

# Halogenuros orgánicos

Aunque suelen asociarse a la industria química, los compuestos halogenados abundan, también, en nuestro entorno natural

Gordon W. Gribble

---

**E**l DDT (diclorodifeniltricloroetano), las dioxinas, los PCB (bifenilos policlorados), los CFC (clorofluorocarburos) y otros compuestos clorados (que contienen cloro) sintéticos pertenecen al grupo de los contaminantes persistentes. Menos conocido es que la naturaleza produce una gran cantidad de sustancias halogenadas similares, o incluso idénticas, a las sintéticas. Algunas de ellas precedieron el inicio de la vida en la Tierra.

Desde el simple y omnipresente cloruro de metilo hasta la compleja vancomicina (antibiótico clorado), la naturaleza es capaz de crear halocarburos con una variedad y complejidad estructural que los químicos de carne y hueso no logran reproducir en sus laboratorios. Los compuestos orgánicos halogenados originados exclusivamente en la naturaleza se cuentan por millares: hasta la fecha, se han identificado 2350 cloruros, 2050 bromuros, 115 yoduros y 34 fluoruros. Las bacterias, los hongos, las plantas y los animales —humanos incluidos— producen, todos ellos, halocarburos.

Tales halocarburos se generan también, de forma abiótica, en incendios forestales, erupciones volcánicas y otros fenómenos geotérmicos. En algunos casos, los compuestos naturales coinciden con los que se sintetizan para uso industrial. Aun así, la elevada toxicidad —y extendida publicidad— de los plaguicidas clorados y otros productos industriales de este tipo generan tales prejuicios entre la población general, que muy pocos imaginan que las moléculas halogenadas se producen también en plena naturaleza.

La bioprospección, la exploración del mundo vivo en búsqueda de sustancias orgánicas de interés, ha llevado a cientos de compuestos naturales que contienen átomos de cloro y de bromo. Esta búsqueda debe gran parte de sus logros a la técnica SCUBA (de “Self-Contained Underwater Breathing Apparatus”, aparato independiente para respirar bajo el agua), que ha ampliado los horizontes de la investigación marina.

Los organismos marinos constituyen la principal fuente de halocarburos, lo que no debe sorprendernos si recordamos los altos contenidos en cloro y bromo del agua del mar. El “olor a mar” emerge, en parte, de organohalogenados volátiles que desprenden las algas marinas. El bromuro de metilo, el yoduro de metilo, el bromoformo y otros compuestos de este tipo son utilizados también por la industria química como plaguicidas o como precursores en la síntesis de otros productos. No obstante, la mayoría de los halogenuros orgánicos son nuevos para la ciencia; nunca han sido sintetizados en un laboratorio. En los organismos que los producen, desarrollan múltiples funciones: operan como repelentes e inhibidores del apetito, agentes antibacteriales y antiincrustantes, feromonas y hormonas.

## Halógenos elementales

Un halógeno —etimológicamente, “formador de sal”— es un elemento dotado de siete electrones en su capa de valencia (la más externa), uno menos que los necesarios para completarla y conferir estabilidad al átomo. El notable beneficio que comporta la adquisición de este octavo electrón —relajación en un estado de energía inferior— hace que los halógenos reaccionen de forma agresiva para obtenerlo. En razón de tan elevada afinidad electrónica negativa, los halógenos se combinan fácilmente con otros elementos.

Su configuración heptaelectrónica común se refleja en la tabla periódica: todos los halógenos se hallan agrupados en la misma columna. De los cinco elementos del grupo (denominado grupo VII), el flúor (F), el cloro (Cl), el bromo (Br) y el yodo (I) se hallan en moléculas biológicas. El último y mayor de los halógenos elementales, el astato (At), es radiactivo y no se encuentra en la naturaleza.

En estado puro, los halógenos forman moléculas diatómicas: por ejemplo, el F<sub>2</sub> (diflúor) o el Cl<sub>2</sub> (dicloro), ambos gases altamente reactivos. Cuando se combinan, tienden a formar compuestos iónicos con metales (el cloruro de sodio, o sal común, por ejemplo) y compuestos covalentes con no metales (moléculas orgánicas halogenadas u *organohalogenados*).

