

# **Cambio Climático en la Tierra**

**-Estudio comparado con Venus y Marte-**

**PARTE I**

**Julio Solís García**



***Revista Digital de ACTA***

**2023**

**Publicación patrocinada por**



**ACTA representa en CEDRO los intereses de los autores científico-técnicos y académicos. Ser socio de ACTA es gratuito.**

**Solicite su adhesión en [acta@acta.es](mailto:acta@acta.es)**

## **Cambio Climático en la Tierra -Estudio comparado con Venus y Marte - PARTE I**

© 2023, **Julio Solís García**

© 2023,  ACTA

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Se autorizan los enlaces a este artículo.

*ACTA no se hace responsable de las opiniones personales reflejadas en este artículo.*

## **CAMBIO CLIMÁTICO (REALIDAD, BULOS, CIENCIA Y POLÍTICA)**

*"Nada en la vida debe ser temido, solamente comprendido. Ahora es el momento de comprender más para temer menos"*  
**Marie Curie** (1867-1934), Premio Nobel de Física (1903) y Premio Nobel de Química (1911)

Todos los informativos y medios de comunicación, incluyen una sección, cada vez más recurrente, de desastres naturales relacionados con el Cambio Climático (lluvias torrenciales, sequías, temporales y fenómenos atmosféricos extremos), que hace años eran raros y ahora se suceden con más frecuencia. En general, la gente maneja con soltura el término "Cambio Climático", ¡el tiempo está loco! se oye con frecuencia...

En todas las agendas políticas se ha incluido el "Cambio Climático" y sus efectos como un apartado fijo, pero generalmente se aborda de una manera sesgada o tendenciosa, dependiendo del ideario político en cuestión, o la línea editorial de cada Medio, vinculado en mayor o menor grado con grandes grupos de poder económico y político.

Se suele utilizar con mucha frivolidad, y como arma arrojada, contra los adversarios políticos o ideológicos con un trasfondo económico evidente. También se hace referencia al cambio climático como algo coyuntural, como un fenómeno manejable que la Humanidad puede abordar y solucionar, con mayor o menor optimismo según el momento, sin considerar que la parcelación del Planeta en países, regiones o provincias es un artificio humano sin valor ninguno para la Naturaleza, para la que no existen ni fronteras ni banderas.

No tenemos la menor idea de los efectos profundos del envenenamiento a que estamos sometiendo a la Tierra, y de sus consecuencias para la vida, incluida la nuestra. La contaminación de las aguas y de la atmósfera, el agotamiento de los recursos naturales, y la conducta irresponsable de la mayoría de la población mundial, guiada por una élite político-económica que solamente busca la inmediatez y el mantenimiento del insostenible sistema capitalista, puede llevarnos a un callejón sin salida irreversible.

Tampoco tenemos costumbre, salvo por una minoría inquieta y curiosa, de alzar la vista al cielo, donde la Naturaleza ha puesto delante de nuestros ojos lo que puede ser el destino de la Tierra si continuamos con esta actitud suicida de maltrato ambiental. No conocemos las consecuencias de nuestra agresión al planeta, que no pueden ser buenas, aunque solamente sea por el hecho evidente de no conocerlas, y de llenar de basura y veneno el único hogar que tenemos. Tenemos al lado, en términos astronómicos, a dos planetas muy diferentes que pudieron tener en tiempos pasados un aspecto similar al de la Tierra, y que han terminado resultando hostiles para la vida y para la habitabilidad por el ser humano.

Vinculado a determinadas ideologías políticas, se ha desarrollado con cierta fuerza un movimiento "conspiranoico-negacionista" que trata de relativizar, quitarle peso, o negar directamente, el cambio climático antropogénico constatado empíricamente por la comunidad científica. Este negacionismo trata de justificar el mantenimiento del actual desarrollismo humano, claramente insostenible y que atenta contra el medio ambiente, la biodiversidad, la masa forestal a escala planetaria, los recursos hídricos y, en general, la capacidad de regeneración de los ecosistemas imprescindibles para nuestra propia existencia y para la vida en general. Esta corriente, en cierta medida populista y demagógica, cuestiona los posicionamientos de la inmensa mayoría de científicos para retrasar todo lo posible, y de manera irresponsable, los cambios necesarios en las actividades humanas que frenen o reduzcan sus efectos nocivos en la Naturaleza, utilizando para ello medias verdades (o directamente falsedades), con el objetivo final de descalificar las contundentes

tes conclusiones orientadas a paliar el deterioro descontrolado de nuestro planeta, y todo lo que en él habita, causado por las actividades humanas.

A diferencia de otras teorías científicas, el Cambio Climático Antropogénico, que reúne un amplio consenso científico, permanece como cuestión de debate en multitud de foros sociales. Resulta muy sorprendente que una teoría con fuertes evidencias empíricas y con un amplísimo acuerdo entre la comunidad científica, se cuestione con vehemencia en muchos foros político-económicos y sociales, hecho no muy común al tratarse de un asunto científico y no de carácter político, religioso o moral. Para encontrar una situación parecida, hay que remontarse a los tiempos de Darwin y Wallace con su teoría de la evolución de las especies. A mediados del siglo XIX, la mayoría de las religiones sostenían el "creacionismo" como fundamento de la aparición del Hombre y del resto de especies animales sobre la Tierra, reaccionando con hostilidad ante la teoría de la evolución y llevando ese "negacionismo" al ámbito político y social. Como en el caso del Cambio Climático, poderosos grupos mediáticos tomaron también posición, tratando de contrastar en "igualdad de condiciones" opiniones a favor y en contra de la nueva teoría, por parte de científicos y comunicadores.

Aunque algunos científicos venían especulando desde finales del siglo XIX sobre los efectos en el clima debidos a la acumulación de determinados gases generados por las actividades humanas, no fue hasta el último tercio del siglo XX cuando la comunidad científica comenzó a ser consciente del calentamiento global, y su relación con las actividades humanas y sus emisiones a la atmósfera. Hoy disponemos de datos fehacientes, e incontrovertibles, del aumento en la concentración de gases de "efecto invernadero" en la atmósfera, generados por la actividad humana desde el siglo XVIII, y en particular durante los últimos 50 años, en los que esas emisiones se han disparado (Figura 01), a pesar de que su efecto no es directo, ni proporcional, en cuanto al aumento de la temperatura media del planeta, debido a la existencia de otros factores, como el papel de sumideros que tienen los océanos y la cubierta forestal mediante la fotosíntesis (Figura 02).

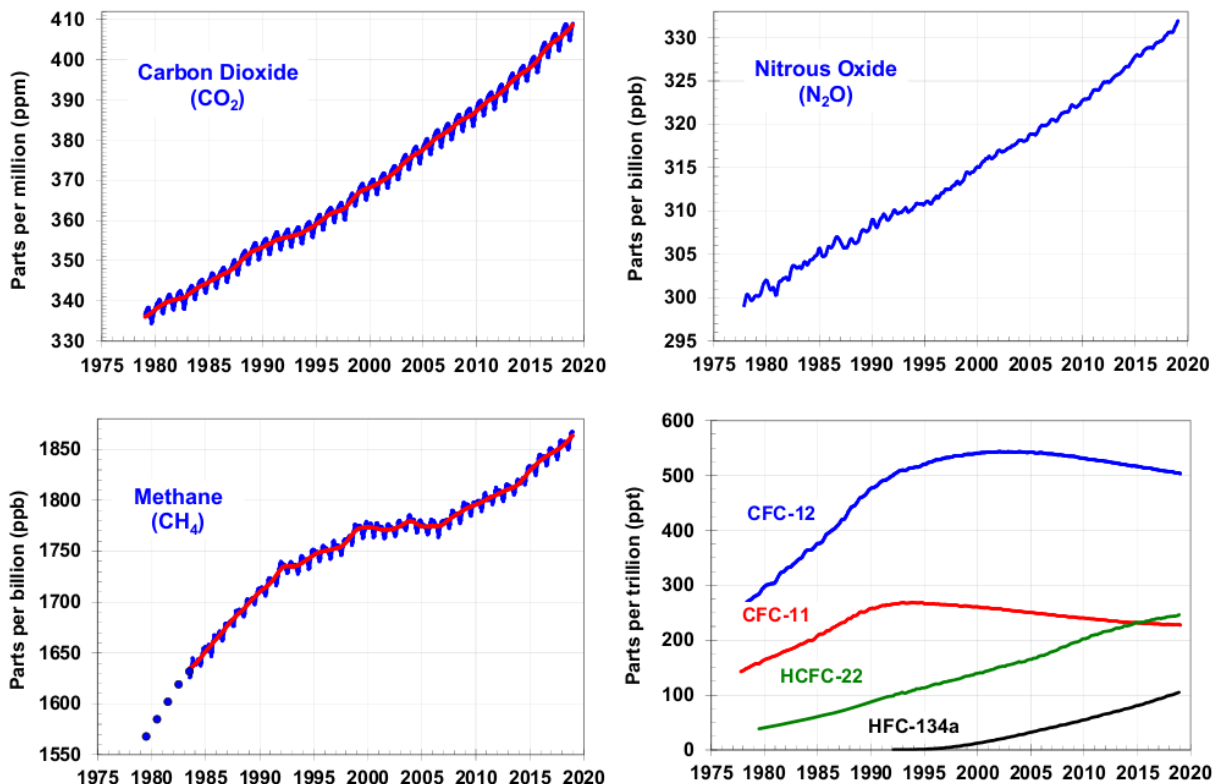


Figura 01: Aumento de la concentración de algunos gases de efecto invernadero desde el año 1975. Fuente: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration-USA)

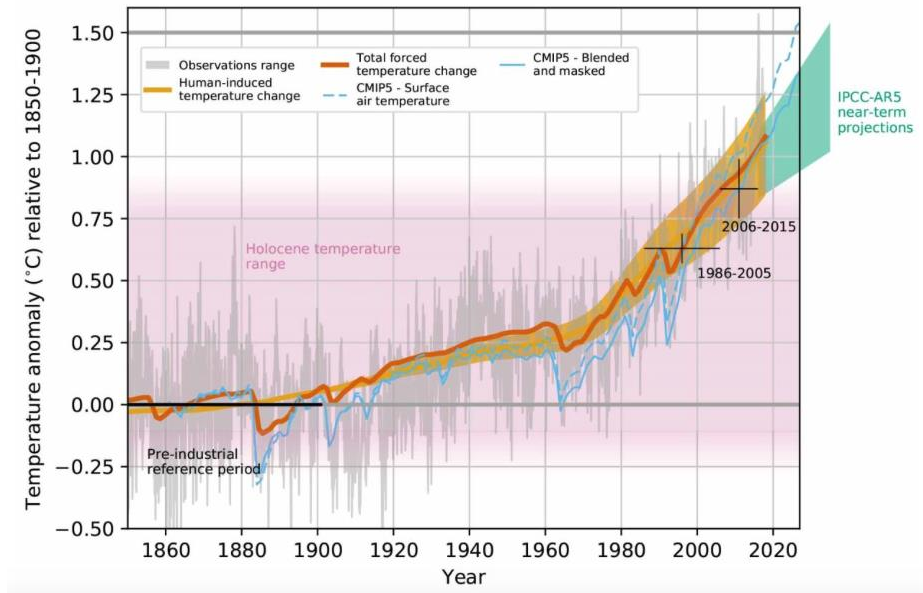


Figura 02: Evolución de las temperaturas globales en relación con el periodo 1850-1900. (Fuente: Informe IPCC-AR5 - octubre de 2018)

Se ha constatado empíricamente que el actual aumento de temperatura global de la Tierra no tiene como origen factores astronómicos, debiéndose básicamente a las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero de carácter antropogénico (Figura 03).

