

Una perspectiva cronológica del Cambio Climático.

Trinidad Torres, Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid

Hablar del Cambio Climático es un paradigma de la vulgaridad. De hecho cualquiera es capaz de hablar del mismo, en especial los locutores de televisión que constituyen un punto y aparte en cuanto en cuanto se producen olas de calor, de frío o sequías pertinaces, ya casi no se sacan los santos en rogatorias. La realidad es que el cambio climático es algo más serio y difícilmente perceptible a escala humana. A escala geológica, en la que se manejan los millones de años con soltura e imprecisión, sí se puede hablar del mismo.

Los cambios climáticos importantes han sido gobernados por dos motores gigantesco: la tectónica de placas y la astronomía.

La tectónica de placas propició que distintas placas de corteza continental se separaran tras la rotura de un único megacontinente, para después de atravesar diversas paleolatitudes volverse a unir. Estos fenómenos, acompañados por el levantamiento de grandes y elevados sistemas montañosos hoy erosionados, provocaron, junto con fenómenos astronómicos, fases de enfriamiento y calentamiento sucesivos que conocemos gracias a las pistas que dejó la actividad glacial.

Según las últimas teorías existentes, el inicio de la vida en la Tierra estuvo esencialmente representado por colonias de extrañas criaturas que habitaban la vecindad de fumarolas submarinas profundas (black smokers), donde tenían asegurada una temperatura más o menos soportable, y una fuente energética basada en la química del

azufre. Mientras tanto, colonias de cianobacterias actuaban como sumideros de CO₂, y aportaban oxígeno a la atmósfera.

-Las primeras glaciaciones se sitúan en el Precámbrico, hace algo más de 2.000 millones de años y entre 1000 y 600 millones de años. Posteriormente, ya en el Paleozoico, hay largos períodos glaciares a finales del Ordovícico y, sobre todo, a finales del Carbonífero y del Pérmico. Estos procesos dieron lugar a episodios de extinciones en masa. Grupos de animales y plantas eran sustituidos por otros, en algunos casos más evolucionados, en otros con mejores posibilidades de adaptación al cambio global.

Durante estos tiempos geológicos el mar actuó como sumidero de CO₂, que ahora encontramos “inertizado” como pizarras negras, calizas, carbón y petróleo.

La Glaciación del Carbonífero superior-Pérmico, seguida de un período de creciente aridez, fue el detonante de una gran extinción en masa que acabó con la floreciente vida marina dominante. Entre otros desaparecieron los trilobites, generando la expansión de animales terrestres, anfibios y reptiles, que pasaron a dominar tierra, mar y aire: la era de los “dinosaurios”: el Mesozoico. Después, a lo largo de 180 millones de años, el gran continente único se desgajó en una serie de placas litosféricas menores que, más o menos, coinciden con las áreas continentales actuales. Fue un período cálido, árido, sin desarrollo de casquetes polares durante el cual el secuestro de CO₂ atmosférico fue importante: una parte quedó como restos de organismos encerrados en rocas negras, otra como hidrocarburos líquidos y gaseosos pero, también, se produjo un secuestro masivo al depositarse grandes espesores de rocas calcáreas –calizas, dolomías y margas, en ecosistemas marinos muy productivos. A finales del Mesozoico (66 Ma) se produce una nueva extinción masiva, en parte ligada a un notable deterioro del clima que derivó a aridez creciente, produciendo un notable descenso de la biodiversidad de los reptiles y,

al impacto de un asteroide cerca del Golfo de Méjico (meteorito de Xielub) que modificó radicalmente el clima en toda la Tierra aniquilando buena parte de la vegetación y los dinosaurios que hasta entonces habían sobrevivido. Esta gran catástrofe está registrada en numerosos puntos del planeta (p.e. en Caravaca en Murcia). Una fina línea oscura enriquecida en iridio y con granos de cuarzo rotos de una manera muy específica marca este límite, también reflejado en la total diferencia del contenido en fósiles de las capas rocosas infra y suprayacentes.