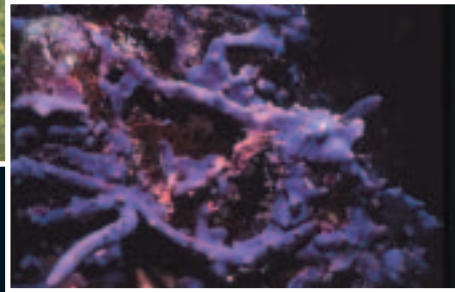
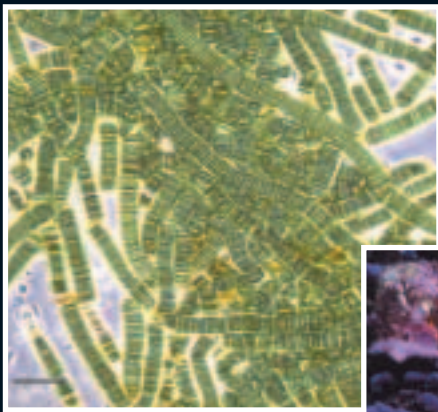
## Marinos

Las esponjas, los corales y la mayoría de las algas marinas, confinados en los arrecifes, comparten una incapacidad para evadirse de predadores y parásitos. A falta de otros medios de defensa, estos organismos se apoyan

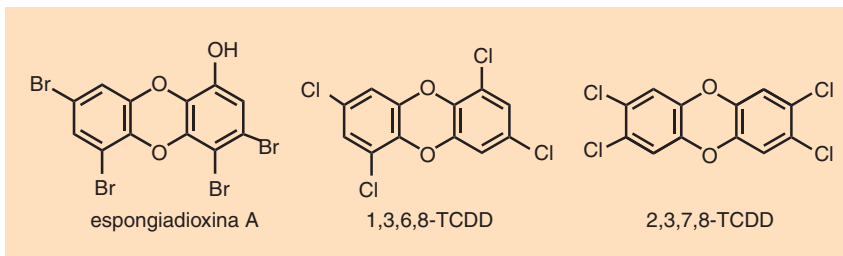
1. LOS ELEMENTOS HALOGENOS cuentan con siete electrones en su capa de valencia, la más externa. Esta propiedad común se refleja en la tabla periódica: todos los halógenos se hallan agrupados en la misma columna (*arriba*). El flúor, el cloro, el bromo y el yodo se encuentran en la naturaleza. Un gran número de sustancias organohalogenadas son sintetizadas por organismos y por la industria química. Se presenta aquí una lista (parcial) de los compuestos mencionados en el artículo.

