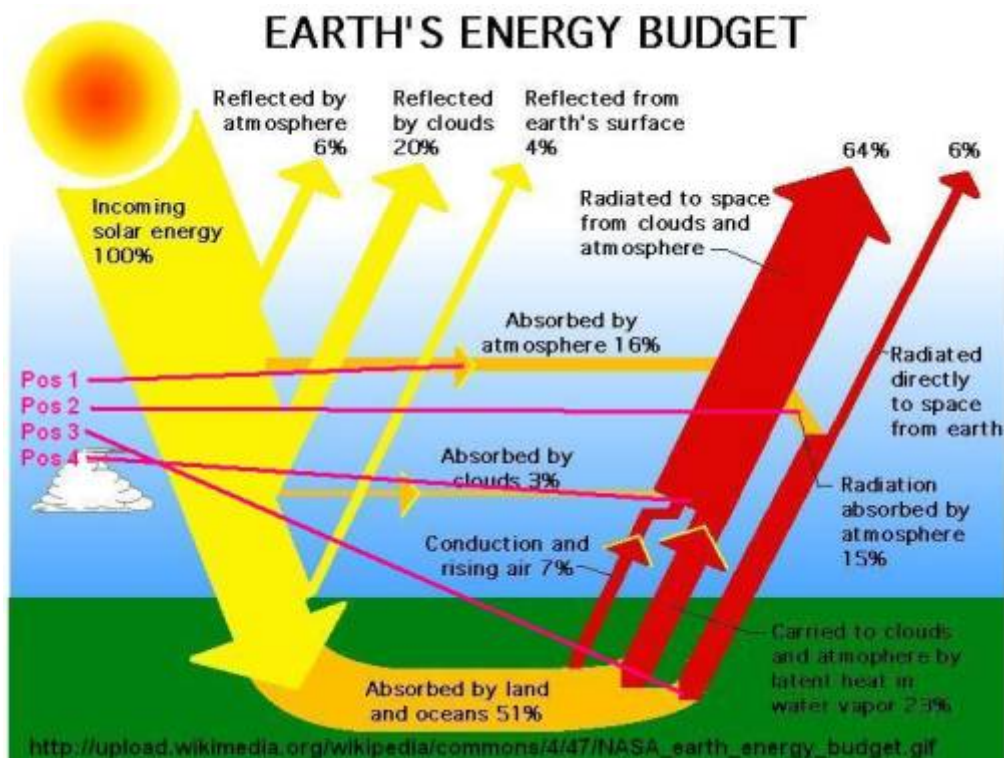


## Porque el CO2 enfría la superficie de la Tierra

Dr. Theo Eichten, München; Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp[2], Dreieich; Dr. Gerhard Stehlik[1], Hanau; Dr.-Ing. Edmund Wagner, Wiesbaden; © January 2014

NASA [3] publicó la representación gráfica más realista de los flujos de energía anuales del Sol a la Tierra y de la Tierra al espacio (Figura 1). Una representación similar está disponible a partir de IPCC [4]. Cualitativamente, los valores de flujo de medición de la NASA y del IPCC en realidad no difieren. Por otra parte, las diferencias entre los valores numéricos de la NASA y del IPCC no son relevantes para nuestra prueba de que el CO2 enfría la superficie de la Tierra.

