

IDEAS PARA EL ESTUDIO DE LAS VARIACIONES CLIMATICAS

Por SANTIAGO GOSÉ,
Ingeniero de Caminos.

Consideramos de verdadero interés y oportunidad el presente artículo, en el que el autor expone sus ideas sobre el apasionante tema que se trata, y propone que se investigue y se estudie sobre las causas de los cambios climáticos que hace casi cincuenta años previó el genio de Arrhenius.

En los últimos años se ha comprobado, en muy distintos países, un cambio de climas cuyas causas no han sido explicadas en los diversos artículos y comentarios que sobre este tema han llegado a mis manos, en los que la tónica general se inclina a poner de relieve la imposibilidad de someter a leyes definidas las variaciones meteorológicas a lo largo de las épocas, de las que se tienen referencias más o menos directas, y que en definitiva no cabe pensar más que en utilizar leyes estadísticas para poderse formar una idea de lo que en el futuro pueda ocurrir, con lo que implícitamente se da por sentado que las causas fundamentales a que obedecen las variaciones meteorológicas son inmutables, al menos desde los tiempos históricos.

Siempre sentí recelos en la aceptación apriorística de esta premisa, porque las grandes cantidades de anhídrido carbónico que se lanzan a la atmósfera como resultado de las combustiones aprovechadas en la industria, como fuente productora de energía, modifican de modo apreciable la proporción de este gas en el aire. Es un hecho indudable que la combustión del llamado carbón mineral, o sea el procedente de las minas, produce un efecto totalmente independiente del de la combustión del carbón vegetal, por cuanto en este último caso la combustión, en definitiva, no es otra cosa que una aceleración del proceso normal de putrefacción, que recombina el carbón con el oxígeno, regenerando el anhídrido carbónico, mientras que en el carbón de mina la combustión no se hubiera consumado si no hubiera sido extraído de la veta sedimentaria que, formada hace unos doscientos millones de años, no ha sufrido alteración a lo largo de toda la evolución geológica, y por ello he repasado los estudios que sobre esta materia realizó el eminente científico Svante Arrhenius, galardonado con el Premio Nobel de Química en 1903, de los que en su libro "L'évolution des mondes", escrito en 1907, da una síntesis clara y explícita, que permite apreciar en su justo valor el efecto que sobre la climatología producen las variaciones del porcentaje de anhídrido carbónico en el aire.

Para la debida comprensión de este problema, es necesario aclarar algunos conceptos cosmogónicos

que hoy día son aceptados por la casi totalidad de los geólogos y biólogos. Ante todo, hay que fijarse en que la existencia de oxígeno libre en la atmósfera, en cantidades importantes, no puede justificarse desde un punto de vista químico, puesto que no existen reacciones naturales que produzcan oxígeno libre en gran cantidad, y el que existía en la primitiva atmósfera, muy rica en hidrógeno, derivada de la solar en el momento de la formación de nuestro planeta, no podía alcanzar el porcentaje que hoy comprobamos en el aire, sin contar que gran parte del mismo forzosamente ha desaparecido a lo largo de las edades geológicas, por las oxidaciones de los minerales de la superficie terrestre, provocadas por la gran afinidad de este elemento; pero esta paradoja queda aclarada teniendo en cuenta la acción de la más grande antiprobabilidad físicoquímica que conocemos en el universo: la vida.

Después de la formación de la corteza terráquea, hace unos mil millones de años, durante la Era Algonquina, había desde luego una cantidad apreciable de oxígeno en la atmósfera, pero no era suficiente para permitir el desarrollo de la vida de animales pulmonados, y menos aún teniendo en cuenta la existencia de las grandes cantidades de CO_2 que las reacciones químicas de solidificación de la litosfera habían producido.

El desarrollo de los primeros organismos comenzó en el océano, a principios de la era cambriana, y durante los cientos de millones de años que mediaron hasta el final del devoniano, la vida pudo evolucionar suficientemente no sólo para separar claramente el mundo vegetal del animal, sino para producir seres muy elevados dentro de la escala evolutiva, prestos a dar origen a los primeros anfibios, de los que habrían de derivarse posteriormente todos los vertebrados terrestres; pero este paso no podía ser dado hasta que previamente, por intermedio de la acción vegetal, la atmósfera quedase debidamente modificada para permitir la respiración pulmonar. Esto ocurrió durante la era carbonífera, de unos cien millones de años de duración, en cuyos albores comenzó la conquista de las tierras continentales por los descendientes de las primeras plantas, que a finales del

devoniano lograron emanciparse de sus progenitoras las algas verdes marinas, y gracias a la gran abundancia de CO_2 en la atmósfera de aquellos remotos tiempos lograron una adaptación al ambiente mucho más perfecta que los vegetales que continuaron viviendo en los mares, los cuales no han podido nunca desarrollar su estructura somática más allá de las formas antiquísimas de los protofitos del plancton y las rudimentarias talofitas y briofitas, pues las escasas fanerógamas de agua dulce son, en realidad, plantas terrestres readaptadas a la vida acuática.

