

¿Qué es el Calentamiento Global?

¿Cómo sabemos que esto está efectivamente ocurriendo?

12/2/2020

S.Gil -UNSAM

Resumen: El calentamiento global es el aumento de la temperatura media de la atmósfera y los océanos Tierra ocurrida en los últimos dos siglos. Durante los últimos 100 años temperatura media de la Tierra aumentó aproximadamente 0,8 °C. Pero si consideramos los últimos 50 años de registros térmicos, se observa crecimiento del orden de 2°C/siglo. Existe un amplio consenso en la comunidad científica, que la mayor parte de este incremento tiene causas antropogénicas, es decir es causada mayoritariamente por las actividades humanas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles. Las proyecciones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) indican que durante el siglo 21 la temperatura de la superficie mundial es probable que aumente entre 1,1 a 6°C, según sea las medidas que se adopten en el mundo para disminuir nuestras emisiones. En esta nota se discuten algunos argumentos físicos que pretenden responder preguntas del tipo: ¿Cómo sabemos que las temperaturas del mundo se están incrementando? Y algunas reflexiones acerca de como los ciudadanos de mundo podemos contribuir a mitigar el problema del calentamiento global.

Introducción

En el transcurso de las últimas décadas, se fue acumulando evidencia de que la temperatura del planeta está incrementándose. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) [1] es un cuerpo científico intergubernamental cuya misión es evaluar los riesgos que los cambios climáticos pueden causar a la actividad humana en el planeta. En los años 2007 y 2008, este organismo recopiló gran parte de las investigaciones que se vienen desarrollando en muchas universidades e institutos de investigación del mundo, que muestran que el cambio climático que estamos observando son en gran medida consecuencia de la excesiva acumulación de gases de invernadero dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), etc. producidos por las actividades humanas, es decir que el cambio climático que se observa tiene un origen antropogénico muy claro. [2]

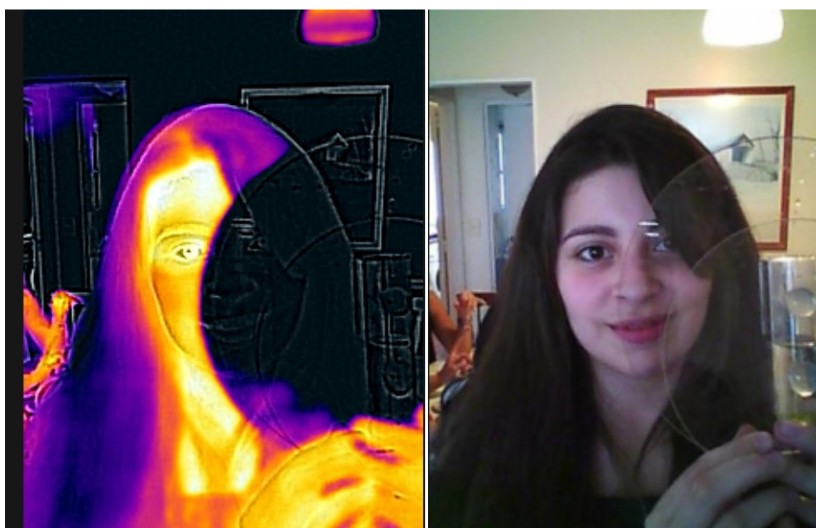


Figura 1. Fotografía de una estudiante sosteniendo un vidrio circular en la parte de izquierda de su cara. A la derecha una fotografía común en el espectro visible. A la izquierda vemos la misma fotografía tomada con una cámara en infrarrojo (IR). Esta última imagen muestra en tonos amarillos claros las zonas de mayor temperatura y el violeta y negro las partes más frías. Lo notable de estas dos imágenes es que mientras el vidrio es transparente al visible, es opaco al IR.

En la Figura 1, muestra como un vidrio común, es transparente para la luz visible, es decir la radiación que vemos con nuestros ojos y coincidente con el máximo de la radiación emitida por el Sol, ver Figura 3. Es a la vez opaco a la radiación infrarroja (IR). Por esta razón, la parte de la cara de la estudiante tapada por el vidrio no se ve en la foto IR de la izquierda. Cuando la radiación de Sol incide sobre un invernadero (la casa de vidrio de la Figura 2), la radiación incidente pasa sin problemas por el vidrio, y es absorbida por el suelo y las plantas en su interior. Estos objetos se calientan y comienzan a emitir radiación a su vez, pero como su temperatura es del orden de los $T \approx 20^{\circ}\text{C}$ a 40°C , la radiación emitida está en la zona del IR, que no pasa por el vidrio y así casi toda la radiación incidente es atrapada por el invernadero. Así es como tanto el invernadero como el automóvil de la Figura 2, se calientan a temperaturas superiores a la ambiente. Esta es la razón por la que un auto dejado al sol, aun en un día de inviernos, está a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente. Este es en esencia el llamado *efecto de invernadero*.

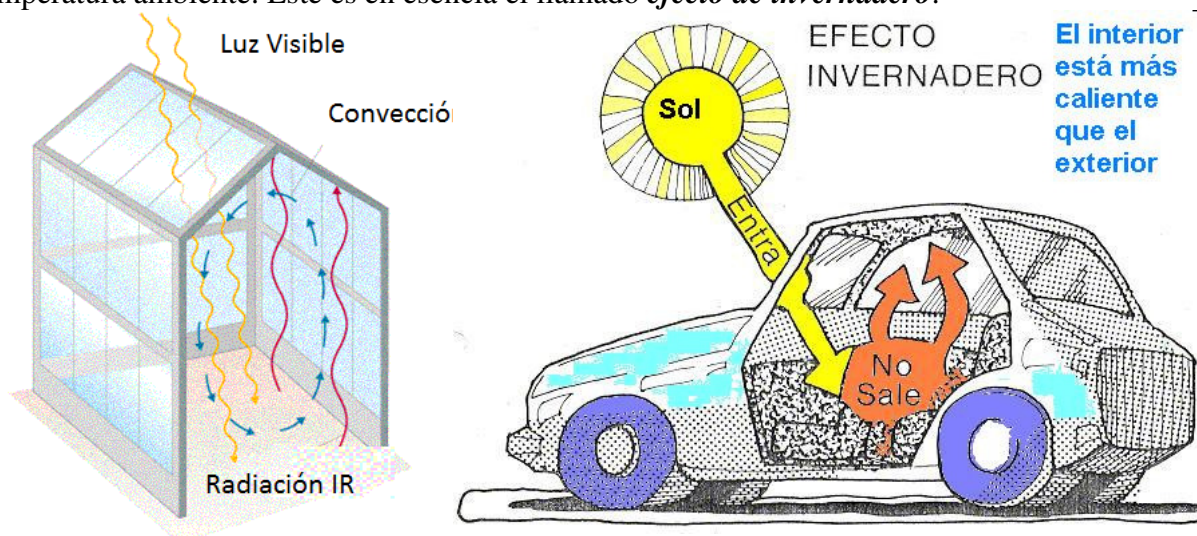


Figura 2. Efecto de invernadero. A la izquierda vemos un invernadero típico. La radiación solar visible (luz) atraviesa el vidrio y es absorbida por los objetos que están en el interior, los cuales se calientan. Éstos, a su vez, emiten radiación que en dada su temperatura, es fundamentalmente radiación infrarroja (IR) que casi no pasa por el vidrio. De esta manera, en interior se calienta más hasta que se establece un equilibrio térmico, con el interior más caliente que el exterior. Lo mismo ocurre con un auto al sol, derecha.

