

El efecto invernadero producido por el CO₂ atmosférico: una nueva interpretación termodinámica

EDUARDO R ABRIL ✉

CONICET, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro Regional Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

RESUMEN. La utilización de modelos para diagnosticar las causas del cambio climático y sus efectos sobre los procesos ecológicos globales ha permitido mejorar nuestra comprensión del fenómeno. Sin embargo, hay evidencias de que los modelos actuales no siempre logran simular los cambios ya documentados alrededor del mundo, posiblemente, debido a que muchos de los procesos que pueden generar cambios climáticos todavía no están totalmente entendidos. En el presente trabajo se presenta una interpretación termodinámica-cinética del efecto invernadero producido por el CO₂ desde un nuevo enfoque, el que vincula la temperatura y el calor, y se basa en el criterio corpuscular de la energía. La teoría del complejo activado de la cinética química es interpretada con un criterio probabilístico y es considerada aplicable no solo a las reacciones químicas sino también a las reacciones físicas. Este trabajo sugiere que el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera podría no ser suficiente para explicar el calentamiento global actual.

[Palabras clave: calentamiento global, temperatura, complejos activados, cinética química]

ABSTRACT. The glasshouse effect caused by atmospheric CO₂: a new thermodynamic interpretation: At present times the use of models to simulate and predict the climate change and its consequences on global ecological processes has contributed to a better understanding of the phenomena in several disciplines. However, there is evidence that current models fail to simulate a number of well known climatic changes recorded around the world, which suggests that many of the processes involved in climatic change are still not fully understood. A new thermodynamic interpretation of the atmospheric glasshouse effect caused by CO₂ is presented, which is based on the relationship between temperature and heat considered from the corpuscular theory of energy. The activated complex theory used in chemical kinetics is interpreted as probabilistic criteria, applicable therefore not only to the chemical reactions but also to physical interactions. Under this perspective, this article suggests that the current level of atmospheric CO₂ increase would not be sufficient to explain global warming.

[Keywords: global warming, temperature, activated complex, chemical kinetics]

✉ Profesor Emérito, Universidad Nacional de Córdoba. Investigador Emérito del CONICET, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro Regional Córdoba. Av. Vélez Sarfield 1561, Ciudad Universitaria. C.C: 884. X5000JKC Córdoba, Argentina.
aabril@inti.gov.ar

Recibido: 19 de septiembre de 2006; Fin de arbitraje: 14 de mayo de 2007; Revisión recibida: 6 de junio de 2007; Aceptado: 7 de junio de 2007.

Este trabajo fue arbitrado durante el proceso editorial de Marcelo Cassini actuando Adriana Abril como co-editora.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es muy común la utilización de modelos para diagnosticar la causa de los cambios climáticos observados en el pasado, sobre todo en relación a las influencias antropogénicas. Muchos de estos modelos se utilizan para formular recomendaciones de orden público referentes a decisiones ambientales de distinto tipo y, sobre todo, a aquellos vinculados a cambios en los procesos ecológicos globales.

Sin embargo, algunas evidencias sugieren que los modelos determinísticos utilizados no logran simular de manera suficientemente confiable los bien conocidos cambios climáticos registrados alrededor del mundo (Jastrow et al. 1991; Bengtsson et al. 1999). Otra importante preocupación es la incertidumbre sobre los parámetros utilizados para modelar los cambios climáticos generados por alteraciones antropogénicas. Por lo tanto, resulta crucial advertir que el entendimiento de los procesos que pueden provocar cambios climáticos, y en particular el cambio climático global, no están totalmente entendidos (Soon & Baliunas 2003). Este tema tiene amplia validez, no solo dentro del área estricta de la modelización climática sino también en el campo más amplio e interdisciplinario de la comprensión profunda de un fenómeno de importancia global.

Comúnmente se considera que el aumento del contenido de CO₂, producido por los fenómenos de combustión, influye significativamente en el aumento de la temperatura media de la corteza terrestre por el llamado efecto invernadero. Además, se piensa que ese aumento de temperatura provocaría un peligroso aumento del nivel del agua de los océanos en un tiempo relativamente corto. Este trabajo propone una explicación del calentamiento global a través del llamado efecto invernadero y plantea explicaciones alternativas. El análisis se basa en una nueva teoría que debe ser interpretada solo como "probablemente verdadera" (Abril 1978, 1997). No se descarta que otras teorías puedan ser consideradas más "probablemente verdaderas", siempre que ellas expliquen mejor los hechos obser-

vados y que sus hipótesis sean congruentes entre sí, como suponemos que sucede con la teoría aquí propuesta.

