

El oceanógrafo y director del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA), Gotzon Basterretxea, y el director de la Estación Biológica de Doñana, el biólogo Eloy Revilla, participaron en la Bienal Ciudad y Ciencia con un coloquio en el que hablaron sobre cambio climático y otros motores del cambio global y esbozaron escenarios posibles para el planeta y para España. El público, que participó de manera muy activa, se convirtió con sus dudas y preguntas en el moderador espontáneo de la conversación.

¿CÓMO PODRÁ ESPAÑA AFRONTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO?

COLOQUIO GOTZON BASTERRETXE | ELOY REVILLA

GOTZON BASTERRETXE

Vivimos en un planeta azul, llamado así porque casi tres cuartas partes son océano, y este influye de una manera determinante en el clima. Como oceanógrafo, puedo aportar mi granito de arena al conocimiento del cambio climático y de sus efectos directos e indirectos.

ELOY REVILLA

Como biólogo de la conservación, trabajo en la interfaz entre conservación de especies, comunidades y ecosistemas amenazados y los motores de cambio global, uno de los cuales es el cambio climático, y dirijo la Estación Biológica de Doñana. Esta incluye la Reserva Biológica de Doñana, que es el origen de ese espacio protegido, donde se hace investigación desde hace sesenta años. Allí se pueden apreciar una serie de cambios, muchos de los cuales están asociados a los efectos del cambio climático y a otros motores de cambio global y también a factores propios del lugar. Es una zona de gran interés, ya que se encuentra entre dos mundos: el Atlántico y el Mediterráneo, Europa y África. El hecho de encontrarse en ese cruce de caminos lo dota de un valor muy importante desde el punto de vista de la biodiversidad.

GOTZON BASTERRETXE

La gente se sigue preguntando si hay cambio climático, quiénes lo generan y por qué se produce. Mi respuesta es muy escueta: sí, lo hay y se debe a la acción humana, como indican desde hace ya tiempo distintas evidencias científicas. Estas son cada vez más claras, gracias a las investigaciones que reconstruyen el clima en el pasado. Para ello se utilizan diferentes técnicas. Una de ellas es extraer testigos de sedimento del océano, en los que se va reconstruyendo el clima a partir de los organismos que permanecen ahí, que están asociados a distintos escenarios climáticos. También se extraen testigos de hielo en las zonas polares. Los gases que contienen las burbujas que quedan atrapadas en estos núcleos de hielo muestran cómo ha ido variando el clima históricamente. Por otro lado, desde la década de 1970 existen satélites que toman mediciones a nivel global, a través de las que se extraen medias de temperaturas del planeta, como los registros de dióxido de carbono.

La señal global de que se está calentando la Tierra y que ese efecto está relacionado con el incremento del dióxido de carbono en la atmósfera es clara. A nivel medio, la evolución del

calentamiento global se predice bastante bien. Sin embargo, surgen muchas más dificultades en las evaluaciones a nivel local o regional. Esto se debe a las incertidumbres que tenemos en determinadas medidas. Gran parte de las cuestiones climáticas que se analizan tienen que ver con modelos, y estos, al reducir la escala, necesitan mucha más potencia, al tiempo que exigen conocer procesos más complicados de entender.

Ya en la década de 1950 los científicos de la compañía petrolera Exxon hicieron una serie de estimaciones sobre el efecto que tendría en la atmósfera la quema y el consumo general de petróleo y predijeron que, si se continuaba a ese mismo ritmo, para 2100 la temperatura se incrementaría entre dos y tres grados. No sé si hay parte de casualidad, pues lo hicieron con medios infinitamente más rudimentarios que los actuales, pero ya se preveía que sería así. Ahora contamos con evidencias mucho más sólidas.