El efecto de invernadero es fácil de observar. Seguramente todos hemos observado que cuando subimos a un automóvil que ha permanecido cerrado y al Sol por algún tiempo. La temperatura en el interior del mismo es mucho mayor que la temperatura ambiente. Esto se debe a que los vidrios del automóvil son transparentes a la radiación que llega del Sol (luz visible) esta energía es absorbida por el material del interior del vehículo que se calienta y re-emite a su vez radiación, pero en forma de radiación infrarroja, ya que su temperatura cercana a la ambiente. Sin embargo, el vidrio no transmite la radiación infrarroja con la misma facilidad (el vidrio es opaco a la radiación infrarroja como se ve en la Figura 1 y la energía del Sol se acumula en el interior, aumentando su temperatura. De hecho este efecto se usa en los invernaderos para hacer crecer plantas tropicales en zona frías, Figura 2.

El mismo efecto ocurre en nuestra atmosfera, además de N_2 y O_2 , la atmosfera terrestre contiene vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y ozono (O_3) entre otros gases que absorben fuertemente el IR, Figura 3. De este modo estos gases actúan de modo análogo al vidrio de un invernadero. [1], [3] De hecho, de no ser por este efecto, la temperatura media de la Tierra, el lugar de ser de orden de los 15°C , debería tener una temperatura media de unos $-20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, que haría la vida, tal como la conocemos imposible. [4] La Figura 4, muestra en forma esquemática como se genera el efecto de invernadero en la atmosfera de la Tierra.

Como es claro, la Luna está en promedio a la misma distancia que la Tierra del Sol. La Luna no tiene atmosfera, una evidencia de ello es la ausencia de erosión que se observa a simple vista, los cráteres causado por el bombardeo de meteoritos, que con igual probabilidad deben haber llegado a la Tierra, se ven intactos en la Luna indicando la ausencia de erosión, cosa que no ocurre en la Tierra. Es así como la Luna, al carecer de atmosfera tiene una temperatura media de alrededor -20°C .

Sabemos también que la Luna gira sobre su eje en unos 27 días, por eso siempre vemos la misma cara desde la Tierra. Así el día lunar dura unos trece días y medio lo mismo que su noche. Durante el día la temperatura media de la luna es de unos 123°C en latitudes $\pm 30^{\circ}$ del ecuador lunar y su noche de unos -153°C en esa zona. Un análisis más detallado indica que la temperatura media de la Luna es de unos $-20 \pm 3^{\circ}\text{C}$. [4] Vemos así que la Tierra tiene en promedio unos 30°C , más que lo que tendría si su temperatura fuese como la de la Luna o si la Tierra no tuviese atmosfera. En realidad, este incremento de temperatura debido al efecto invernadero es crucial para que tengamos esta temperatura tan agradable y apta para la vida como la que poseemos. Pero como veremos, este equilibrio es muy delicado y en el pasado la Tierra experimentó muchas alteraciones de su clima. De hecho, nuestra civilización comenzó hace unos 10 mil años, justo cuando terminó el último periodo glacial.

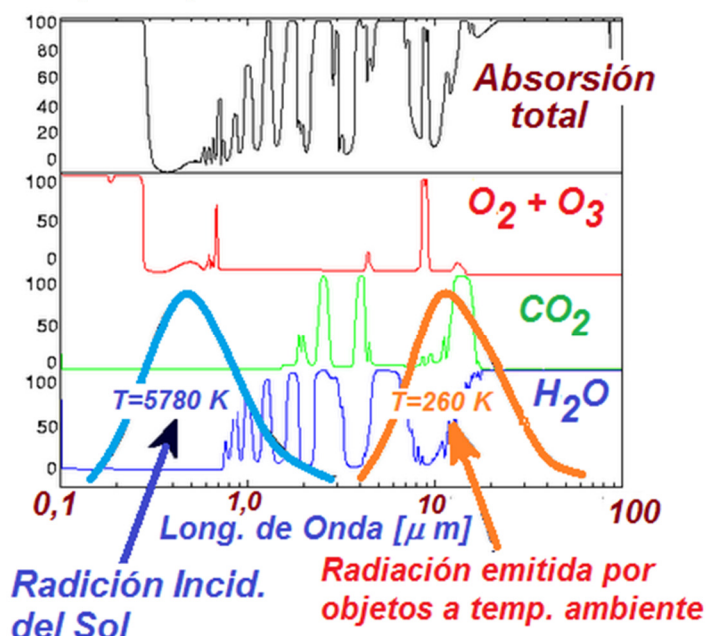


Figura 3. Espectros de radiación en función de la longitud de onda en μm . A la izquierda vemos en azul la forma característica del espectro electromagnético incidente del sol a $T \approx 5780\text{K}$. A la derecha, en naranja espectro típico de un cuerpo en la tierra a temperatura cercanas a la ambiente, $T \approx 30^{\circ}\text{C}$ a 40°C . Las otras curvas son los espectros de absorción de la radiación del H_2O , CO_2 , $\text{O}_2 + \text{O}_3$ y el total. Se ve que mientras la radiación solar incidente atraviesa la atmosfera sin mayor inconveniente, aquella radiación emitida por los objetos terrestres es fuertemente atenuada y absorbida.

El IPCC fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Internacional (WMO) [5], y el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP). [6] En 2007 el IPCC compartió el premio Nobel con el ex-vicepresidente de los EE.UU, Al Gore, por sus contribuciones a incrementar la conciencia sobre los riesgos asociados al cambio climático.

El excesivo aumento de gases de efecto de invernadero, es con alto grado de probabilidad el responsable del calentamiento global, tienen su origen principalmente en la combustión de combustibles fósiles (CO_2), actividades agrícolas, deforestación, etc. Hay asimismo varias fuentes naturales de emisión de gases de efecto de invernadero, por ejemplo la actividad volcánica, los

animales, etc. Los efectos del calentamiento global tienen muchos efectos importantes en el equilibrio ecológico de la Tierra. Producen alteraciones climáticas, aumento del nivel de los mares, descongelamiento de glaciares y capas de hielo polar, alteración de los ciclos de vida de plantas y animales, etc.