IA	IIA		Halógenos										IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
			H															He
Li	Be												B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une										
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Compuesto	Fórmula	Halógeno	Industria	Naturaleza
flúor (gas)	F <sub>2</sub>	F	si	sí
ácido fluoroacético	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> F	F	sí	sí
fluoruro de hidrógeno	HF	F	sí	sí
tetrafluoroetileno	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	F	sí	sí
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	F, Cl	sí	sí
2,4-diclorofenol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OCl <sub>2</sub>	Cl	sí	sí
2,6-diclorofenol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OCl <sub>2</sub>	Cl		sí
tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	Cl	sí	sí
cloro (gas)	Cl <sub>2</sub>	Cl	sí	sí
ácido cloroacético	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Cl	Cl	sí	sí
cloroforno	CHCl <sub>3</sub>	Cl	sí	sí
clorofenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OCl	Cl	sí	sí
criptoficina 1	C <sub>35</sub> H <sub>43</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> Cl	Cl		sí
DDT (1,1,1-tricloro-2,2-bis-( <i>p</i> -clorofenil)etano)	C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>	Cl	sí	
diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Cl	sí	sí
dioxina (p.ej. 1,3,6,8-tetraclorodibenzo- <i>p</i> -dioxina)	C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Cl	sí	sí
epibatidina	C <sub>11</sub> H <sub>13</sub> N <sub>2</sub> Cl	Cl		sí
cloruro de hidrógeno	HCl	Cl	sí	sí
ácido hipocloroso	HClO	Cl	sí	sí
lindano	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	Cl	sí	
maracen A		Cl		sí
cloruro de metilo (o clorometano)	CH <sub>3</sub> Cl	Cl	sí	sí
PCB (bifenilos policlorados, p. ej. 2,2',4,4',5,5'-hexaclorobifenilo)	C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>6</sub>	Cl	sí	
punaglandina 1	C <sub>27</sub> H <sub>37</sub> O <sub>10</sub> Cl	Cl		sí
Q1	C <sub>9</sub> H <sub>3</sub> N <sub>2</sub> Cl <sub>7</sub>	Cl		sí
espongistatina 9	C <sub>61</sub> H <sub>91</sub> O <sub>20</sub> Cl	Cl		sí
vancomicina	C <sub>66</sub> H <sub>75</sub> N <sub>9</sub> O <sub>24</sub> Cl <sub>2</sub>	Cl		sí
kalihinol (previene el crecimiento de cirrípedos)	C <sub>22</sub> H <sub>33</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Cl	Cl		sí
telfairina	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> Cl <sub>3</sub> Br	Cl, Br		sí
dioxinas bromadas (p. ej. 1-hidroxi-3,4,6,8-tetrabromodibenzo- <i>p</i> -dioxina)	C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> Br <sub>4</sub>	Br		sí
bromoformo	CHBr <sub>3</sub>	Br	sí	sí
bromuro de metilo	CH <sub>3</sub> Br	Br	sí	sí
panaceno	C <sub>15</sub> H <sub>15</sub> O <sub>2</sub> Br	Br		sí
aplisiatoxina (causa picor en los nadadores)	C <sub>32</sub> H <sub>47</sub> O <sub>10</sub> Br	Br		sí
yoduro de metilo	CH <sub>3</sub> I	I	sí	sí
tiroxina	C <sub>15</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>4</sub> I <sub>4</sub>	I		sí



2. LAS ESPECIES MARINAS constituyen la principal fuente de halogenuros orgánicos. El alga azulverdosa *Lyngbya* (arriba izquierda) sintetiza aplisiatoxina, compuesto bromado que causa erupciones cutáneas a los bañistas. La esponja *Dysidea dendyi* produce varias dioxinas bromadas; en la imagen se muestra su pariente cercano *Dysidea granulosa* (arriba derecha). El vistoso nudibranquio *Chromodoris hamiltoni* (abajo) sintetiza también sus propios metabolitos clorados.

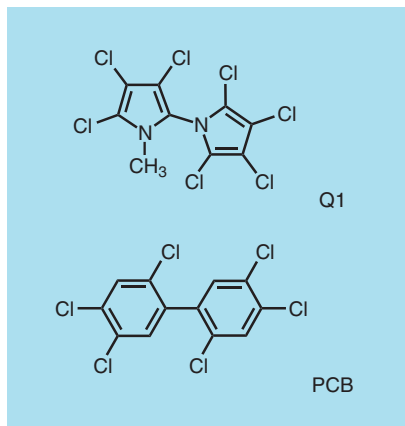


3. LAS DIOXINAS SON TOXICAS, pero no todas provienen de la industria química. Estos tres ejemplos ilustran la variedad de fuentes posibles. De izquierda a derecha: la espongiodioxina A, sintetizada por *Dysidea dendyi*; 1,3,6,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina (1,3,6,8-TCDD), producto de la descomposición de la masa vegetal en las turberas de New Brunswick; y 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina (2,3,7,8-TCDD), un compuesto de síntesis industrial.

en armas químicas de fabricación propia: son unos productores prodigiosos de halocarburos. Entre las armas de las esponjas se encuentran dioxinas bromadas (análogas a las dioxinas industriales de triste fama) y numerosos metabolitos que previenen el sobrecrecimiento de cirrípedos; con ello, resuelven un problema que afecta a barcos, muelles y casi todas las construcciones humanas que ocupan el medio marino. En Hawai, un compuesto bromado de origen algal causa erupciones cutáneas (dermatitis) a los bañistas; en la limu kohu —el alga comestible favorita de los nativos— se han hallado por lo menos 100 organohalogenados, de estructura química antaño desconocida.