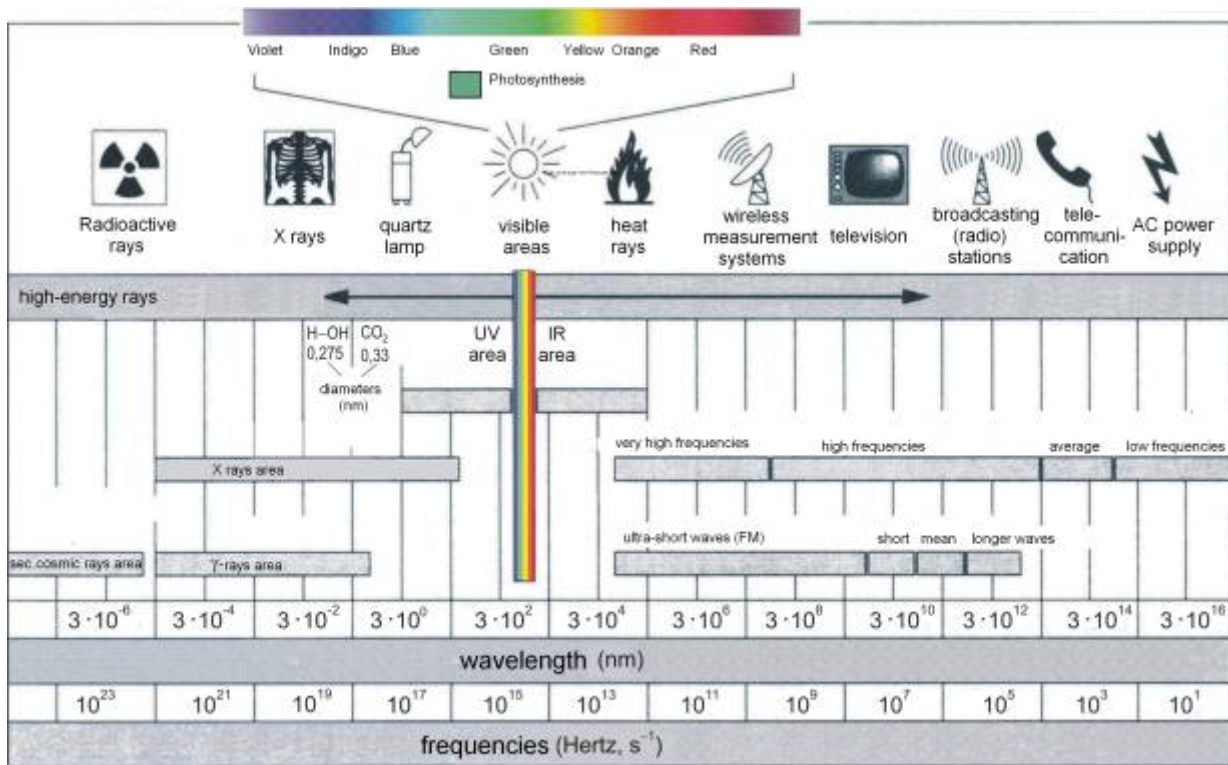
Figura 1:



Las flechas amarillas y ocres en la figura 1 muestran todos los flujos de radiación solar (en porcentaje) a la Tierra y sus diferentes componentes. Tres flujos (amarillo) se reflejan ( $6\% + 20\% + 4\% = 30\%$ ). Otros tres (ocres) son absorbidos por la atmósfera o por la superficie de la Tierra ( $16\% + 3\% + 51\% = 70\%$ ). Las dos flechas de color ocre aparecen como flechas horizontales largas. Una de ellas (16%) calienta la atmósfera superior. La otra (3%) calienta las nubes. Cualquier absorción de radiación solar por la atmósfera o por la superficie es un factor en el calentamiento de la Tierra. Todos los flujos de calor (rojo) van hacia arriba. Ninguno va hacia abajo.

El calentamiento de la Tierra por el Sol es elemental e indiscutible, como es la ubicación de la radiación solar en el espectro electromagnético (Figura 2). Es obvio también que la Tierra no puede calentarse a ella misma. En consecuencia, ninguna sustancia química puede calentarse por ella misma[5]. Eso se aplica para el CO2, también. Si el CO2 se calienta, la energía debe provenir de otro lugar.

Figura 2:



The spectrum of the electromagnetic radiation in nanometers (nm)

Diameter of a water molecule: 0.275 nm  
 Diameter of a CO<sub>2</sub> molecule: 0.33 nm (dynamically) or 0.4 (statically)

La radiación solar es la única fuente de calentamiento. En contraste, el enfriamiento de la Tierra implica no sólo la radiación térmica (electromagnética), sino también transmisión de calor mecánico y evaporación de agua. Por lo tanto, los factores de enfriamiento son más complicados. Tres flujos de energía (rojos) fluyen desde la superficie de la Tierra hacia el espacio como se muestra en la figura 1. [6]

El enfriamiento de la Tierra comienza en la superficie con los siguientes tres flujos ascendentes: El primer flujo (7%) representa transmisión de calor mecánico incluyendo movimientos térmicos hacia arriba. El segundo y más importante flujo (23%) representa refrigeración a través de la evaporación del agua. El tercer flujo (21%) representa refrigeración a través de la radiación térmica hacia arriba. Este flujo se divide en dos flujos distintos, uno (15%) se emite en la atmósfera y el otro (6%) se emite directamente al espacio. La suma de los tres factores de refrigeración (51%) en la superficie son igual a la de la superficie de calentamiento por el sol.

