

COV: ¿Rebelión contra el cambio climático?

José Antonio Bustelo Lutzardo

Resumen: Al contrario de lo que puede pensarse, la atmósfera terrestre primitiva no era tan propicia para albergar vida. Las bacterias pobladoras de la joven Tierra desarrollaron innovaciones biotecnológicas sin precedentes que la convirtieron en una anomalía planetaria, sentando los cimientos de la futura diversidad biológica. Los COV (compuestos orgánicos volátiles) emitidos por la vegetación terrestre y el fitoplancton podrían dar un vuelco imprevisible al cambio climático que vivimos en la actualidad.

Palabras clave: COV, cambio climático, vida, contaminación, isopreno.

Abstract: The primitive atmosphere of our planet was not adequate enough for life, as one would initially think. Bacteria of the young Earth developed unprecedented biotechnological innovations which gave rise to an anomalous planet, establishing the basis for future biological diversity. VOC (volatile organic compounds) emitted by plants and phytoplankton could be responsible for unpredictable climate changes.

Keywords: VOC, climate change, life, pollution, isoprene.

Introducción

Si seres extraterrestres quisieran cerciorarse de la existencia de vida en la Tierra, no necesitarían aterrizar en nuestro suelo. Bastaría con que analizaran nuestra atmósfera. De manera inmediata se percatarían de que somos una anomalía planetaria rodeada de gases imposibles de explicar con la mera acción de las leyes de la química. Todas las reacciones habrían tenido lugar mucho tiempo atrás, provocando una atmósfera inerte, en equilibrio, sin cambio alguno en su composición durante los siguientes miles de millones de años.

Aunque resulte lógico pensar que la vida surgió en la Tierra porque las condiciones que albergaba eran propicias para ello, la realidad no fue esa. La atmósfera primigenia de nuestro planeta era muy distinta de la actual y hostil hasta un nivel insospechado. Hace 4.000 millones de años, las condiciones de la Tierra eran muy similares a las de su planeta gemelo, Venus,¹ de un tamaño similar al terrestre y a una distancia del Sol ligeramente inferior (Tabla 1). El denso y ardiente aire de ambos astros estaba compuesto casi en su totalidad por dióxido de carbono, provocando un brutal efecto invernadero que elevaba las temperaturas medias a 470 °C en Venus, y a 290 °C en el caso de la Tierra. Con el calor reinante, el agua sólo podía encontrarse en forma de vapor. Las cantidades de nitrógeno atmosférico eran muy bajas, y el oxígeno prácticamente inexistente. La

ausencia de este último hace surgir la paradoja de que, a pesar de tratarse de un planeta hirviente, no puede originarse incendio alguno. Lo sorprendente es que el ambiente venusino continúa siendo el mismo en la actualidad, mientras que en el terrestre no existe el más mínimo parecido con ese pasado remoto. ¿Por qué divergieron los caminos de estos planetas vecinos?

Tabla 1. Datos comparativos del planeta Venus con la Tierra antes y después de la aparición de la vida.

	Venus	Tierra (sin vida)	Tierra (con vida)
Distancia media del Sol (millones de km)	108	150	150
Temperatura media (°C)	470	290	15
Agua (m) ^a	0,003	0,01	3.000
CO ₂ , atmósfera (%)	98	98	0,03
N ₂ , atmósfera (%)	1,7	1,9	78
O ₂ , atmósfera (%)	Trazas	Trazas	21

^a Profundidad en metros si la totalidad del agua del planeta se encontrara en estado líquido.

Logros de la ingeniería bacteriana

Si la evolución propugnada por Darwin relaciona a todas las especies del planeta en el tiempo, la atmósfera relaciona a todos los seres vivos en el espacio, en tanto que es originada y regulada por la vida, que ha sido la encargada de esculpir el destino de nuestro planeta desde épocas muy tempranas, convirtiéndolo en un lugar único dentro de las fronteras cósmicas conocidas.

