

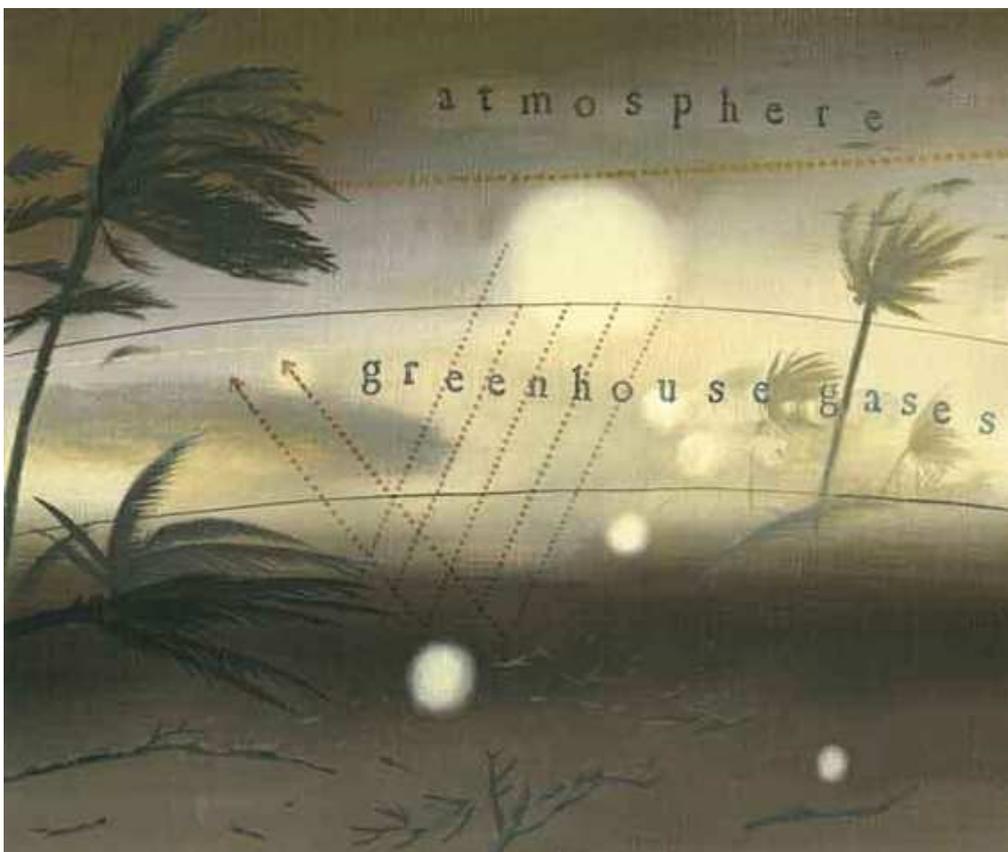
El cambio y los cambios climáticos*

Jordi Mazón Bueso

Departament de Física Aplicada –Universitat Politècnica de Catalunya

Jordi.mazon@upc.edu

El clima ha cambiado notablemente en los últimos tres mil años, hecho que ha transformado las formas de vida de los seres vivos. Pero, como afirma Jordi Mazón en este repaso histórico, probablemente el último siglo haya sido por primera vez el escenario de un cambio climático inducido por el ser humano.



Manuel Monroy

Conocido es por todos que el clima del planeta ha cambiado en las últimas décadas y que continuará así en las próximas, tendiendo hacia un calentamiento global. Los medios de comunicación, grupos ecologistas y científicos hace años que anuncian las causas de este calentamiento, así como sus consecuencias sobre el medio ambiente, la economía global y local y la sociedad en general. Todos ellos atribuyen como responsable de este cambio climático, sin dudarlo, a determinadas actividades antropogénicas, principalmente al masivo consumo de combustibles fósiles y la emisión a la atmósfera de gases como el dióxido de carbono o el metano. Si bien es cierto que hasta hace pocos años existían algunas dudas sobre la causa de este cambio del clima, el

* En la publicación original, el presente artículo apareció bajo el título “El cambio y los cambios”.

último informe del grupo de que conforman el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (en inglés IPCC), bajo el auspicio de las Naciones Unidas, no ha dejado prácticamente dudas sobre el origen del cambio: en un 95% es el ser humano el causante de este cambio climático. En el cuarto informe del IPCC, presentado este 2007, con más datos y por tanto con más fiabilidad, se afirma lo que se intuía hace unos años: el cambio climático es un grave problema ambiental, económico y social que cambiará la forma de vivir de las sociedades del planeta.