ELOY REVILLA

El mecanismo se conocía muy bien, desde un punto de vista teórico, desde finales del siglo XIX, cuando se publicó en *Nature*. Entonces ya sabíamos que si se añadía CO₂ a la atmósfera, esta se calentaría. A pesar de las incertidumbres que señala Gotzon, lo que sí que sabemos es que el clima de la Tierra ha variado enormemente en los últimos 540 millones de años, que es la serie más larga reconstruida y que se corresponde con la aparición de los primeros organismos complejos. En aquellos primeros millones de años, las temperaturas fluctuaban más de veinte grados. Entonces había catorce grados más de media en el planeta. Probablemente, por el efecto de la vida a lo largo de ese periodo de tiempo, la Tierra se ha ido enfriando. La vida utiliza el CO₂, lo inmoviliza,

La mayor parte del carbono que hemos emitido a la atmósfera desde finales del siglo XIX, con la quema de combustibles fósiles, se esconde en el mar profundo. El océano nos está haciendo de colchón, pero tiene un límite.

ELOY REVILLA

lo mineraliza y pasa al océano, donde acaba convertido en rocas. El efecto de esto provocó que se llegara a un momento de equilibrio del clima. Durante el último millón de años, o algunos millones de años más, este se mueve alrededor de una media, que es la que hemos mantenido hasta hace muy poco.

Como especie, nosotros hemos aparecido evolutivamente y nos hemos adaptado a esas condiciones climáticas, más o menos frías, pero fluctuantes alrededor de ese valor medio. Hace 12.000 años se estabilizó aún más el clima, y en esa media apenas ha fluctuado. Sin embargo, en el último medio siglo nos hemos salido de esa banda de fluctuación hacia arriba. Las consecuencias de ese calentamiento van a afectar directamente a las condiciones que nos han permitido desarrollarnos desde un punto de vista evolutivo, por un lado, y por otro, desde un punto de vista ecológico, social y económico.

GOTZON BASTERRETxea

A nivel general, el calentamiento o el cambio global afectan particularmente a dos cuestiones: el ciclo del carbono —todos los organismos, de alguna manera, somos carbono—, y el ciclo del agua. Nosotros hemos construido una sociedad a partir de una serie de condiciones relativamente estables. Lo preocupante es que estos cambios influyen también en cómo estructuramos nuestras sociedades y en cuestiones de desigualdad económica entre los distintos países. Las sociedades más ricas y tecnificadas están más preparadas para hacer frente a estos condicionantes, mientras que las más pobres o en desarrollo los sufrirán más, ya que tienen una mayor dependencia de la agricultura y, por lo tanto, del agua.

También es preocupante la subida de la temperatura en los océanos, donde el aumento de un grado supone una cantidad de calor inmensa. En cualquier caso, lo que más nos afecta en la actualidad son las anomalías climáticas, y ese es uno de los campos de investigación más importantes en este momento.

Un ejemplo de éxito respecto a las políticas impulsadas por la concienciación ciudadana es el abandono del carbón para determinadas fuentes de energía.

GOTZON BASTERRETxea

ELOY REVILLA

La mayor parte del carbono que hemos emitido a la atmósfera desde finales del siglo XIX, con la quema de combustibles fósiles, ya no está en la atmósfera, sino que se esconde en el mar profundo. El océano nos está haciendo de colchón, pero tiene un límite.

GOTZON BASTERRETxea

El CO₂ de la atmósfera se equilibra con el de los océanos. Como el CO₂ es reactivo con el agua, al entrar en el océano sufre una serie de reacciones que provocan un cambio en el pH, lo que está acidificando los océanos. Estos tienen maneras de defenderse, pero esos cambios del pH afectan a una gran cantidad de organismos, sobre todo a aquellos que forman conchas, pues tienen que calcificar, y también a las zonas de arrecifes de coral; la acidificación tiende incluso a disolver los sistemas de roca caliza. En la historia de la Tierra, cuando se acidificaba demasiado el océano, la disolución de determinadas rocas carbonatadas, incluso de corales, aumentaba la alcalinidad y equilibraba el pH. Uno de los mayores problemas de la actualidad es que el cambio climático ocurre a una velocidad tan rápida que no da tiempo a que se produzcan esos procesos. El océano fue mucho más ácido de lo que es ahora y se volvió a equilibrar, pero tuvieron que pasar 100.000 años. Salvo el impacto de algún meteorito, que cambió