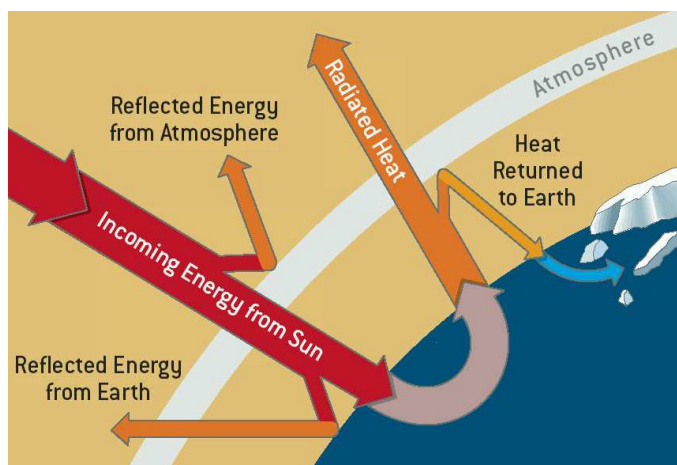


Figura 4. Efecto de invernadero en la atmósfera. En este caso los gases de efecto de invernadero como el CO_2 , metano, etc; hacen las veces del vidrio de la Figura 1. El balance energético en la Tierra produce que la radiación del Sol (radiación visible) que pasa la atmósfera sea absorbida por la Tierra. Esta a su vez re emite en forma de radiación infrarroja. Esta radiación en parte es reabsorbida por los gases de invernadero de la atmósfera y retorna a la Tierra. Este efecto de invernadero es responsable que la Tierra sea unos 33°C más caliente de lo que sería en ausencia de este mecanismo.

El efecto de invernadero también ocurre con las nubes y aerosoles (partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire). La radiación solar penetra la atmósfera y es absorbida por la Tierra. Esta a su vez re-emite la radiación en forma de RI, que parcialmente escapa la atmósfera pero parcialmente es re-emitada por los gases de invernadero y vuelve a la Tierra, de este modo los gases de invernadero, hacen las veces del vidrio en los invernaderos. Como consecuencia de este efecto la Tierra es unos 33°C más caliente que lo que sería en ausencia de él. ¿Cómo sabemos esto? La observación de la Luna nos da la pista.

Calentamiento Global

Uno de los desafíos científicos de mayor interés y relevancia en esta primera parte del tercer milenio, es poder predecir la evolución de las condiciones climáticas del planeta, y dilucidar con la mayor certeza posible, el origen y las causas del calentamiento que ha venido ocurriendo en la Tierra durante el último siglo. Nuestra civilización se desarrolló durante estos últimos milenios, que sucedieron a la última glaciación. Durante aquel período la temperatura media de la Tierra era de unos 5°C más baja que en la actualidad. La tendencia de las temperaturas de los últimos 50 años indica que la misma se está elevando a razón de unos $2^\circ\text{C}/\text{siglo}$! De persistir esta tendencia, en dos siglos ocurriría un incremento de temperatura de igual magnitud que la ocurrida en unos 10000 años, lo cual podría ser una seria amenaza para toda la humanidad. Es crucial para el futuro de nuestra civilización dilucidar si estas tendencias térmicas (ver Fig. 1) son consecuencia de la actividad humana o se produce por causas naturales. [2]^{1,2} Existe un creciente consenso en la comunidad científica que el incremento de CO_2 en la atmósfera está relacionada con este calentamiento.

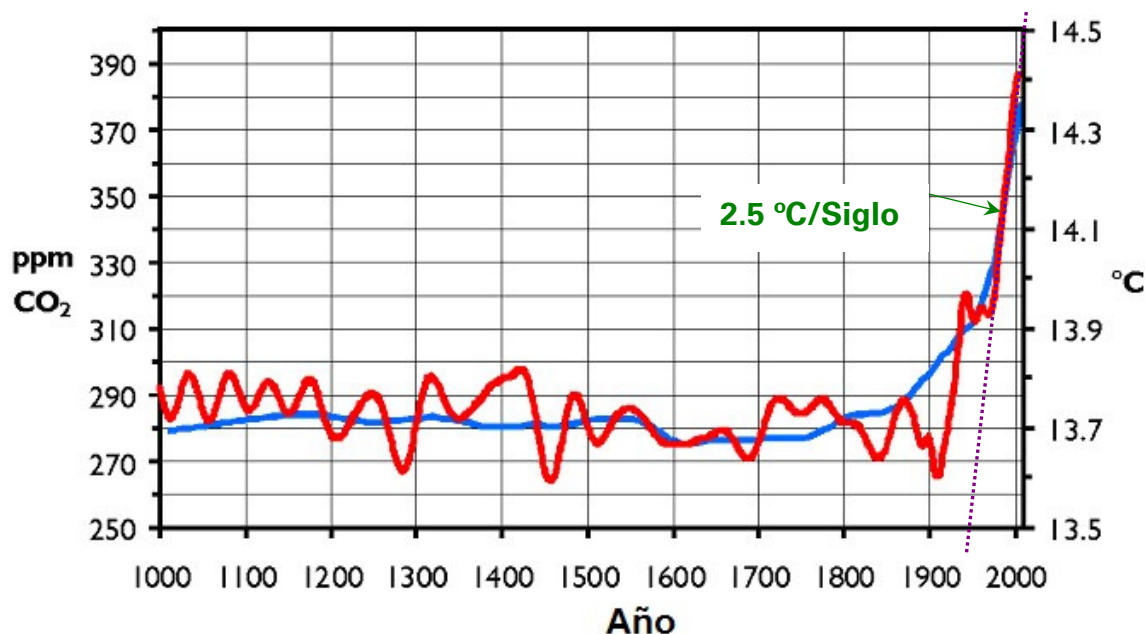


Figura 3. Variación de las temperaturas globales, curva roja, referida al eje vertical derecho. En esta figura también se muestra la variación de CO₂ en la atmósfera, curva azul, referida al eje vertical izquierdo. El aumento de temperatura en el mundo en el siglo XX fue de unos 2.5 °C/siglo ^{3,4,5}.