ENERGÍA, CALOR Y TEMPERATURA

El calor es una forma de energía que se transmite de un cuerpo a otro de tres formas diferentes: conducción, convección y radiación. La energía de un cuerpo está definida por una cierta cantidad de corpúsculos elementales llamados ergones. A estos corpúsculos se les asignan propiedades semejantes a las de los átomos propuestos por la teoría del filósofo griego Demócrito. El calor de un cuerpo puede, así, considerarse como una parte de los ergones del cuerpo, agrupados de un modo particular, mientras que la temperatura es un concepto empírico que no siempre está ligado al concepto de calor. Las relaciones que existen entre calor y temperatura, cuando el calor es recibido directamente del sol, ocurren a través de las ondas calóricas del espectro solar. Se acepta que cuando las ondas chocan contra la superficie de la atmósfera se transforman en partículas llamadas fotones térmicos. La transformación de ondas en partículas se vincula con el concepto llamado "dualidad onda-corpúsculo", que es una característica de la física moderna.

El concepto de fotón fue propuesto por Einstein en relación con el fenómeno fotoeléctrico y se acepta que los fotones térmicos se desplazan por la atmósfera en todas direcciones en forma similar a como lo hacen los ergones. De esta manera, los fotones térmicos transmiten el calor pero no necesariamente la temperatura. Los fotones térmicos pueden agruparse entre sí, formando una especie de súper partículas llamadas termiones. La manera más común de formación de termiones en la atmósfera terrestre se basa en la penetración de fotones térmicos en moléculas de CO₂ donde ellos pueden agruparse para formar termiones. Además, los termiones pueden salir de las moléculas de CO₂ y continuar desplazándose en la atmósfera. Se considera que los termiones albergan temperatura, mientras que, contrariamente, los fotones térmicos sueltos transmiten el llamado calor latente que no afecta la temperatura de los cuerpos.

El sol genera calor sobre la tierra no solo mediante la producción de fotones térmicos a partir de las ondas calóricas, sino también mediante los efectos producidos por las ondas luminosas que ingresan a través de la atmósfera. Se considera que ese calor está vinculado con fotones térmicos y termiones del mismo tipo que los producidos por ondas calóricas, y que dichas partículas se mueven del mismo modo. El sol también puede generar energía térmica a través de otras ondas de su espectro, y los fotones térmicos y los termiones también pueden formarse por transformaciones físicas, sin intervención directa del sol; por ejemplo en un proceso de combustión. En estos casos también se acepta que, cualquiera sea su origen, los dos tipos de partículas térmicas tienen igual comportamiento.

Lo que define a los termiones y a los fotones térmicos es la cantidad y distribución de los ergones. Los termiones y los fotones térmicos poseen una energía (llamada interna), definida por la cantidad de ergones que poseen. Esa cantidad puede variar por cambios en la cantidad de ergones "intersticiales", ubicados entre los ergones que definen el carácter básico de cada tipo de partícula. Se considera que, a igual temperatura, todos los termiones tienen la misma energía interna media cualquiera sea la forma de producción de dichas partículas y su estado en un sistema termodinámico. En determinadas condiciones, un termión puede contener fotones térmicos "intersticiales" (llamados "no ligados") que no forman parte de la estructura del termión y cuya salida no afecta el valor de la temperatura del mismo pero sí su energía interna media. La temperatura de un cuerpo se considera definido sólo por la cantidad de termiones que contiene.

VOLÚMENES INTERFÁSICOS

La interfase entre el espacio vacío y el globo terrestre tiene características especiales. La principal característica del volumen definido por dicha interfase y una cierta distancia hacia el centro de la tierra, es que en él se producen las transformaciones de los fotones térmicos en ondas calóricas y viceversa. En este trabajo se analiza el volumen interfásico definido

por una distancia constante multiplicada por la interfase que separa la atmósfera terrestre de las fases sólidas y líquidas de la tierra. Dicha distancia se considera normal a la interfase y dirigida hacia el interior de las fases sólida y líquida. El volumen así definido será llamado corteza terrestre. Se acepta generalmente que dentro de ese volumen interfásico, en condiciones llamadas normales, la temperatura media de la corteza terrestre se mantiene constante. Este fenómeno es difícil de explicar porque la temperatura varía constantemente de un punto a otro de la mencionada corteza.