La ciencia no se basa en dogmas de fe, en sentencias inalterables, sino en el método científico, según el cual, a partir de hipótesis de partida y a base de la investigación con datos fiables, se construye una teoría o una explicación de los diferentes fenómenos del ámbito de estudio. Esta es la razón por la que no hace ni una década existía un sector relativamente amplio de científicos –algunos, sea dicho de paso, subvencionados por empresas petroleras– que cuestionaba el origen antrópico del cambio climático y que los gases que se emiten en la combustión de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) fueran realmente los causantes del cambio climático. ¿Realmente puede el ser humano modificar el clima del planeta de forma tan drástica como parece? ¿Son realmente los gases emitidos por la actividad antropogénica los responsables de este cambio climático? Lo cierto es que los argumentos a favor de estas dudas eran muy fuertes. El clima del planeta nunca ha sido estable, el cambio de clima ha sido la tónica dominante desde siempre. Algunas épocas, estos cambios han provocado glaciaciones, mientras que otras, periodos interglaciares, con climas más cálidos. En estos periodos interglaciares ha aparecido el ser humano y la diversidad de climas existentes. Los escépticos del cambio climático de origen antrópico argumentan que en estos periodos interglaciares el clima nunca ha permanecido estable, que ha existido una marcada variabilidad natural del clima sin que la actividad antropogénica pudiera ser la responsable. La razón estriba en la variación de la energía procedente del sol, consecuencia sobre todo de unos ciclos en la actividad solar. Si repasamos de forma rápida la historia de los últimos 3.000 años, nos daremos cuenta de que el clima ha ido cambiando antes que el ser humano quemara combustibles fósiles. Antes de seguir conviene advertir, sin embargo, que tanto si el origen del cambio climático es de origen antrópico (como parece que ser en un 95% de fiabilidad) o de origen natural, el ritmo de vida y de consumo de recursos naturales por el ser humano es insostenible, de modo que conviene buscar fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio, y moderar el consumo de bienes innecesarios que son fuente de contaminación en el proceso de elaboración y transporte.

El pequeño óptico climático

Así pues, hace unos 3.000 años, en un periodo denominado subatlántico, la tónica climática era de un enfriamiento global, tras una época de más de 3.000 años (o sea, hace 6.000 años) de calentamiento global, el periodo Atlántico, en el cual apareció el clima mediterráneo, el desierto del Sáhara y el popular anticiclón de las Azores; según muchos autores, esta época cálida es la responsable de la aparición de la cultura egipcia. Este enfriamiento del periodo subatlántico de hace 3.000 años provocó que los glaciares alpinos se extendieran, siendo máxima esta extensión entre el 900 y 350 a.C. A partir de esta fecha empiezan a retroceder, como consecuencia de un nuevo aumento de la temperatura, lo que permitirá a Aníbal y sus elefantes en el siglo III a.C. atravesar los Alpes camino de Roma. A partir del año 250 a.C., y hasta el siglo XIII de nuestra era, el

clima planetario vuelve a hacerse más cálido. Las temperaturas aumentan, y entre los siglos VIII y XIII se habla del *pequeño óptimo climático de la Edad Media*. El casquete Ártico se desplaza hacia el norte, hecho que favorecerá que los vikingos lleguen hasta Groelandia (Greenland, ¡País Verde!), y se establezcan colonias estables, con la posibilidad de realizar hasta dos cosechas anuales. En Europa, las plantaciones de vid se desplazan hasta 5° de latitud respecto a las actuales. En el sur de Inglaterra se cultivaba la vid, un vegetal de clima eminentemente mediterráneo. En los Pirineos catalanes más orientales también se llegó a cultivar este vegetal, y a elaborar vino, cosa sorprendente e imposible en la actualidad. Se explotan minas de oro en los Alpes, como la de Höhe Tauern, situada a gran altitud. Ésta tendrá que ser abandonada a partir del siglo XIII, como consecuencia del inicio de una época de adversidad meteorológica, lo que significó las puertas de un nuevo cambio en el clima planetario.

