

Apuntes de Ciencia y Tecnología

nº 35, Julio 2010

Boletín de la Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)

Sumario	pág
NOTICIAS DE LA AACTE	04
Balance económico del año 2009: 04. Resumen económico año 2009: 04. Nuestro blog en Madri+d: 05. La AACTE y la Ley de la Ciencia: 05.	
OPINIÓN	
La carrera científica por Juan F. Gallardo	06
Biodiversidad: El problema de la introducción de especies exóticas, por José A. Cuesta	07
Los investigadores en la ciencia 2.0: El caso de PLoS One, por Álvaro Cabezas Clavijo	10
Biorremediación en vertidos de petróleo en el mar, por Jorge Alonso, Beatriz Novoa y Antonio Figueras ...	13
FUEGO CRUZADO:	
¿Existen datos para afirmar que se está produciendo un cambio climático de origen antropogénico?	
Sí, por Josep Enric Llebot	14
No, por M ^a Eugenia Pérez González y Juan José Sanz Donaire	18
NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
Rompiendo el techo de cristal: 22. <i>Homo Sapiens</i> y hombre de Neanderthal en el décimo aniversario del genoma humano: 23. La cuestión de la célula artificial: 26.	
EL RINCÓN PRECARIO	
Resumen,	28
Análisis de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales: Aplicación al personal investigador en formación, por Jacinto Contreras Vázquez	30
CRÍTICA DE LIBROS	
La Teoría del todo, por Germán Sastre	33
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES	35

AACTE



AACTE

Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)

<http://www.aacte.eu>

ISSN:1577-6794 © 2010 AACTE



En cuanto a la Costa da Morte, la retirada de fuel por los métodos de limpieza mecánica habituales fue poco efectiva debido a las dificultades de acceso. Como alternativa, se utilizaron técnicas de biorremediación consistentes en la adición de fertilizantes en base oleofílica para potenciar la actividad degradadora de petróleo llevada a cabo por las comunidades bacterianas autóctonas presentes de manera natural en estos ecosistemas. En esta zona, sólo las fracciones más recalcitrantes (difícilmente biodegradables) estaban presentes en las zonas del supramareal, alejadas de la acción del oleaje y por lo tanto de la fuente de nutrientes, oxígeno, etc. Allí las poblaciones de bacterias eran diferentes pero, de nuevo, con un alto potencial de biodegradación. Las comunidades bacterianas estaban dominadas por actinobacterias, principalmente del género *Rhodococcus*, caracterizadas por tener una pared celular altamente hidrofóbica que les confiere la capacidad de crecer pegadas al fuel y así acceder a sus fracciones más recalcitrantes e insolubles. El aislamiento de cepas autóctonas pertenecientes a este grupo ha permitido avanzar en conocimientos básicos sobre su metabolismo degradador de hidrocarburos. Para tratar el fuel del Prestige en esta zona lo más adecuado es la adición de fertilizantes y ácidos micólicos sintéticos (componentes de la pared celular de las actinobacterias y capaces de potenciar su actividad degradadora) a los actuales métodos de biorremediación.

Sin embargo, las técnicas de biorremediación aplicadas hasta el momento han demostrado no ser igual de eficaces para cada tipo de vertido y cada tipo de medio. Esta ineficacia viene dada en parte por la falta de información acerca de las especies y procesos bacterianos que llevan a cabo esta degradación. Cada ecosistema

posee diferentes variables abióticas (exposición a la luz, temperatura, humedad, etc.) y bióticas (diferentes especies bacterianas degradadoras y no degradadoras) que es necesario conocer para poder diseñar nuevos y más eficaces biorremedios. A pesar de que en España este tipo de vertidos se dan de forma bastante habitual, poco se conoce acerca de las comunidades bacterianas degradadoras autóctonas de nuestras costas. El desconocimiento que se tiene sobre la gran diversidad de especies bacterianas marinas que llevan a cabo el proceso natural de biodegradación hace que sea necesario conocer qué especies están degradando el fuel de manera natural y qué necesitan para llevar a cabo este proceso.

La biorremediación constituye una buena alternativa para la limpieza del fuel depositado en zonas de alto valor ecológico, aunque su eficacia es variable entre diferentes aplicaciones en función de las características ambientales del sitio contaminado, el tipo de petróleo derramado y el potencial de biodegradación de la población microbiana autóctona. En zonas ricas en nutrientes, como las rías gallegas, no parece aconsejable ni necesario aportar fertilizantes para favorecer el crecimiento de bacterias degradadoras mientras que el uso de biorremediación es bastante efectivo en el caso de la Costa da Morte. En ningún caso sería efectivo el añadir más bacterias que las que ya hay en el propio medio puesto que ha sido más que comprobado que estas bacterias exógenas serían desplazadas por competencia con las autóctonas.