La radiación solar siempre fluye hacia abajo (70%) a excepción de las tres reflexiones (30%). La radiación térmica siempre fluye hacia arriba: 64% a la atmósfera y 6% al espacio. Una radiación térmica hacia abajo originaria de la atmósfera no existe. Un efecto de invernadero de +33 ° C requeriría un flujo descendente de tal radiación térmica.

**El flujo de radiación térmica hacia arriba (15%) de la superficie a la atmósfera (posición 2) es el argumento clave que el CO<sub>2</sub> refresca la superficie de la Tierra. Ya que esta radiación térmica fluye fuera de la superficie de la Tierra no puede ser un factor en el calentamiento de la superficie.**

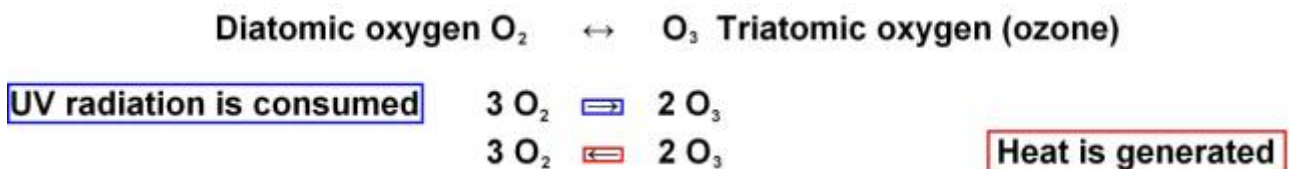
A continuación, se analizarán las diferentes propiedades químicas moleculares de los componentes más importantes de la atmósfera (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>). Posteriormente, el efecto de enfriamiento de CO<sub>2</sub> se deducirá de estas diferentes propiedades.

Hay algunas leyes científicas pertinentes que describen los flujos de energía. Una ley científica elemental es la ley de la conservación [7] de la suma de la energía. Esta ley es válida para todos los compartimentos de la Tierrapero no para el Sol como productor de energía y no para el espacio como sumidero infinito de la energía. Por lo tanto, esta ley sólo es válida para el intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera de la Tierra. Otra ley científica fundamental dice que un cuerpo se enfría cuando se libera energía y se vuelve más cálido al recibir la energía. La energía de radiación sólo puede ser convertida en energía de calor con la cooperación de la materia. La segunda Ley de Termodinámica establece que la energía de calor no puede ser completamente convertida en energía útil ("trabajo"). Todas estas leyes sólo son relevantes para el intercambio horizontal de energía en la Tierra, pero no para los flujos de energía ascendente y descendente entre Sol, Tierra y el espacio que se muestran en la Figura 1.

Calentamiento por radiación sólo es posible si la radiación es absorbida y no acaba de pasar a través de un cuerpo como en el caso de materiales transparentes como el vidrio o el agua. Como se discutirá a continuación, los principales constituyentes de la atmósfera, nitrógeno (N2) y oxígeno (O2), permiten casi que toda radiación solar hacia abajo [8] pase a través de la superficie de la Tierra y deje que toda la radiación térmica hacia arriba desde la superficie pase a través hacia el espacio. Ellos se calientan ni por la radiación solar ni por la radiación térmica, porque no pueden absorberla. Emisión y absorción de la radiación térmica involucra movimientos (vibración, rotación) de los átomos y moléculas cada vez más rápido (y más caliente) por absorción o cada vez más lento (y frío) por emisión. En general, N2 y O2 no pueden absorber o emitir radiación térmica porque no tienen momento dipolar (ver más abajo).

Sin embargo, como se muestra en la Figura 1, dos flujos de radiación solar (16% y 3%) son absorbidos por la atmósfera y las nubes. Esto plantea la cuestión de ¿qué moléculas en realidad absorben esta radiación?

El flujo etiquetado como "posición 1" (16%) corresponde a la radiación UV del sol. Se absorbe por la molécula de O2 y convertida en calor a través de los dos procesos de ozono siguientes:



Como antes de los procesos de ozono, existen también moléculas de O2 y O3 sin cambios después del proceso de la capa de ozono. Esto se llama un equilibrio químico. Por lo tanto, el proceso de ozono en total es más que la conversión del 100% de la radiación UV del sol en calor de la atmósfera. El proceso de ozono no se corresponde con la ley de radiación de Planck.

El 3% del flujo de la radiación solar absorbida por las nubes representa la radiación IR del Sol que es absorbida por las gotitas de agua líquida de las nubes. Debido a la alta densidad de las moléculas en el estado líquido, la tasa de absorción de IR de agua líquida es mucho más fuerte que la de moléculas de H2O gaseosos.