Hay un creciente consenso que el aumento de CO₂ en la atmósfera es consecuencia del uso intensivo de combustibles fósiles que ha tenido lugar a partir del inicio de la revolución industrial, más notablemente a partir de la segunda mitad del siglo XX. Hay fundadas sospechas que el incremento de las temperaturas globales es consecuencia, en buena medida, de la actividad humana. ^{5,6}

En ese sentido es interesante comparar los efectos de emisión se muestran en la Figura 3 con la variación de población y riqueza o afluencia en el mundo durante el último milenio. Figura 4. Esta figura muestra que, en los últimos dos siglos, caracterizados por la ocurrencia y consolidación de la revolución industrial, la población del mundo aumento en un factor 10 y el ingreso per cápita creció en un factor 16!!

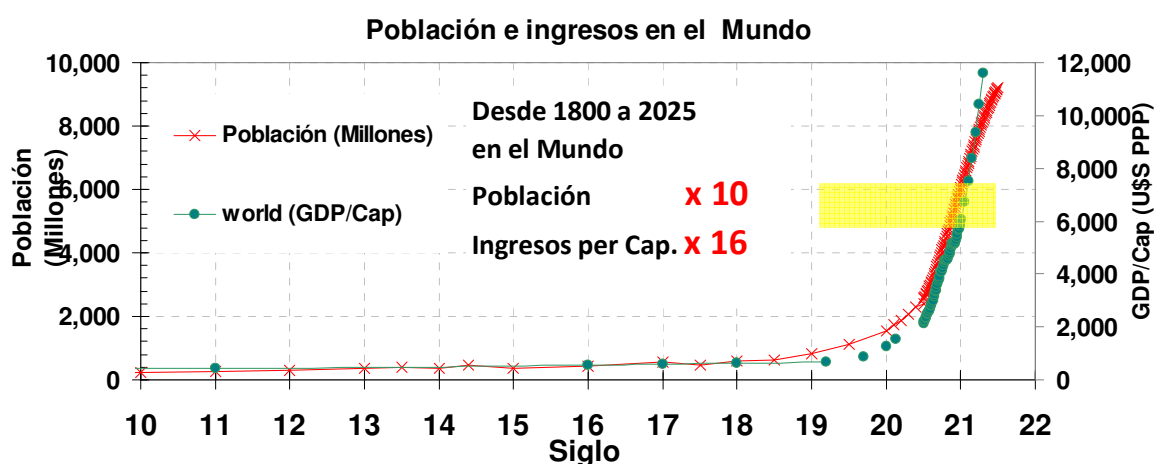


Figura 4. Variación de la población mundial e ingreso per cápita en el mundo durante el último milenio. Durante los últimos dos siglos, caracterizados por la ocurrencia y consolidación de la revolución industrial, la población del mundo aumento en un factor 10 y el ingreso per cápita creció en un factor 16. Datos tomados de las Ref.(7 y 8)

Las figuras 3 y 4 ilustran de algún modo el principio que establece que:

$$\text{Impacto Ambiental} = \text{Población} \times \text{Afluencia} \times \text{Tecnología},$$

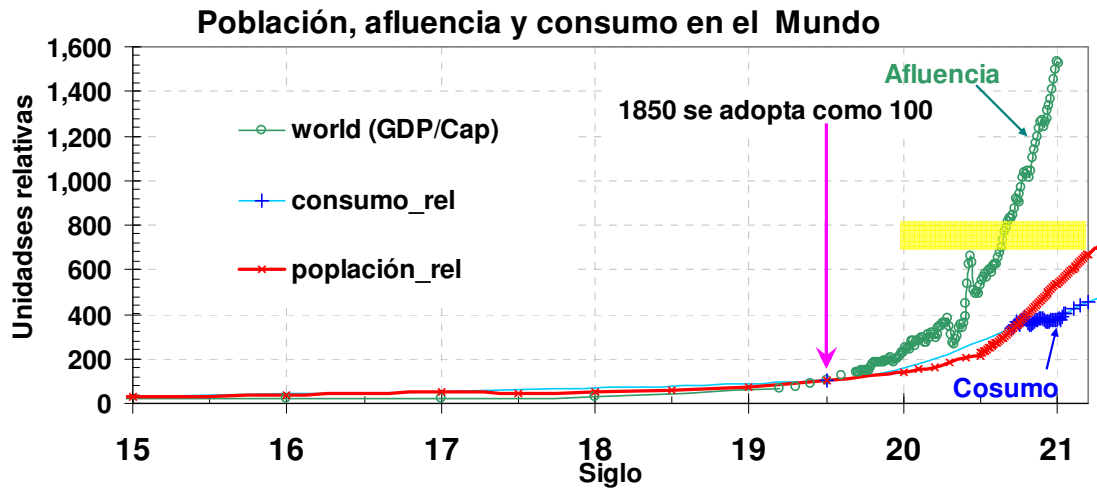
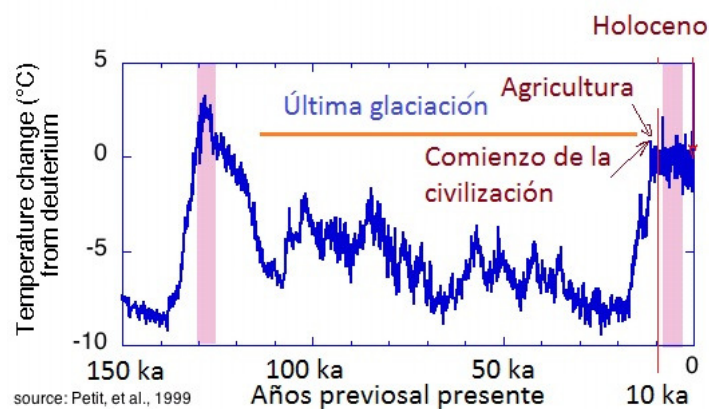


Figura 5. Variación de la población, la afluencia y del consumo per cápita en el mundo. Se tomó como valor 100 los correspondientes valores al año 1850.

En este caso, el impacto ambiental es el aumento de CO_2 y la temperatura en la atmósfera. La tecnología en general pone nuevos productos al alcance de las personas, que por lo general tienden a aumentar nuestro consumo de energía y bienes con el correr del tiempo. Comparemos por ejemplo los artefactos domésticos que usaban nuestros abuelos, con lo innumerables dispositivos o “gadgets” que utilizamos actualmente: TV, DVD, PC, MP3, Teléfonos Celulares, etc. Todos esto contribuye a aumentar nuestras emisiones y a un consecuente aumento de temperatura.

Pero la tecnología, como en otros casos, juega un papel ambivalente. Contribuye a aumentar nuestro consumo energético, pero también al aumentar la eficiencia de nuestros productos, estos se pueden hacer lo mismo, pero más eficientemente y otras veces menos contaminantes. Sin embargo, como muestra claramente la figura 5, la tendencia es a aumentar nuestro consumo per cápita.