FUEGO CRUZADO

¿EXISTEN DATOS PARA AFIRMAR QUE SE ESTÁ PRODUCIENDO UN CAMBIO CLIMÁTICO DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO? SÍ

Josep Enric Llebot

Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona

[enric.llebot\(arroba\)uab.cat](mailto:enric.llebot(arroba)uab.cat)

La crisis económica ha ocultado en los medios de comunicación y en revistas especializadas el desconcierto que produjeron los resultados de la COP 15, la Conferencia de las Partes de la Organización de las Naciones Unidas que tuvo lugar en Copenhague el pasado mes de diciembre de 2009.

Desconcierto porque la senda tímidamente iniciada con el protocolo de Kioto el año 1997, y que de alguna manera se quería reproducir y actualizar en Copenhague, quedó interrumpida de forma sutil pero firme en lo que acordaron un grupo de países entre los que se cuentan Estados Unidos, China, India y Brasil.



El comentario que puede hacerse desde una perspectiva un tanto maliciosa, y a partir del análisis del texto acordado, es que la vaguedad de los acuerdos, e incluso el hecho de que éstos no sean vinculantes, se debe a que el contexto científico del problema del cambio climático no es claro y suscita muchas dudas entre los expertos. Nada más lejos de la realidad, a mi juicio, cuando la rotundidad de los hechos no deja más que indicios de urgencia para gestionar con firmeza y eficiencia las contribuciones de todos a las emisiones a la atmósfera, ya que la atmósfera es de todo el mundo y todos tenemos la responsabilidad, y la obligación, de gestionarla.

Otro elemento importante a considerar, cuando se evalúa el escenario científico-político de los temas relacionados con el calentamiento de la atmósfera, es que en el intrincado juego de influencias y presiones para conseguir acuerdos favorables a una u otra orientación todo vale, incluso argumentar episodios de fraude o falsificación de los datos, lo que se ha llamado el *climategate*. Aunque puede argumentarse que el mundo de la ciencia tiene unas características específicas que hacen que las personas que se dedican a trabajar en ella sean un tanto especiales, este argumento no sirve para negar que, al igual que en el resto de actividades humanas, algunos científicos no intenten usar trucos, influencias y trampas para ganar notoriedad, conseguir contratos y subvenciones, o éxito y prestigio personal. Sin embargo, a diferencia de otras actividades humanas, el mundo de la ciencia tiene sistemas de control, el mismo método científico, que evita las posibilidades de fraude, aunque no de errores o de cambios de interpretación. El *climategate* no deja de ser una frívola acusación, formulada al atisbo de la notoriedad pública que se formó alrededor de la conferencia de Copenhague pero que no ha resistido el análisis de las comisiones independientes que se han organizado a instancias de las organizaciones en las cuales trabajan los científicos puestos en tela de juicio¹.

Por lo tanto, ante la pregunta: “¿Existen datos para afirmar que se está produciendo un cambio climático de origen antropogénico?”, la única respuesta que se puede dar, a mi juicio, es que sí y que, además, son rotundos. Los argumentos son bien conocidos y en general se basan en la constatación del aumento de la concentración atmosférica de los gases con efecto invernadero, en el análisis de series de la temperatura media superficial, en la medición y el cálculo de los balances radiativos (y, por lo tanto, del forzamiento radiativo al que está sometida la atmósfera) y de los cambios fenológicos de múltiples especies de plantas y de los cambios en la extensión de los glaciares. Estos hechos se complementan por la constatación de

la presencia de carbono fósil en la atmósfera y por la constante disminución del oxígeno en la atmósfera que, aunque muy pequeña dada la gran cantidad atmosférica de este gas, confirma el aumento de los procesos de combustión y, en cualquier caso, de los efectos de las actividades humanas en la atmósfera. Un buen complemento a todo este escenario es la medida y el cálculo de los balances de carbono, bien contrastados por un buen bagaje de medidas y de resultados de modelos². Esto proporciona un buen conocimiento de la evolución de los sumideros naturales y su efecto en la concentración atmosférica de gases efecto de invernadero a causa de las retroalimentaciones que inducen.