Ahora, volvamos a nuestro argumento clave en relación con la refrigeración por CO2. Esto requiere una mirada más de cerca al flujo de radiación térmica de la superficie de la Tierra a la atmósfera (posición 2). Este flujo existe porque la tasa de emisión de CO2 en el espacio es siempre mayor que la tasa de absorción de la radiación que viene hacia arriba desde la superficie de la Tierra.

Inicialmente, hemos observado que la Tierra y por lo tanto todas las sustancias químicas en la Tierra no pueden calentarse a sí mismas. En contraste, casi todos los materiales pueden enfriar en el sentido de la Ley de refrigeración de Newton por emisión irreversible de la radiación térmica en el espacio. Sin embargo, hay algunas excepciones que incluyen algunas moléculas químicas, que no se pueden enfriar en el sentido de la ley de enfriamiento de Newton. Esto es debido a un requisito previo de la emisión (o absorción) de la radiación electromagnética de que las vibraciones (y / o rotaciones) de la molécula deben implicar un cambio de su momento dipolar. Las moléculas de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> son simétricas y completamente no polar, por lo que no poseen un momento dipolar eléctrico [9]. Sin tal momento dipolar, los movimientos térmicos de las moléculas no pueden ni emitir ni absorben la radiación electromagnética, ni del sol ni de la Tierra. El nitrógeno y el oxígeno constituyen aproximadamente el 97% de la atmósfera. En consecuencia, ~ 97% de la atmósfera no puede enfriarse por sí mismo. Esto es muy importante para la discusión de CO<sub>2</sub>.

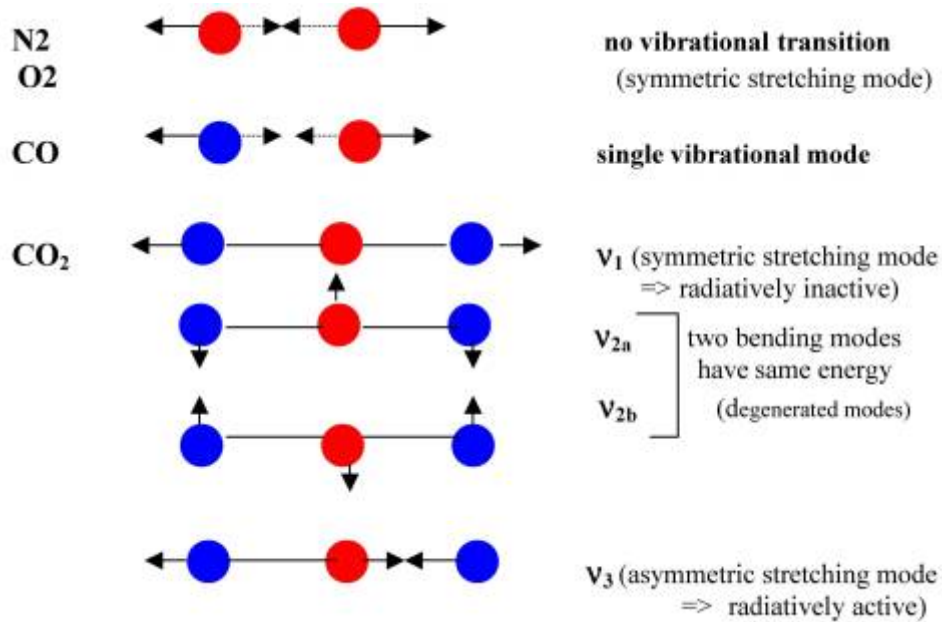
Sin embargo, la atmósfera cerca de la superficie muestra un enfriamiento nocturno. Pero la atmósfera se enfría indirectamente por contacto a la superficie. Por la noche, la superficie se enfría fuertemente hacia arriba por la emisión de radiación térmica.

En contraste con N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, la Ley de Enfriamiento de Newton es válida para las moléculas menos simétricas de gas triatómica H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, cuyos enlaces químicos son fuertemente polar, y por lo tanto son muy IR activos (véase también la figura 3). Hablando en sentido figurado, la mayor parte inactiva IR de la atmósfera (~ 97%) se mezcla con aproximadamente 2% "material de la Tierra activo normalmente IR" haciendo que la atmósfera en cierta medida sea "abierta a la refrigeración por el espacio". El valor numérico de 2% es la suma de las concentraciones medias de H<sub>2</sub>O (~ 0% a ~ 4%) y de CO<sub>2</sub> (0,04% correspondiente a 400 ppm). H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> se conocen como "materiales de la Tierra normal" porque se enfrían mediante la emisión de radiación térmica en el espacio y son enfriados por el espacio de ese modo. Sin embargo, a una altura de ~ 2m, donde se miden las temperaturas meteorológicas, el enfriamiento de esta capa atmosférica está dominada por el enfriamiento indirecto por la superficie. La refrigeración directa por la radiación térmica hacia arriba de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> es demasiado baja como para ser relevante debido a su baja concentración de sólo 2%.