El efecto fotoquímico de la clorofila, que es el principal resorte de la vida, puesto que con él se consigue almacenar la energía radiante solar en los acumuladores constituidos por los hidratos de carbono, que con sus derivados las grasas y aminoácidos constituyen las proteínas, comenzó a funcionar con tan gran eficacia, que, debido a las favorabilísimas condiciones del medio ambiente, muy pronto nuevas especies originaron una selva frondosísima e inextricable, cuya vitalidad no cabe en nuestra imaginación. A medida que este exuberante y lujurioso mundo vegetal iba absorbiendo paulatinamente el anhídrido carbónico de la atmósfera, iba quedando como subproducto oxígeno libre que no podía recombinarse con el carbono después de la muerte de las plantas, porque éstas iban quedando enterradas por las nuevas formaciones que inmediatamente se apropiaban del espacio que las caducas entregaban sin resistencia, y poco a poco, las recubrieron las capas sedimentarias de nueva formación, hasta que llegaron a quedar situadas definitivamente en las entrañas de la tierra y aisladas completamente del oxígeno atmosférico. Cuando este gas llegó a desplazar casi totalmente el puesto que anteriormente ocupaba el anhídrido carbónico en la composición del aire, pudieron hacer su aparición los primeros anfibios progenitores de los grandes saurios que en el comienzo de la era secundaria señorearon las degeneradas selvas continentales que habían perdido vitalidad a medida que cada vez más iba escaseando el anhídrido carbónico. Desde aquellos remotos tiempos, el equilibrio entre el oxígeno libre en la atmósfera y el carbono enterrado en los estratos sedimentarios permaneció inalterable, hasta que, a finales del siglo XVIII, el naciente desarrollo de la industria hizo que comenzase la explotación de las minas del Norte de Europa, pues los lignitos y turbas acumuladas en 200 millones de años, producidas especialmente en las selvas terciarias, generadas probablemente gracias al calor almacenado por el CO_2 resultante del vulcanismo producido por los levantamientos alpinos son tan escasos, que puede despreciarse el incremento que anualmente se produce en los depósitos carbonosos del subsuelo.

La aportación de anhídrido carbónico por medio de vulcanismo ha continuado sin interrupción desde la era paleozoica, aunque con fuertes alternativas de intensidad, y según Arrhenius, el volumen total que

desde entonces ha pasado por la atmósfera es del orden de 25 000 veces la que existía en estado gaseoso a principios de siglo. Todo él ha sido gastado durante los mil millones de años transcurridos desde que empezaron a formarse las rocas sedimentarias en formar carbonatos que han originado los potentes bancos de caliza de todos los terrenos, pero el ritmo a que se ha producido este fenómeno es insignificante desde el punto de vista de nuestro problema, pues, como mínimo, en las actuales condiciones se requeriría 15 000 años para consumir en la génesis de nuevos carbonatos el anhídrido carbónico existente hoy día, y como luego veremos, el incremento que del mismo se obtiene por combustión del carbón es al menos 50 veces más importante.

Por el contrario, es imposible que la atmósfera quede completamente desprovista de bióxido de carbono, pues si disminuyese mucho el porcentaje de este gas dejaría de producirse la fijación del mismo en nuevas rocas sedimentarias y nadie podrá probar que así no sea, pues antes de que quedasen agotadas las existencias de CO_2 la vida se extinguiría sobre el planeta, puesto que el mundo vegetal no lograría obtener del aire el mínimo de carbono que requiere para la formación de sus proteínas y celulosa, y en su consecuencia, degenerarían todas las plantas hasta provocar la desaparición del mundo animal, pues no hemos de olvidar que sólo la catálisis de la clorofila es capaz de vitalizar la energía inorgánica.