El efecto de todos los gases con efecto de invernadero en la atmósfera supone el 96% de todo el forzamiento radiativo, aunque el CO₂ es, con mucho, el componente más importante, ya que ha contribuido al 80% del crecimiento del forzamiento radiativo durante el periodo 2000-2008³. El CO₂ es responsable también del 63% de la perturbación humana en el balance energético de la Tierra, según los datos más recientes de 2008². Su concentración crece continuamente como atestigua el registro del observatorio de Mauna Loa en Hawái, que es el registro instrumental más largo que se dispone⁴. Así, según esta serie, la concentración de CO₂ ha aumentado un 38% respecto a la concentración de periodos preindustriales.

Un elemento importante para la cuestión del calentamiento de la atmósfera, y el consiguiente cambio de las condiciones ambientales (el llamado cambio climático), es que el CO₂ tiene un tiempo de residencia en la atmósfera muy largo. Éste es un hecho que, aunque se conoce desde hace tiempo, no ha sido apreciado hasta hace poco debido a la complejidad del cálculo concreto de esta característica. El CO₂ emitido por las actividades humanas se equilibra entre los diversos reservorios de carbono que son la atmósfera, los ecosistemas terrestres, el suelo y los océanos durante periodos de tiempo que oscilan entre pocos segundos y miles de años. Estos procesos incluyen la extracción por la fotosíntesis de las plantas del CO₂ atmosférico y su emisión durante la respiración. Normalmente, estos procesos en ciclo corto resultan en una fijación de carbono como resultado de la productividad primaria, aunque a largo plazo, cuando la planta muere y su materia orgánica es degradada, se establece un cierto balance. Otro proceso importante es la difusión, lenta pero constante, de CO₂ de la atmósfera hacia el océano y los suelos. La difusión hacia los océanos es lenta pero mucho más rápida de lo que se produce en los cambios de la estructura de la vegetación y en procesos litológicos que requieren miles de años. Con esta multiplicidad de procesos,



aquí simplemente esbozados, se estima que una buena parte del CO₂ emitido a la atmósfera será absorbido por el océano, aunque en una escala de 2 a 20 siglos. Aún suponiendo que se alcanzara la situación de saturación, todavía quedaría entre el 20% y el 35% del CO₂ adicional emitido a la espera de los procesos litológicos. Esto indica que, a escala humana, se puede afirmar que el CO₂ procedente de actividades humanas ejerce un efecto en el clima que se puede calificar de permanente⁵. Por otro lado, los modelos corroboran estos datos mediante experimentos computacionales, un tanto artificiales respecto a las situaciones reales pero inequívocos respecto a los resultados. Los sumideros naturales son, pues, incapaces de absorber entre un 30% y un 40%, como mínimo, de los gases con efecto de invernadero emitidos hasta pasados uno o varios milenios⁶.

En una atmósfera con más dióxido de carbono se da, en términos generales, una mayor retención de la radiación emitida por la superficie terrestre y un calentamiento de la superficie. Este hecho ha sido medido en numerosos observatorios meteorológicos esparcidos por todo el globo. La señal del aumento de la temperatura ha sido más intensa durante el último cuarto del siglo XX y durante el comienzo del siglo XXI. El calentamiento es superior en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, debido a la mayor proporción de superficie continental emergida en el hemisferio norte. Con respecto al aumento de la temperatura media superficial, hay dos aspectos analizados que singularizan el proceso en el cual estamos inmersos.

Por un lado, a partir de medidas indirectas, las denominadas medidas *proxy*, se han reconstruido evaluaciones de la temperatura durante los dos últimos milenios. Contextualizada en estas reconstrucciones, la evolución de la temperatura durante los últimos decenios ha sido singular y anómalamente alta comparada con los regímenes térmicos de los últimos 2.000 años⁷. Por este motivo, se ha afirmado que la temperatura superficial es la más alta de los dos últimos milenios. Este comportamiento singular asociado al contenido más alto de gases con efecto de invernadero también está acorde con el enfriamiento de la estratosfera, medido de forma independiente y constatado sin ninguna duda.

Por otro lado hay un argumento de peso obtenido a partir de los modelos, que ya aparecía esbozado en el tercer informe del IPCC de 2001 y que ha sido corroborado en el cuarto informe de 2007⁸. El argumento se basa en el uso de los modelos para *reproducir* la temperatura superficial de la superficie de la Tierra durante el siglo XX. Si se hace retroceder los modelos hacia el pasado, con los cambios de la composición atmosférica del siglo XX producidos únicamente por la

variabilidad natural (cambios en la energía solar, erupciones volcánicas, etc.), se puede representar de forma aceptable la evolución de la temperatura superficial medida hasta, aproximadamente, la década de los setenta. Más allá, la evolución de la temperatura ha seguido un camino que los modelos no reproducen. Si, en cambio, se utilizan los modelos teniendo en cuenta la variabilidad natural y, además, los cambios en la composición atmosférica debidos a las emisiones humanas, los modelos reproducen bastante bien cómo ha ido evolucionando la temperatura superficial durante el siglo XX. De este *experimento* se pueden sacar dos conclusiones: que los cambios de la temperatura superficial no se pueden explicar sin tener en cuenta las emisiones y que hasta el último cuarto del siglo XX estos cambios de temperatura podían atribuirse a causas naturales, pero que desde entonces sólo pueden explicarse atendiendo a las emisiones resultado de las actividades humanas.