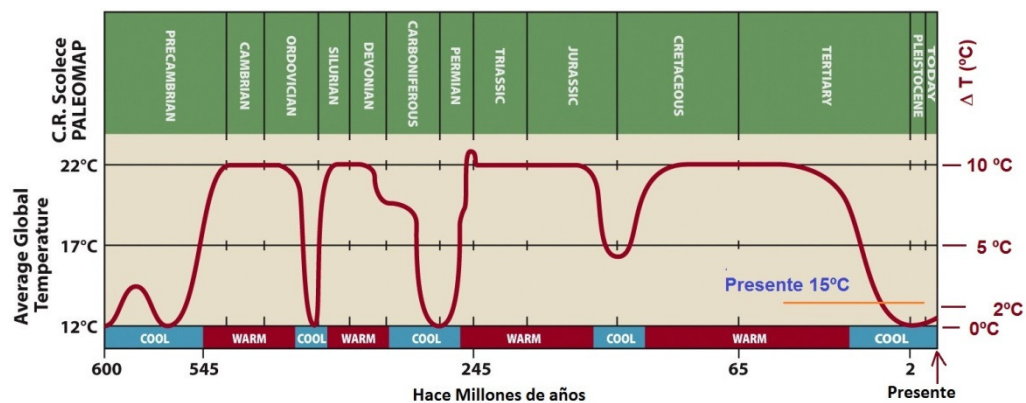


Figura 6. Variación de las temperaturas globales durante los últimos 150 mil de años. En el periodo Holoceno, iniciado hace unos 10 mil años (ka). Abajo, variación de la temperatura de hace 600 Millones de años (Ma). Obsérvese que en el periodo Jurásico, la temperatura era uno 10 °C superior a la actual. Asimismo la Tierra pasó varios congelamientos en el pasado.⁹ Por convención, en los estudios paleoclimáticos el “presente” (año 0) se refiere al año 1950 y por lo tanto en estos gráficos no se incluye el calentamiento de las últimas décadas.

Desde luego también se sabe que existen causas naturales que afectan el clima de la Tierra, la ocurrencia de la última glaciación es una evidencia de ello. Entre las causas naturales que pueden afectar el clima de la Tierra tenemos: variaciones en la emisión energética del Sol; erupciones volcánicas, que con sus cenizas o aerosoles afectan el balance energético de la Tierra y variaciones en el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. En la figura 6 se muestran variaciones climáticas naturales ocurridas en el pasado.

Hay mucha evidencia que indica que la Tierra ha tenido oscilaciones cuasiperiódicas de cambios climáticos. Milutin Milankovitch (1879-1958) propuso un modelo astronómico para explicar sus causas. Está teoría se basa en que la Tierra además de su movimiento de rotación y traslación, se mueve en una órbita elíptica que tiene una variación en su excentricidad de unos 100 ka (1 ka=1000 años). Además el eje de la Tierra que tiene una inclinación (*tilt*) de unos 23°, respecto de la norma al plano de la elíptica, que genera las estaciones del año, el eje de la Tierra tiene una precesión de unos 26 ka. Esto, cada 13 ka, aproximadamente, las estaciones se invierten. O sea a veces en el sur verano en enero y en la otra parte del ciclo en el sur es inviernos en enero. Por otro lado, el ángulo de inclinación de la Tierra (respecto de la normal de la elíptica) oscila entre 21.5° y 24.5° en unos 41 ka. Este bamboleo o precesión del eje terrestre, similar al de un trompo, cambia a lo largo de miles de años la incidencia de la radiación solar sobre distintas regiones del planeta. Como es de suponer estos movimientos presentan acoplamientos entre ellos que generan los llamados ciclos de Milankovitch, con períodos de aproximadamente 22 ka, 41 ka y 98 ka, en los que se han observado alteraciones importantes del clima. Esta teoría, no esta libre de críticas y dista de ser una teoría universalmente aceptada, pero tiene una importante apoyatura observacional.¹ Fundamentalmente se discute si estos ciclos son los únicos causantes de los cambios en el clima o son solo los disparadores de situaciones en las que luego actúan cambios en la vegetación, las superficies cubiertas de hielo y nieve y las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Para poder poner a prueba los modelos de clima es necesario poder determinar las temperaturas del pasado. Los registros térmicos estándares son confiables a partir de fines del siglo XIX y para pocos sitios, principalmente de Europa. Por lo tanto, conocer temperaturas del pasado se ha transformado en un desafío de gran importancia e interés científico. Afortunadamente existen varios métodos para estudiar las temperaturas pasadas. Uno de ellos se basa en la abundancia isotópica del oxígeno (relación $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en grandes bloques de hielos (Groenlandia, Antártica,

etc.). Este método se basa en el hecho de que en el oxígeno natural contiene dos isótopos, ^{16}O (99.762%) y ^{18}O (0.2%). Cuando estos isótopos se unen a hidrógenos para formar agua, los puntos de ebullición del H_2^{16}O y el H_2^{18}O son ligeramente distintos. Por lo tanto, la relación de $\text{H}_2^{18}\text{O} / \text{H}_2^{16}\text{O}$ o bien $\delta(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})$, varía con la temperatura. Las nubes formadas en zonas templadas precipitan en la Antártida y Groenlandia, donde se acumulan en capas que no se han derretido, al menos, en el último millón de años. La nieve que se acumula, forma estratos, como anillos de los árboles que permiten saber cuando se formó cada capa. Así su ubicación o profundidad en el estrato brinda el año de su formación. En el hielo queda asimismo atrapado aire del tiempo de su formación. De este modo, descongelando cada estrato de hielo, se puede analizar la composición de la atmósfera del pasado. De la relación isotópica, se puede determinar la temperatura media del planeta en el año de su precipitación. De este modo se pueden reconstruir las temperaturas y composición de la atmósfera del pasado. La figura 7 ilustra estos resultados.

Otro método consiste en estudiar perfiles térmicos de temperaturas a grandes profundidades en la tierra^{10,11,12}

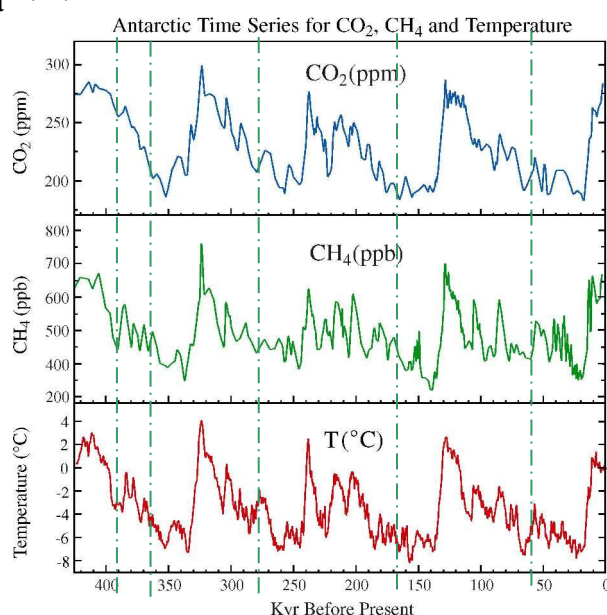


Figura 7. Variación de CO_2 , CH_4 y temperaturas obtenida de mediciones realizadas de muestras de hielos de la Antártida. El eje horizontal es tiempo, medido en miles de años (ka). La correlación entre concentraciones de CO_2 , CH_4 y temperaturas es muy clara. Asimismo esta figura muestra las variaciones cíclicas de temperatura asociado a los ciclos Milankovitch. Datos de Ref.⁽¹³⁾. Nótese que las concentraciones de CO_2 , que hoy se acercan a las 400 ppm, no superaron las 300 ppm en los 400 ka analizados.