Los nudibranquios y las liebres de mar, dos variedades de babosas marinas sin caparazón, se sirven también de armas químicas para sobrevivir en un mundo de predadores. Cierta especie de liebre de mar secreta un metabolito bromado de sabor amargo, el panaceno, para disuadir a los tiburones y a otros posibles comensales. Algunos nudibranquios carecen de la capacidad para sintetizar su arsenal químico: lo adquieren por medio de una dieta basada en esponjas y algas. En este caso, la bioacumulación de compuestos nocivos en la cadena trófica tiene un propósito específico y, para las babosas, deseable.

Los compuestos organohalogenados naturales se bioacumulan también en predadores de nivel superior. Los primeros en descubrirse fueron los bipirroles halogenados de aves marinas (gaviotas, albatros, frailecillos, águilas), probablemente producidos por una bacteria marina. Un compuesto relacionado, el Q1, se ha hallado en una miríada de consumidores marinos (focas y delfines, entre otros) y en la leche de las mujeres de las islas Feroe, que comen grasa de ballena. Estas sustancias naturales guardan semejanza con los PCB antropogénicos —una vez usados en transformadores y condensadores eléctricos— en cuanto a la estructura química y a la propensión a concentrarse en la cima de la cadena trófica. Los efectos nocivos de los PCB sintéticos son harto conocidos; en cambio, están por discernir los efectos de Q1 y otros halocarburos naturales en la salud de los consumidores de orden superior.



**4. NUMEROSOS CONSUMIDORES MARI-NOS** de orden superior, entre ellos el delfín mular (*Tursiops truncatus*, izquierda), los pingüinos, las focas y los humanos, muestran bioacumulación de Q1. Este organoclorado natural es retenido en el tejido adiposo de forma similar a los PCB (bifenilos policlorados) industriales.

## Continetales

Aunque menos prolíficos que sus parientes acuáticos, las plantas y hongos terrestres producen un extenso repertorio de sustancias cloradas, bromadas y, en menor cantidad, fluoradas. El compuesto orgánico de bromo más simple, el bromuro de metilo (o bromometano), es un fumigante y plaguicida comercial. Recientemente fue prohibido en California en razón de su poderosa actividad destructora de la capa de ozono. Pero lo sintetizan también algunas especies de la familia de las *Brassicaceae*: la col, el brécol, el nabo y la semilla de colza (canola). La producción global de bromuro de metilo por parte de las plantas de colza se sitúa alrededor de 6600 toneladas anuales, de carácter antropogénico un 15 por ciento del total.

Los árboles de hoja perenne, las patatas y otras especies de plantas que nos resultan familiares, producen cloruro de metilo. Su síntesis está tan extendida, que constituye el compuesto clorado más abundante —con independencia de la fuente— en la atmósfera. Existen, además, otros cloruros orgánicos de reseñable interés: las hormonas del crecimiento presentes en las judías y en los guisantes, un cóctel de siete fungicidas producido por el lirio japonés (comestible) y el 2,4-diclorofenol,

hormona de crecimiento del moho *Penicillium*. Esta última sustancia se utiliza en la síntesis de numerosos compuestos; por ejemplo, en el herbicida “2,4-D”, uno de los dos ingredientes principales del “agente naranja”, el defoliante químico usado en la guerra de Vietnam.

No abundan fluorocarburos naturales, dada la escasa biodisponibilidad del flúor. El de mayor relevancia es el ácido fluoroacético, presente en plantas endémicas de Australia y África del Sur. Un compuesto extremadamente venenoso es culpable de la muerte de miles de cabezas de ganado. Antaño incluso en el oeste norteamericano se utilizó (en forma del plaguicida “1080”) para acabar con coyotes y roedores. La toxicidad del 1080 proviene de su interferencia en el ciclo bioquímico de Krebs, que causa una acumulación fatal de ácido cítrico.