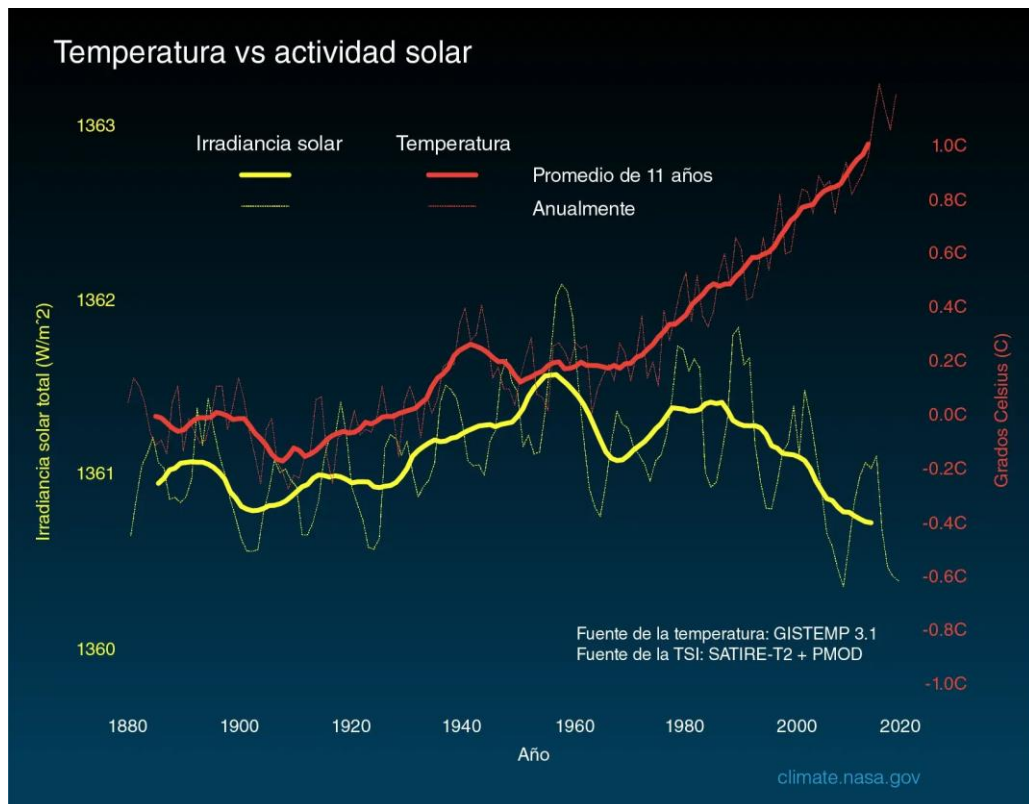


Figura 03: Cambios de temperatura global en la superficie de la Tierra (rojo) en comparación con la energía solar recibida (amarillo) desde el año 1880. Crédito: Global Climate Change - NASA/JPL-Caltech

Los modelos físicos implementados en los sistemas computacionales más avanzados y potentes del momento, proyectan unos escenarios climáticos a futuro, que ponen de manifiesto una relación directa entre el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y el incremento global de temperatura en la superficie terrestre, con todos los desastrosos efectos derivados que podemos anticipar, y lo que es peor, los efectos desconocidos. Esos mismos modelos y las verificaciones experimentales confirman, sin lugar a dudas, la ausencia de factores astronómicos o externos en el aumento de temperatura, estableciendo la emisión de gases antropogénicos a la atmósfera como principal elemento a vigilar y controlar, sin menoscabo del enorme problema de contaminación ambiental, que no estamos gestionando demasiado bien.

Visto que el ritmo del cambio climático y sus efectos, depende directamente del consumo de combustibles fósiles y de la actividad industrial en general, las proyecciones climáticas futuras dependen de los escenarios socioeconómicos que se implanten y de las decisiones políticas que se tomen, sabiendo que los efectos derivados de la alteración del clima terrestre no serán iguales en todas las zonas geográficas del planeta.

Al politizarse las posturas a favor y en contra de lo que ya la Ciencia ha ratificado con fuertes evidencias, se ha introducido un "ruido" en el estudio del "Cambio Climático" que distorsiona, en ocasiones, el propio avance en el conocimiento. Por un lado, la "izquierda" política ha asumido como propios los puntos de vista de los grupos ambientalistas y de la mayoría de los científicos, manteniendo los postulados científicos en defensa de medidas drásticas en favor de un cambio del paradigma desarrollista, que permita un crecimiento sostenible y respetuoso con el medioambiente. Mientras, la "derecha", ha encabezado posturas contrarias, bajo la presión de la poderosa industria energética internacional, y de grandes empresas multinacionales, que no admiten los cambios necesarios en sus actividades en pro de la sostenibilidad ambiental, el respeto por el medioambiente y la reducción de emisiones contaminantes y de efecto invernadero, sobre todo si afectan negativamente a sus cuentas de resultados, tratando desesperadamente de desvincular las actividades humanas del cada vez más obvio cambio climático.

El acuerdo político a gran escala parece imprescindible cuando hablamos de algo que afecta a todo el planeta, sin embargo, los intereses inmediatos, la situación económica y el distinto grado de desarrollo de cada grupo humano (país, alianzas internacionales, bloques ideológicos, mundo desarrollado, zonas en desarrollo, etc...) complican precisamente poder conciliar posturas para alcanzar dicho acuerdo, aunque sea en los elementos básicos que reduzcan o eviten el calentamiento global y sus efectos (Figura 04).

Con objeto de establecer un marco de referencia aceptado globalmente, y de carácter estrictamente científico, la **O.M.M.** (*Organización Meteorológica Mundial*) y el **PNUMA** (*Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*) crearon en el año 1988 una organización intergubernamental de las Naciones Unidas, denominada "**IPC**" (*Intergovernmental Panel on climate change*), que en español se denomina "*Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*", con el objetivo de elaborar informes objetivos y científicos sobre el cambio climático, sus impactos y riesgos naturales, políticos y económicos, y las opciones de respuesta posibles. El IPCC completó el pasado año su sexto informe de evaluación, complementado con diversos informes especiales, resultando el más ambicioso de todos los elaborados desde la creación de la organización. El IPCC recibió el premio Nobel de la Paz en el año 2007, junto con el exvicepresidente de los Estados Unidos, Al Gore, por su labor respecto al cambio climático antropogénico, su estudio, difusión y propuestas para mitigarlo o contrarrestarlo.

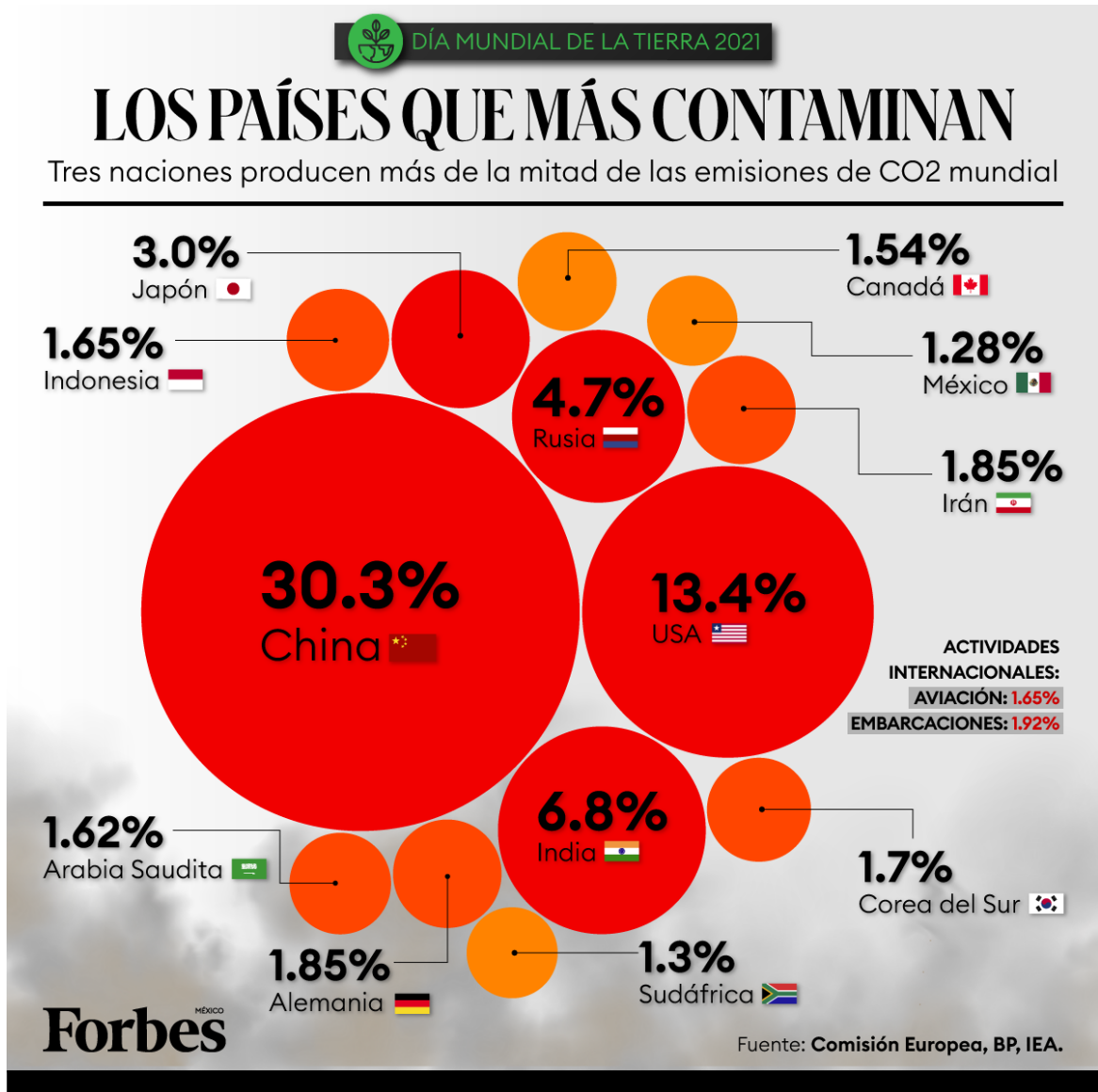


Figura 04: Países que emiten más gases de efecto invernadero a la atmósfera  
Fuente: Comisión Europea, BP, IEA.