La pregunta que surge entonces, es: ¿si los cambios climáticos ocurren naturalmente, por que debemos de preocuparnos ahora? La respuesta está en los tiempos en que ocurren naturalmente, a la naturaleza le toma miles de años en variar un grado centígrado, ver figura 5 y 6. Lo que estaría sucediendo ahora es que en sólo dos siglos, se produciría un cambio de temperatura similar a lo que naturalmente ocurriría en varios miles años, es decir unas 10 a 20 veces más rápidamente que lo natural! Y esta es la gran diferencia y amenaza para la subsistencia de nuestra civilización.

Efecto Isla Urbana

Las zonas urbanas tienen por lo general una temperatura mayor (de unos pocos grados centígrados) que las zonas rurales aledañas. Este fenómeno se conoce como efecto de calentamiento isla urbano^{14,15,16} (UHI = Urban Heat Islands Effect). Similarmente, al extenderse las áreas urbanas, este efecto se acentúa y consecuentemente las temperaturas urbanas muestran una tendencia a incrementarse. Este comportamiento de la temperatura es consecuencia del

reemplazo de grandes extensiones de terreno cubierto por vegetación natural por construcciones, pavimento, etc. El cemento, el pavimento y otros materiales de construcción, impiden o inhiben el enfriamiento por evaporación y además presentan coeficientes de absorción de la radiación solar mayores que las áreas cubiertas por vegetación natural.

Este efecto, UHI, no debe confundirse con efecto de calentamiento global, que es consecuencia del incremento de gases de invernadero, principalmente dióxido de carbono y metano, en la atmósfera y quizás también de variaciones en la actividad solar, con consecuencias que afectan toda la Tierra. El calentamiento global fue de una fracción de grados por siglo durante la primera mitad del siglo XX. El incremento de la temperatura global creció notablemente en los últimos 35 años a unos $2.5^{\circ}\text{C}/\text{Siglo}$, ver figura 3.⁶⁻¹⁰

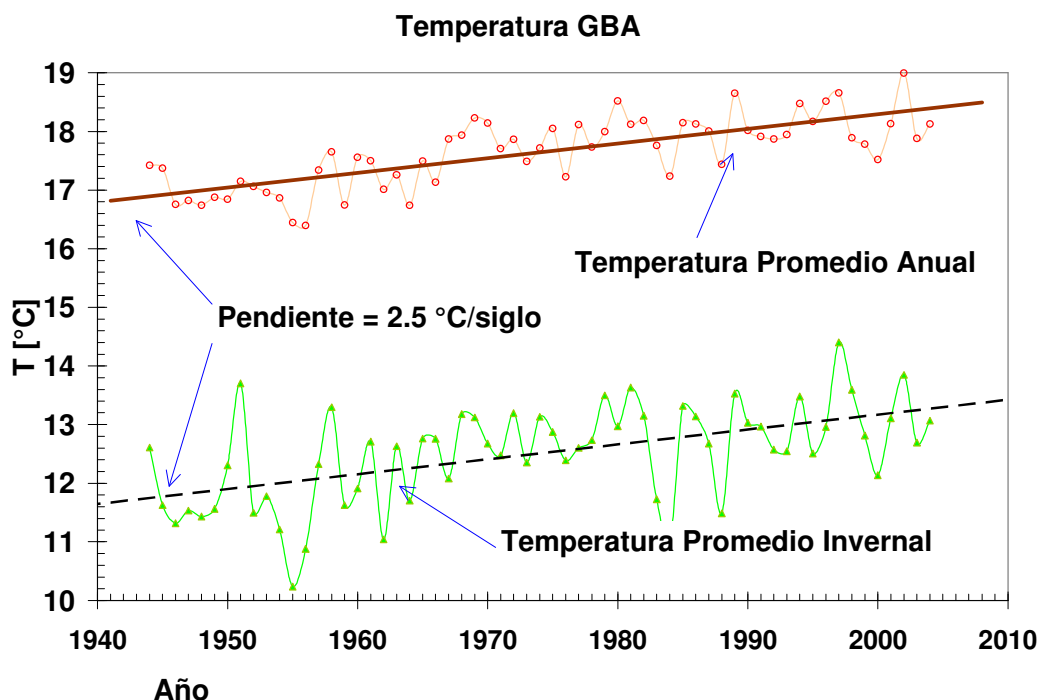


Figura 8. Evolución de temperaturas medias de la ciudad Buenos Aires en el período 1944 a 2004. En esta figura se muestran las temperaturas medias anuales y las temperaturas medias invernales. Es interesante notar que las temperaturas medias se han venido incrementando a una tasa promedio de $2.5^{\circ}\text{C}/\text{siglo}$.⁶⁻¹⁰

En la figura 8 se muestra la variación de la temperatura media anual e invernal para la ciudad de Buenos Aires. Una característica conspicua de estos datos es el incremento monótono en el tiempo que muestran estos datos, con una tasa de crecimiento de aproximadamente $2.5^{\circ}\text{C}/\text{siglo}$, para ambos conjuntos de datos mostrados en la figura 3. Para separar la contribución del calentamiento global del UIH se debería comparar el gráfico de la figura 8 con el correspondiente a de una localidad cercana, pero no afectada por una gran urbe, por ejemplo Ezeiza u otra localidad similar.¹⁷

Es interesante notar que esta variación de temperatura, que en principio tendría contribución tanto del efecto de calentamiento isla urbano, como de calentamiento global, tiene una tasa de crecimiento que coincide casi exactamente con los incrementos de temperaturas globales observados en los últimos 40 años (ver figura 3). Esta tendencia también se observa en registros tomados en otras zonas aledañas a la ciudad de Buenos Aires⁶, indicando que este calentamiento en la ciudad y zonas aledañas copian la tendencia global. Otros estudios⁵ parecerían indicar que el efecto UHI se ha mantenido estable en la ciudad de Buenos Aires en aproximadamente 1 a 1.5°C desde el año 1960. Estas observaciones sugieren que el calentamiento

monótono de la Ciudad de Buenos Aires sería consecuencia principalmente de la tendencia de calentamiento global.