Esta extinción en masa dio su oportunidad a los pequeños mamíferos que a partir de entonces (Cenozoico, hace 66 Ma) fueron dominantes, aumentaron de talla y se diversificaron enormemente.

Durante el Cenozoico el clima, al menos en Iberia, fue árido ya que el anticiclón de las Azores, debido a la deriva continental, estaba más o menos en su posición actual, afectándola plenamente. Pero en los últimos millones de años empiezan a interpretarse en Europa y N América el desarrollo de períodos de frío intenso que se denominaron glaciaciones y, siguiendo, la distribución espacial de los depósitos dejados por los glaciares se interpretaron unos cuatro períodos de frío intenso, glaciaciones, alternando con períodos de clima suavizado, interglaciares, durante los cuales los hielos, casquetes polares y glaciares de montaña, se retiraron.

Cuando a principios del siglo Milutin Milankovitch publicó las periodicidades astronómicas que regulaban el calentamiento de la Tierra por el Sol – excentricidad de la órbita, inclinación del eje y precesión – se tuvo, por fin, una base teórica para explicar estos mecanismos de cambio climático gracias a forzamientos astronómicos capaces de acoplarse dando lugar a la expansión de los glaciares. Estas oscilaciones climáticas de gran escala, han sido modernamente afinadas notablemente gracias a estudios isotópicos de sedimentos perforados en fondos marinos de todo el mundo y a sondeos en los hielos

polares (sondeo Vostok). Bien es verdad que estos estudios, pese a su enorme rigor y sofisticación metodológica e instrumental, precisan, a veces, tener la “fe del carbonero” ya que el ruido del registro y las incertidumbres de datación planean sobre las conclusiones obtenidas. Se dispone de curvas isotópicas del oxígeno marino en las que se han identificado varias decenas de episodios alternantes de clima frío y cálido.

Evidentemente estas alternancias climáticas frías tuvieron efectos catastróficos sobre flora y fauna que desaparecieron de amplias zonas, a veces quedaron relegadas a refugios para volver luego a expandirse, aunque resulta difícil imaginar que el casquete ártico se extendiera casi hasta Londres y que la Península Escandinava estuviera cubierta por varios miles de metros de hielo, estando el nivel del mar entre 100 y 150 metros por debajo de su nivel actual. Esta expansión del hielo creó puentes entre Asia y América del Norte, permitiendo el paso de los primeros nativos americanos y en África, donde no hubo glaciario en el Cuaternario, alternancias de períodos pluviales e interpluviales fueron el motor de la evolución humana y su posterior emigración colonizando la Tierra.

¿Qué ocurrió mientras tanto en Iberia? Hasta hace poco tiempo se seguía el modelo “europeo” de períodos glaciares e interglaciares. Al disponer de registros paleoclimáticos que abarcan de forma relativamente continua dos millones de años, la realidad es que se tiene una perspectiva distinta. La Iberia Mediterránea parece haber seguido pautas paleoclimáticas más similares a las de su entorno mediterráneo, p.e. Israel, de manera que en vez de alternancias de períodos fríos (secos) y cálidos más húmedos, los trabajos de la Universidad Politécnica en la zona de Guadix-Baza (Granada), revelan que se dieron alternancias de períodos cálidos y áridos y fríos y húmedos, que han permitido definir una nueva zonación paleoclimática para buena parte de la Península.

El desarrollo de la Biosfera en la Península Ibérica, ha ido derivando hacia un creciente empobrecimiento de la biodiversidad, en especial a lo que a fauna se refiere, de forma que una Iberia de paisaje africano pasó a ser una Iberia menos espectacular. Hace unos miles de años leones y osos de las cavernas, elefantes, rinocerontes, bisontes, hipopótamos, macacos y un largo etcétera de especies campaban por sus respetos en, digamos, Madrid. Sus equivalentes actuales están en el Zoo. Esta pérdida de biodiversidad se inició mucho antes con pérdida de jiráfidos, diversos tipos de grandes felinos, bóvidos etc. Los cambios climáticos y la expansión de los “nuestros” (*Homo sapiens*) a costa de los “otros” (*Homo neanderthalensis*) que eran menos eficientes debió ayudar a inclinar el plato de la balanza.