## Halocarburos en animales superiores

Aunque sin la profusión en que plantas y animales marinos lo hacen, los artrópodos y los vertebrados sintetizan también sustancias organohalogenadas. Las hembras de más de una docena de especies de garrapatas producen 2,6-diclorofenol, una feromona sexual. La cucaracha alemana sintetiza otro par de feromonas clo-

radas para inducir la agregación. El cloroformo, empleado en anestesia a mediados del siglo XIX y convertido ahora en disolvente industrial, tiene varias fuentes naturales: entre ellas destacan las termitas, que emiten un 15 por ciento del cloroformo atmosférico global, tal vez un producto residual de los compuestos clorados presentes en la madera.

*Epipedobates tricolor*, rana venenosa de Ecuador, segrega una sustancia clorada de gran interés farmacológico, la epibatidina, de estructura singular. Su efecto calmante es 500 veces más potente que el de la morfina. Ello ha motivado la síntesis industrial de compuestos análogos, en busca de nuevos analgésicos. Quizás el propósito original de esta molécula sea disuadir a posibles predadores.

Nuestro propio organismo produce tiroxina, una hormona que contiene yodo y regula el metabolismo basal. Durante una centuria se pensó que era el único organohalogenado fabricado por el cuerpo humano, hipótesis desmentida por la investigación reciente. Sintetizamos también cloro gaseoso y ácido hipocloroso. Los leucocitos se sirven del cloro y de la enzima mieloperoxidasa para acabar con microorganismos patógenos y posiblemente células tumorales. Este proceso de cloración —en el que se liberan proteínas y ácidos nucleicos clorados— resulta esencial para nuestro sistema inmunitario: los individuos con deficiencia de mieloperoxidasa quedan expuestos a las infecciones bacterianas, en particular a las neumonías. De los escasos bromuros orgánicos sintetizados por las células humanas, el primero en descubrirse fue un éster bromado del líquido cefalorraquídeo que induce el sueño REM (movimiento rápido del ojo).

## Rocas y fuego

Los organismos utilizan de un modo preeminente cloruros y bromuros orgánicos, si lo comparamos con el uso de otros halocarburos. Sin embargo, el halógeno más abundante en la corteza terrestre es el flúor. Los volcanes emiten 11 millones de toneladas de fluoruro de hidrógeno y 3 millones de toneladas de cloruro de hidrógeno anuales. No resulta sorprendente, pues, que a las altas temperaturas y presiones que



se dan en las profundidades de la Tierra, la turba y otros materiales orgánicos se combinan con minerales que contienen cloro y flúor para formar halogenocarburos. Los volcanes de al menos cuatro continentes (Asia, Europa, Norteamérica y Sudamérica) emiten estos gases organoclorados y organofluorados naturales. Algunos de ellos son idénticos a los CFC antropogénicos que catalizan la degradación del ozono estratosférico.

En la litosfera, los halogenuros orgánicos aparecen en forma de bolsas de gas o integrados en ciertos minerales. Algunas rocas liberan cloruro de metilo, diclorometano, cloroformo, tetracloruro de carbono y otros compuestos clorados durante la etapa de trituración en el proceso de extracción minera. Sólo la extracción de la sal de potasio libera miles de toneladas anuales de cloroformo. Algunos minerales de fluorita contienen tetrafluoroetileno, el precursor del teflón. Un inconfundible olor a flúor emana de una fluorita violeta oscura de Baviera cuando se tritura; los mineros locales la denominan “stinkspat” (espato apestoso). Pero los halógenos no están confinados a la química de nuestro planeta. Hay, en el espacio interestelar, cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno; en cuatro meteoritos al menos se han detectado compuestos clorados.

Una notable proporción de organohalogenados no biogénicos proviene de la combustión de biomasa que se produce en los incendios forestales y agrícolas. Sólo el 10 por ciento de estos incendios se deben a rayos u otras causas naturales; la mayoría son provocados por el hombre. En ellos se liberan grandes cantidades de cloruro de metilo (900.000 toneladas anuales) y cantidades menores de bromuro de metilo (de 10.000 a 50.000 toneladas anuales). La aportación global de cloruro de metilo atmosférico se estima en 4 millones de toneladas anuales, cifras que superan con creces las 10.000 toneladas provenientes de la industria.