el clima durante un tiempo, el resto de los cambios, los llamados ciclos astronómicos o de Milankovitch, que son los que provocan periodos glaciares e interglaciares, han sucedido a unos ritmos relativamente lentos que han permitido no solo que la química se organice, sino que los organismos se adapten. Sin embargo, la velocidad de este cambio climático está produciendo un desacople entre el ritmo del cambio climático y el de adaptación de estos procesos químicos.

PREGUNTA DEL PÚBLICO

¿Cómo de crítica es la participación de cada uno de los ciudadanos en mitigar este cambio climático? ¿La concienciación de la ciudadanía es en verdad necesaria? ¿Sirve de algo que nos impliquemos haciendo pequeños cambios en nuestro día a día o, hagamos lo que hagamos, no conseguiremos nada?

ELOY REVILLA

Es una pregunta muy importante y difícil de contestar, porque tiene múltiples niveles. Hubiera sido mucho mejor haber empezado a actuar hace cincuenta años, pero ahora no debemos esperar otros veinte. Tenemos combustibles fósiles para quemar carbón otros 150 años más, petróleo y gas, otros cincuenta. Sin embargo, no podemos permitirnos emitir todo ese CO₂ a la atmósfera porque dispararíamos la temperatura en siete u ocho grados, y somos 8.000 millones de personas que dependemos de unas condiciones ambientales para producir nuestra comida. Todas las cadenas de suministro están muy tensionadas. Una guerra en

un país provoca una subida global en el precio de los alimentos, debido a que esa producción se sale de la cadena de suministro.

Por otra parte, la diferencia del consumo de energía entre un habitante de la India y otro de Estados Unidos es un orden de magnitud: cada estadounidense consume la misma energía que diez indios. Deberíamos intentar parecerlos cada vez más a los habitantes de la India que a los de Estados Unidos. Lógicamente, los indios van a seguir aumentando su consumo de energía, pero es fundamental que nosotros reduzcamos el nuestro. Es muy importante que seamos conscientes de ello, porque los combustibles fósiles tienen una disponibilidad limitada y los cambios ambientales nos van a obligar a cambiar. Ese cambio debería hacerse de forma organizada y se debería informar a la gente ahora de lo que está por venir y no *a posteriori*, cuando lo tengamos que lamentar.

GOTZON BASTERRETXEA

Debemos tener en cuenta dos cuestiones. La primera es que ya hay un exceso de CO₂ en la atmósfera; es decir, aunque no generáramos más, ya nos hemos pasado. En distintos países se están investigando métodos para reducirlo.

La segunda cuestión es más difícil de contestar, pues trata sobre lo que hacemos cada uno de nosotros. Su complejidad radica en que, aunque las personas pueden actuar individualmente con pequeñas acciones en favor del clima, la responsabilidad no debe recaer sobre ellas. Recientemente, a raíz de la pandemia, se realizó un experimento global sobre qué ocurre si no viajamos. El resultado obtenido fue que durante la pandemia se produjo una reducción del valor de emisión de CO₂ del 7%, lo que significa que la industria, cuya actividad no disminuyó de manera tan significativa, es responsable de una gran proporción del CO₂ emitido. Aunque eso no nos exime de responsabilidad a los ciudadanos, que seguimos haciendo girar la rueda, en ocasiones no nos queda otra opción. Por ejemplo, no podemos elegir de dónde procede la electricidad que consumimos, pues depende de la decisión estratégica de determinadas empresas. Ahora bien, sí podemos influir en las políticas con nuestro voto, también con la concienciación. Un ejemplo de éxito de las políticas impulsadas por la concienciación ciudadana es el abandono del carbón para determinadas fuentes de energía. Los ciudadanos podemos hacer cosas, pero este es un fenómeno global que afecta al funcionamiento de la sociedad y a cuáles son nuestras fuentes de energía. De ahí que, más que sobre los ciudadanos, la responsabilidad recae sobre las grandes compañías y, en última instancia, sobre los Estados y sus políticas energéticas.