Sin embargo, que haya un calentamiento global no implica que en todos los puntos del planeta la temperatura se incremente en forma monotonía. El calentamiento global produce cambios en los patrones meteorológicos que pueden manifestarse como aumentos o incluso descensos de temperaturas en regiones limitadas, junto con variaciones en la cantidad, intensidad y frecuencia de lluvias, cambios en la nubosidad, etc.

Durante mucho tiempo, algunas voces intentaron adjudicar el aumento de temperatura global a la existencia del efecto de isla de calor urbana en las estaciones meteorológicas más antiguas e importantes, aunque este efecto se tiene en cuenta al calcular la temperatura global. Por otra parte, los mayores aumentos de temperatura se han producido en regiones polares despobladas. Actualmente, además de las temperaturas registradas en estaciones meteorológicas de superficie, se cuenta con series de temperatura superficial de los océanos y con más de 30 años de registros satelitales que indican las mismas tendencias de calentamiento.

Conclusiones

Existen evidencias cada vez más claras que el calentamiento global que está experimentando la Tierra tiene causas antropogénicas. Se estima que el 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), son consecuencia del uso de combustibles fósiles. Es prudente e imperioso que disminuyamos nuestras emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la necesidad de crecer económicamente e incluir a vastos sectores sociales de menores recursos es asimismo, una necesidad insoslayable.

El uso racional y eficiente (URE) de la energía y el aprovechamiento de las energías renovables, son claramente componentes importantes en la búsqueda de soluciones a los desafíos energéticos del presente y futuro. Hay un generalizado consenso mundial que el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, son una respuesta prudente y adecuada de enfrentar estos desafíos. El uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, son en cierto modo las dos caras de una misma moneda, ya que se complementan muy adecuadamente.

El URE debe propender a lograr una mejor gestión de la energía y los recursos disponibles, a la par de reducir la inequidades, evitar el deterioro del medio ambiente, mejorar la competitividad de las empresas y preservar nuestras reservas naturales para generaciones futuras. Al disminuir las demandas energéticas, los aportes de fuentes renovables, comienzan a jugar un rol muy significativo, y se genera un círculo virtuoso. Por una parte se disminuye las emisiones de GEI y por otra genera un desafío tecnológico, capaz de generar nuevos emprendimientos, empleo y desarrollo tecnológico. Este hecho tiene importantes ejemplos a nivel internacional. Varios países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), que adoptaron medidas de este tipo, no solo lograron disminuir sus consumos energéticos, reduciendo considerablemente su dependencia de combustibles fósiles importados, sino que desarrollaron una importante industria de sistemas y productos que se están exportando por el mundo. Ejemplo de países que han adoptado estas políticas son Alemania, Dinamarca, etc.

En los últimos años ha existido una importante controversia en los medios sobre cambio climático, coincidente con la Conferencia Mundial de Copenhague sobre Cambio Climático, realizada en Copenhague entre el 7 y 19 de Diciembre de 2009. Muchas voces se elevaron y cuestionaron algunos resultados, no todos ni la mayoría de la evidencia acumulada sobre el cambio climático. Sin embargo, este debate implicó en cierto modo la imposibilidad de establecer nuevas pautas, más exigentes respecto de las emisiones de CO₂ en el mundo. Sin embargo, aunque

pueda existir algún margen de duda sobre las causas del cambio climático, es necesario ser cautos. Si al bajar en automóvil por una cornisa de noche, sospechamos que los frenos no están funcionando bien, lo lógico y razonable es disminuir la velocidad y bajar con mucha cautela.

A nivel mundial, ocurre algo parecido. Aunque la evidencia sobre las causas antropogénicas del cambio global, son muy significativas y claras, es posible que exista en algún punto un margen de dudas. Sin embargo lo lógico y razonable es que disminuyamos nuestras emisiones de CO₂ y hagamos todo lo que esté a nuestro alcance para no contribuir al calentamiento global, hasta tanto los puntos en discusión se aclaren y no lo que a veces, quizás irresponsablemente se sostiene de ignorar el problema, o sea continuar con el “Business as usual.”

Creo importante recordar que no somos los “dueños del planeta” sino solo los cuidadores de la morada en la que ojala puedan habitar nuestros nietos y sus nietos. La preservación de la Tierra y sus recursos es quizás uno de los desafíos morales más importantes de nuestra época, en que la conducta de cada uno de nosotros como individuo importa. Nuestro modo de vida depende del uso de nuestro entendimiento provisional de la ciencia y los modelos científicos. En ese sentido es interesante notar que ignorar los datos de la realidad, los resultados de física, la química, y las evidencias del cambio climático, pueden ser desastrosos no solo para nosotros mismos sino para toda nuestra descendencia.

“La tierra no pertenece al hombre, sino que el hombre pertenece a la tierra. El hombre no ha tejido la red de la vida: es sólo una hebra de ella. Todo lo que haga a la red se lo hará a sí mismo. Lo que ocurre a la tierra ocurrirá a los hijos de la tierra. Lo sabemos. Todas las cosas están relacionadas como la sangre que une a una familia.” Fragmento de la carta que el jefe indio Seattle envió al presidente de los Estados Unidos Franklin Pierce en 1855.