Por ello, pues, mientras la vida sea posible en el mundo, deberá haber un mínimo de anhídrido carbónico en el aire atmosférico y no deberá nunca sobrepasar un máximo que para el hombre es, aproximadamente, del 6 por 100 del peso total del aire llegado, al cual es inevitable la muerte por asfixia e incluso para concentraciones de menos del 3 por 100 los efectos serían letales para la vida humana, porque resultaría imposible el esfuerzo físico normal.

Por medio de los procesos antes descritos, la Naturaleza ha logrado regular la cantidad de anhídrido carbónico que se mantiene en un equilibrio con pocas fluctuaciones desde que la vida hizo su aparición sobre la tierra, pero la imprevisión alegre y confiada del hombre moderno, que para mantener el complejo industrial que ha forjado necesita con urgencia fuentes económicas de energía, para cuya obtención no ha vacilado en dilapidar desconsideradamente el tesoro acumulado por la Naturaleza para permitir su propia vida sobre la Tierra, ha provocado un desequilibrio que cada vez irá aumentando y que llegará a causar una transformación muy importante en el clima, e incluso trastornos biológicos, si nuestros descendientes llegasen a agotar el carbón, aunque sólo fuese en las minas hoy día conocidas, que equivalen, aproximadamente, al 2 por 100 del oxígeno atmosférico.

En efecto: el anhídrido carbónico, de acuerdo con las leyes de la radiación del cuerpo negro, represen-

ta una pantalla que disminuye muy notablemente la irradiación nocturna de onda larga del suelo, de tal manera, que si lográsemos extraer la totalidad del que existe en el aire, que a principios de siglo alcanzaba una proporción de tres diezmilésimas, la temperatura a ras de tierra disminuiría en 21° centígrados, según cálculos de Arrhenius, y tan sólo la disminución a la mitad del anhídrido carbónico existente produciría un enfriamiento de 4 grados, que llegaría a ser de 8 si este gas se redujese a su cuarta parte, mientras que, por el contrario, un aumento del volumen almacenado en el aire produciría un efecto inverso de intensidad análoga, pues al doblar la cantidad de CO_2 la temperatura aumentaría en 4 grados, y si este gas quedase cuadruplicado, el aumento de la temperatura llegaría a ser de 8 grados.

El consumo actual de carbón y petróleo, que en definitiva es equivalente, puesto que también ha estado separado del contacto con el oxígeno atmosférico desde su formación, es aproximadamente de $2,5 \times 10^9$ Tm. anuales, y, por lo tanto, su combustión produce, aproximadamente, $1/300$ de la cantidad total de CO_2 existente en la atmósfera a principios de siglo; de modo que alcanzar las proporciones necesarias para modificar apreciablemente el clima no es una utopía para las próximas generaciones, y ni siquiera para nosotros mismos.

Claro está que la captación del anhídrido carbónico para la formación de carbonatos ha de retrasar el aumento efectivo del porcentaje de CO_2 atmosférico, pero como se requieren 15 000 años para fijar una cantidad equivalente a la que existe y en cambio

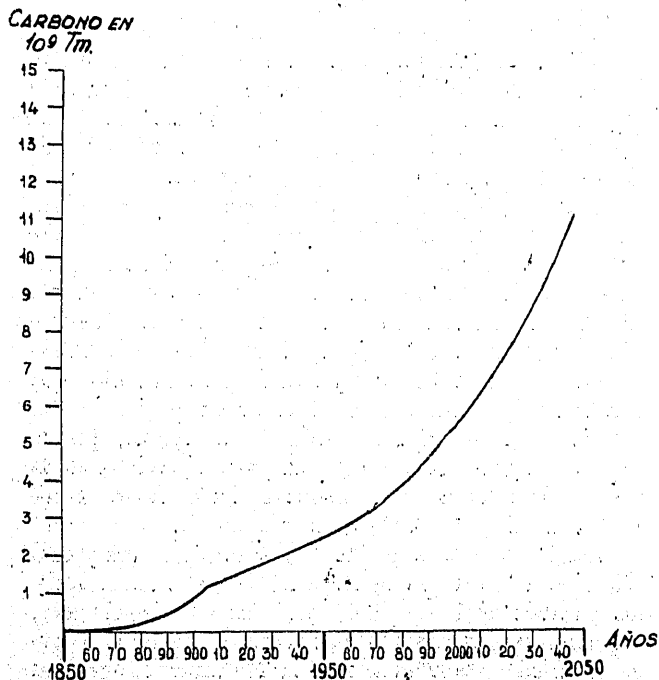


Gráfico 1.