En la cumbre climática celebrada en la ciudad mexicana de Cancún en el año 2010, se acordó no superar en 2° C la temperatura media global respecto a la que teníamos en la era preindustrial, acuerdo basado en las conclusiones del IPCC-AR4, que advertían de las consecuencias de un calentamiento global superior a 1,9 °C, como elevar drásticamente el riesgo de una fusión probablemente irreversible de la corteza helada de Groenlandia, que a su vez haría subir el nivel medio del mar en 7 metros. Los informes del IPCC-AR5 arrojaron una cifra máxima de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera, desde el inicio de la era industrial, de 3,5 billones de toneladas como límite para que la temperatura media global no se incrementara en más de 2 °C, y como lo que cuenta es la cantidad total emitida y no los incrementos anuales totales (y no por países), para alcanzar esa cantidad de CO<sub>2</sub> nos quedan por emitir a la atmósfera aproximadamente 1,5 billones de toneladas, por lo que reducir las emisiones globales ya supone una cuestión prioritaria (Figura 05).

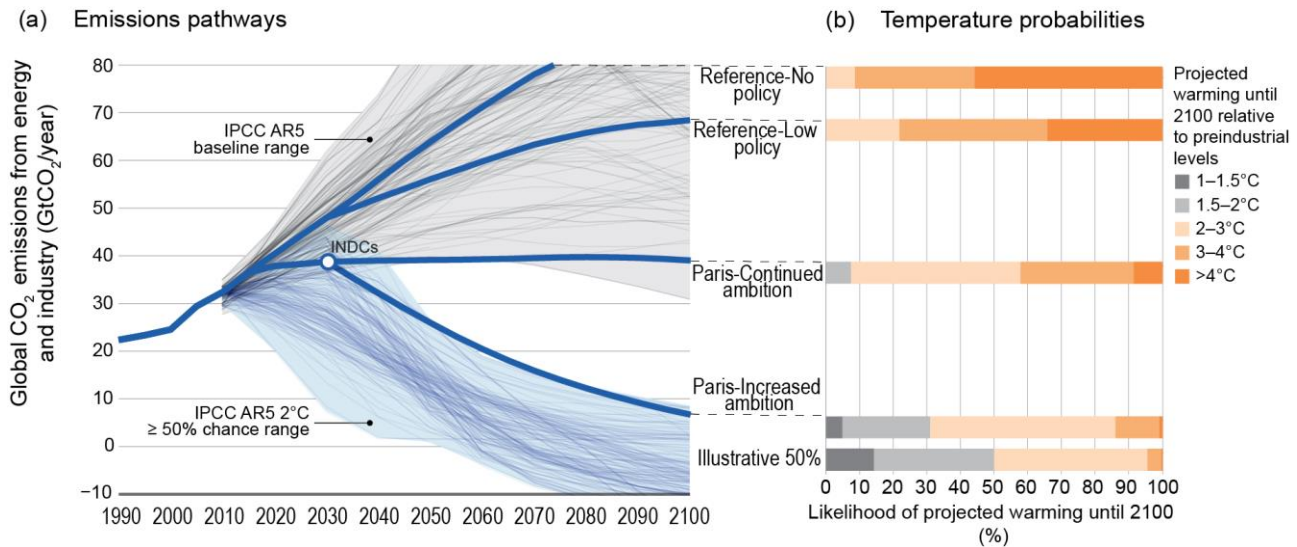


Figura 05: Emisiones globales de CO<sub>2</sub> procedentes de la energía y la industria (izquierda) y resultados probabilísticos de calentamiento global (derecha), para cuatro tipos de trayectorias: las que no siguen ninguna política, las que siguen la política actual, las que cumplen los anuncios de los gobiernos con tasas constantes de descarbonización de los países más allá del año 2030, y el cumplimiento de los anuncios de los gobiernos con tasas más altas de descarbonización más allá del año 2030. Las INDC (Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional) se refieren a las acciones anunciadas por los gobiernos en el periodo previo a la conferencia sobre el clima de París. En el lado derecho se muestran las probabilidades para diferentes niveles de calentamiento global en superficie durante este siglo, en relación con los niveles preindustriales para cada uno de los cuatro escenarios mencionados. Para el cálculo de estas probabilidades se han tenido en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> mostradas a la izquierda y además el conjunto completo de emisiones de GEI, aerosoles, y especies de vida corta a través de todo el conjunto de actividades humanas y sistemas físicos de la Tierra. Fuente: COP21 (Conferencia de París - 2015) - (Crédito: Wikimedia Commons)

## CAMBIOS EN EL CLIMA DE LA TIERRA A LO LARGO DE SU HISTORIA

*"Estamos en serios problemas si no entendemos el planeta que estamos tratando de salvar"*  
**Carl Sagan** (1934-1966), astrónomo, astrofísico, cosmólogo, astrobiólogo y divulgador científico

Si preguntamos por la calle a la gente qué entienden por "Cambio Climático" escucharemos de todo: ¡el tiempo está loco!, ¡no hay más que olas de calor o de frío!, ¡hay sequía o lluvias torrenciales!, ¡se dan temperaturas muy altas o bajas a destiempo!, ¡ya no hay estaciones!, etc... pero para estudiar o analizar este asunto conviene ser precisos en el significado de la expresión, utilizando, por ejemplo, la definición señalada en el artículo 1.2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: *"Por 'cambio climático' se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables."*

Como hemos visto, el cambio climático al que estamos asistiendo a día de hoy se denomina "Cambio Climático Antropogénico", debido a que es la mano del ser humano la que está causando



alteraciones en los diversos climas que caracterizan cada zona de nuestro planeta. La Ciencia no alberga dudas de que el sobrecalentamiento de la Tierra, medido empíricamente, está causado por la acumulación en la atmósfera de ciertos gases emitidos al quemar combustibles fósiles, como el petróleo y sus derivados, el gas y el carbón, para el desarrollo de las actividades humanas. Sin embargo, desde diversos ámbitos de la sociedad, de manera interesada o por ignorancia, aún es un tema sujeto a discusión.

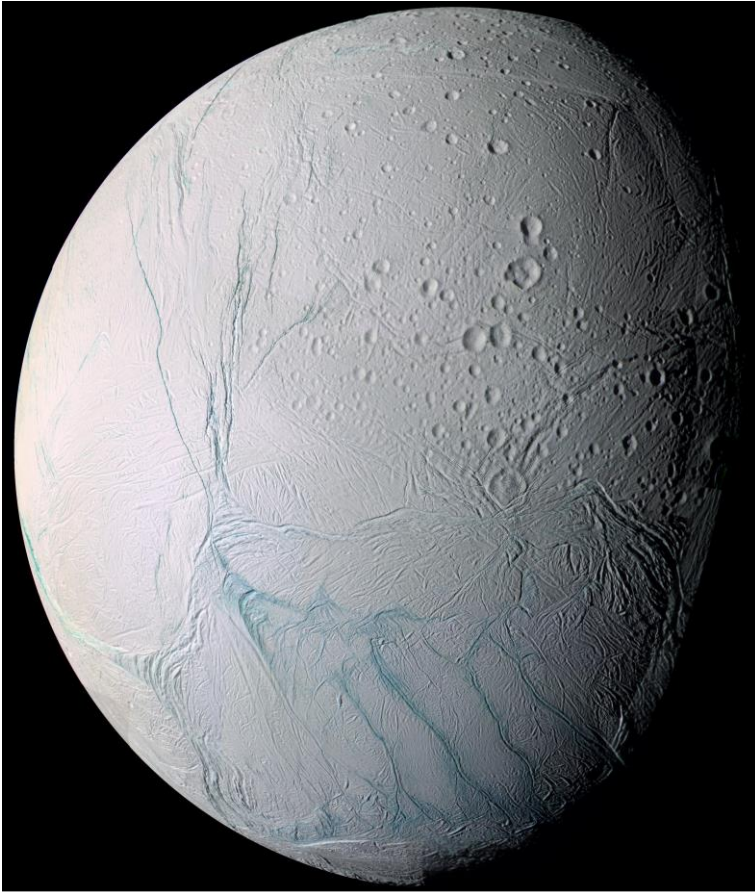
Para muchas personas el "Cambio Climático" es algo que está de moda, como internet, las redes sociales, o los smartphones... y que, además, es la primera vez que se produce. Pero no, es un problema complejo que afecta a todo el mundo, y forma parte de manera indivisible de cuestiones como el crecimiento demográfico, la pobreza, y el desarrollo económico. Desde un punto de vista antropogénico también es un concepto mucho más amplio, e incluye las variaciones climáticas que se han dado desde hace miles de millones de años y que son atribuidos a factores como la actividad solar, la circulación de las corrientes marinas, tectónica de placas y cambios en la propia composición de la atmósfera. Para entender los ciclos y flujos de energía y materia relacionados con el sistema climático global, hay que comprender la interrelación entre océanos, atmósfera, biosfera, criosfera y geosfera, y así poder determinar las causas y los efectos del cambio climático.

La Tierra es un astro dinámico, en permanente evolución, aunque el ritmo de sus cambios es tan lento, comparado con la vida de un ser humano, que parece inmóvil, inmutable, permanente y no sometido a variaciones a escala global. Es como si un mosquito, cuya vida dura unas decenas de días, tuviera que analizar la evolución de un ser humano. Tendría que estudiar a una multitud de individuos para concluir que los seres humanos cambian y evolucionan, pero a un ritmo tan lento comparado con su propia vida, que dichos cambios les resultan inapreciables a lo largo de su corta existencia.

En algunas ocasiones, se puede confundir "clima" con "tiempo atmosférico", y aunque son términos referidos a conceptos distintos, están fuertemente vinculados. Según la Organización Meteorológica Mundial, por "*tiempo*" (atmosférico o meteorológico) se entiende el conjunto de acontecimientos naturales meteorológicos de corta duración, como la niebla, lluvia, nieve, ventiscas, tormentas de viento y truenos, ciclones tropicales, etc, que se dan en un lugar y en un momento concretos. Por el contrario, "*clima*" (o tiempo medio) se define como la medición de la media y la variabilidad de cantidades relevantes de determinadas variables, como la temperatura, precipitaciones o viento, a lo largo de un periodo de tiempo que puede ir de meses a miles o millones de años, siendo de 30 años el periodo clásico considerado. El clima, en un sentido más amplio, es el estado del sistema climático, incluida una descripción estadística.

Nuestro planeta se originó hace unos 4600 millones de años, durante todo ese tiempo se han sucedido eras glaciales-interglaciales en diferente número, según los autores y el periodo concreto estudiado, provocando grandes "cambios climáticos" a escala global, afectando a toda la fauna y flora, temperatura media planetaria, espesor de la corteza de hielo, nivel del mar, corrientes marinas, etc...