La Pequeña edad de hielo

Efectivamente, el periodo comprendido entre los siglos XIV hasta mediados del XIX se denomina como la *pequeña edad de hielo*. Las temperaturas comienzan una importante disminución, se estima que de hasta 3 °C en promedio. El año 1340, la ruta vikinga entre Islandia y Groelandia se tiene que modificar por el incremento de la adversidad meteorológica i el avance del hielo polar. En 1347 se abandona definitivamente la ruta comercial por la imposibilidad de navegar. En la Europa septentrional, el hambre y el desorden social son acusados. Entre los años 1314 y 1317 los inviernos son muy duros, los veranos cortos y las cosechas prácticamente nulas. Está documentado cómo bandas de lobos hambrientos atraviesan el Báltico helado entre Noruega y Dinamarca. En diversas ocasiones se hiela el Támesis y el Ródano. En 1348 aparece la peste negra, que mata a una tercera parte de la población europea. Esta epidemia se produce como consecuencia de veranos muy húmedos y suaves, puesto que la pulga portadora de la enfermedad vive con humedades del 90% y temperaturas de entre 15 y 20 °C. Es decir, veranos húmedos y poco cálidos. Los glaciares alpinos se extienden, y las granjas y explotaciones agrícolas se abandonan ante la imposibilidad de hacer frente al avance de las lenguas de hielo. Entre el 1570 y 1574, los inviernos son muy fríos en Europa, y los veranos casi inexistentes y lluviosos. El 12 de diciembre de 1507 se hiela el Ebro a su paso por Tortosa, y el año 1617, conocido en Cataluña como *l'any de lo diluvi*, se vuelve a helar el Ebro, y en los años próximos hasta siete veces. Durante el siglo XVI se difunde en el País Valenciano la costumbre de construir pozos de hielo para conservar en verano la carne, bebidas... Esta nieve se comercializa en ciudades como Elche, Alicante, Jijona, Ibi... Estos pozos, catalogados hasta 298, se sitúan a una altura de entre 600 y 1400 metros sobre el nivel del mar, y son un testimonio de la muy diferente situación climática de la zona respecto a la actual.

El periodo comprendido entre el año 1810 y 1819 fue el más frío de la pequeña edad de hielo. El 1816 es conocido como el año sin verano. De este periodo es la derrota rusa de Napoleón. Como se explica en los libros de historia, el intensísimo frío fue el principal adversario de las tropas napoleónicas.

La época actual

A partir del año 1840, la tendencia en la temperatura sufre un cambio. El planeta empieza a calentarse de nuevo. Es en esta época en la que aparecen los registros instrumentales, observadores meteorológicos que diariamente anotan la temperatura, humedad, presión atmosférica y la lluvia, principalmente. Este aumento de la temperatura no es uniforme, sino que se ha realizado en diversas fases. La primera empieza a partir del 1840 y dura hasta el 1940 aproximadamente. Se calcula un incremento en estos años de entre 0.4 y 0.6 °C. Entre el 1940 y el 1975 la temperatura disminuye ligeramente. Adviértase que en este periodo la temperatura disminuye ligeramente a nivel planetario, mientras que las emisiones de CO₂ aumentan de manera incontrolada. Desde el 1975 hasta la actualidad, el incremento de la temperatura es muy acusado, sobre todo a partir de la década de los años noventa y en la presente, donde se concentran los doce años más cálidos desde que existe el ser humano. Este aumento es el que se vincula tradicionalmente con el popular cambio climático antropogénico. Se estima que durante el siglo XX la temperatura ha aumentado unos 0.7 °C.

Causas naturales del cambio climático

Así pues, el clima de nuestro planeta es algo dinámico, que presenta una variabilidad natural, más o menos marcada a lo largo de la historia del planeta. Las causas de esta variabilidad natural son diversas, algunas bien conocidas y estudiadas, mientras que otras son desconocidas.

La cantidad de energía que incide en la tierra procedente del sol es, seguramente, la razón fundamental de los grandes cambios climáticos del planeta. Las épocas glaciales e interglaciales han podido ser explicadas en función de este factor astronómico. El científico serbio Milankovich fue el primero que, a principios del siglo XX, relacionó cambios astronómicos con cambios climáticos, estableciendo tres periodos de tiempo en el que el clima terrestre cambia. Estos cambios astronómicos, relacionados con el movimiento de la tierra respecto a sí misma y el sol, provocan un cambio importante en la cantidad de energía que nos llega, alterando el movimiento de las masas de aire de la atmósfera, las corrientes oceánicas, y así el clima del planeta. Cada 23.000 años, el eje de rotación de la tierra da una vuelta completa alrededor del plano de la eclíptica, aproximadamente el polo norte geográfico, describiendo una figura cónica en un movimiento conocido como de precesión. Es el mismo movimiento que realiza una peonza, y que en el caso de la Tierra, altera cada 23.000 años el balance energético del planeta. El segundo ciclo de Milankovich es el de la excentricidad de la órbita terrestre alrededor del sol. Cada aproximadamente 100.000 años, la órbita terrestre alrededor del sol pasa de ser circular (como en la actualidad) a elíptica, variando la distancia al sol, y así la cantidad de energía que la tierra recibe de éste, alterándose el clima del planeta. El último ciclo se produce cada 41.000 años, y en ese periodo de tiempo la inclinación del eje de rotación terrestre varía. Cuando es elevado, la insolación es elevada, mientras que cuando es bajo, la energía solar es mínima.