ésta quedaría doblada en 300 años por combustión del carbón, aquel efecto es 50 veces menos importante que éste, y como por otra parte los volcanes aportan a la atmósfera un volumen de anhídrido carbó-

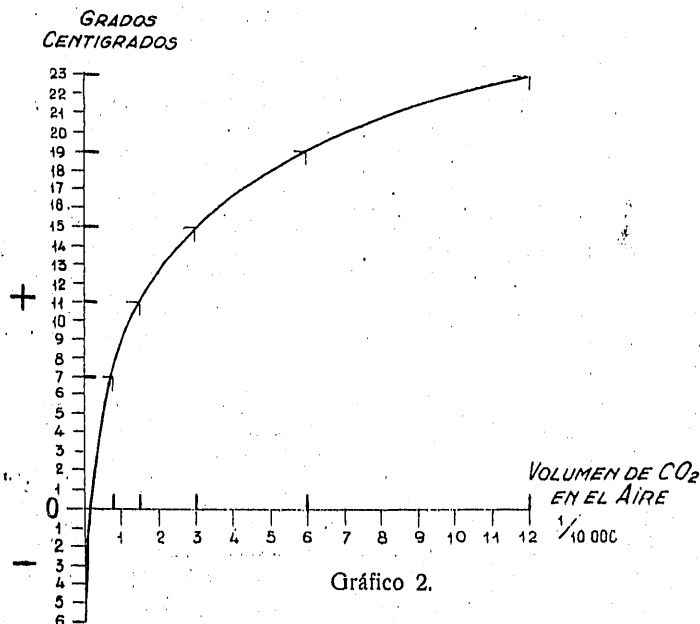


Gráfico 2.

nico algo mayor que el perdido por reacciones químicas, podemos considerar que ambos efectos se anulan, y aun logramos con ello un coeficiente de seguridad en el cálculo.

En cambio, es necesario tomar en consideración el efecto regulador del Océano que absorbe por contacto las 5/6 partes de los gases existentes en el aire hasta llegar a la saturación, que desde luego no ha sido alcanzada, puesto que en las proximidades del mar el porcentaje de anhídrido carbónico en la atmósfera es 10 por 100 inferior al del aire puro en el interior de los continentes, efecto que, por otra parte, demuestra que el anhídrido carbónico va aumentando, ya que, de no ser así, forzosamente debería haberse llegado a un equilibrio entre el CO_2 disuelto en el agua y el gaseoso de la atmósfera, y, por el contrario, si éste disminuyese, las aguas del mar tendrían que ceder parte del que tienen almacenado para restaurar el equilibrio.

La disolución de este gas en el mar es rapidísima por la gran extensión de la superficie de contacto; de modo que si la repartición del anhídrido carbónico en la atmósfera fuese uniforme, indudablemente sería necesario un tiempo seis veces mayor que el que obtendríamos como resultado de las consideraciones anteriores para lograr un determinado efecto.

Con esta base, he calculado el aumento de la temperatura previsible, dibujando primeramente en el gráfico número 1 el consumo anual de carbón y petróleo con datos estadísticos hasta la fecha, y suponiendo que en los cien años próximos el incremento

del consumo mundial sería del mismo orden que el que se ha producido hasta ahora, o sea del 1,5 por 100, que no creo sea una previsión excesiva.

En el gráfico número 2 está dibujada la curva de variación de la temperatura en relación con la proporción de anhídrido carbónico en la atmósfera, según cálculos de Arrhenius, y de estos dos gráficos está deducido el número 3, en el que están indicados los pesos totales del anhídrido carbónico atmosférico desde los años 1900 al 2060, considerando que las 5/6 partes del producido en las combustiones es absorbido por el mar y teniendo en cuenta la relación de los pesos atómicos, del carbono y el CO_2 , que es de 1:3,67, de cuya curva se deduce la de las temperaturas medias, partiendo en el origen de una temperatura de 15° , que es el promedio de las distintas evaluaciones de diversos autores correspondientes al año 1900.

De este estudio se deduce que para dentro de un siglo es de prever un aumento de un grado en la temperatura media del Globo, y para que pueda comprenderse la importancia de este fenómeno, debo consignar que en las pasadas épocas glaciares la temperatura era tan sólo de cinco grados inferior a la actual, mientras que un aumento de dos grados supondría la desaparición de los glaciares y ventisqueros que quedan en nuestras latitudes, y, por último, que las temperaturas medias que se calcula existieron en la era terciaria, en la que en toda la tierra se desarrollaron bosques de vegetación tropical, era tan sólo de ocho grados superior a la actual.