Durante la primera mitad de la "vida" de nuestro planeta, el clima terrestre era más cálido que en el momento actual, sin capas de hielo superficiales, ni siquiera en los polos. Sin embargo, hace unos 2400 millones de años y por un lapso temporal de ~300 millones de años, algo ocurrió que convirtió a nuestro querido planeta azul en un cuerpo completamente helado, blanco, una auténtica bola de nieve (Figura 06).



Los científicos apuntan a tres posibles causas que pudieron provocar semejante "Cambio Climático": **a)** el impacto de un gran meteorito, que provocó una densa capa a escala planetaria de aerosoles con bajada importantes de temperaturas globales que generaron hielo, aumentando por ello el albedo (porcentaje de luz reflejada) de la Tierra, lo que a su vez enfrió más al planeta; **b)** la segunda posible causa es similar a la primera, pero en este caso la capa de aerosoles y polvo estaría generada por un aumento muy importante de la actividad volcánica, oscureciendo y enfriando al planeta; y **c)** por último se especula con el paso de la Tierra por una densa nube interestelar de polvo cósmico, lo que igualmente habría ocasionado que la radiación solar llegara muy atenuada a la superficie terrestre, enfriándola.

Figura 06: "Encélado", luna de Saturno fotografiada por la nave "Cassini" el 14/07/2005. La Tierra, en su primera fase "planeta bola de nieve" pudo tener un aspecto similar visto desde el espacio, aunque en el caso de nuestro planeta se apreciaría la atmósfera. Crédito: NASA/JPL/Space Science Institute

La paleoclimatología señala que superada esa etapa helada, la Tierra comenzó una etapa de calentamiento global, aunque no se conocen las causas. El hielo comenzó a retroceder, el nivel del mar a aumentar, y los seres vivos que soportaron la etapa previa, empezaron a colonizar de nuevo el enorme y único mar del planeta.

Este periodo cálido se mantuvo hasta la aparición de un nuevo periodo de planeta "bola de nieve" hace unos 1200 millones de años. La vida, que se había pasado al calor de ese periodo favorable, se replegó de nuevo en las zonas ecuatoriales y fondos marinos, libres de hielo. Se sucedieron posteriormente otro periodo cálido más corto que el anterior y un tercer episodio helado 'bola de nieve', que se inició hace unos 700 millones de años. En total se estima que en el pasado remoto hubo hasta cuatro periodos de frío extremo con grandes extensiones de hielo, algunos de ellos de carácter global, siendo la tercera mencionada la más intensa de todas, llegando a quedar heladas amplias zonas del ecuador, dejando por tanto como única zona apta para el desarrollo de la vida los fondos marinos.

Desde hace unos 550 millones de años, con la terminación de ese último periodo de planeta helado debido probablemente a un aumento de la actividad volcánica, y un aumento de hasta 10 veces la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera que pudo fundir grandes zonas cubiertas por gruesas capas de hielo e iniciar un efecto invernadero que llevó a la Tierra a un clima más suave, se han venido sucediendo épocas frías y cálidas con diferente grado de intensidad. Al final del periodo Ordovícico (hace ~430 millones de años) se inició la quinta era glacial que duraría unos 40 millones de años, dando paso a los periodos Devónico y Carbonífero con un ambiente cálido y húmedo en el que se experimentó un gran desarrollo de los organismos vivos. Al final del Carbo-

nífero (hace ~300 millones de años) la Tierra sufrió una drástica bajada de temperaturas que la llevó al cuarto episodio de "Tierra Blanca" (Figura 07).

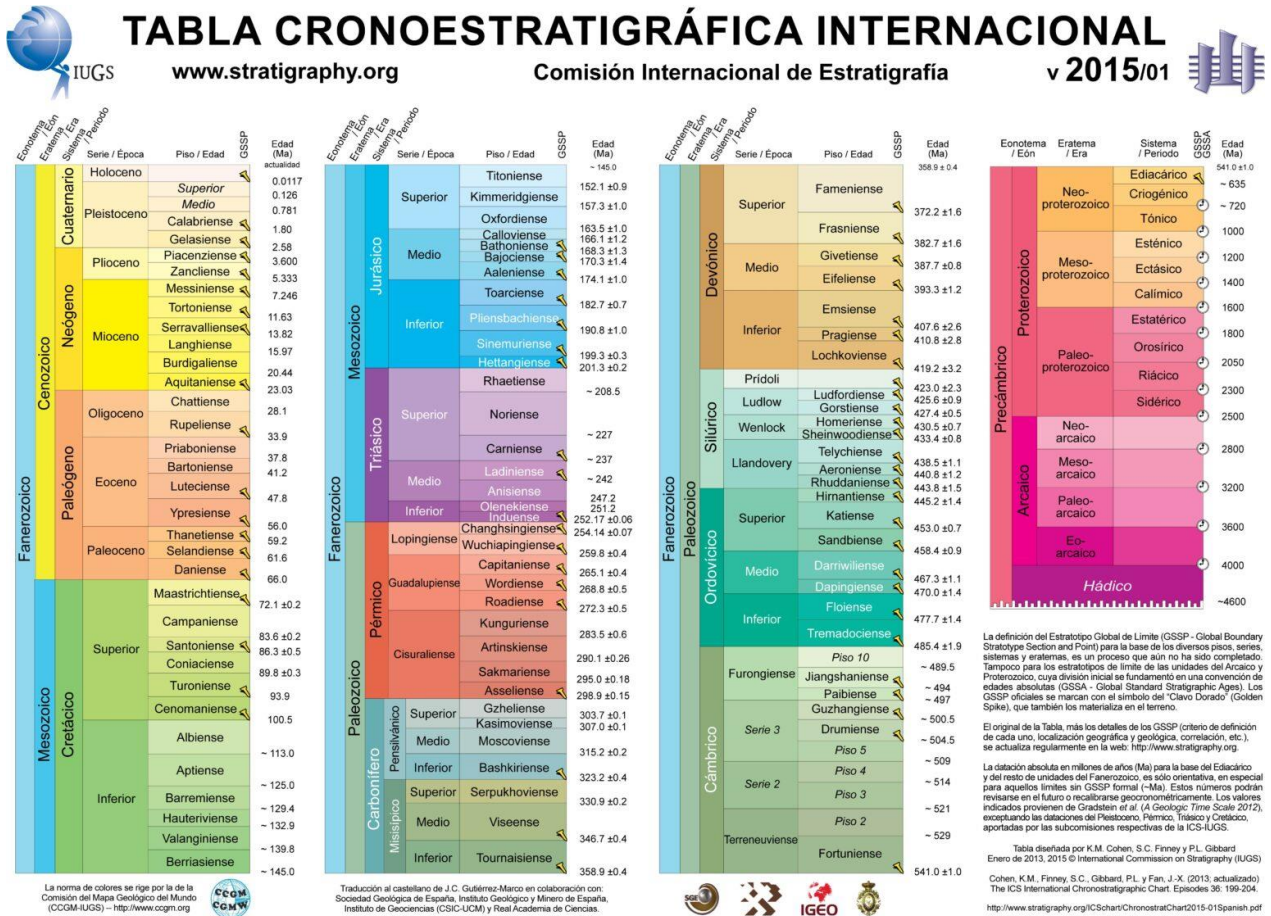


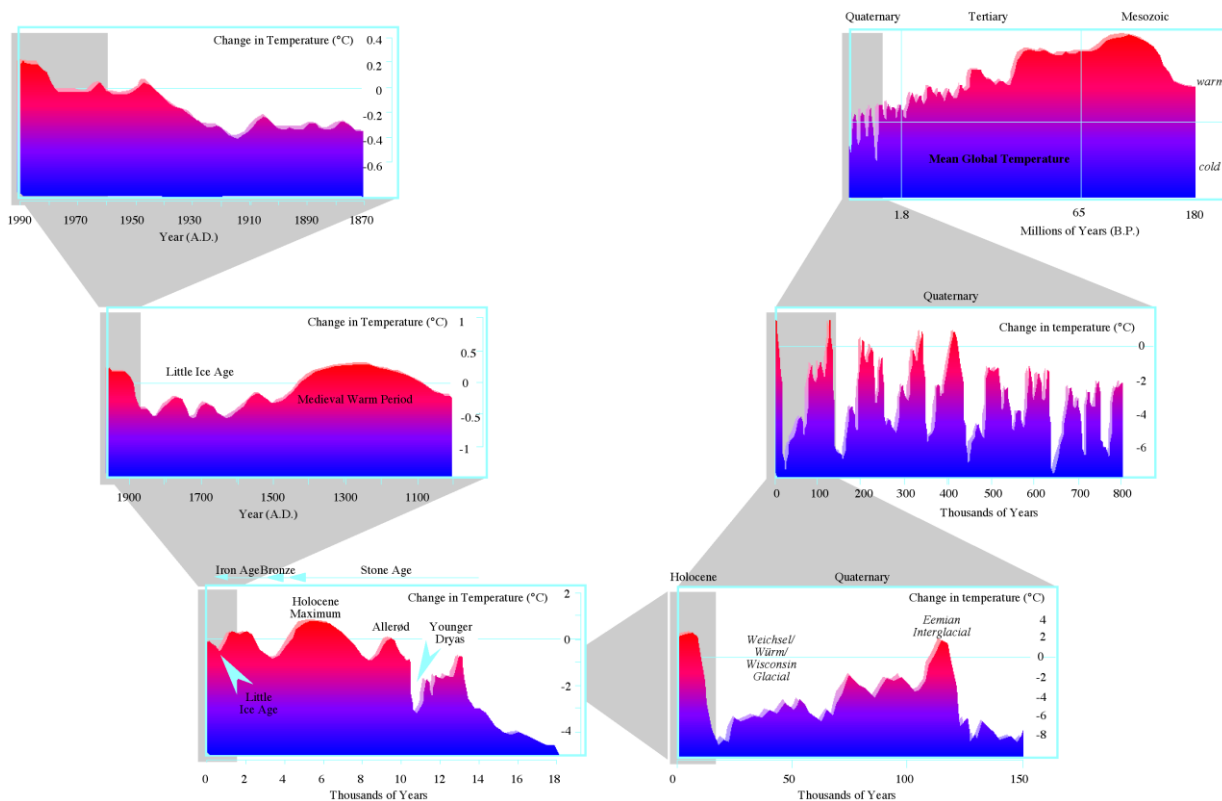
Figura 07: Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Comisión Internacional de Estratigrafía (www.stratigraphy.org)

Con el inicio de la Era Mesozoica se abre un largo periodo de tiempo con calor y humedad (clima tropical) debido posiblemente a un aumento del CO2 en la atmósfera, consecuencia de su liberación por las rocas en un proceso denominado "meteorización química". En el periodo Triásico-Medio de esta Era se dieron unas condiciones extremas de aridez, con un clima muy seco en el supercontinente "Pangea" situado en latitudes altas, provocando grandes depósitos de "evaporitas", que son rocas sedimentarias que se forman durante la evaporación intensa del agua salada sobresaturada en lagos y mares. Durante este periodo los polos de la Tierra carecían de casquetes helados, y el gran contraste entre los extensos desiertos secos y áridos de las zonas centrales del supercontinente y las zonas húmedas costeras generaba situaciones monzónicas, en cierta medida similares a lo que ocurre actualmente en el sureste de Asia. Estas condiciones se mantuvieron durante algunas decenas de millones de años.