Aquí se explica este hecho mediante la hipótesis de que el número de termiones "normales" que existen en la corteza terrestre es, en principio, una constante y que ellos mantienen su temperatura mientras se desplazan a lo largo de la corteza terrestre, sin salir de ella. Las variaciones de temperatura en la corteza terrestre se deberían a las agrupaciones de sus termiones, que mantiene constante la temperatura media de la corteza terrestre. La cantidad supuestamente constante de termiones normales de la corteza terrestre se basa en la historia previa del planeta que habría alcanzado ya un estado térmico de características definidas vinculado al calentamiento actual del centro de la tierra.

COMPLEJOS ACTIVADOS

En química se acepta la teoría de los complejos activados para explicar la cinética de las reacciones químicas. Según esta teoría, toda reacción química se produce después de que los reactantes forman una agrupación llamada complejo activado. Como estos complejos tienen una vida muy corta, al descomponerse aparecen los productos de la reacción, los cuales pueden desplazarse en diferentes direcciones. Entre los componentes de un complejo activado pueden existir átomos o moléculas que, al descomponerse el complejo, recuperan su estado anterior. Esos componentes son llamados catalizadores.

Una interpretación alternativa de la formación de los complejos activados, basada en conceptos probabilísticos, sostiene que los

complejos activados se forman cuando cada uno de los reactantes alcanza una energía interna característica, llamada energía de activación de los reactantes. La energía interna de un sistema esta definida por la fórmula:

$$E = G + TS - PV$$

donde E es la energía interna de un sistema termodinámico, G la llamada energía libre de Gibbs del sistema, T la temperatura absoluta, y S , P y V los valores de entropía, volumen y presión del sistema.

La energía interna puede ser referida a cada uno de los reactantes de una reacción química con la cual se vinculan las probabilidades de activación de los correspondientes reactantes. A partir de valores supuestos de esas energías es posible obtener, mediante una fórmula de tipo probabilístico, los valores de la cantidad de material transformada por segundo, lo cual es llamado flujo de la reacción. Este flujo es el que determina la cinética del proceso, es decir la velocidad de reacción. El flujo J de una reacción química esta definido por:

$$J = f.n.W \quad (1)$$

donde f es una constante relacionada con la cantidad de saltos energéticos producidos por segundo, n es la cantidad total del reactante que existe en menor proporción en el sistema (componente deficitario) y W es la probabilidad de que un complejo activado se forme y que depende del producto de las probabilidades de activación de todos los reactantes, incluidos los catalizadores. Las probabilidades de cada reactante se consideran proporcionales a las respectivas concentraciones por unidad de volumen del sistema considerado.

De acuerdo con Darken y Gurry (1953), el concepto de complejos activados tiene un sentido más amplio por lo que debería resultar aplicable no solo para analizar reacciones químicas. Aquí considero que el concepto de complejo activado también puede ser aplicado para el análisis de reacciones físicas. Llamo reacción física a toda transformación energética en la que intervienen partículas sub-atómicas, tales como los electrones libres

de un circuito eléctrico o las ya mencionadas súper-partículas llamadas termiones. Analizando las reacciones físicas relacionadas con la salida de los termiones de las moléculas de CO_2 de la atmósfera desde el punto de vista del complejo activado, se puede considerar que el termión y la molécula que lo contiene forman un compuesto activado cuando ambos componentes alcanzan su energía de activación y que el termión sale de la molécula cuando el compuesto activado se descompone.

La energía interna de los termiones cambia (por intercambio de ergones) alrededor de su energía media y se considera que ellos permanecen en reposo hasta que, después de alcanzar nuevamente su energía de activación, pueden, al salir de una molécula, formar un nuevo complejo activado con otra molécula de CO_2 que se halle suficientemente próxima y que posea su energía de activación. De este modo se produciría un continuo desplazamiento de los distintos termiones de la atmósfera. La dirección que sigue un termión al descomponerse el complejo que integra depende de las características de dicho complejo. Entre esas características influye principalmente la distancia que existía entre los componentes antes de la formación del complejo. Es por ello que la dirección con la que se desplazan los termiones varía en forma impredecible.