En este mismo contexto los análisis y medidas llevadas a cabo por numerosos grupos de científicos⁹ sobre el balance energético global de la Tierra muestran que hay un desequilibrio entre la radiación recibida procedente del Sol y la emitida hacia el espacio exterior, que durante el período 2000-2004 se contabiliza en 0,9 Wm⁻². Aunque este desequilibrio es pequeño, si se mantiene y, como se predice, va aumentando, mostrará cómo la atmósfera se ve sometida a cambios en la energía que contiene, consecuencia de variaciones en sus patrones de funcionamiento debido al exceso de energía que continuamente va absorbiendo. Estos cambios no son ni serán homogéneos, ya que los desequilibrios son distintos a escala local y regional. Un ejemplo de esta última afirmación lo ofrecen los territorios árticos. Allí se constata un debilitamiento del grosor de la capa de hielo y, a la vez, una disminución de su extensión. Este último hecho hace que queden al descubierto extensiones de mar que antes estaban cubiertas por el hielo. La superficie de hielo refleja mucho mejor la radiación que la superficie de agua libre, con lo que la fusión de una fracción de la superficie de hielo supone en el aumento de la temperatura superficial del mar y, en consecuencia, del aire circundante. Este hecho se ha medido y observado sin ninguna duda al respecto⁷.

Por último, mencionaremos otro tipo de procesos como son los cambios fenológicos en plantas y las variaciones en las migraciones de determinadas especies de aves¹⁰. En diversos estudios llevados a cabo en distintas regiones del globo se ha visto cambios en la fecha de la salida y la caída de las hojas, de la floración y de la maduración de los frutos. Estos cambios representan un avance de la salida de las hojas y un retraso de su caída, es decir, el alargamien-



to del periodo de crecimiento. También se han observado variaciones en las migraciones de distintas especies de aves asociadas a cambios de las condiciones ambientales. Aunque, en términos generales, es difícil atribuir a una única causa estos cambios, el hecho de que se produzcan en distintas regiones del globo y que en todos ellos el elemento común sea el calentamiento de la atmósfera parece dar sustento a esta interpretación. Lo mismo puede decirse respecto a la extensión de los glaciares, cuya evolución se puede comprobar a partir de los datos que se aportan en el World Glacier Monitoring Service (WGMS), donde se constata la continua disminución de su extensión, reconocida ésta como un indicador de confianza respecto la evolución del clima y que se atribuye, por otro lado, al calentamiento de la atmósfera¹¹.

No obstante, aún hay aspectos científicos relacionados con el cambio climático que no se conocen con exactitud. Uno de ellos es la representación de las nubes en los modelos climáticos, que es deficiente y que incide en la proyección de la pluviosidad en el futuro. Otro aspecto que no está resuelto de forma satisfactoria es la relación entre una determinada concentración de gases con efecto de invernadero en la atmósfera y las variaciones de la temperatura superficial. Consecuencia de éste último hecho es la indeterminación, dentro de una horquilla de valores, de las proyecciones de la sensibilidad climática, que dependen demasiado de los modelos utilizados.

Estos dos hechos tienen importancia respecto a las trayectorias de estabilización que se pueden definir para conseguir que no se sobrepase el aumento de los 2°C acordados hace unos años por la Unión Europea y ratificados en los acuerdos de Copenhague. Esto es importante para saber responder a las preguntas clave: ¿cuáles son las implicaciones de las emisiones pasadas y actuales de CO₂ sobre el comportamiento

futuro de la atmósfera? ¿Cuáles son las implicaciones de las dinámicas de los procesos naturales que emiten y absorben CO₂? Y, ¿cuál es el nivel de mitigación necesario para no exceder los objetivos de una determinada temperatura superficial global?