PREGUNTA DEL PÚBLICO

¿Podemos entender que el CO₂ es un indicador del crecimiento económico y social?

ELOY REVILLA

Desde finales del siglo XIX, sí lo es.

PREGUNTA DEL PÚBLICO

Da la impresión que la cuestión climática va por un camino y la económica por otro. Sin embargo, parece que hay una confluencia absoluta.

ELOY REVILLA

Van de la mano. La asunción de que para que la economía funcione debe crecer indefectiblemente es una mentira *de facto*, pues no cumple las leyes básicas de la física, de la química ni de la biología. Es necesario reescribir esa base teórica falsa de la economía, ya que en algún momento la población humana va a dejar de crecer, lo cual es bueno. También lo es aquí, en España, por mucho que las noticias nos digan lo contrario.



Hemos de cambiar el modelo económico actual. El capitalismo se construye a partir del principio de que nuestro objetivo debe ser la acumulación de capital, pero esto significa secuestrar recursos y energía a futuro. Sin embargo, estos son limitados y en algún momento este sistema económico dejará de funcionar correctamente, ya que no todo el mundo podrá acceder al secuestro de recursos para acumular dinero, que es lo que está ocurriendo. La inequidad, el desequilibrio en cantidad de recursos al que pueden acceder las personas es muy grande y cada vez más intenso. De ahí que llegará un momento en que no habrá qué repartir. Ya nos pasa con la superficie agrícola del planeta: no queda mucha más por explorar. El incremento de la productividad agrícola actual se debe a la industrialización de la agricultura y al uso de fertilizantes químicos, que dependen básicamente del gas. Tenemos gas para otros cincuenta años, y lo estamos usando para muchas más cosas que la agricultura; entre otras, para producir electricidad. La mitad de la población del planeta, es decir 4.000 millones de personas, depende de fertilizantes químicos para comer. De ahí que no haga falta decir que existen probabilidades de que, en los próximos años, ocurra algo al respecto. No se va a producir una catástrofe de un instante para otro. Se trata de cambios regionales que van a ir produciéndose en el tiempo, que iremos experimentando y cuyos efectos se irán acumulando. No nos quedará más remedio que acostumbrarnos a las nuevas condiciones.

España está situada en un lugar muy interesante, en esa interfaz entre la zona subtropical y otra norteña, en la que se mueve la corriente de chorro, donde puede llover mucho o nada, con lo que nos desertizaríamos, que es lo que nos muestran los modelos de predicción de cambio climático. Ahora en Doñana tenemos un gran problema con el agua, debido a un mal uso, pero también a una disminución de la disponibilidad. La definición de sequía es la disminución de la disponibilidad de agua, tanto para los sistemas naturales como para los humanos. En España nos dirigimos hacia ese escenario, lo que tendrá numerosas consecuencias.

GOTZON BASTERRETXEA

Como ya hemos comentado, más que las tendencias climáticas, lo que percibimos los ciudadanos son los cambios en la variabilidad climática a corto plazo. Sufrimos las sequías y lluvias torrenciales, olas de calor, etc. El ritmo del cambio climático también varía regionalmente. Por ejemplo, los polos son una de las zonas que más rápidamente se están calentando; particularmente, el Ártico. En esta región, parte de la radiación solar que volvía al espacio al ser reflejada por el hielo es ahora absorbida por el océano, que se está calentando muy rápido. Hay otra serie de fenómenos que, al igual que en este caso, se retroalimentan. Es lo que en inglés se denomina *tipping points* [punto crítico o de inflexión]. Por ejemplo, sabemos que si superamos los 2,5 grados de aumento de temperatura, las áreas de permafrost, que se encuentran en las zonas más árticas, liberarán una cantidad de metano muy elevada, lo que producirá un salto significativo en las tendencias de calentamiento global. El calentamiento también está influyendo en la inestabilización de la corriente de chorro, ya que las diferencias de temperatura atmosféricas entre las zonas polares y las regiones templadas no son tan altas como solían serlo. Esa es una de las causas por la que se espera que las olas de calor o de frío se incrementen