Además de los cambios astronómicos, existen factores geológicos que alteran el clima terrestre. La distribución de los continentes, por ejemplo, es uno de ellos. La posición actual de los continentes condiciona que las corrientes oceánicas sean las que son, y que por ejemplo la corriente del Golfo que transporte las cálidas aguas del golfo de México

hacia la Europa occidental y el Atlántico norte, temperando el clima de esta zona, no existiera antes de cerrarse el sismo de Panamá y el clima fuera bien diferente al actual. Las corrientes oceánicas son un elemento clave en el clima del planeta, puesto que transportan a través del agua el elevado calor del aire del ecuador y los trópicos hacia las latitudes más frías, intentando así reequilibrar las diferencias térmicas entre ecuador y polos.

Los volcanes son otro factor determinante en el clima del planeta. La inyección de gases y cenizas en la estratosfera, por encima de los doce kilómetros de altura, pueden permanecer años en ésta, disminuyendo así la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre y alterando el movimiento de las masas de aire en la superficie terrestre, provocando cambios climáticos. Cabe recordar la explosión del volcán Pinatubo (Filipinas), en 1991, que lanzó a la atmósfera toneladas de gases y cenizas, de forma que los siguientes dos años la temperatura del planeta estuvo por debajo de la media. O la del Krakatoa (Indonesia), en 1883, que lanzó las cenizas hasta los ochenta kilómetros de altura. Tres años después de dicha explosión, observatorios de todo el planeta recogían atardeceres y albas rojizos debido a las cenizas persistentes en la atmósfera, y unos veranos frescos.

Causas antrópicas del cambio climático

Desde la mitad del pasado siglo XX, científicos de diferentes países empezaron a advertir que el clima del planeta podría estar cambiando por la acumulación en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero. La emisión masiva de éstos, consecuencia de la quema de combustibles fósiles (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre) es de tal magnitud que la naturaleza no puede asimilarlos, por lo que resta en la atmósfera y refuerzan el llamado efecto invernadero. La radiación que proviene del sol, una vez reflejada en la superficie terrestre, queda atrapada en la atmósfera por una concentración elevada de estos gases, incrementándose así la temperatura del aire y produciéndose un calentamiento global. Desde hace más de ciento cincuenta años, el ser humano viene emitiendo estos gases, de día y de noche, en todos los puntos del planeta, pero sobre todo en el hemisferio norte y en los llamados países ricos. La economía global, nuestra forma de vida, se basa en la obtención de energía mediante la quema de estos combustibles fósiles que emiten muchísimos gases de efecto invernadero. Hay que tener en cuenta, además, que en el último siglo la población mundial se ha incrementado hasta límites insostenibles para el planeta, superando los seis mil millones de personas.

Aún con este panorama, la falta de datos fiables no permitía a la ciencia asegurar el origen de este cambio climático que estamos viviendo. Pero en el ya mencionado cuarto informe del IPCC se asegura que la evolución de la temperatura en el último siglo no se puede explicar contemplando exclusivamente las variaciones de los parámetros naturales (emisión de gases de volcanes, variación de la radiación solar...), pero que sí se consigue dar una explicación al incremento térmico, con mucha fiabilidad, si se consideran las emisiones de gases de efecto invernadero. Contemplando dichas emisiones, los modelos matemáticos permiten reproducir la variación de la temperatura medida en los diferentes observatorios de alrededor del planeta a lo largo del pasado siglo XX.

Queda claro en este informe, pues, que el brusco incremento de la temperatura del aire que estamos viviendo, sobre todo desde la década de los años noventa, sólo se puede razonar si se consideran las emisiones realizadas por el ser humano en su actividad diaria.

