \times 10^8$  m/seg)

El espectro solar, partiendo de las frecuencias más altas contiene:

3 - Rayos gamma ( $f = 3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{22}$  Hz)

4 - Rayos X ( $f = 3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{20}$  Hz)

5 - Ultravioleta ( $f = 3 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15,8}$  Hz)

6 - Violeta - Rojo. Banda visible ( $f = 3 \times 10^{14} - 3 \times 10^{14,8}$  Hz)

7 - Infrarrojo. Ondas térmicas ( $f = 3 \times 10^{12} - 3 \times 10^{14}$  Hz)

8 - Ondas de radio ( $f = 3 \times 10^6 - 3 \times 10^{10}$  Hz)

Los rayos alfa, beta, gamma y X son letales para los organismos vivos, pues por su elevada penetración alteran severamente la distribución de los nucleótidos y la secuencia genética, haciendo imposible la vida en el planeta.

Las tres siguientes, banda visible, infrarrojos y algo de ultravioleta, responsables de la fotosíntesis tienen contrariamente a las cuatro primeras una participación fundamental para el desarrollo de la vida.

En cuanto a las ondas de radio, no se han estudiado estándares de su influencia en los seres vivos hasta la fecha.

Observando el espectro solar (gráfico 2, energía en función de la frecuencia) vemos una gran predominancia en la banda visible, algo de infrarrojos y muy poco de ultravioleta. Esto habla de la vibración que utiliza la naturaleza para mantener la vida en la tierra.

## La Atmósfera

Es una masa gaseosa que se extiende desde el suelo hasta pasados los 100km de altura. Está compuesta por una mezcla de gases en las que el nitrógeno ocupa un 78%, seguida de un 20% de oxígeno, 0,04% de CO<sub>2</sub>, 1% de gases raros (argón, neón y helio) y finalmente vapor de agua con una tasa que varía del 0 al 4%. El peso de esa masa da como resultado la presión atmosférica que a nivel del suelo es de 1.033Kg/cm<sup>2</sup> o una atmósfera.

La radiación estudiada precedentemente, entra a la tierra atravesando la atmósfera, pero una parte se refleja en la superficie terrestre, mares, nubes y sobretodo en los hielos, continentales, marítimos y polares.

La relación entre la energía absorbida y la reflejada se llama ALBEDO que en el caso de la tierra es de 0.7 aproximadamente, o sea el 70 por ciento de la energía del sol sobre la tierra, se utiliza para la evaporación de agua, calentamiento de la troposfera, iluminación, fotosíntesis, circulación eólica, circulación hídrica, etc. Y el 30 por ciento se devuelve al espacio. Si devolviese menos, queda retenida la diferencia energética en forma de calor, y esta es la causa que provoca el calentamiento global, como analizaremos en detalle más adelante.

A continuación se describen las distintas capas que componen la atmósfera terrestre partiendo desde el suelo. La composición química no varía pero su situación física cambia con la altura, como la densidad, presión y temperatura.

TROPOSFERA (0 - 10 Km)

Lugar en donde existe la vida, al calor de la radiación solar previamente filtrada de sus componentes nocivos, por las distintas capas ionizadas. El calor de la troposfera activa la dinámica del aire y del agua, y como la vida es movimiento se dan las condiciones para que ella se desarrolle en sus distintas formas. La dinámica del aire se traduce en una circulación horizontal y vertical de los vientos. La circulación vertical genera torbellinos (efecto coriolis) de rotación anti horaria en el hemisferio norte, en donde se producen con mayor intensidad. Estos torbellinos aumentan su intensidad en función de la energía contenida en la atmósfera, llegando a tener gran poder destructivo (huracanes). Por tal motivo es tan importante evitar el calentamiento global.

La dinámica del agua en su estado líquido provoca las corrientes marinas, las cuales transportan calor de las zonas templadas a las zonas frías. En su estado gaseoso, la evaporación de los mares permite transportar por medio de las nubes y el viento agua dulce a la tierra, con gran cantidad de materia orgánica que arrastra en su recorrido cumpliendo un ciclo de vital importancia. Las precipitaciones sobre el mar tienden a compensar el aumento de salinidad que provoca la evaporación.

En cuanto a su estado sólido, la gran reflectividad de los casquetes polares, hielos marítimos (el Ártico) y sobretodo de los hielos continentales, influyen mucho en el ALBEDO de la tierra. Si éste sube, se derriten los hielos, baja la reflectividad, queda más energía en la atmósfera, vuelve a subir el ALBEDO, lo cual configura un círculo vicioso fatal para la vida del planeta.