Los ciclos que provocan periodos glaciares e interglaciares han sucedido a unos ritmos relativamente lentos que han permitido no solo que la química se organice, sino que los organismos se adapten. Sin embargo, la velocidad de este cambio climático está produciendo un desacople entre el ritmo del cambio climático y el de adaptación de los procesos químicos.

GOTZON BASTERRETXEA

GOTZON BASTERRETXEA

En cuanto a los organismos, muchos animales y plantas tienen plasticidad, es decir, poseen una cierta adaptabilidad a las condiciones variantes. Sin embargo, cuando dichas condiciones se estancan durante mucho tiempo, se puede producir la desaparición de determinadas especies y esos nichos los ocupan otros organismos. Los ecosistemas se estructurarán en respuesta a esas variaciones climáticas y adaptaciones.

ELOY REVILLA

La aridificación del clima y de la vegetación está moviéndose muchos kilómetros al año en la Península ibérica, y lo hace a gran velocidad.

PREGUNTA DEL PÚBLICO

¿Qué más cambios podemos esperar en la costa española?

GOTZON BASTERRETXEA

El Mediterráneo posee unas características muy determinadas. Es un mar marginal, que no está abierto al resto del océano, excepto por el estrecho de Gibraltar. Además, no tiene una gran variación latitudinal. Esto supone que los organismos que lo pueblan, según se van calentando las aguas, no pueden migrar hacia el norte en busca de zonas más frías. Las consecuencias son la desaparición de determinados organismos y la tropicalización general del Mediterráneo. Esto es un aspecto general respecto a la distribución de los ecosistemas marinos. Es más difícil prever lo que sucederá con especies determinadas, ya que los sistemas naturales son complejos en sí mismos y no dependen de la adaptabilidad de determinadas poblaciones, sino de cómo interaccionen estas con el resto de componentes de las redes tróficas. Por ello, es complicado predecir cómo serán los ecosistemas del futuro. Si tenemos constancia de ciertas tendencias. Por ejemplo, en el océano, el plancton será más pequeño a causa de la mayor limitación de nutrientes disponibles, lo que lo empobrecerá. Por otro lado, el nivel del mar en estos momentos está subiendo a un ritmo medio de 1,5 o dos milímetros por año. Eso supone que, para finales de este siglo, el océano habrá subido de nivel entre un metro y 1,5 metros, en función de la rapidez con que se vayan deshelando los polos. Por otro lado, los grandes glaciares se van deshaciendo a causa del aumento de temperatura. Bajo el hielo de Groenlandia corren grandes ríos que desembocan en el mar, lo que está cambiando su salinidad. Las consecuencias de estos cambios son aún difíciles de evaluar. La subida del nivel del mar es un proceso muy lento y progresivo, que afectará a las zonas más bajas, a las marismas, etc. El proceso de acidificación del océano afectará a la mayor

en el futuro. En la Península ibérica no sabemos qué magnitudes alcanzaremos, pero sí prevemos que los episodios extremos serán más frecuentes.

ELOY REVILLA

Pero no podrá hacer más calor que el de Sevilla en verano, que se encuentra muy cerca de los récords absolutos observados en el planeta. Lo que sí ocurrirá es que se verá afectada una superficie de la península mayor y durante mucho más tiempo. Y ese es el problema: la cantidad de tiempo.



parte de organismos que generen conchas calcáreas. Esto no quiere decir que todos los organismos con concha desaparezcan. Algunos tienen capacidad de hacer frente a esos cambios.