Aunque las implicaciones de la primera pregunta son obvias, frecuentemente no se considera el papel de los sumideros, en parte por la dificultad de gestionarlos y, en parte, por el desconocimiento preciso de su funcionamiento. Recientemente se ha planteado un método novedoso que analiza, desde una perspectiva probabilística, el techo total sobre las emisiones de CO₂ que un determinado acuerdo respecto la temperatura puede ocasionar. Concretamente, si se puede definir cuál es el incremento máximo admisible de la temperatura superficial global por encima de la temperatura media reinante en periodos preindustriales, de forma que se eviten interferencias peligrosas en el sistema climático, se puede calcular, en valor absoluto, la cantidad máxima de gases con efecto de invernadero que se pueden emitir bajo condiciones de incertidumbre que corresponden a la diversidad de respuestas que proyectan los modelos. Con este tipo de análisis se ha llegado a mostrar, con un nivel de incertidumbre del 50% que, contando desde el inicio de la era industrial, si se emiten 1000 Pg de carbono (de los cuales se han emitido ya 500 Pg) se llegará a un aumento de 2°C de la temperatura¹². La ventaja de analizar la situación desde esta perspectiva es que, para alcanzar el objetivo deseado, pueden elaborarse trayectorias para las emisiones globales que prevean un cierto crecimiento de las emisiones, de manera que se pueda establecer un periodo de transición en que se acometan los cambios institucionales y estructurales que hagan posible una mitigación más intensa durante las próximas décadas.



- 1 <http://www.realclimate.org>
- 2 Le Quéré C et al. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2: 831-836
- 3 Butler J. (2010). The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi> (se accedió al sitio web el 13 de junio de 2010)
- 4 <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (se accedió al sitio web el 13 de junio de 2010)
- 5 Archer D, Eby M, Brovkin V, Ridgwell A, Cao L, Mikolajewicz U, Caldeira K, Matsumoto K, Munhoven G, Montenegro A, Kathy Tokos K. (2009). Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 37:117-34
- 6 Solomon S, Plattner G, Knutti R, Friedlingstein P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 1704-1709
- 7 Mann M, Zhang Z, Hughes M, Bradley R, Miller S, Rutherford S, Ni F. (2008). Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 13252-13257
- 8 IPCC (2007). Climate change 2007. The Physical Science Basis. Cambridge University Press 2007
- 9 Trenberth K, Fasullo J, Kiehl J. (2009). Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 9: 311-323
- 10 Peñuelas J, Filella I. (2001). Responses to a warming world. *Science*, 294: 793-794
- 11 <http://www.geo.uzh.ch/wgms/> (se accedió al sitio web el 14 de junio de 2010)
- 12 Allen MR, Frame D, Huntingford C, Jones C, Lowe J, Meinshausen N. (2009). Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillion tone. *Nature*, 458:1163-1166



FUEGO CRUZADO

¿EXISTEN DATOS PARA AFIRMAR QUE SE ESTÁ PRODUCIENDO UN CAMBIO CLIMÁTICO DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO? NO

M^a Eugenia Pérez González

Juan José Sanz Donaire

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad Complutense de Madrid

meperez(arroba)ghis.ucm.es

jjsanzdo(arroba)ghis.ucm.es

Se nos ha planteado la defensa o justificación de una postura crítica al cambio climático antropoinducido y así intentaremos darle respuesta. Adelantamos algo que debería ser obvio, pero que, con frecuencia, se asocia a puntos de vista contrarios. Nuestra postura no se opone a la defensa y empeño por un planeta más limpio, menos contaminado y con modelos de consumo racionales, pero no a cualquier precio.

¿Puede alguien entonces negarse a que se produce un cambio del clima? Evidentemente no, pues tanto el clima como el tiempo cambian continuamente; el segundo, a diario, y, el primero, en un largo período de años. Probablemente este hecho exija que el cambio sea significativo estadísticamente hablando, al menos si está referido a los datos instrumentales, tomados en condiciones estándar, y por ende, comparables.

¿Puede alguien negar la contribución del hombre a los cambios del clima? Si la pregunta inicial tenía fácil respuesta, ésta ya no es tan obvia. De otro modo el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) no hubiese variado su propia definición de cambio climático recientemente. En los tres primeros informes (de 1990, 1995 y 2001) entendía sólo los cambios que el hombre hacía sobre el clima y, a partir del 4º informe, de 2007, se define cambio climático como “cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o resultado de la actividad humana”. La modificación no carece de importancia, pues ante el cambio climático natural no hay tanta justificación a los miles de proyectos financiados, gabinetes temáticos, agencias y reuniones nacionales e internacionales, políticas en marcha en decenas de países, presupuestos millonarios para su posible mitigación o el cambio hacia nuevos modelos energéticos y tecnológicos. Todo ello no tendría sentido si no viniese avalado por una sólida hipótesis, la idea inicial, convertida después en una realidad irrefutable. Entonces, ¿por qué dudar?