Esta capa termina en una zona estable llamada tropopausa, en donde el aire enfriado detuvo su ascenso. La tropopausa separa la troposfera de la estratosfera. El límite superior de aquella es de 16 Km de altitud en el Ecuador y 8 Km sobre los polos con temperaturas que descienden hasta menos 65 grados y menos 30 grados respectivamente.

#### ESTRATOSFERA (20 - 40 Km)

La temperatura permanece invariable hasta los 20 Km, luego empieza a subir por la acción de los rayos ultravioletas, además, al ser muy baja la presión parcial de oxígeno (menos de un milibar) se dan las condiciones para la formación de ozono, proceso que se detiene en la estratopausa. De todos modos esta capa contiene gran parte del ozono atmosférico. El ozono es oxígeno ionizado que contiene en cada molécula 3 átomos del mismo, y como toda capa ionizada nos blindamos de las radiaciones solares de alta frecuencia.

#### MESOSFERA (50 – 80 Km)

La temperatura permanece invariable hasta una zona de estabilización llamada mesopausa a 55 Km de altura, luego empieza a descender hasta menos 80 grados centígrados.

#### TERMOSFERA (80 – 200 Km )

La temperatura en la parte inferior de esta capa permanece constante con la altitud, pero aumenta rápidamente a partir de los 90 Km, pues el aire muy enrarecido, está más expuesto a la radiación

solar y puede llegar a los 1000 grados a 200 Km de altitud. El límite superior que es la termopausa puede llegar a 2000 Km de altitud.

#### IONOSFERA (20 - 200 Km)

De la tropopausa en adelante, la ionosfera ocupa todas las capas mencionadas y es en donde se producen todos los procesos ionizantes en la atmósfera, que son los siguientes:

#### CAPA DE OZONO

Se produce casi en su totalidad en la estratosfera por la presión ultravioleta que como ya mencionamos actúa sobre una atmósfera muy enrarecida. Es un gas muy activo, altamente oxidante que detiene la radiación ultra violeta. Los gases refrigerantes (productos cloro flúor carbonados) inhiben la formación del ozono y al permitir mayor ingreso de UV, aumenta el calentamiento global.

#### CAPA D (60 - 80 Km)

Se produce por la ionización del ozono en la mesosfera.

#### CAPA F (200 - 1000 Km)

Se produce por la ionización del nitrógeno contenido en la atmósfera, arriba de la termosfera y son los últimos átomos atmosféricos sometidos a la radiación solar.

#### CAPA HEAVISIDE - KENELLY (90 - 200 Km)

Producida por la ionización del oxígeno<sup>2</sup> en la termosfera y jugó un papel fundamental en las telecomunicaciones de la época pre satelital. En efecto, luego de HERTZ Y MARCONI aquellas tenían una limitante infranqueable: la curvatura de la tierra que impedía a las ondas de radio propagarse a grandes distancias, hasta que descubrieron que ciertas frecuencias se reflejaban en la capa HEAVISIDE - KENELLY. Y volvían a la tierra cubriendo distancias continentales. Además, dicha capa variaba su altura con la hora debido a la presión que ejercía sobre ella la radiación solar.

Durante más de medio siglo los ingenieros desarrollaron una tecnología para cubrir grandes distancias en enlaces puntuales, variando la frecuencia de la onda portadora, variando la hora y el sistema de antenas empleado. Con respecto a esto último, la altura de las antenas era la única posibilidad práctica de rebasar la curvatura de la tierra, pero tropezaban con un límite físico y económico que imposibilitaba superar alturas por arriba de los 300 metros. Felizmente cuando el hombre pone satélites geoestacionarios hace algunas décadas, pudo por primera vez tener un punto fijo en el cielo a más de 3000 Km de altura, con el cual comunicarse cubriendo una superficie enorme en el globo terráqueo.

Luego vinieron sistemas satelitales activos y pasivos más complejos con el objeto de cubrir todo el planeta.

Luego de esta digresión histórica, veamos cómo se defiende el planeta para mantener la vida ante

las agresiones naturales.

## RAYOS ALFA Y RAYOS BETA

Por ser protones y electrones libres, los campos eléctricos que generan siguen las líneas del campo magnético terrestre que los desvía hacia los polos, y al chocar con las moléculas de gas en las capas altas de la ionosfera disipan su energía y nos regalan esos bellísimos fenómenos de luminiscencia llamadas auroras boreales.