Hasta aquí he comentado y deducido consecuencias de las principales ideas de la obra de Arrhenius, que él termina con las siguientes palabras: "Como resultado del aumento del ácido carbónico en el aire, son de esperar períodos que ofrecerán al género humano temperaturas más igualadas y condiciones climáticas más dulces. Esto se realizará, sin duda, en las regiones más frías de la Tierra. Estos períodos permitirán al suelo producir cosechas considerablemente más grandes que hoy, para beneficio de una población que parece estar en vías de crecimiento más rápido que nunca"; pero Arrhenius era sueco, de modo que para él y su ambiente la perspectiva de un aumento en la temperatura era una verdadera bendición de Dios y entreveía que el suelo de su patria quedaría por fin liberado de la maldición de los hielos, que a tan bajo nivel han mantenido hasta ahora la producción agrícola de las tierras escandinavas; pero para nosotros, meridionales, estos pretendidos beneficios no resultan tan claros, y, por lo tanto, para saber a qué atenernos, es necesario que estudiemos todos los síntomas que a lo largo de la variación climática inevitable se vayan produciendo.

Hay una circunstancia que lógicamente da lugar a que resulte más rápido que lo previsto el aumento de la temperatura antes calculado, de lo que el indicio más revelador es que en menos de cincuenta

años empiezan a observarse los síntomas que Arrhenius preveía para los siglos venideros, lo que parece exceder al efecto producido por el incremento que durante estos años ha tenido el consumo del carbón. Prácticamente, la totalidad de carbón y del petróleo, o al menos más del 90 por 100 de estos combustibles, se consume en el hemisferio Norte, y como las co-

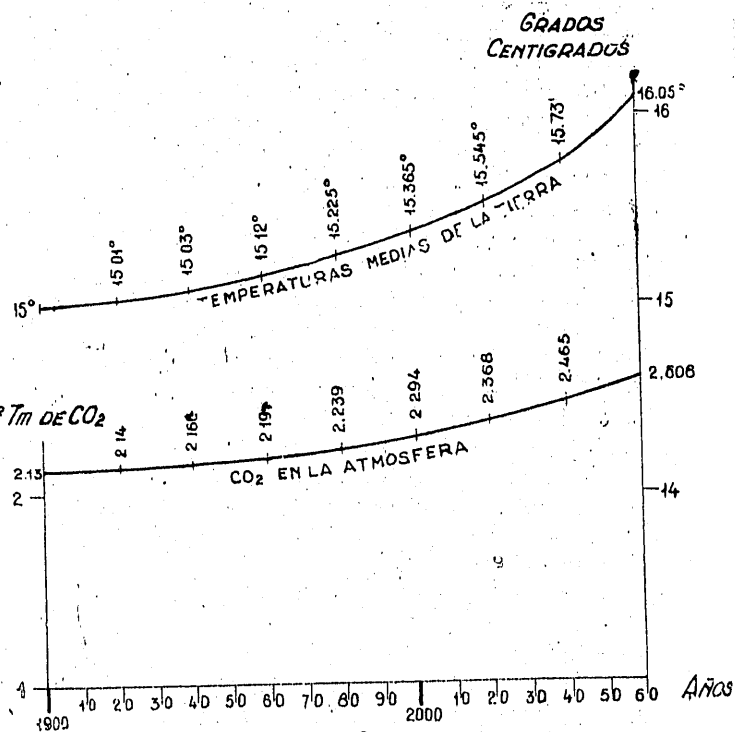


Gráfico 3.

rrientes atmosféricas se cierran siempre sobre el Ecuador, es probable que en nuestro continente el efectivo aumento del CO_2 resulte doble del calculado para toda la Tierra, puesto que la mezcla del aire de los dos hemisferios sólo puede producirse a lo largo de un período de tiempo considerable.

Además, hay otro efecto que contribuye a un aumento de la temperatura que no puedo cifrar, pero que ha de tener una indudable importancia. Es el debido a la tala sistemática de bosques en las regiones abiertas a la civilización en la Edad Moderna, especialmente en América, pues el volumen de carbono acumulado en los bosques y selvas que han tenido que ser arrasados para poderse asentar en ellos los colonizadores, tiene una importancia innegable, puesto que en conjunto representa una parte apreciable de la vegetación total del Globo, que se ha calculado equivale a la mitad del CO_2 de la atmósfera.