¿Y el futuro? Bueno, nosotros, los de verdad (*Homo sapiens sapiens*) estamos haciendo todo lo posible por generar, en un tiempo record, una nueva extinción en masa. Se podrá argumentar que ya se han producido varias extinciones en masa a lo largo de la Historia Geológica, es verdad pero **nosotros no estábamos allí y, por el contrario, estamos aquí y ahora.**

Aunque no sea políticamente correcto hablar de la energía nuclear y del destino final de los residuos radiactivos de alta actividad procedentes, entre otras fuentes, de las centrales nucleares, la Unión Europea dentro de los Programas Marco EURATOM, dedicó recursos a la prospectiva del cambio climático, con el fin de asegurar la seguridad de los almacenamientos subterráneos de residuos radiactivos con una perspectiva temporal entre medio y un millón de años. Intervalo temporal que no deja de ser, digamos, un tanto presuntuoso ya que nuestra prehistoria estricta se reduce a unos treinta mil años en números redondos. Y cabría esperar que si GAIA es realmente un “organismo que se auto-organiza”, lo primero que hará será liberarse de su peor plaga: nosotros.

Los primeros modelos prospectivos del clima de Iberia estaban basados en dos premisas: aplicar estrictamente modelos predictivos astronómicos asumiendo que Iberia se comportaría como el norte y centro de Europa. Estos modelos condujeron, básicamente, una nueva glaciación que en zonas del centro de la Península Ibérica se manifestaría con episodios muy fríos con ambiente de tundra y una incisión fluvial muy pronunciada. Estos modelos prospectivos, desde luego, no encajaban bien con datos paleoclimáticos y paleoambientales obtenidos hasta el momento. No se contemplaba el efecto del CO₂ antropogénico.

Posteriormente se obtuvieron modelos predictivos de complejidad media (CLIMBER-GREMLINS) que permitieron modelizar el comportamiento climático futuro teniendo en cuenta el CO₂ antrópico. Sin entrar en profundidad en los resultados, cabe decir que el forzamiento astronómico del clima quedará totalmente superado por el efecto invernadero ligado al CO₂ de origen antrópico, tardándose más de medio millón de años en recuperar un escenario natural. El nivel del mar no descenderá (lo haría más de 100m en caso de un escenario de glaciación), y en lo que a buena parte de Iberia se refiere habría cambios en la temperatura media, menores en las precipitaciones.

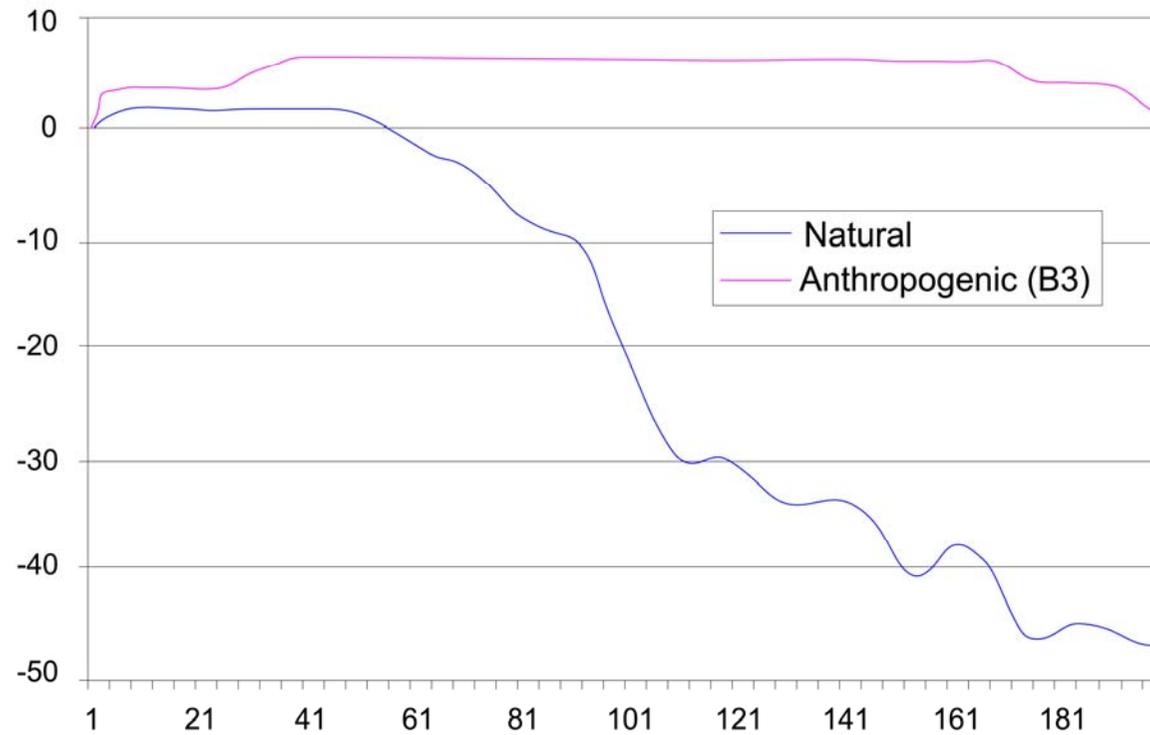
Pese al relativo refinamiento de estos modelos, no hay duda que persisten numerosas incertidumbres globales.