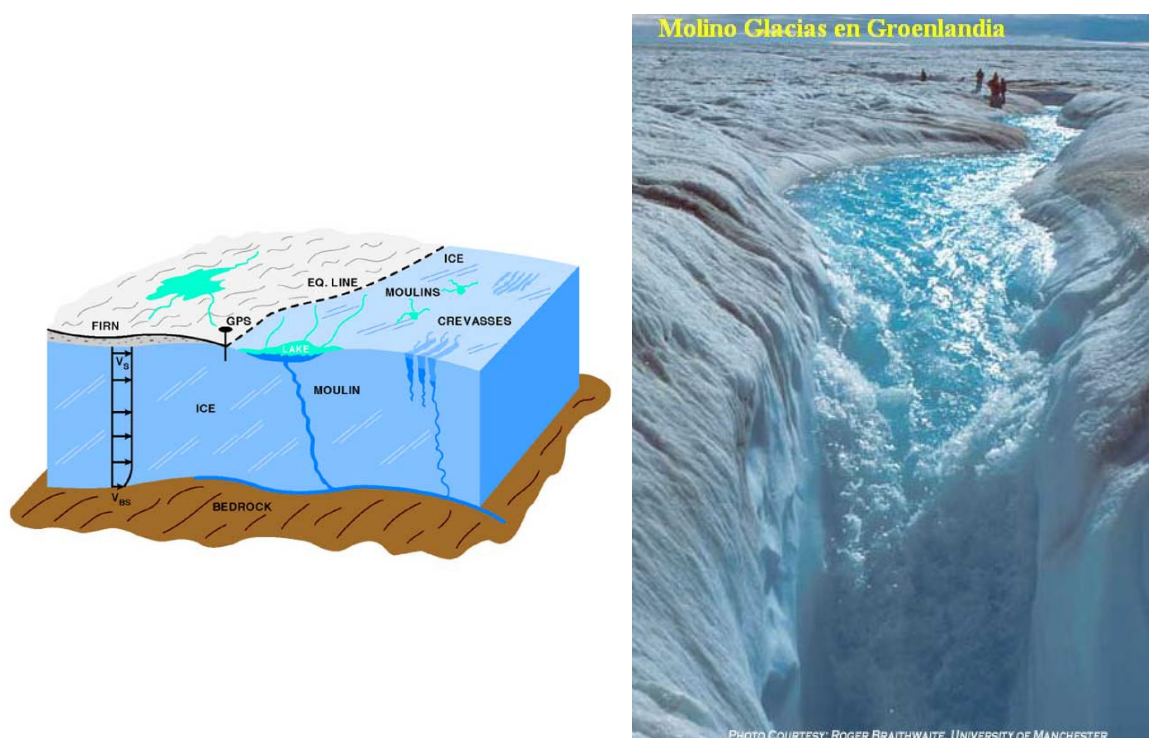


Figura 8. Izquierda, un esquema de un molino glaciar o “moulin” que es una especie de cascada el hielo, que rompe grandes pedazos de un glaciar y lo desliza hacia el más, donde se derriten más rápidamente. A la derecha, un molino glaciar en Groenlandia. Estamos empezando a entender mecanismos por los cuales los casquetes de hielo pueden desaparecer mucho antes de lo que creíamos. El agua del moulin llega en estado líquido al fondo rocoso y lubrica el movimiento de las masas de hielo.

Reconocimiento: A la Dr. Diana Mielnicki por sus valiosas sugerencias y correcciones.

Videos recomendados

- ✓ Understanding Global Warming in 10 minutes - Al Gore <http://vimeo.com/26175034>
- ✓ James Hansen TED Talk: 'Why I Must Speak Out About Climate Change' http://www.huffingtonpost.com/2012/03/07/james-hansen-ted-talk-climate-change_n_1326886.html
- ✓ Hans Rosling: No more boring data: TEDTalks <http://www.youtube.com/watch?v=hVimVzgtD6w>
- ✓ Hans Rosling -The joy of Stats (Spanish) <http://www.youtube.com/watch?v=V8lbiiTF2P0>
- ✓ Documental corto sobre el efecto invernadero atmosférico. Ganador del premio Guillermo Zuñiga de la Asociación Española de Cine Científico en el Festival de Video Científico de la Habana, Cuba, 2006. <http://www.youtube.com/watch?v=QD-18YqEPVM&feature=related>

Bibliografía

- [1] Wikipedia, «Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC),» 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_Intergubernamental_de_Expertos_sobre_el_Cambio_Clim%C3%A1tico.
- [2] World Meteorological Organization (WMO), «WMO Statement on the State of the Global Climate,» 2020. [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/en>.
- [3] Space.com, «What is the Temperature on the Moon?,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.space.com/18175-moon-temperature.html>.
- [4] Teacher's Climate Guide, «Climate Change and Physics,» 202. [En línea]. Available: <https://teachers-climate-guide.fi/physics/>.
- [5] J. Firor, «Resource Letter: GW1: Global warming,» *Am. J. Phys.*, vol. 62, nº 5, pp. 490-495, 1994.
- [6] M. D. M. a. S. H. Schneider, «Resource Letter GW-2: Global Warming,» *Am. J. Phys.*, vol. 76, nº 6, pp. 608-614, 2008.
- [7] Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), «Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC),» march 2020. [En línea]. Available: <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>.

Referencias

-
- ¹ R. B. Alley and M. D. Bender, "Greenland Ice Cores: Frozen in Time," *Scientific American*, **273** (2) p. 80, Feb. 1998.
 - ² M.D. Mastrandrea and S.H.Schneider, "Resource Letter GW-2: Global Warming," *Am.J. Phys.***76**(7), 608-614(2008)
 - ³ M. E. Mann, et al. "Optimal surface temperature reconstructions using terrestrial borehole data," *J. Geophys. Res.* **108**, (D7), 4203, (2003)
 - ⁴ P.D. Jones, D.E. Parker, T.J. Osborn & K.R. Briffa (2005) as "Global and hemispheric temperature anomalies – land and marine instrumental records". In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html>
 - ⁵ World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 http://www.wmo.int/pages/partners/ipcc/index_en.html
 - ⁶ R. A. Muller, G. J. MacDonald, *Ice Ages and Astronomical Causes: Data, Spectral Analysis, and Mechanisms*, (Springer-Verlag Telos N.Y. 2000). <http://muller.lbl.gov>, <http://muller.lbl.gov/pages/iceagebook/IceAgeTheories.html>
 - ⁷ The World Economy: a millenial perspective, by Prof. Angus Maddison, <http://www.theworldeconomy.org/>
 - ⁸ The World Economy: Historical Statistics From Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/The_World_Economy:_Historical_Statistics
 - ⁹ Geologic temperature record, From Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_temperature_record -Global Warming Natural Cycle <http://ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/natural-cycle#section-5m>.

-
- ¹⁰ Pollack, N. y Chapman, D. S., Underground Records of Changing Climate, Scientific American 268, 44-50 (1993).
- ¹¹ L. Iannelli S. Gil, Ondas de Calor – Determinación de temperaturas del pasado. , Lat. Am. J. Phys. Educ.- Vol. 6, No. 1, 58(66), March 2012 <http://www.journal.lapen.org.mx/>
- ¹² $\delta^{18}\text{O}$, From Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/%CE%9418O>
- ¹³ Vimeux, F., K.M. Cuffey, and Jouzel, J., 2002, "New insights into Southern Hemisphere temperature changes from Vostok ice cores using deuterium excess correction", Earth and Planetary Science Letters, 203, 829-843.
- ¹⁴ Urban Heat Island Effect – EPA –US. <http://www.epa.gov/heatisland/>
- ¹⁵ Urban-biased trend in Buenos Aires' mean temperature, V. Barros and I. Camilloni, Climate Research Vol.4, 33 (1995)
- ¹⁶ On the urban heat island effect dependence on temperature trends. Camilloni I. and V. Barros. Climatic Change, 37, 665-681(1997)