Durante los periodos Jurásico y Cretácico, un clima favorable, húmedo y cálido (se calcula que a finales del Jurásico la temperatura media del planeta era 7 °C mayor que la actual), dispara de nuevo la expansión y desarrollo de seres vivos a lo largo y ancho de todo el planeta, hasta que de forma abrupta hace 65 millones de años, debido a la caída de un gran meteorito, se produjo la extinción masiva de los dinosaurios que dominaban la Tierra, y buena parte de la fauna y flora existente, dando paso al Paleoceno, primera época de la Era Cenozoica. Inmediatamente después (en términos geológicos), tuvo lugar el denominado "Máximo térmico del Paleoceno-Eoceno" en el

que durante unos 20 000 años la temperatura media del planeta se elevó en 6 °C, provocando alteraciones en la fauna y flora, en las corrientes marinas y en la dinámica atmosférica, con vegetación subtropical en latitudes altas, y ambiente fresco y húmedo en zonas polares, que ya no tenían grandes extensiones de hielo. Sin embargo, la Era Cenozoica fue un periodo de enfriamiento paulatino con épocas templadas y frías.

Hace unos dos millones y medio de años comenzó el periodo Cuaternario, época fría con ciclos más fríos (glacial) y más templados (interglacial), el último de los cuales, de carácter templado, es en el que nos encontramos actualmente (Holoceno), al que presumiblemente sucederá una glaciación dentro de varios miles de años. Las glaciaciones cuaternarias, que suelen durar unos 100 000 años, hacen avanzar las capas de hielo hasta latitudes medias y bajas, mientras que los periodos interglaciales, con unas duraciones típicas de 10 000 años, reducen las zonas heladas a latitudes polares (Figura 08).



Parece haber una relación, aunque no sea ni el único ni el principal factor, entre esos ciclos "glaciales-interglaciales" y la cantidad de radiación recibida del Sol. A principios del siglo XX, el astrónomo, matemático, geofísico e ingeniero serbio Milutin Milankovitch (1879-1958), propuso una teoría que relacionaba las alternancias de periodos glaciales e interglaciales, ocurridas durante los últimos dos millones de años en la Tierra, con los cambios en la radiación solar recibida, debida principalmente a tres factores orbitales (excentricidad de la órbita terrestre, precesión de los equinoccios, y la oblicuidad de la eclíptica).

La órbita terrestre es elíptica, aunque tiene una excentricidad muy baja (0,01671). Dicha excentricidad varía ligeramente ( $\pm 0,012$ ), con dos periodos dominantes, uno de  $\sim 100\ 000$  años y otro de  $\sim 400\ 000$  años. El movimiento de Precesión es el que tiene el eje de rotación de la Tierra, girando como si de una peonza se tratara, y completando un giro completo en  $\sim 26\ 000$  años. Por último, la oblicuidad de la eclíptica se refiere a la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto a la perpendicular al plano de la eclíptica, y presenta dos movimiento solapados, uno de

nominado de nutación, con un periodo de 18,6 años y algo más de 9" de arco, y otro con un periodo superior a 40 000 años que hace variar la inclinación del eje de rotación terrestre entre unos valores de 22,1° y 24,5° (Figura 09).

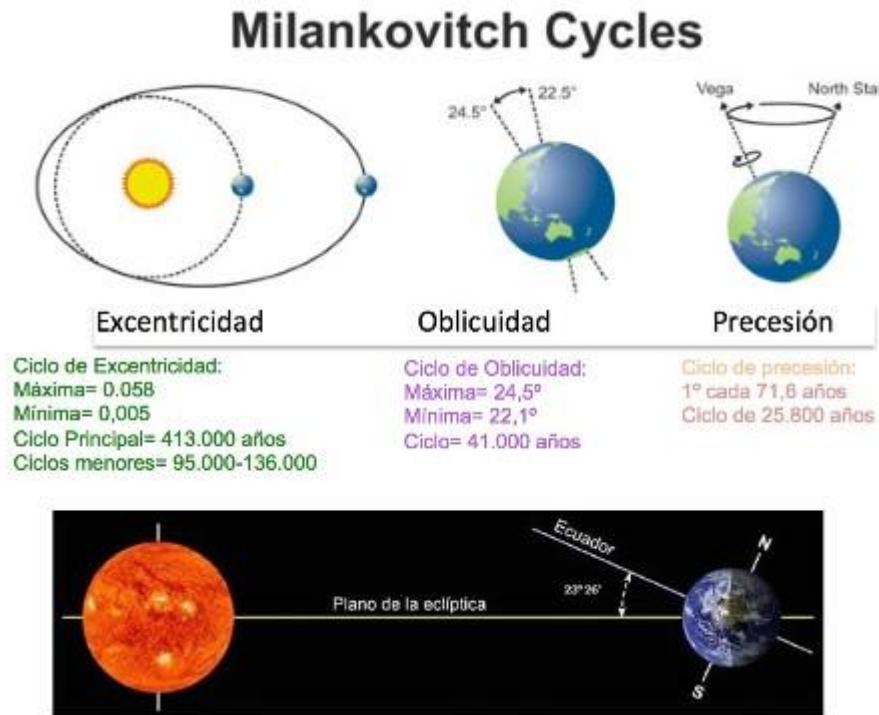


Figura 09: Teoría de Milankovitch, factores orbitales de la Tierra que podrían intervenir en el nivel de insolación, y consecuentemente en la variación del clima.  
Imagen: [www.expansion.com](http://www.expansion.com)

Resumiendo, según la teoría de Milankovitch las glaciaciones se producen cuando la excentricidad es alta, la oblicuidad es baja y el contraste entre las estaciones es pequeño. Por el contrario, en los periodos interglaciales coinciden una excentricidad baja, una oblicuidad alta y un mayor contraste entre las estaciones (Figura 10).

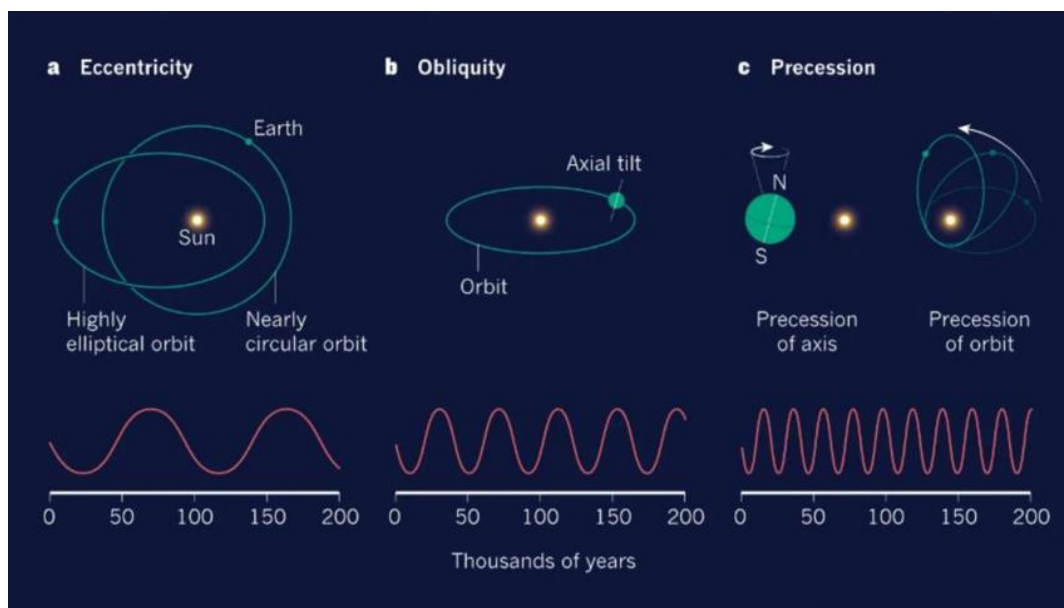


Figura 10: Periodicidad de los movimientos orbitales contemplados en la Teoría de Milankovitch.  
Crédito imagen: Mark Andrew Maslin (University College London - Department of Geography)

Comparado con épocas anteriores, el desarrollo humano durante los últimos miles de años ha contado con un clima suave y estable, que le ha permitido avanzar exponencialmente técnica y científicamente, aunque se ha puesto de manifiesto la vulnerabilidad humana a los más pequeños cambios en el medio ambiente causados de manera natural o por su propia actividad, particularmente en los últimos años.

El clima, y en particular los ciclos "glacial-interglacial", siempre han acompañado y condicionado, en mayor o menor medida, la evolución y expansión por el mundo de los primeros homínidos aparecidos en África hace ~5 millones de años. En Europa aparecieron los "*neandertales*" coincidiendo con el inicio de la última glaciación, lo mismo que unas decenas de miles de años después los "*cromañones*", teniendo que adaptarse a unas condiciones duras en un ambiente muy frío. Estos últimos pudieron adaptarse y resistir mejor el clima glacial, mientras que los primeros se adaptaron peor y poco a poco fueron desapareciendo, aunque el clima no fue ni la única ni la más importante razón del final de los neandertales.

Hace unos 10 000 años concluyó la "Edad de Hielo" (glaciación *Würm*), último periodo glacial histórico, iniciándose la retirada paulatina de las grandes masas de hielo hacia zonas polares, y dando paso a bosques y grandes extensiones verdes que favorecieron la caza y la agricultura. Desde ese momento se sucederían periodos fríos y templados pero de menor intensidad que los vistos en épocas anteriores.

A diferencia de todos los cambios climáticos que han afectado al planeta a lo largo de su historia, la mano del Hombre está detrás de la mayoría, por no decir de la totalidad, de las causas del cambio a que estamos asistiendo en el momento presente. Además, existe otro elemento completamente nuevo, que es el periodo de tiempo en el que se está produciendo dicho cambio. Nunca anteriormente, desde el origen de nuestro planeta, ningún cambio en el clima global se ha dado en tan pocos años.

Las alteraciones a que estamos sometiendo al planeta, como la deforestación, la disminución de la capa de hielo, el aumento del nivel del mar, el aumento de la temperatura media global, la contaminación, etc..., vertiginosas en términos de tiempo geológico, impide los ajustes adaptativos tanto en la fauna como en la flora, provocando extinciones de especies, migraciones y cambios de comportamiento animal y vegetal que probablemente resulten irreversibles.