Ya el proyecto Bioclim apunta a la enorme influencia que tendrá la fusión/expansión de los casquetes polares en la estratificación salina de las aguas oceánicas permitiendo en el caso de la Antártida un secuestro/desgasificación del CO₂ retenido en las aguas profundas produciéndose un efecto inverso s.l. en el Hemisferio Norte.

También resulta perturbadora la propuesta de algunos científicos de crear un cierre artificial del Estrecho de Gibraltar, impidiendo que la corriente de salida, más salina y densa, llegue a afectar a la Corriente del Golfo induciendo un enfriamiento de América

del Norte. Es cierto que la salinidad del Mediterráneo ha debido aumentar notablemente gracias a los menores aportes de agua dulce de los grandes ríos que en él desembocan (Ebro, Nilo etc.) y aumentará mas si, a causa del efecto invernadero, disminuye dramáticamente el caudal de agua dulce aportado al mar. No dejaría de ser un desafío ingenieril profundo.

La conclusión de estas breves notas es que subsisten numerosas incertidumbres y una sola certidumbre: el cambio climático se va a producir y lo hará en **tiempo humano** no en tiempo geológico. La lentitud de la mayor parte de los procesos geológicos llevó aparejada la evolución de la Biosfera. Ahora, ya veremos. Es un decir.



Nivel del mar en relación con la altitud actual (en metros) en función de los siglos transcurridos desde fecha actual, según un escenario natural y según el escenario perturbado con el CO₂ antropogénico.(BIOCLIM).

Bibliografía

Modelling Sequential Biosphere Systems under Climate Change for Radioactive Waste Disposal (BIOCLIM). 2003 FIKW-CT-2000-00024

www.andra.fr/boclim/

<http://www.ipcc.ch:80/>

Goodess, C.M., Palutikof, J.P., Davies, T.D. (1992). The nature and causes of climate change. Assessing the long term future. Lewis Publishers, Boca Raton.

Johnson R.G. (1997). Climate change requires a dam at the Strait of Gibraltar. *Eos* 78(27): 277-281.

Muller, R.A., MacDonad, G.J. (2000). Ice ages and astronomical causes. Data, Spectral Analysis and mechanisms. Springer, Chichester.

Parrish J.T. Curtiss J. (1983) Atmospheric circulation, upwelling and organic rich rocks in the Mesozoic and Cenozoic Eras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 40:31-66

Torres T. (2000) El clima del pasado: una perspectiva paleoclimática. En Baladrón L. Ed. El Cambio Climático. El Campo de las Ciencias y las Artes nº 137: 5-25.