El hecho de que se caliente más el océano tiene mucha relación con la atmósfera. Ese calentamiento suele producir que el océano en otoño aún acumule mucha energía que se disipa mediante fenómenos de tormenta. Es probable que los fenómenos conocidos como gota fría se intensifiquen. No quiero dar una visión apocalíptica. Como ha dicho Eloy, son procesos lentos a los que nos iremos adaptando. La cuestión es si somos o no proactivos frente a estos cambios.

ELOY REVILLA

Respecto a los efectos en tierra, con más temperatura hay menos agua disponible y más evapotranspiración, y eso es problemático. También ha cambiado el patrón de lluvia. Como ya estamos detectando, llueve menos y distinto. En la Península ibérica está lloviendo menos en primavera y en otoño, que es el patrón de lluvia típico de las zonas mediterráneas, y más en invierno. Eso afecta directamente a la vegetación natural y a la agricultura y, por lo tanto, al sistema de producción de alimentos.

Ha disminuido también la cantidad de agua que sale por los ríos, lo que es crítico para el mantenimiento tanto de los ríos como de las fuentes de agua de las que dependemos, no solamente las asociadas a infraestructuras, sino también a los acuíferos. Si no llueve, no hay agua en los embalses, por muchos que construyamos, y no se recargan los acuíferos, a los que estamos sobreexplotando, porque continúa creciendo la superficie de regadío en España y la demanda sigue en aumento. Una de las áreas que se verán más afectadas en los próximos años es la producción de alimentos, por lo que debemos esperar una fluctuación de los precios; esto es un patrón general, no solo para España.

Por otro lado, la mayor temperatura en verano afectará también al turismo costero, que va a perder playas al salir menos sedimento de los ríos, que es lo que forma las playas; sale menos agua de los ríos debido a que tenemos muchas infraestructuras que lo impiden.

Nuestra vida diaria necesariamente va a cambiar. En Sevilla, donde vivo, a mediodía en verano, solo hay turistas por la calle.

En la ola de calor de 2003 en Europa, que fue muy intensa y muy larga, murió mucha menos gente en España que en otros países, a pesar de que aquí hacía más calor. La diferencia es que en países como Francia, cuando hace mucho calor, la gente abre las ventanas y deja que corra el aire, mientras que en Sevilla la gente cierra todo y se queda quieta. Esos cambios de comportamiento son fundamentales: climatizar y aislar las casas, pero también tendremos que cambiar nuestra forma de vivir en el día a día.

Lo mismo ocurre con el transporte. La producción de energía se verá muy afectada. La hidráulica, que es una de las fuentes de producción energética más importantes, se va a ver limitada; lo mismo ocurrirá con la nuclear, que depende del agua para la refrigeración de los reactores, al igual que la solar, porque depende del agua para limpiar los paneles... Tendremos que priorizar la demanda de agua: ¿a qué damos prioridad, al cultivo de remolacha, al de maíz, al suministro urbano?

GOTZON BASTERRETXEA

Tenemos que pensar que la ciencia y el desarrollo tecnológico aportarán nuevas soluciones que ahora no podemos prever. Se crearán nuevas tecnologías para aprovechar mejor el sol, aparecerán nuevas fuentes de energía más eficientes y es previsible que palien o mitiguen algunos de esos efectos. Eso no nos debe relajar a la hora de afrontar el cambio climático, pero tampoco podemos pensar que la foto fija que tenemos ahora se va a reproducir en el tiempo. Las cosas cambiarán.

ELOY REVILLA

Yo soy más pesimista, porque la velocidad de incremento de demanda de la sociedad humana a nivel global es mucho más rápida que la capacidad de implementar y aplicar nuevas tecnologías, y los efectos ya están aquí. Doñana es un muy buen ejemplo, estamos sufriendo un montón de cambios, pasando *tipping points*. Este año se nos han muerto muchos de los grandes alcornos centenarios, porque el nivel freático ha bajado tanto que han perdido el contacto con el agua. Es un ejemplo de los cambios producidos por el cambio climático y por el exceso de demanda de la sociedad humana.