Veamos más de cerca el problema de la definición. El Diccionario de la Real Academia Española define el clima como “conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región”. ¿Cuáles son las condiciones? Suelen restringirse a la temperatura y la precipitación, dado que son los dos parámetros más importantes para la vida, más fácilmente mensurables y desde hace más tiempo. También hay largas series instrumentales de presión atmosférica. ¿Cuándo sabemos que estas condiciones han cambiado? ¿Cualquier cambio es suficiente para hablar de cambio climático? Sobre este aspecto no hay consenso, si bien suele citarse un cambio significativo. ¿Cómo se caracteriza climáticamente una región? Por unos valores centrales y de dispersión, normalmente referidos a un período largo de tiempo. Son necesarios 30 años para definir el clima, según acuerdo de los científicos en el Congreso Internacional de Washington de 1927, y este postulado fue posteriormente asumido por la Organización Meteorológica Mundial sin que haya sido sustituido por otros. Tampoco son baladíes los 30 años a los que debemos referir el clima: se estableció que serían “climatológicos normales” (abreviados a CLINO) los treintenios 1901-1930, 1931-1960, y así sucesivamente (también en orden retrógrado), necesidad impuesta por la propia variabilidad de los parámetros climáticos. Esta definición tiene numerosas implicaciones, pero, básicamente, hay que considerar dos: 1) se precisan al menos 90 años (tres treintenios) para hablar de cambio climático; 2) no existen tantos lugares en la Tierra que cumplan este requisito. Estas dos carencias se han intentado subsanar de diferentes modos. En primer lugar, se ha argumentado que no son necesarios estos treintenios, sino que se han elegido otros, que ofrecen resultados diferentes. Incluso son habituales los trabajos que no alcanzan el treintenio (cuando menos la comparación entre varios), lo que, para nosotros, significa negar su categoría de *climáticos*. Invitamos al lector a que compruebe que esta realidad es la más frecuente en los trabajos del tema^{1, 2}. Más tarde entraremos en el asunto de cómo llenar datos ante la carencia de registro.



¿Es necesario esperar a la finalización del treintenio en curso, 1991-2020, para afirmar algo sobre la actualidad? Por lo general se publican adelantos, se mueve el treintenio a los años 1980-2009, si bien sólo al término del corriente podrá afirmarse algo comparable con los períodos CLINO previos.

Veamos, brevemente, algunas de las características de las series de datos. Probablemente la más conocida (y accesible en gratuidad en la red) sea la GHCN (Global Historical Climatological Network) de la National Oceanic and Atmospheric Administration estadounidense, que se nutre de los datos mensuales aportados por los organismos meteorológicos oficiales de los países. Además presenta la ventaja de que somete los datos a una serie de controles para evitar inhomogeneidades producidas por los cambios de lugar o del instrumental de algunas estaciones³. Una simple ojeada a los datos permite apreciar que las lagunas se multiplican en los últimos 30 años, lo que es tanto más sorprendente cuanto que, a veces, las series están completas desde comienzos del siglo XVIII. Se supone que con el transcurso del tiempo la calidad de los datos habrá mejorado, se habrá unificado el modo de tomarlos, etc., pero el resultado es que muchos años recientes son inservibles a efectos de cómputo. Evidentemente esto obliga a indagar en otros repertorios, pero se tiene la impresión de que se evita dar la información más cercana. Existe un número no despreciable de estaciones con datos desde el siglo XVIII, que, cuando se estudian, presentan variaciones que en nada desdichan las que se realizan en la actualidad. Sin embargo, son muy pocos los observatorios como para que se tilde un trabajo de “global”.

Téngase en cuenta que aproximadamente el 75% del globo está cubierto por mares y océanos, en donde no existen registros continuos, sino sólo fragmentarios (tomados por navíos en ruta a lo largo de escasos pasillos) y difícilmente comparables con los continentales e insulares. En efecto, únicamente cuando se lanzan satélites de seguimiento al espacio, a comienzos de la octava década del siglo XX, comenzamos a tener una cobertura *mundial*. Esta afirmación tampoco es del todo cierta, dado que las áreas polares se incorporaron años más tarde, ni los satélites unificaron la toma de datos, en cuanto que han cambiado de sensor en los pocos años de vida, o han variado de algoritmo de cálculo, pues se necesita convertir la reflectancia en temperatura, a efectos de compatibilidad con los datos terrestres.