Las bacterias pobladoras de la joven Tierra transformaron su entorno radicalmente, dando los primeros pasos de una evolución en ciernes. Las cianobacterias, los primeros ingenieros genéticos involuntarios, introdujeron la primera innovación que a punto estuvo de costar muy caro a la continuidad de una vida incipiente. Fueron los primeros seres capaces de utilizar la luz solar como motor de su metabolismo, permitiéndoles incorporar el dióxido de carbono del aire para la fabricación de azúcares. Nació la *fotosíntesis* que heredarían más adelante todas las plantas.



J. A. Bustelo

Departamento de Física y Química, IES Tegueste.
Apartado 143, 38280 Tegueste (Tenerife).
C-e: joseantonio.bustelo@gmail.com

Recibido: 07/02/2011. Aceptado: 31/03/2011.

Este logro de la biotecnología bacteriana se consolidó y se expandió con un éxito absoluto. Con el creciente consumo de dióxido de carbono, el efecto invernadero disminuyó considerablemente. La temperatura descendería de modo drástico hasta alcanzar casi las cifras actuales, con lo que La Tierra pasaba de ser una caldera con una presión de sesenta atmósferas a transformarse en un lugar cálido de condiciones más suaves. Pero este empleo pionero de la energía solar presentaba un inconveniente: en el proceso se liberaba como desecho un gas tóxico y muy reactivo llamado oxígeno. Al principio no resultó un problema, pues este oxígeno se combinaba con los minerales del suelo formando óxidos, pero no tardó en acumularse peligrosamente en la atmósfera. Como una silenciosa y letal plaga, este veneno exterminó a gran parte de las formas de vida existentes hasta el momento. El primer gran cambio climático, provocado por un organismo hace 2.500 millones de años, estaba dado.

En la atmósfera actual, el oxígeno ocupa aproximadamente el 21% del aire, una cifra especialmente adecuada, ya que si descendiera en torno al 15% la vida de animales y plantas no sería posible. Y si alcanzara valores del 30%, los bosques arderían de forma espontánea. El otro componente importante del aire, el nitrógeno, se originó a partir del amoníaco que formaba parte de la atmósfera primigenia, y ocupa el 78% del gas que nos rodea y que respiramos. Resulta paradójico que casi el 80% del aire que entra en nuestros pulmones lo forme una sustancia que, aparentemente, no aporta nada al organismo. El nitrógeno es un gas inerte que inhalamos y exhalamos sin que interaccione de ninguna manera con nuestro metabolismo y, sin embargo, es un elemento esencial para moléculas biológicas como el ADN y las proteínas. Una vez más, una innovación bacteriana (la fijación de nitrógeno) permite la transformación del nitrógeno atmosférico en amoníaco que es asimilable por las plantas. El ciclo logra cerrarse cuando al descomponerse la materia orgánica, con la transformación del amoníaco en nitratos, el nitrógeno vuelve a la atmósfera mediante la acción de las bacterias desnitrificantes. De esta manera, el aire se convierte en la reserva mundial de nitrógeno para uso biológico. Si el nitrógeno no regresara a este colosal depósito gaseoso se perdería para siempre, lavado por las lluvias desde el suelo hasta el fondo de los océanos.

La preocupación está en el aire

Con la aparición del oxígeno y el nitrógeno, la composición del aire está casi completa, pues entre ambos gases ocupan el 99% de su volumen. Habría que añadir un 0,94% correspondiente al argón, gas inerte del grupo de los gases nobles, y restaría un 0,06%, pequeñísima fracción del total que, no obstante, es la que ha generado y continúa generando todas las preocupaciones. La primera está relacionada con el ozono, gas que se genera a unos 25 km de altura y que supone el principal filtro contra los nocivos rayos ultravioleta de la radiación solar. La aparición del ozono fue la que permitió la conquista de la tierra emergida por parte de la vida, imposible hasta ese momento ante las mutaciones que la radiación ultravioleta puede inducir en el ADN. El ozono (O_3) se produce cuando los rayos ultravioleta disocian los dos átomos de la molécula de oxígeno (O_2), posibilitando la formación de moléculas de tres átomos. La capa que forma

este gas en la estratosfera estuvo amenazada por los CFC (clorofluorocarbonos), compuestos muy utilizados en pulverizadores y en circuitos de refrigeración hasta que se extendió su prohibición. Los CFC pueden sobrevivir en la atmósfera entre cincuenta y cien años, período durante el cual alcanzan la estratosfera y provocan la descomposición del ozono.