En el análisis de la situación actual respecto a la evolución del clima a nivel planetario, nos encontramos con los dos nuevos componentes señalados, la rapidez del calentamiento global y el papel del ser humano, que hacen imposible evaluar comparativamente la situación presente con las ocurridas en tiempos pasados. Por tanto, cualquier proyección a futuro del nuevo clima terrestre que se está desarrollando, contiene severas dudas e incógnitas en cuanto al grado de reversibilidad, y a lo catastrófico o soportable que pueda resultar para la vida en general sobre la Tierra y para la especie humana en particular.

## EL INFIERNO DE VENUS

*"No quiero creer, quiero saber"*

**Carl Sagan** (1934-1966), astrónomo, astrofísico, cosmólogo, astrobiólogo y divulgador científico

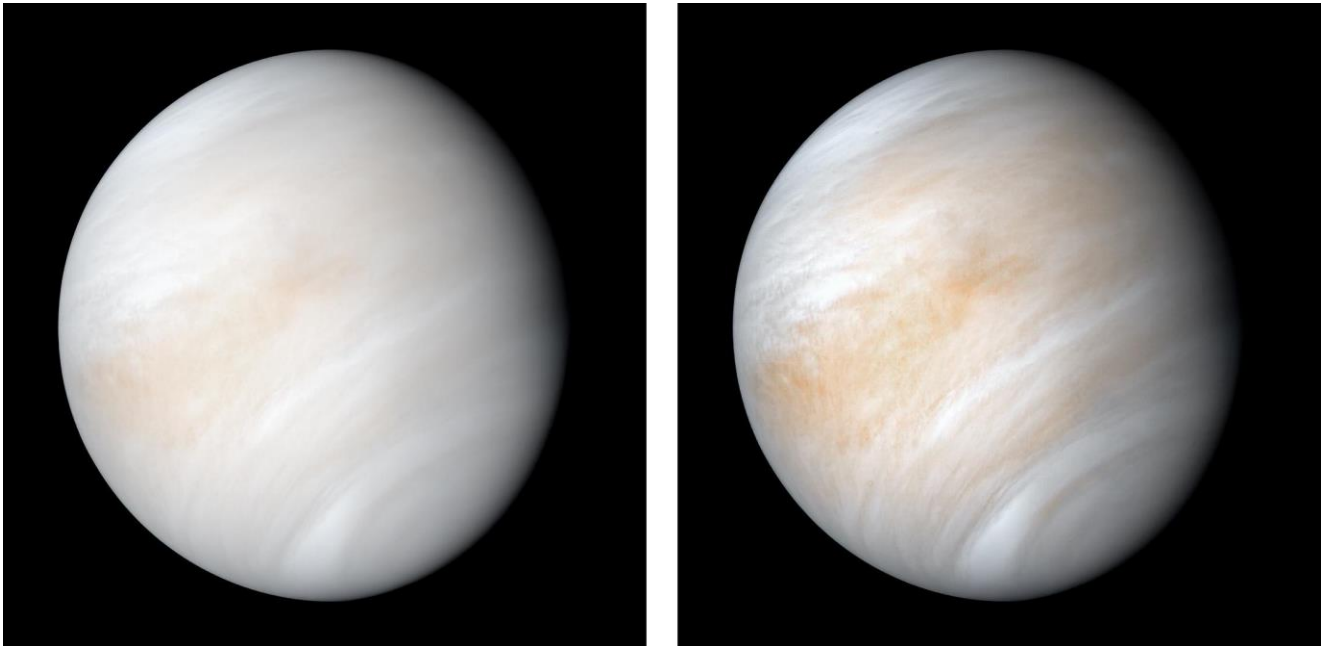
Parece un planeta gemelo de la Tierra, su diámetro ecuatorial es de 12 103,6 km, mientras que el de nuestro planeta es de 12 756,3 km. Tomando como unidad el volumen y la masa terrestres, Venus tiene un volumen de 0,8571 y una masa de 0,8150. Su densidad media es de  $5,24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  y su gravedad superficial de  $8,87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (por  $5,52 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  y  $9,80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  para el caso de la Tierra). También está cubierto de nubes, pero en su caso no son de agua sino de ácido sulfúrico, clorhídrico y fluorhídrico; y además, lo rodean completamente y de forma permanente. El semieje mayor de la órbita elíptica que describe alrededor del Sol es de 108,21 millones de kilómetros, siendo la duración de su 'año' de 224 días terrestres. Venus gira sobre sí mismo en 243 días terrestres y además lo hace en sentido retrógrado (en Venus es más largo un día que un año), de tal manera que si hubiera alguien en su superficie y pudiera ver el Sol, lo vería salir por el oeste. Combinando su periodo de traslación con su rotación retrógrada, un día solar venusiano dura 116,75 días terrestres visto desde su superficie. Es también el planeta del Sistema Solar que más puede acercarse a la Tierra, con una distancia mínima de 38,2 millones de kilómetros.

Sin embargo, las apariencias engañan, es un planeta muy hermoso cuando lo observamos a simple vista, con prismáticos o con telescopio (Figura 11). Parece una perla nacarada casi siempre en fase, como una pequeña lunita, sin que puedan apreciarse detalles superficiales. Después del Sol y La Luna es el objeto más brillante en nuestro cielo, llamando la atención durante las horas próximas a la salida o a la puesta de Sol y ganándose el apelativo de "Lucero del Alba" o "estrella vespertina". Por su cercanía y el alto albedo (0,75) que le proporcionan sus nubes, su magnitud aparente alcanza el valor de -4,40



Figura 11: Fotografía de Venus con un telescopio de aficionado tipo "Newton" de 115 mm, realizada desde Madrid en 1976 (Lucero de la tarde)  
Autor: Julio Solís García

Esa llamativa imagen, siempre cubierta de nubes, dio lugar en tiempos pasados a fantasías que describían a Venus como un paraíso con mucha agua, grandes y extensos bosques y un clima tropical, como pusieron de manifiesto en sus obras J.H.B. de Saint-Pierre o el famoso y prestigioso premio Nobel de Química Svante August Arrhenius, en las que manifestaban su creencia en que Venus era un lugar idílico y exótico, plagado de selvas y agua en abundancia. Su misteriosa e invisible superficie, originó numerosas especulaciones acerca de cómo podría ser y qué podría albergar su suelo. Muchos científicos y escritores, como los mencionados anteriormente, imaginaron que por debajo de su capa nubosa existía un paraíso con abundantes ríos, mares y cascadas (Figura 12).



*Figura 12: Fotografía de Venus (original, y reprocesada con nuevo software de tratamiento de imágenes) tomada por la sonda "Mariner 10" de la NASA el 8 de febrero de 1974, cuando se iba alejando de Venus camino de Mercurio*

*Autor: Kevin M. Gill. (JPL engineer) - NASA/JPL Caltech -*

Ese vergel maravilloso se desvaneció completamente cuando a mediados del siglo XX pudo medirse, a través de su espectro, la temperatura de la parte alta de las nubes y de la superficie. Los análisis arrojaron una temperatura en la superficie de Venus en torno a 330 °C, nada más y nada menos que la temperatura de fusión del plomo. Se sabía que la espesa atmósfera de Venus bloquearía la radiación infrarroja procedente de la superficie, con lo que la temperatura superficial debería ser más alta que las obtenidas de la capa nubosa. Igualmente, los científicos estimaron que la atmósfera de Venus sería transparente a las ondas de radio, por lo que siguiendo esta técnica calcularon una temperatura superficial de ~425 °C, datos que serían corroborados por la sonda "Mariner 2" a finales del año 1962. Todo apuntaba a que esos bosques paradisíacos imaginados, y esas selvas tropicales frondosas, en realidad eran la escenificación más cruda del infierno.

En la década de los años 60 del pasado siglo, las dos grandes potencias en materia espacial (URSS y USA) se lanzaron a una carrera para liderar la "conquista" del planeta Venus, enviando vehículos no tripulados para la toma de datos. Los primeros lo hicieron con el programa "Venera" (Venus en ruso), que se proponía enviar una sonda capaz de atravesar la atmósfera del planeta y posarse sobre su superficie, lanzando la "Venera 1" el 12 de febrero de 1961. El proyecto estadounidense era menos ambicioso; pretendía enviar una sonda, la "Mariner 1", para que se apro-



ximara al planeta, hiciera fotos y tomara diversas medidas a distancia, pero sin llegar a entrar en contacto con él. El primer intento de ambas misiones terminó en fracaso, pero en 1963 la sonda estadounidense "Mariner 2" consiguió sobrevolar el planeta y efectuar medidas de su temperatura, presión superficial, masa, campo magnético (inexistente), y detección de gases atmosféricos. El proyecto "Mariner" del "Jet Propulsion Laboratory" (NASA), que se inició en el año 1962 y terminó en el año 1973, solamente envió dos sondas más a Venus, la "Mariner 5" en 1967 y la "Mariner 10" en 1973, pero en lo que respecta a Venus, ambas se limitaron a registrar datos atmosféricos y magnéticos, y realizar fotografías "en ultravioleta" de su atmósfera. En cambio, este proyecto norteamericano diversificó sus objetivos exploratorios incluyendo a los otros dos planetas interiores del Sistema Solar, recopilando importante información de Mercurio, y sobre todo de Marte.

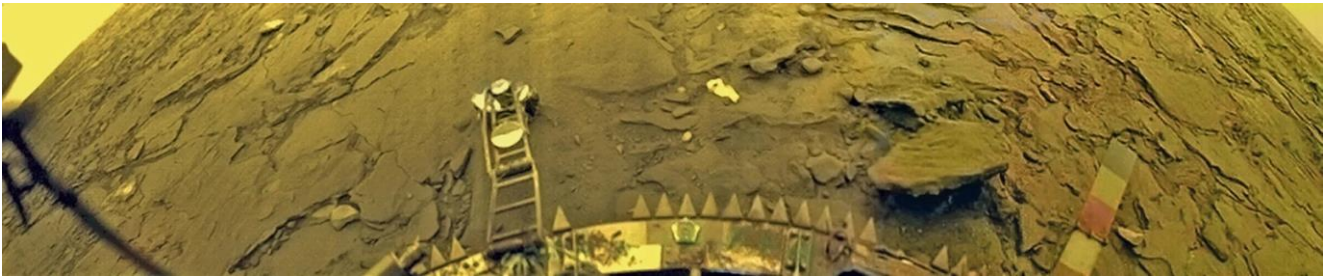
Los datos enviados por las primeras naves que llegaron a Venus confirmaban las ya realizadas desde la Tierra, es decir, unas nubes muy frías en sus capas altas, sobre una superficie extremadamente caliente a unos 425 °C.

La "Venera 2" soviética no pudo recuperar las comunicaciones con la Tierra para enviar el importante registro de datos científicos que había grabado al acercarse a Venus, lo que supuso un fracaso del Programa en su segunda misión, pero por fin, el 1 de marzo de 1966, la sonda "Venera 3" consiguió pasar a la historia como la primera nave humana en posarse sobre la superficie de otro planeta, aunque se perdió el contacto por radio instantes antes de tocar el suelo, seguramente al quedar inutilizada por aplastamiento, incapaz de soportar la elevadísima presión atmosférica.