Pero volvamos a la fuente principal de datos el GHCN. Existen dos versiones de los datos, pues la

actual, la número 2, sustituyó a la primera en 2001. Cuando se comparan ambas se observa que los datos iniciales se han rebajado entre 1880 y 1980, con lo que se realza la subida actual. La número 2 admite que “our approach to adjusting historical data is to make them homogeneous with present-day observations, so that new data points can easily be added to homogeneity-adjusted time series”. No deja de ser sorprendente, por las consecuencias que acarrea, que se tome como referencia el período que con más alta probabilidad ha podido estar afectado por la huella humana. Es una práctica que contradice los modos de actuar usuales en la ciencia.

Para obviar la carencia de datos que impediría el trabajo global se recurre a una malla de 5° por 5° de latitud y longitud respectivamente, en la cual se halla la temperatura a partir de los observatorios presentes. Como se comprenderá, la malla es de superficie decreciente hacia los Polos, donde el trapecio se convierte en triángulo en la esfera. Cuando se hace cartografía de estas latitudes altas se suele distorsionar la realidad hasta el punto de que no son infrecuentes las representaciones del Polo (un punto singular de la esfera terráquea y, por lo tanto, adimensional) con la misma longitud que el Ecuador, que alcanza unos 40.000 kilómetros de desarrollo. Y no entramos en la falta de precisión en cuanto que por “Polos” se da a entender muy imprecisamente las regiones polares o el casquete polar (con una superficie de algo más de 21 millones de kilómetros cuadrados, esto es, 2,1 Europas), una superficie en la que apenas se registran datos en superficie. En concreto, el observatorio más próximo al casquete antártico, con datos desde 1903, y por tanto útiles para un trabajo de cambio climático, es la base militar argentina de las Islas Orcadas del Sur. En la Antártida continental los registros se efectúan desde 1958, a raíz de la declaración del Año Geofísico Internacional. Por cierto: allí los datos obtenidos (que no alcanzan los tres períodos de treinta años necesarios para estudios de cambio climático) muestran un claro y continuado descenso de temperaturas, salvo en la llamada Península Antártica, donde aumentan.

Pero el cálculo global de la temperatura con la malla también tiene otro inconveniente: los datos medios que arroja, aunque se pidan para un período largo (por ejemplo, 1880 a la actualidad) están basados en las series existentes, muchas de las cuales tienen su comienzo en pleno siglo XX. Además, la inmensa mayoría están basadas en las cuatro últimas décadas (incluida la superficie oceánica, merced a los datos de satélite), por lo que mezclan datos de distinta longitud,



aparentando una subida mayor de la real. Así se construyeron las curvas con aspecto de palo de hockey.

Sí es cierto que en los últimos 40 años se ha producido un incremento notorio de la temperatura media en amplias regiones del Planeta. Sin embargo, también debe comentarse que aumentos similares en la temperatura se han producido en otros momentos de la historia reciente (a mediados del siglo XVIII o en las décadas de los veinte, treinta o cuarenta del pasado siglo), con menos cantidad de CO₂ y niveles de industrialización mucho más bajos. Tampoco debe despreciarse que en estos últimos años es cuando se produce el cambio mundial de los termómetros tradicionales a las estaciones automáticas: el cálculo de la temperatura media diaria ya no se realiza como media de la máxima y la mínima (o a partir de tres o cuatro lecturas diarias) sino a partir de las 144 lecturas (cada 10 minutos). La incorporación de los diferentes organismos a este nuevo proceder depende, entre otros, de los fondos que a ello se destinan, y es previsible que continúe en el futuro inmediato. Al propio tiempo se está reduciendo considerablemente el número de estaciones de medida y, esto también influye en los resultados globales.

¿Por qué se suele argumentar que los datos disponibles sólo son fiables desde 1880 a la actualidad? Esta decisión obvia uno de los períodos cálidos constatados en las estaciones de registro más largo. Así ocurre con la estación holandesa De Bilt, la francesa París, la alemana Berlín, etc., que atenúan e incluso invierten la tendencia de la temperatura desde el siglo XVIII a la actualidad. Ante estos casos, ¿tiene sentido que confiemos más en los datos *proxy*, obtenidos de indicios a partir de otras mediciones, que no de los registrados por los termómetros, por muy rudimentarios que éstos fueran en el pasado?

La labor de depuración de los datos es absolutamente imprescindible. Recordemos el lamentable episodio que el Instituto de Economía ruso sacó a la luz en noviembre pasado⁴ en el que admitía que los datos oficiales termométricos de la antigua URSS estaban disminuidos porque de ellos dependía el combustible suministrado (para las calefacciones), que luego la corrupción se encargaba de convertir en dinero a través de su venta fraudulenta. La URSS tiene una dimensión continental (2,2 Europas) y un peso grande en el cómputo total de la Tierra. Del tratamiento de los datos de series largas se suele obtener la sorprendente conclusión de que los valores actuales no son, en muchos lugares, los más altos registrados, ni las subidas más enérgicas se localizan en el tiempo presente.