En cuanto a las radiaciones electromagnéticas nocivas, rayos X y rayos GAMMA, van siendo frenados por las capas de la ionosfera, fenómeno que puede ser explicado de la manera siguiente:

En la ionosfera, las moléculas se ven sometidas a un continuo bombardeo proveniente de la radiación solar, formándose un conjunto de iones positivos y electrones libres que configuran un cuerpo neutro llamado plasma. Como la masa de los iones positivos es mucho mayor que la de los electrones, las variaciones del campo electromagnético producen un desplazamiento de los iones casi despreciable respecto a los electrones y por lo tanto podríamos considerarlos fijos, o sea el plasma se comporta como un metal. Es por eso que las capas ionizadas actúan como "jaula de Faraday" que nos aíslan de las radiaciones de alta energía.

En cuanto a la acción antropogénica (provocadas por el hombre) que se describen a continuación:

- La tala indiscriminada de bosques que nos priva del efecto compensador del reino vegetal.
- Las usinas térmicas, que queman combustibles fósiles. Cada kilo de ellos consume en la combustión alrededor de cinco kilos de oxígeno que se sustrae de la atmósfera, volcando en ella casi diez kilos de gases nocivos como el dióxido de carbono.
- El transporte automotriz que gravita por la cantidad enorme de autos y camiones en el mundo.
- El ferro transporte movido por motores diésel o eléctricos cuya energía provenga de fuentes de energía no renovable.
- Transporte marítimo. Hoy en día hay contenedores gigantes con máquinas de alrededor de cien mil caballos de fuerza que queman combustibles fósiles además de la contaminación marítima que producen.
- La aeronavegación actual, que en los grandes transportes consumen más de cien mil kilogramos de kerosene procesado en un vuelo intercontinental.
- Finalmente los consumos domésticos de las unidades habitacionales, que a cinco toneladas de dióxido de carbono por cápita y por año, cobra relevancia dado el crecimiento demográfico mundial que hace tiempo rebasó los seis mil millones de almas.

Felizmente gracias a la tecnología actual, el hombre tiene soluciones en marcha para aminorar los efectos nocivos mencionados precedentemente y que en el mismo orden se describen a continuación:

- Protocolos internacionales para evitar la tala de bosques, planes de reforestación y la vigencia de las cuotas verdes.
- Cubrir el aumento del consumo eléctrico con usinas eólicas, solares, termo solares, centrales

mareomotrices, centrales geotérmicas y centrales que utilizan gases provenientes de la fermentación anaeróbica de materia orgánica residual. Centrales que utilizan bio diésel, aunque es una solución parcial por el agotamiento del suelo, cuyos nutrientes deben reservarse para el consumo humano. Finalmente la utilización de la energía nuclear que con la tecnología actual se ha reducido notablemente el peligro de la contaminación radioactiva, provocada por la fisión de núcleos pesados (uranio).

Indudablemente el futuro de las grandes usinas será por fusión de núcleos livianos (hidrógeno), por lo tanto más controlable y menos contaminante. Ésta es, como vimos antes, la energía que utiliza el sol para alimentar todo el sistema planetario. Sin embargo dicha solución será posible solo a mediano o largo plazo.

- La difusión de coches híbridos o eléctricos puros, cuya recarga pública provenga de energías limpias. La recarga en marcha en estos vehículos, utiliza la energía cinética en el frenado y la energía potencial en las cuestas descendentes. Para lograrlo utilizan motores reversibles. En los coches convencionales esa energía se pierde en calor, que a parte del consumo de combustible contribuye al calentamiento global.
- En el transporte marítimo pesado los japoneses ensayaron barcos híbridos turbo eólicos aprovechando los vientos marítimos para alimentar cilindros rotativos que por efecto Magnus propulsan la nave. También se pensó en naves híbridas diésel vélicas utilizando enormes velas *spinnaker* monitoreadas por sistemas computarizados para aprovechar la máxima energía del viento ahorrando de esa forma gran cantidad de combustible.
- El transporte aéreo por ahora no tiene una solución inmediata, más allá de los esfuerzos para aumentar el rendimiento de las turbinas, pero frente a la polución general la aeronáutica es poco significativa, pues no supera el 4 por ciento.
- Casas autosustentables. La energía solar que incide sobre los techos se puede utilizar mediante paneles foto voltaicos y una instalación electrónica de potencia para alimentar el sistema eléctrico de una casa convencional. Esto será motivo del próximo estudio que presentaremos más adelante.

Buenos Aires, Noviembre 2016

*Juan Carlos Couceyro*

*Ing. en Telecomunicaciones*

*UBA MN154*