Sin embargo, la situación de la balanza de energía total de la columna atmosférica entera hasta el turbopause de ~ 75 km de altura es muy diferente. En este sentido la mezcla de 2% de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> es suficiente para enfriar la columna de una manera que es cada vez más y más fría con la altura y alrededores al espacio. Mientras que la atmósfera sobre todo su volumen hasta ~ 75 km de altura se enfría desde el espacio, el área de la superficie de la Tierra que se enfría desde el espacio se limita fuertemente a unos pocos centímetros de profundidad. Esto explica la capacidad de enfriamiento muy alta (64%) de la atmósfera y la capacidad de enfriamiento mucho más baja (6%) de la superficie total de la Tierra (incluyendo masa de tierra y mar).

En cuanto al flujo de radiación solar, la energía de entrada a la atmósfera se produce no sólo indirectamente sobre la superficie de la Tierra (51%), pero, además, también por la absorción directa de la radiación solar (16% + 3% = 19%). Por lo tanto, la atmósfera recibe 70% de la energía solar, que es más que la superficie recibe (51%). No obstante, el ambiente es aún más frío que la superficie de la Tierra! Referido a la capacidad de refrigeración total de toda la página 5 de 6 Tierra (70%), la capacidad de enfriamiento de la columna atmosférica (64%) es de aproximadamente un orden de magnitud más alta que la capacidad de enfriamiento de los pocos centímetros de la superficie (6 %).

Figura 3 [10]:



Ahora volvamos a nuestro argumento clave. La flecha ocre (posición 2) en la Figura 1 representa el enfriamiento por radiación térmica (15%) de la superficie de la Tierra a la atmósfera. Pero, N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> son incapaces de absorber la radiación térmica. Sólo gases residuales H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> pueden absorber esta radiación térmica emitida por la superficie. Este enfriamiento radiativo contradice completamente el hipotético "efecto invernadero" que sostiene un calentamiento de + 33 ° C por los llamados "gases de invernadero".

Por otra parte, el flujo más importante de la radiación térmica de la atmósfera en el espacio (64%), que domina el balance global de energía de la Tierra, es la radiación térmica de toda la atmósfera (posición 4), mostrada como una flecha roja de espesor, que transporta toda la energía en el espacio que se introduce en la atmósfera. La figura 1 muestra un comienzo repentino de una flecha con un espesor constante en alguna parte de la atmósfera. En realidad, no existe un salto tan repentino. Más bien, el espesor de esta flecha, que representa la velocidad de enfriamiento de la atmósfera, debe aumentar de manera constante con la altitud hasta 75 km. La temperatura de la columna atmosférica disminuye con la altitud más que la habitual -0,6 ° C a -1 ° C por cada 100 metros, correspondiente a la influencia de la gravedad sobre la densidad y la temperatura.

¿Cómo puede CO<sub>2</sub> actuar como el refrigerante principal de la Tierra, a pesar de que sólo existe en cantidades traza de 400 ppm en la columna atmosférica? La concentración de agua en estado gaseoso por encima de ~ 12 km de altitud disminuye a ~ 10 ppm, debido a que las moléculas de H<sub>2</sub>O gaseosas se condensan para hielo. Entre ~ 12 y ~ 75 km de altitud, la radiación térmica al espacio se emite sólo por el CO<sub>2</sub>.