Desde luego, este efecto es por una sola vez y está reducido a la diferencia entre los bosques naturales y los cultivos agrícolas que, salvo casos excepcionales, requieren una vegetación más reducida, y aun a la larga los efectos reguladores de la Naturaleza lograrían un nuevo equilibrio, pero dados los escasos años

transcurridos desde las grandes talas de bosques, que incluso todavía continúan, el aumento de CO_2 , con tal motivo ocasionado, no ha podido ser todavía compensado en grado apreciable. Incluso el proceso astronómico de la rotación de la línea de los ápsides combinado con la precesión de los equinoccios, actualmente está en una fase que tiende a provocar un aumento de la temperatura en el hemisferio Norte, puesto que el perihelio actualmente se produce el día 4 de enero y el afelio el 5 de julio, mientras que en un período de 10 000 años estas fechas han de quedar invertidas.

Los efectos que acabo de mencionar, con los medios a mi alcance resultan imposibles de cifrar exactamente, pero creo que no es excesivo suponer que entre todos incrementan en un 50 por 100 los resultados de los cálculos hechos de acuerdo con los datos de Arrhenius, o sea que para dentro de unos setenta años es de esperar un aumento de temperatura de un grado, que, a su vez, aunque como coeficiente de seguridad despreciemos su importancia, ha de quedar aumentado todavía por la mayor evaporación que ha de producirse en el agua del mar, que incrementando la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera, aumentaría el efecto de pantalla por él producido.

Desde luego, por esta última consideración, es de esperar un aumento en la pluviometría media del Globo, pero ello no implica, naturalmente, que las lluvias aumenten en todas partes, siendo indudablemente posible que algunas zonas resulten perjudicadas por este cambio, pues no hemos de olvidar que en cada hemisferio existen dos zonas bien delimitadas de grandes lluvias, que son: la tropical, alimentada por corrientes convectivas, y la zona de tormentas, alimentada por los ciclones, que en Europa son siempre de Oeste a Este por efecto de la rotación terrestre, existiendo entre ambas, como todos sabemos, una faja desértica, que incluso dentro de los períodos históricos no ha tenido una delimitación constante; por lo que es de suponer que pueda variar nuevamente al producirse un cambio de clima acentuado.

Concretándonos al caso de España, que más directamente nos interesa, podemos ver que la Península está situada en el extremo sur de la actual zona de tormentas ciclónicas que, en definitiva, no es más que la resultante de la fricción de la masa de aire caliente ecuatorial y la de aire frío polar. Esta zona es posible que se vaya retirando a latitudes cada vez más elevadas, hasta que se llegue a un calentamiento suficiente de las regiones polares que permitan una redistribución de las lluvias obedeciendo a causas distintas de las actuales, pero en el intervalo, tanto las tormentas ciclónicas como las transgresiones marinas de agua caliente superficial que originan las corrientes oceánicas, quizás modifiquen sus trayectorias, desviándose hacia los polos, aunque como los relieves geográficos de los continentes modelan en alto grado sus características, esta desviación no puede resultar uniforme en todos los puntos. Por ello, es de temer que en el futuro quede nuestra Península fuera del área principal de tormentas, aunque no creo que llegue a quedar totalmente desplazada de la zona ciclónica; pero sea como sea, es de prever con el tiempo una importante variación respecto a la pluviometría actual, a no ser que se prescinda del empleo del carbón como fuente de energía industrial, lo cual hoy día puede entretenerse llegue a ser posible mediante el aprovechamiento de las energías eólica, geotérmica u otras fuentes hoy día poco desarrolladas, más que por medio de la fusión nuclear, puesto que las reservas mundiales de minerales radioactivos no son suficientes para mantener indefinidamente el consumo industrial, cuyo considerable incremento es inevitable.

Con la publicación de este artículo, cuando afortunadamente parece haber terminado la gran sequía que hemos padecido los años pasados, no pretendo otra cosa que brindar estas ideas a quienes pueden dedicarse a realizar experimentos, por si pueden ayudar en algo a orientar debidamente el estudio de las causas de los cambios climáticos en curso, que hace casi cincuenta años el genio de Arrhenius puso de manifiesto, y cuya observación, según parece, ha caído en un inexplicable olvido.