El flujo de reacción tiene poca importancia en las reacciones físicas en las cuales interesa principalmente determinar las direcciones que adquieren los componentes sub-atómicos de los productos de las reacciones al descomponerse los complejos activados. En las reacciones físicas se considera que, por lo general, esos componentes no se destruyen por la descomposición de los complejos activados aunque pueden cambiar su energía media. En relación con los movimientos que se producen, en los termiones de la corteza terrestre se considera que ellos se producen solo cuando termiones provenientes de la atmósfera se ponen en contacto con la corteza terrestre.

LOS INVERNADEROS

Los invernaderos son recintos cerrados cuyas paredes y techo son de vidrio o de otros tipos

de materiales que posean similares propiedades calóricas. Por razones de simplicidad, se supondrá que los invernaderos están hechos de vidrio. Se observa que dentro de dichos recinto se produce una mayor temperatura que la que existe fuera de él, cuando recibe calor del sol, por lo que se considera que en un invernadero la energía solar penetra a su interior pero que no puede salir de él. Para interpretar ese fenómeno, se supone que las moléculas de vidrio forman complejos activados con los termiones que chocan contra ellas y que la totalidad de los termiones que se desprenden al romperse los complejos activados penetran al interior del invernadero, tanto cuando los complejos se forman con moléculas de vidrio de fuera del invernadero como cuando ellas pertenecen a su superficie interna. Se acepta además, que los termiones reactantes tienen iguales características que los que salen del complejo activado y que las moléculas de vidrio actúan solo como catalizadores.

Los termiones que entran al invernadero se desplazan por formaciones sucesivas de complejos activados formados con las moléculas de CO₂ existentes en el invernadero. La cantidad de termiones que penetran al invernadero disminuye a medida que aumenta la cantidad de termiones existentes en él, por lo que la cantidad de energía interna que penetra al invernadero resulta igual a la que sale por el piso del mismo. Esto explica porqué la temperatura de un invernadero no puede exceder cierto valor. Cuando los termiones chocan con el suelo del invernadero se produce una interacción energética entre las dos fases que no consiste en la penetración de los termiones en la corteza terrestre. Lo que suponemos es que algunos fotones térmicos "no ligados" de dichos termiones son los únicos que penetran a la corteza terrestre, provocando un desplazamiento de los termiones naturales de dicha corteza.

Ese desplazamiento se originaría por la formación de complejos activados entre los fotones térmicos que entran y los termiones naturales de la corteza terrestre, los cuales al descomponerse los complejos, tienden a dirigirse hacia el piso del invernadero. De este modo, aunque los fotones térmicos in-

roducidos no alteran la temperatura total de la corteza terrestre, la temperatura en el piso del invernadero se incrementa. Por tal motivo, esta hipótesis indica que los invernaderos no afectan la temperatura media de la corteza terrestre ya que los fotones térmicos finalmente salen por distintos lugares de la corteza terrestre y una cantidad igual penetran a través de las paredes y techo del invernadero.

Si en un recinto similar a un invernadero pero con paredes y techo de otros materiales distintos del vidrio colocamos estufas eléctricas hasta lograr en el piso del recinto la misma temperatura que en el recinto de un invernadero, no existe ninguna razón para pensar que el fenómeno de transmisión del calor al piso de ambos recintos no sea el mismo. De esta manera, para interpretar los movimientos de los termiones producidos por las estufas se pueden aplicar los mismos conceptos utilizados para analizar el funcionamiento de los invernaderos. La única diferencia es que ahora las paredes y el techo del recinto dejan pasar algunos termiones a la atmósfera. Como no se considera que la acción de las estufas afecte la temperatura media de la tierra, lo mismo podría suceder con los invernaderos y que la hipótesis planteada sería válida. Es decir que si se acepta que los invernaderos afectan la temperatura media de la tierra, es forzoso considerar que lo mismo sucede con los millones de estufas encendidas que existen en el planeta.