Junto al problema planteado de la extensión temporal de las series de temperatura se suma otro, no menos despreciable, que es el de su representación espacial. Es frecuente que los modelos globales de temperatura extrapolen los resultados de un punto (una estación meteorológica, en el caso de las terrestres), a 1.200 kilómetros. Estos resultan muy sensacionalistas en su información visual, pero muestran grandes debilidades de interpretación o incluso se alejan de la realidad. De realizarse de otro modo no se cubrirían grandes zonas de la Tierra (caso de las regiones polares, grandes desiertos subtropicales o gran parte del hemisferio sur), y los resultados obtenidos serían menos rotundos. Con esto se quiere destacar que una sola variable climática, la temperatura, presentada en numerosos foros con una tendencia clara y difícilmente reversible, puede ofrecer interpretaciones dispares según los datos seleccionados, el tipo de tratamiento realizado o la forma de representarlos. Si ampliáramos el estudio del clima al segundo parámetro, la precipitación, los conocimientos actuales, predicciones o modelos al respecto son mucho más imprecisos. Por último, ¿qué agudeza se tiene en los pronósticos de otras variables o formas de estudiar el clima: nubosidad, evaporación, albedo, tipos de tiempo, etc.?

Por nuestra parte existen grandes dudas de que el cambio observado en las temperaturas durante los últimos 40 años no sea reversible, pues no puede considerarse invariable la radiación solar, motor principal de la distribución de climas de la Tierra. Tampoco conocemos con precisión el importante papel de los océanos, con superficie y volumen con gran inercia térmica y ciclos poco precisos en la actualidad. De ahí la dificultad en predecir la intensidad o duración de los fenómenos ENOS (El Niño - Oscilación Sur), NAO (Oscilación del Atlántico Norte), OA (Oscilación Ártica), entre otros, que tanta vinculación presentan con el tiempo y el clima.

Quizás deberían enfocarse los problemas producidos por el hombre sobre el sistema terrestre sin el amparo de una amenaza climática global, pues es evidente que notables alteraciones en el medio con frecuencia incrementan los ya de por sí recurrentes riesgos climáticos. Algunos problemas son:

- Cambios en los ciclos y calidades del agua, superficial (captación del agua de los ríos, desvíos de cauces, canalizaciones, contaminación de sus aguas, sellado u obstrucción de parte del curso y un largo etc.) y subterránea (sobreexplotación, salinización, contaminación, etc.).
- Demanda creciente de agua muy por encima de los



recursos pluviométricos disponibles, lo que conduce al incremento de las carencias de agua para usos agrícola, urbano o industrial, que no de las sequías meteorológicas (que llueva menos o cambie su frecuencia o intensidad).

- Contaminación de la atmósfera con gases que le son ajenos (hidrocarburos, compuestos nitrogenados, con azufre, cloro, etc.), e incremento de otros gases no contaminantes que pudieran cambiar su composición (CO₂, principalmente). El gran desconocido es el vapor de agua, muy difícil de modelizar.

nuevo un no, aunque sí profundas dudas. Porque, a pesar de las incertidumbres, incluso en el caso de que no se registrase un cambio climático estadísticamente significativo, no se podría negar que el hombre estuviera afectando al clima, en el supuesto de que la tendencia natural del clima provocase una bajada de las temperaturas, a la que se sobreimpusiera un alza atribuible al ser humano. Pero, también, resulta más sencillo argumentar que, a falta de respuesta térmica positiva, ésta simplemente no existe: es la aplicación del principio de la navaja de Ockham.

¿Negación del cambio climático antropoinducido? De



- 1 Liu B, Henderson M, Zhang Y, Xu M. (2010). Spatiotemporal change in China's climatic growing season: 1955–2000. *Journal of climatic change*, 99: 1-2
- 2 Sajjad SH, Hussain B, Ahmed Khan M, Raza A, Zaman B, Ijaz A. (2009). On rising temperature trends of Karachi in Pakistan. *Journal of climatic change*, 96, 4: 539-547
- 3 <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>
- 4 <http://spanish.larouchepac.com/news/2009/12/19/investigadores-rusos-desenmascaran-el-fraude-clim-tico-de-lo.html>

Con espíritu crítico y constructivo,
desde la diversidad, como amalgama de profesionales
de todos los estamentos y disciplinas científicas,

¡Luchamos por conseguir el progreso del sistema español de I+D!



Tu opinión es importante

¡Hazte de la AACTE!

Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España. <http://www.aacte.es>