La segunda preocupación reside en el aumento de los niveles de dióxido de carbono, principal causante del *efecto invernadero*, ya que este gas permite la entrada de radiación solar pero impide en parte la emisión de calor hacia el espacio exterior. Las emisiones crecientes de dióxido de carbono por el uso de combustibles derivados del petróleo son la principal causa del calentamiento global del planeta, con las repercusiones futuras que puede tener en el clima y en el equilibrio de los ecosistemas. Pero aún esconde algo más ese 0,06% de nuestra atmósfera, en absoluto inocuo.

Existen dos lugares separados por más de 15.000 km que tienen en común un curioso fenómeno. Uno de ellos está en las Great Smoky Mountains, en Tennessee (EE UU), mientras que el otro se sitúa en las Blue Mountains, en Nueva Gales del Sur (Australia). Ambos hacen mención en su nombre (con los términos “smoky” y “blue”) de una característica neblina azul que envuelve las extensas áreas de pinos y eucaliptos. La causa de esta bruma no es meteorológica, aunque puede provocar efectos insospechados en el clima global. En realidad, está originada por la emisión de sustancias que procede de la propia vegetación llamadas COV (*compuestos orgánicos volátiles*). Forman parte de los COV los aromas naturales de las plantas como el geraniol (esencia de rosas), el limoneno (fragancia de cítricos), el terpinoleno (aroma a pino) o el cineol (olor a eucalipto). La variedad de COV emitida por las plantas es muy amplia, y no se ciñe solamente a los compuestos que pueden verse u olerse. Además, la cantidad que emiten a la atmósfera es enorme, rondando los 1.150 Tg/año,² ocho veces superior a la cifra de hidrocarburos de origen antropogénico.

Los motivos por los que las plantas emiten estos compuestos, y cuáles pueden ser sus efectos sobre la física y la química de la atmósfera, están suponiendo un auténtico reto en los últimos años. Es tal la importancia del estudio de este fenómeno que en Malasia, uno de los países donde se realizan las más exhaustivas mediciones de *isopreno*³ (el COV más abundante), los equipos de científicos han de soportar condiciones de montaña rusa, sobrevolando la selva malaya a escasos cien metros sobre las copas de los árboles, mientras los pilotos maniobran entre los valles y someten a intensas aceleraciones a los sufridos tripulantes que, sujetos con arneses, miden los niveles de isopreno en el aire (nunca mejor dicho).

¿Acción ofensiva o defensiva?

Los motivos por los que las plantas emiten COV son diversos. Algunos se desprenden como repelentes contra herbívoros y patógenos, constituyendo un método de defensa.⁴ Otros pueden ayudar a la cicatrización del daño que ocasionan estos organismos, mientras que otros COV son emitidos por plantas atacadas como señal de aviso a plantas vecinas de la presencia de herbívoros. Otras posibles funciones son la atracción de los polinizadores, o la protección de las plantas contra las altas temperaturas. Aunque aún queda mucho por

conocer sobre las funciones de los COV, se sabe que afectan significativamente a la atmósfera. Uno de estos efectos se refiere a la formación de ozono en las capas bajas de la atmósfera (*ozono troposférico*). Lo que tiene el ozono de beneficioso en la estratosfera, como filtro para la radiación ultravioleta, lo tiene de perjudicial cuando aparece a nivel del suelo, sobre todo en núcleos urbanos con aire contaminado. Cuando existe contaminación por óxidos de nitrógeno (expulsados por los gases de escape de los automóviles), la producción de ozono está equilibrada con su destrucción, por lo que no se acumula en el ambiente. Pero en presencia de COV, las reacciones químicas no consumen el ozono producido y su nivel en el aire aumenta.² Este tipo de contaminación por ozono se conoce como *smog fotoquímico*, ya que la luz solar actúa de catalizador en las reacciones que lo originan. Es el tipo de contaminación que aparece en ciudades con denso tráfico, soleadas y con poco movimiento de aire, mostrándose como una niebla de color marrón rojizo, tóxica e irritante para las vías respiratorias.