CALENTAMIENTO DE LA TIERRA POR EL CO₂

Si en un recinto similar al del punto anterior que contiene una atmósfera normal, se introduce una cierta cantidad de CO₂ derivado de un proceso de combustión y se mantienen constantes la presión, la temperatura y el volumen del recinto, se observa un aumento de temperatura del piso. Además, se observa que ese calentamiento aumenta con la cantidad de CO₂ introducido.

Por lo tanto, podría pensarse que el agregado de CO₂ produce un aumento de la temperatura

del piso y también un aumento de la temperatura de la corteza terrestre. Aquí se plantea que el incremento de CO₂ solo aumenta la probabilidad de activación de la reacción física que se produce entre los termiones y las moléculas de CO₂ contenidos en el recinto. Esta interpretación acuerda con la teoría de los complejos activados en la cual la probabilidad de activación de una reacción esta definida por el producto de las probabilidades de todos los reactantes (termiones y moléculas de CO₂) que son proporcionales a las concentraciones de cada reactante. En este caso, la concentración de los termiones no cambia pero sí la concentración del CO₂. Como consecuencia, el valor de W de la fórmula (1) y el correspondiente valor del flujo J , se incrementan al aumentar la concentración de CO₂ en el recinto. El aumento del flujo (J) provoca un desplazamiento de los termiones (que son el producto de la reacción) algunos de los cuales chocarían con el piso del recinto provocando el mismo fenómeno explicado para los invernaderos y las estufas, es decir, no penetran en la corteza terrestre.

El mismo fenómeno se produce en la atmósfera libre (no encerrada en un recinto) en las distintas zonas de la corteza terrestre. Pero el efecto será muy escaso porque el CO₂ se distribuye por todo el volumen de la atmósfera, sobre todo por la acción de los vientos. De esa manera, gran cantidad de CO₂ es llevada hacia zonas heladas de la tierra, donde se produce, por razones termodinámicas y cinéticas, un fenómeno especial por el cual disminuye sensiblemente la cantidad de CO₂ (introducido en el proceso de combustión), debido a la formación de átomos de carbono y moléculas de oxígeno. No se analizará en detalle este fenómeno, por que no afecta la interpretación de los hechos, solo modifica la cantidad de los termiones afectados. Sin embargo, el fenómeno tiene importancia si se considera que el aumento de la temperatura media de la tierra se vincula

con la cantidad total de CO₂ introducida a la atmósfera, por los procesos de combustión, ya que solo una parte de esa cantidad sería la responsable del fenómeno.

CONCLUSIONES

Si se acepta la teoría propuesta en este trabajo, tanto el fenómeno llamado efecto invernadero del CO₂, como todo tipo de calentamiento producido en la superficie de la tierra, puede ser explicado del mismo modo. La temperatura media de la corteza terrestre se mantendría independiente de esos fenómenos. Si se verificara que la temperatura media de la Tierra efectivamente aumenta, se podría considerar que el aumento puede ser producido por variaciones cíclicas de la energía recibida del sol. Sería por ello conveniente realizar esas determinaciones durante tiempos prolongados, para verificar si el fenómeno es similar al presunto aumento del agujero de ozono.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, ER. 1978. *Termodinámica y Cinética de las Transformaciones Metalúrgicas*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina.
- ABRIL, ER. 1997 *Una nueva interpretación de la realidad*. Editorial Blackpool, Córdoba, Argentina.
- BENGTSSON, L; E ROECKNER & M STENDEL. 1999. Why is the global warming proceeding much slower than expected? *J. Geophys. Res.*, **104**:3865–3876.
- DARKEN, LS & RS GURRY. 1953. *Physical Chemistry of Metals*. McGraw Hill Book Co. New York.
- JASTROW, R; W NIERENBERG & F SEITZ. 1991. Global warming: What does the science tell us?. *Energy*, **16**:1331-1345
- SOON, W & S BALIUNAS. 2003. *Lessons & Limits of Climate History: was the 20th century climate unusual?* George C. Marshall Institute. Washington, D.C.

Fe de errata

En el artículo "El efecto invernadero producido por el CO₂ atmosférico: una nueva interpretación termodinámica" de Eduardo R Abril publicado en *Ecología Austral* 17:299-304 la información al pie de página debajo de las fechas de publicación en la página 299 debe ser reemplazado por:

Este trabajo fue arbitrado con Adriana Abril actuando como editora.