... el futuro

El cambio climático es el problema más importante al que la humanidad en su conjunto se ha enfrentado jamás. Ya no se habla de cambio climático, sino de cambio global, puesto que va a afectar además a la economía, a la forma de vida de las diferentes sociedades, a la diversidad biológica del planeta. Las previsiones más optimistas, imposibles de cumplir puesto que implicarían dejar de emitir gases de efecto invernadero hoy mismo, auguran un incremento de la temperatura de 1,5 °C para el 2100, y las más pesimistas, de hasta 6 °C para ese mismo horizonte. Con un incremento térmico de tal magnitud, el hielo de Groenlandia y de buena parte de la Antártica se podrá haber licuado, subiendo el nivel marino hasta seis metros y dejando inundadas las zonas costeras del planeta, donde vive la mayor parte de la población. Los países económicamente ricos, seguramente, podrán prepararse para minimizar los riesgos derivados de la subida marina, pero los países económicamente débiles, donde viven miles de millones de personas, no podrán. Son previsibles movimientos migratorios enormes, los mayores de la historia de la humanidad. Las especies animales y vegetales también migrarán, de norte a sur, y de cotas bajas a altas, desplazando unas a otras, como ya se está observando. Las especies invasoras colonizan nuevas zonas, desplazando a las autóctonas o bien desapareciendo. Hay autores que califican a este proceso como de extinción masiva de muchas especies.

El sistema atmosférico se acabará reequilibrando, y si bien actualmente las zonas anticiclónicas que mantienen una atmósfera estable se sitúan en un cinturón alrededor de la tierra a unos 30° de latitud, tanto norte como sur (que es donde se encuentran los grandes desiertos del planeta), el nuevo equilibrio los sitúa más al norte, así como el cinturón de depresiones (actualmente a unos 60° de latitud), de manera que en la Península Ibérica, a 42° de latitud, a medio camino entre los grandes desiertos de los 30° de latitud y las zonas húmedas de los 60°, es de esperar un aumento del número de días con estabilidad atmosférica por un acercamiento de la influencia de los anticiclones, y un alejamiento de las depresiones. Esto conllevará una disminución de las lluvias, una mayor desertificación y una pérdida de biodiversidad, sin contar los daños económicos en la agricultura, la industria y el turismo.

El informe del IPCC, además de describir el estado actual del cambio climático, advierte que aún se está a tiempo de mitigar los efectos del calentamiento global, pero que hay que actuar rápidamente. Pone como fecha límite el cercano 2015 para reducir las emisiones de gases efecto invernadero. Si somos capaces de disminuirlas, podremos mitigar los efectos del calentamiento, y en unas décadas las generaciones futuras (tal vez hasta la nuestra) podríamos volver a gozar de un clima parecido al de la década de los noventa. Esto significa cambiar el estilo de vida actual, basado en unos recursos naturales ilimitados y en unas fuentes de energía inagotables y no contaminantes, por un modelo ahorrador, de mayor eficiencia energética, que considera la energía como un recurso agotable al que hay que sustituir por energías limpias, respetuosas con el medio. Actualmente, en un año la población mundial consume el combustible fósil que a la

tierra le costó formar como depósito geológico más de un millón de años. Este dato ya da una idea de la insostenibilidad en que se basa nuestra forma de vivir. Consumir en invierno cerezas procedentes del otro punto del planeta, consumir productos fabricados en las antípodas a un precio más económico que el mismo producto fabricado en la industria del municipio tiene un coste ambiental que difícilmente se puede entender desde el punto de vista del cambio climático y que seguramente tendrá que cambiar.

El cambio climático también trae consigo cambios políticos. La tradicional división entre derecha e izquierda se ve alterada por un nuevo concepto ideológico, la sostenibilidad. Toda sociedad se sustenta en tres capitales: el económico, el social y el ambiental. Una política es sostenible siempre que garantice que los tres capitales se mantengan, como mínimo constantes con el paso del tiempo, y que sobre todo uno no crezca a costa de alguno de los otros, como ha sucedido prácticamente desde siempre. Así, el capital económico no puede crecer mientras disminuye el ambiental. Quizá este sea un punto de partida para lograr un verdadero desarrollo sostenible en el planeta.

A menudo me pregunto qué sentirían y pensarían los vikingos de las colonias de Groenlandia cuando, después de generaciones, en unos años el tiempo empeoró y tuvieron que abandonar la isla, pasando de dos cosechas anuales a no poder cultivar nada y a emigrar. O los habitantes del levante español del siglo XVI, que tras generaciones conservando la nieve en pozos de hielo durante el verano, en unos años disminuye su frecuencia y la temperatura estival ya no permite conservarla. Hoy, los habitantes de este planeta se empiezan a preocupar cada día más por los problemas asociados al cambio climático, como lo hicieron los vikingos y los levantinos del siglo XVI. La diferencia estriba en que ellos sufrieron la variabilidad natural del clima, y nosotros estamos inmersos en una variación climática que hemos causado, o incrementado, nosotros mismos. Nos toca a nosotros pues, reconducir la situación y, con nuestra actitud, dejar un clima no peor a las generaciones futuras.