Otro aspecto que se conoce es que las emisiones de COV por parte de la vegetación aumentan con la temperatura,⁴ haciendo sospechar que se trata de una defensa ante el calentamiento global. Lo que aún supone una incógnita es si esta respuesta de las plantas potenciará o atenuará las consecuencias de un cambio climático. Unido a lo anterior, ciertos COV tienen la capacidad de formar *aerosoles*, suspensiones de partículas en el aire (como la neblina azul) que tienen un importante papel en la formación de nieblas y nubes,² contribuyendo al enfriamiento del entorno las primeras, y bloqueando parcialmente los rayos del Sol las segundas. Sin embargo, el efecto de algunos aerosoles puede ser el inverso, obstaculizando la emisión de calor desde la Tierra hacia el espacio y favoreciendo el efecto invernadero.

Pero aún hay seres que pueden tener mucho que decir en el equilibrio futuro del clima. El conjunto de organismos marinos conocidos como *fitoplancton* son descendientes de las bacterias que inventaron la fotosíntesis. Y al igual que la vegetación terrestre, también emiten COV. En los océanos meridionales, prácticamente libres de contaminación atmosférica, es donde mejor se ha estudiado la significativa formación de nubes a causa del isopreno que desprenden estos seres acuáticos.⁵ Los datos parecen no dejar lugar a dudas: las nubes situadas sobre grandes floraciones de fitoplancton son perceptiblemente diferentes a las que se encuentran más alejadas.

Los organismos unicelulares fueron capaces de crear, hace miles de millones de años y contra todo pronóstico, un

ambiente ex profeso para el desarrollo y diversificación de la vida. Actualmente, organismos derivados de aquellos desvelan la batalla que se continúa librando entre la biología y la química atmosférica. A los hidrocarburos emitidos por el ser humano, se unen los COV emitidos por las plantas y por los mares. En realidad, vertidos incontrolados de sustancias orgánicas hacia el inmenso océano de gas que nos rodea. No se sabe si el balance para el clima será positivo o negativo ¿Se prolongará como una guerra de guerrillas o se aproxima el desenlace de un conflicto mundial? El resultado nunca ha sido tan incierto.

Conclusiones

Si la intervención de la vida bacteriana primitiva resultó determinante para la composición de la atmósfera y, por tanto, para el posterior desarrollo de la vida, no es menos importante el actual papel de la biosfera en la química atmosférica. A la preocupación por el ozono (estratosférico y troposférico) y por la emisión de CO₂, resultados de la acción humana, se une el efecto aún incierto que tendrán las emisiones de COV por parte de la vegetación terrestre y el fitoplancton. Las consecuencias que conlleven las emisiones de COV habrán de ser objeto de estudio para evaluar sus repercusiones a nivel del clima global.

Agradecimientos

El autor de este artículo desea expresar su agradecimiento a Nexociencia, a la Universidad de La Rioja y a la RSEQ por haber otorgado al presente trabajo el Premio Especial de Química, en el marco del V Certamen "Teresa Pinillos" de Ensayos de Divulgación Científica y Humanística | Ensayo'10.⁶

Bibliografía

1. R. Guerrero, M. Berlanga, *Actualidad SEM*. **2003**, 36, 16–22.
2. D. Sabillón, *Determinación de los factores de emisión de monoterpenos en tres especies típicas de la vegetación terrestre mediterránea: Pinus pinea, Pinus halepensis y Quercus ilex*. Tesis doctoral, fecha de defensa 08/01/2002. Director: Lázaro Cremades Oliver, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Cataluña.
3. R. Pike, *The science behind a climate headline*. Video en línea, TED talks. <http://bit.ly/3sa8e1>. Visitada el 15/07/2011.
4. J. Peñuelas, J. Llusà, *Ecosistemas* **2003**, 12, 83–89.
5. N. Meskhidze, A. Nenes, *Science* **2006**, 314, 1419–1423.
6. Información sobre el Certamen. <http://www.unirioja.es/ensaya>. Visitada el 15/07/2011.

VIII Simposio

Torremolinos – Málaga

25 al 28 de octubre

Investigadores Jóvenes Real Sociedad Española Química



SIGMA-ALDRICH