El equipo del Programa "Venera" fue aprendiendo de los fallos y problemas reportados en las primeras sondas, y en el año 1967 consiguieron que la "Venera 4" pudiera realizar medidas de su atmósfera durante la hora y media de descenso que tardó en llegar a la superficie venusiana, pudo identificar sus componentes químicos (con una cantidad de CO<sub>2</sub> mayor de la prevista), la variación de su temperatura con la altura, y del aumento de las presiones conforme se acercaba al suelo, hasta quedar aplastada por las ~93 200 hPa de presión atmosférica en superficie.

Las mejoras en las sucesivas sondas de la serie "Venera", lograron que la "Venera 7" alcanzara Venus en el año 1970, y también pasara a la historia como la primera nave que logró posarse suave y controladamente en la superficie de otro planeta, y además, comunicando al Centro de control en la Tierra información científica y datos de su entorno. Consiguió mantenerse operativa 23 minutos, nada sencillo en un ambiente corrosivo (ácido sulfúrico), a 460 °C y a una presión 90 veces mayor que la de la superficie terrestre (la que se registra en nuestros fondos marinos a una profundidad de 1000 metros).

Las siguientes sondas de la serie "Venera" (8, 9 y 10) consiguieron mantenerse operativas más tiempo, y consiguieron además tomar las primeras fotografías de la superficie del planeta. La primera fotografía en color del planeta (Figura 13), obtenida por la "Venera 13" el día 1 de marzo de 1982, mostró un paisaje penumbroso y nublado de tonalidad amarillenta-verdosa, parecido al de un día cubierto y tormentoso en nuestro planeta, con una superficie árida, pedregosa y fracturada (consecuencia de las elevadas temperaturas o de su origen volcánico). Su gemela "Venera 14" también fotografió en color la superficie, y además pudo hacer por primera vez grabaciones del sonido ambiente en la superficie de otro planeta distinto de la Tierra. Algunos de los módulos de esta serie, mientras hacían su entrada en la atmósfera venusiana, detectaron dióxido de carbono (96%), nitrógeno (3%), agua, gases sulfurosos (sulfuro de hidrógeno y sulfuro de carbonilo) y algunos gases nobles (argón, xenón, neón y helio), entre otros componentes.



*Figura 13: Primera fotografía en color de la superficie de Venus, tomada por la sonda soviética "Venera 13" el 1 de marzo de 1982. Panorámica de 170° tomada con la cámara frontal. La sonda pudo tomar un total de 14 fotos durante las algo más de dos horas que consiguió "sobrevivir" a las extremas condiciones de presión, temperatura y acidez ambiental  
Créditos: Russian Academy of Sciences*

El programa soviético de exploración del planeta Venus terminó con la llegada al planeta de la sonda "Venera 16" a finales del año 1983, que junto con su gemela "Venera 15" cartografiaron durante meses su superficie con equipos radar de alta resolución, dado que sus nubes impiden ver la superficie.

Posteriormente se lanzaron mas sondas interplanetarias, como las misiones soviéticas "Vega 1 y 2" a finales del año 1984, quienes antes de continuar su trayectoria hacia el cometa Halley liberaron dos módulos de descenso, que durante casi una hora transmitieron datos físicos de todo tipo, registrando el módulo de la "Vega 1" una temperatura en el lugar de descenso de 466 °C y 95 atmósferas de presión, y el de la "Vega 2", 463 °C de temperatura y 91 atmósferas de presión. Las dos naves espaciales también liberaron con éxito sendos globos aerostáticos que quedaron volando en medio de la capa nubosa, a unos 50 km de altura, y estuvieron enviando multitud de datos atmosféricos (detección de rayos, velocidades del viento, niveles de iluminación, visibilidad, tamaño y densidad de los aerosoles, etc...) durante más de dos días. A mediados del mes de junio de 1985 las dos sondas habían concluido su exitoso paso por Venus, dejando los módulos de descenso y los globos aerostáticos, y utilizando el campo gravitacional del planeta para cambiar de rumbo en dirección al cometa "Halley" (1P/Halley), terminando su doble misión conforme a lo planificado.

Otras misiones han sucedido a las mencionadas anteriormente, como la "Venus Express" de la "ESA" (Agencia Espacial Europea) que se inició en el mes de noviembre del año 2005 y terminó en el mes de diciembre del año 2014, con el objetivo de situar la sonda en órbita alrededor de Venus para estudiar tanto su atmósfera como su superficie. La sonda terminó sus días autodestruyéndose al entrar en la atmósfera del planeta durante los primeros días del año 2015.

La Agencia Espacial Japonesa "JAXA" (*Japan Aerospace Exploration Agency*), se unió a la exploración del planeta Venus lanzando el día 20 de mayo del año 2010 una sonda espacial denominada "Akatsuki", que traducido al español significa "Amanecer", también conocida como "Venus Climate Orbiter" (VCO) o "PLANET C". Inicialmente resultó un fracaso al no conseguir llegar a Venus como estaba previsto, pero después de errar por el Sistema Solar durante cinco años se volvió a intentar la maniobra, que en esta ocasión fue un éxito, pudiendo completar su misión doble: mapear la superficie por infrarrojos y buscar indicios presentes o pasados de vulcanismo (Figura 14).

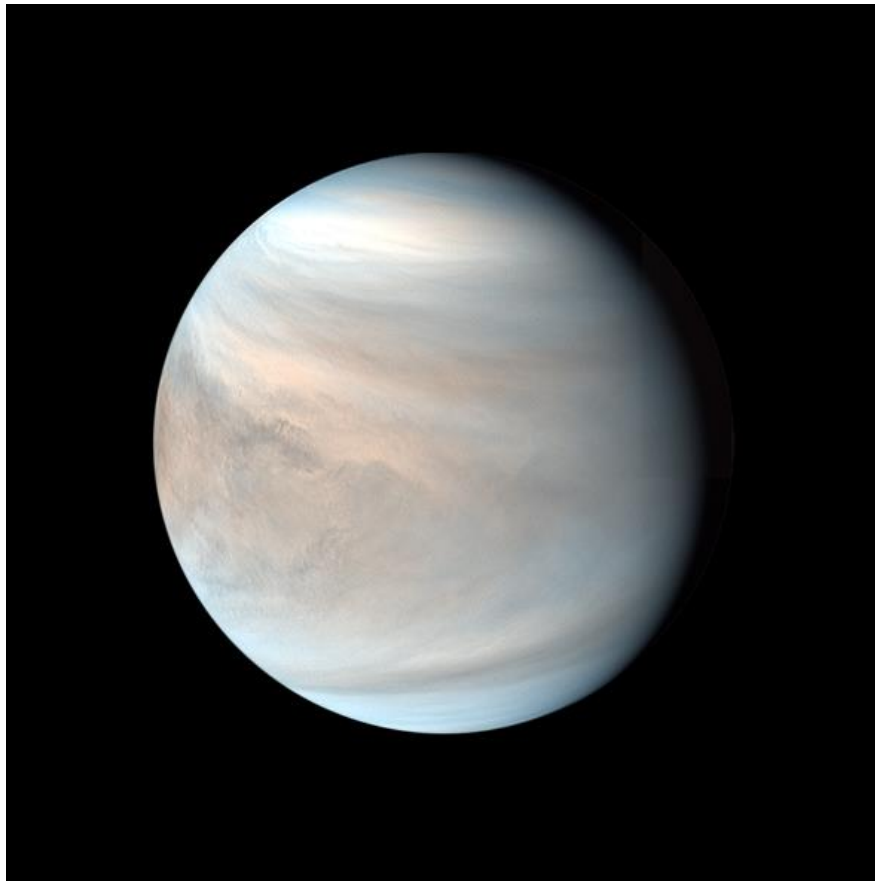


Figura 14: Fotografía Venus tomada por la sonda japonesa "Akatsuki" (amanecer) el día 8 de julio de 2017. Sintetizada en falso color utilizando las bandas ultravioletas de 283 nm y 365 nm.  
Créditos: PLANET-C Project Team -JAXA-

Además de las sondas anteriores, enviadas específicamente para explorar el planeta Venus, hay que añadir otras que en su camino hacia el Sistema Solar exterior, han sobrevolado el planeta para aprovechar su impulso gravitatorio, y de paso, tomar fotografías y medidas de su atmósfera. Entre estas, la sonda Galileo (en 1990) en su viaje a Júpiter, o la Cassini-Huygens (en 1998 y 1999) en su camino a Saturno (Figura 15).

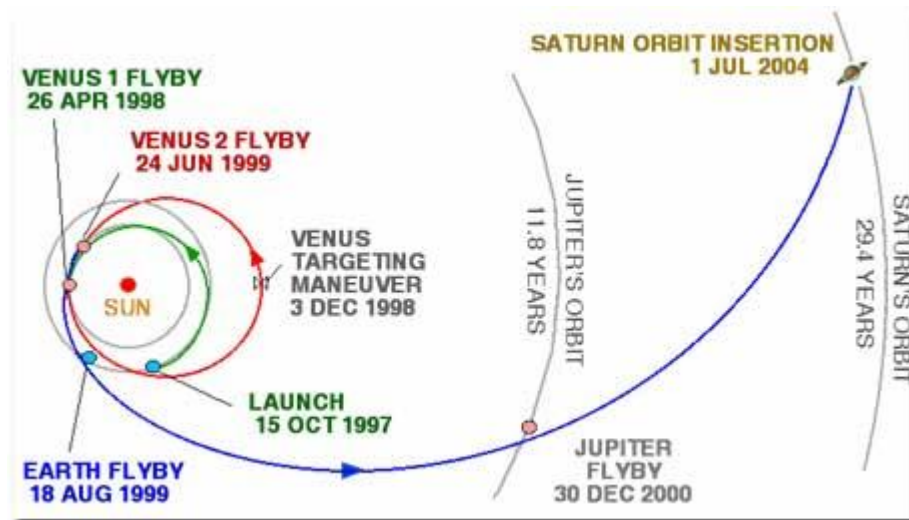


Figura 15: Trayectoria de la misión espacial Cassini-Huygens (NASA-ESA-ASI), utilizando la asistencia gravitatoria de Venus para alcanzar Saturno  
- Wikimedia Commons -

En Venus no existen estaciones como las de la Tierra, dado que su eje de rotación es casi perpendicular al plano de su órbita ( $177^{\circ},36$ ), la excentricidad de su órbita es muy pequeña (0,00677), y la uniformidad climática por toda la superficie es absoluta, debida al fuerte efecto invernadero y al permanente manto de nubes (en cualquier latitud, de día y de noche).

Si fuéramos ascendiendo desde la superficie podríamos observar que la atmósfera es limpia y transparente hasta unos 30 km de altitud, aunque es necesario señalar que la presión y temperatura en superficie son tan altas que el  $\text{CO}_2$  adquiere un aspecto fluido y pastoso, con una elevada eficiencia en la transmisión de calor, favoreciendo precisamente la uniformidad de esa elevada temperatura por todo el planeta.