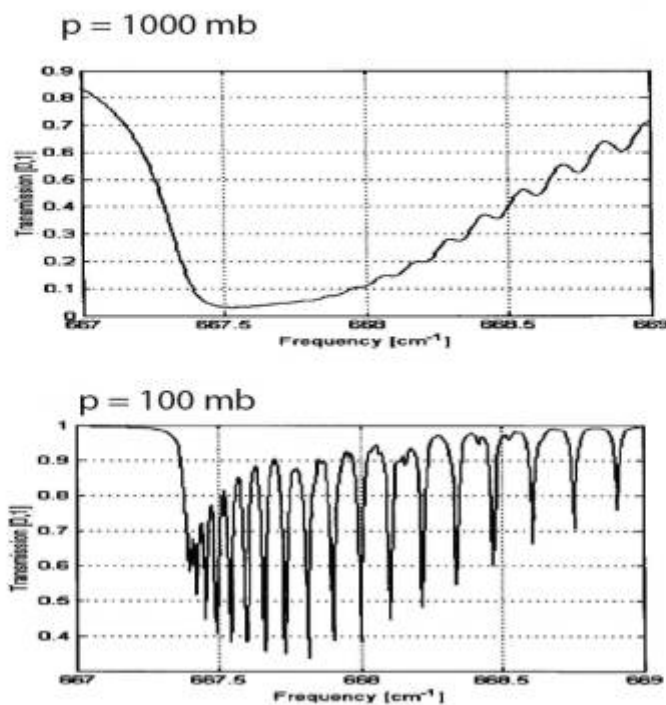
Por otra parte, el CO<sub>2</sub> es el refrigerante más importante de la Tierra, no sólo lo demuestran los flujos de energía entre Sol, la Tierra y el Espacio, sino también por su particularmente intensa actividad IR. CO<sub>2</sub> tiene muy fuertes bandas de IR a 15  $\mu$ m y 10  $\mu$ m (Figura 4), debido a la alta polaridad del enlace C = O. La transformación del efecto de enfriamiento importante de CO<sub>2</sub> en un efecto de calentamiento debido al supuesto fraude físico - el llamado efecto invernadero - es uno de los mayores errores cometidos por los científicos.



El factor más importante para el aumento de la radiación térmica de "toda la columna atmosférica" con la altitud, es la fuerte actividad de IR de H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> que se modula mediante la ampliación de sus bandas de IR por la presión. A baja presión en altitudes elevadas las bandas de IR son muy estrechas y muy intensa. A alta presión cerca de la superficie de la Tierra las bandas de IR son muy amplias y menos intensas. Pero, la radiación térmica procedente de los flancos de las bandas de alcanza el espacio directamente sin absorción por las moléculas en altitudes más altas bajo presión inferior.

Figura 4 [11]:

Atmospheric pressure strongly affects the absorption spectra of gases (through pressure broadening). This poses a major problem in computing the transfer of IR radiation through the atmosphere with varying pressure, temperature, and amount of gases.



Example of *high spectral* resolution transmission spectra of a one-meter path with typical CO<sub>2</sub> concentration at 1000 mb and 100 mb.

Más detalles se discuten en este libro. [12]

[1] Autor correspondiente: Dr. Gerhard Stehlik ([gerhard.stehlik@gmx.de](mailto:gerhard.stehlik@gmx.de)), GDCh Senior Experto Químico Senior(<https://www.gdch.de> )

[2] Grupo de Trabajo Coordinador de Ingeniería del Medio Ambiente, VDI Darmstadt - Fráncfort del Meno (<http://www.vdi.de>)

[3]NASA- National aeronautics and Space Administration, USA([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA\\_Earth\\_energy\\_budget.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_Earth_energy_budget.gif))

[4] IPCC, 2007: Cambio Climático 2007: La base científica física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Pregunta frecuente 1.1 "¿Qué factores determinan el clima de la Tierra" Página 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. tignor y H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.

[5] Parece que el fósforo blanco se calienta el propio hasta la auto-ignición. De hecho, la temperatura aumenta debido a la conversión de la energía química de fósforo blanco y oxígeno en calor. Esa es la regla en todos los procesos de combustión.

[6] Posición 2 es una excepción.

[7] Flujos energéticos horizontales paralelos a la superficie de la Tierra refrescan una zona por un viento frío y el calientan una zona por un viento cálido, ambos no son relevantes para el presupuesto de energía de la Tierra debido a la Ley de Conservación de la energía, ella es válida en estos casos.

[8] La excepción es el proceso de la capa de ozono de la luz solar UV (posición 3)

[9] Un enlace químico entonces tiene un momento dipolar eléctrico, si diferentes átomos están conectados el uno al otro. Entonces, un átomo es eléctricamente positivo en relación con el otro y el otro está cargado negativamente en la misma proporción, por lo que se mantiene la neutralidad eléctrica externa total. El movimiento térmico de los dos átomos unidos químicamente con un momento dipolar causa la radiación electromagnética de calor.)

[10] <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf>

[11] [http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803\\_Fall2009/Lec6.pdf](http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf)

[12] Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0.