Entre los 32 y los 48 km iría apareciendo una bruma de dióxido de azufre y azufre polimerizado, responsable de la reflexión de la radiación infrarroja hacia el suelo, y que se convertirá en una verdadera capa nubosa a partir de los 48 km, con un espesor de cuatro o cinco kilómetros, compuesta por partículas cristalinas, sales de cloro y azufre, y por ácido sulfúrico.

Por encima de esa capa nubosa aparecerían otras dos capas de nubes compuestas por una solución acuosa al 80% de ácido sulfúrico, y pequeñas cantidades de ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico, que irían perdiendo densidad y reduciendo el tamaño de las partículas con la altura, hasta sobrepasar los 67 km. Si seguimos subiendo nos encontramos finalmente con una capa brumosa de dióxido de azufre hasta los 90 km (Figuras 16 y 17).

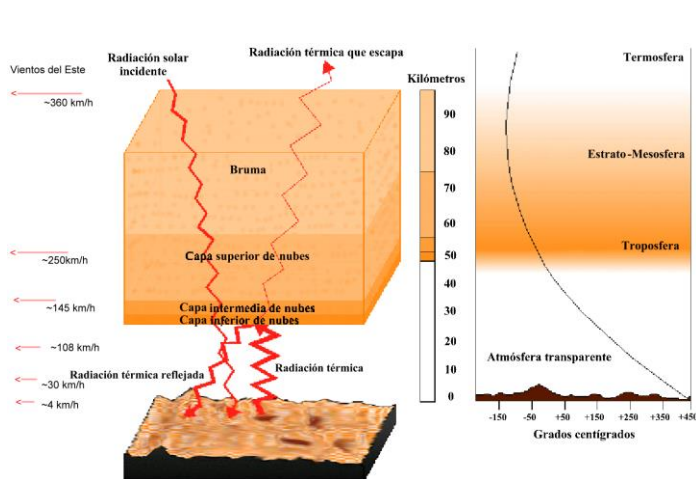


Figura 16: Corte vertical de la atmósfera de Venus, vientos (dirección E-W), efecto invernadero, capas nubosas y variación de la temperatura con la altitud  
Autor: Julio Solís García

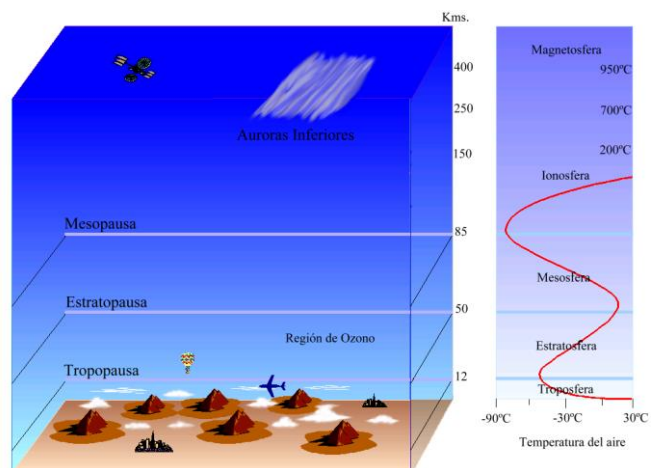


Figura 17: Atmósfera de la Tierra  
Autor: Julio Solís García

La temperatura en el seno de las nubes oscila entre los  $+100^{\circ}\text{C}$  en la base de la capa más baja y unos  $-40^{\circ}\text{C}$  en la cima (que desciende hasta  $-100^{\circ}\text{C}$  a 100 km de altitud). En la parte superior de la capa nubosa se originan partículas de ácido sulfúrico que se precipitan hacia las partes inferiores, donde el fuerte calor las descompone en dióxido de azufre y agua, provocando su evaporación y vuelta a las alturas, por lo que aunque exista una continua lluvia, ésta no llega nunca al suelo (tenemos una permanente "virga" de ácido sulfúrico en Venus).

Curiosamente, las nubes de Venus deben su opacidad al gran espesor que poseen, y no a su densidad, son más bien una especie de neblina que permite una visibilidad de un kilómetro aproximadamente dentro de las propias nubes. No obstante, la circulación vertical de las partículas que componen las nubes genera un estado de frecuentes fenómenos eléctricos similares a los terrestres, con truenos y relámpagos que deben ser constantes, aunque dada la altura de las nubes no

parece probable que alcancen nunca el suelo, al contrario del caso terrestre con los habituales rayos que producen nuestras tormentas.

Los vientos en superficie son muy flojos o nulos, aunque pueden ejercer una fuerza considerable en objetos y obstáculos, debido a la enorme densidad del aire venusiano. Sin embargo la masa nubosa en su cima se mueve muy rápidamente, tanto que dan una vuelta al planeta en cuatro días, mientras el propio planeta tarda 243 días en girar sobre sí mismo. Este curioso fenómeno se conoce como "superrotación", con vientos de más de 370 km/h, que arrastran las nubes de este a oeste. Entre el ecuador y las latitudes medias domina la mencionada superrotación con esos fuertes vientos zonales constantes, que van decreciendo globalmente con la altura dentro de las nubes, hasta velocidades de 180 km/h. A partir de dichas latitudes medias, los vientos decrecen hasta hacerse nulos en los polos, donde se forma un inmenso vórtice. También se produce un movimiento meridional (norte-sur) en forma de célula de Hadley, que transporta el calor desde zonas ecuatoriales hacia las polares a unas velocidades muy débiles, de unos 15 km/h. Todavía es una incógnita la verdadera causa de que un planeta que gira tan lento tenga vientos globales huracanados tan fuertes en la cima de su cubierta nubosa.

Las nubes son un factor determinante en el clima de Venus. La capa que envuelve al planeta deja pasar la mayor parte de la radiación solar, que calienta el suelo, pero es muy opaca a la radiación infrarroja, dejándola retenida entre el suelo y las nubes, provocando un recalentamiento de la superficie, caso extremo de efecto invernadero que debería ponernos en guardia respecto a lo que podría pasar en La Tierra en caso de aumentar descontroladamente la acumulación de gases como el CO<sub>2</sub>.

Si pudiéramos llegar a la superficie de Venus, y aguantar el ambiente corrosivo y las altísimas temperatura y presión, veríamos el suelo con una apariencia de desierto seco y rocoso, inmerso en una luz amarillenta-anaranjada. Debido a la alta presión y densidad podríamos apreciar fenómenos ópticos como la refracción múltiple, que dan lugar a sucesivas imágenes de un mismo objeto. Tendríamos la sensación de estar viendo el paisaje desde el fondo de una piscina o desde el fondo del mar, sin olvidar que la luminosidad en la superficie de Venus es incluso menor que la de un día muy nublado en la Tierra. No se verían nunca ni el Sol ni el cielo estrellado (Figura 18).



*Figura 18: Dibujo de la superficie de Venus. Autor: Julio Solís García*

Los tres capítulos, "Cambio Climático (realidad, bulos, ciencia y política)", "Cambios en el clima de la Tierra a lo largo de su historia", y "El infierno de Venus", terminamos la Parte I de este artículo, que continuará en la próxima entrega, Parte II, con los capítulos siguientes: "Marte, desértico y frío", "Venus, la Tierra y Marte. Mismo origen, distinta evolución", y "Conclusiones"...

## REFERENCIAS Y CONSULTAS

- *Anuario del Real Observatorio Astronómico 2023 - Instituto Geográfico Nacional - 2023*
- *Los cielos de los planetas y satélites del Sistema Solar - Revista Digital ACTA nº 32*  
[https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/032001.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/032001.pdf)
- *Planetas extrasolares - Revista Digital ACTA nº 43*  
[https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/043001.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/043001.pdf)
- *Climatología del inframundo - Revista Digital de ACTA nº 42*  
[https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/042001.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/042001.pdf)
- *Climatología planetaria - Los otros climas del Sistema Solar- Antonio M. Moro Muñoz - RBA Contenidos Editoriales y Audiovisuales, S.A.U. - 2017*  
<https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/632-079>
- <https://climate.nasa.gov/en-espanol/datos/causas/>
- [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/doc\\_ncc\\_un\\_convencion.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/doc_ncc_un_convencion.aspx)
- <https://solarsystem.nasa.gov/resources/2524/newly-processed-views-of-venus-from-mariner-10/>
- <https://akatsuki.isas.jaxa.jp/en/gallery/data/>
- [https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/misiones-en-curso/akatsuki\\_esp/](https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/misiones-en-curso/akatsuki_esp/)
- <https://climate.nasa.gov/en-espanol/datos/causas/>
- <https://www.divulgameteo.es/ampliab/7/222/Cambio-climatico-global-a-traves-del-tiempo-geologico.html>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_ciencia\\_del\\_cambio\\_clim%C3%A1tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_ciencia_del_cambio_clim%C3%A1tico)
- <https://www.ecologiaverde.com/cambios-climaticos-a-lo-largo-de-la-historia-3683.html>
- <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50563893>
- <https://www.meteorologiaenred.com/cambio-climatico-venus.html>
- <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/lecciones-de-venus-a-la-tierra-sobre-cambio-climatico-66894>
- [https://solarsystem.nasa.gov/resources/2524/newly-processed-views-of-venus-from-mariner-10/?category=planets\\_venus](https://solarsystem.nasa.gov/resources/2524/newly-processed-views-of-venus-from-mariner-10/?category=planets_venus)
- <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>
- [https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/Cclimatico/informe\\_ipcc.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/Cclimatico/informe_ipcc.aspx)
- [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/images/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/images/index.html)
- [https://solarsystem.nasa.gov/planets/venus/galleries/?page=0&per\\_page=25&order=created\\_at+desc&search=&href\\_query\\_params=category%3Dplanets\\_venus&button\\_class=big\\_more\\_button&tags=venus&condition\\_1=1%3Ais\\_in\\_resource\\_list&category=51](https://solarsystem.nasa.gov/planets/venus/galleries/?page=0&per_page=25&order=created_at+desc&search=&href_query_params=category%3Dplanets_venus&button_class=big_more_button&tags=venus&condition_1=1%3Ais_in_resource_list&category=51)
- <https://photojournal.jpl.nasa.gov/targetFamily/venus>
- [https://www.ign.es/resources/acercaDe/libDigPub/CuestionesAstronomia\\_baja.pdf](https://www.ign.es/resources/acercaDe/libDigPub/CuestionesAstronomia_baja.pdf)
- <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/CC-Milankovitch.pdf>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Major\\_greenhouse\\_gas\\_trends.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Major_greenhouse_gas_trends.png)
- <https://www.eltiempo.es/noticias/el-ipcc-rotundo-hay-que-limitar-el-calentamiento-global-a-1-5-c>
- [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Spain/Todo\\_sobre\\_Mercurio](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Todo_sobre_Mercurio)

(Para comentarios y observaciones al autor: caronte@acta.es)