### Síntesis y degradación

¿Cómo procede la naturaleza en la producción de estos compuestos? ¿Cómo se desarrollan los ciclos de los halógenos biogénicos? Los haluros (sales), precursores de los correspondientes halógenos, están presentes en cantidades ingentes. En los océanos hay disueltos unos 27.000 billones de toneladas de cloruros y 89 billones de toneladas de bromuros; la corteza terrestre contiene 45.000 billones de toneladas de cloruros y 190 billones de toneladas de bromuros.

Las bromoperoxidasas (BPO) y las cloroperoxidasas (CPO), enzimas comunes, desempeñan una función

5. LOS GASES VOLCANICOS, como los que emite el cono Pu'u'O'o del volcán hawaiano Kilauea (*izquierda*), contienen numerosos compuestos organohalogenados: por ejemplo el CFC-11, que fuera utilizado como refrigerante antes que se relacionara con la destrucción del ozono estratosférico.

esencial en el ciclo de su respectivo halógeno. En combinación con el peróxido de hidrógeno, oxidan el bromuro y el cloruro para formar hipobromito e hipoclorito (que en una solución acuosa da lugar a ácido hipocloroso, o lejía) respectivamente. De 94 especies de algas rojas, 71 muestran actividad de las BPO, enzimas presentes también en numerosas diatomeas marinas. Otra fuente de cloro libre es la oxidación, por medio del ozono, del aerosol marino que cubre la superficie de los océanos. Determinadas reacciones subsecuentes con sustancias orgánicas producen compuestos organoclorados.

La biocloración constituye una etapa clave en el reciclaje de la materia orgánica vegetal. Se estima que, cada año, 63.000 millones de toneladas de masa vegetal se degradan para convertirse en ácido húmico, que las cloroperoxidasas transforman, en presencia de cloruro sódico, en ácido húmico clorado. Esta compleja sustancia polimérica sufre una profunda degradación: primero en clorofenoles y luego en ácidos cloroacéticos y cloroformo. Los clorofenoles se dimerizan para formar dioxinas en un proceso que ocurre de forma natural en el suelo de las turberas de New Brunswick, en los bosques de abetos Douglas en Suecia y también en medios más prosaicos como el abono orgánico, los sedimentos de las aguas residuales y los excrementos de vacuno.

Esta secuencia de reacciones químicas se ha reproducido artificialmente en el laboratorio. Se han aislado ácidos húmicos clorados de un reservorio de agua de 5200 años de antigüedad y de materia orgánica de 35.000 años de antigüedad. Se han identificado también compuestos organoclorados en lignito de hace 15 millones de años (Terciario) y en muestras de carbón vegetal de hace 300 millones de años. Las cianobacterias, productoras de un gran

6. LAS HEMBRAS de 14 especies de garrapatas, entre ellas la garrapata del perro americano *Dermacentor variabilis*, producen 2,6-diclorofenol, una feromona. El isómero 2,4-diclorofenol corresponde a un herbicida de amplio espectro (uno de los dos ingredientes principales del “agente naranja”, el defoliante utilizado en la guerra de Vietnam).

número de sustancias organocloradas, existen desde hace miles de millones de años. Por consiguiente, los organohalogenados han estado presentes desde la aparición de la vida en la Tierra; sin duda, precedieron la llegada de nuestra especie.

### Aplicaciones terapéuticas

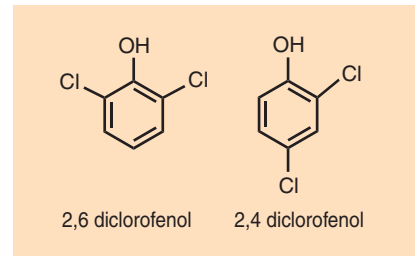
Los humanos vienen extrayendo y usando compuestos organohalogenados desde hace milenios. El púrpura de Tiro, un colorante bromado análogo al azul índigo, se obtenía del *Murex*, un molusco del Mediterráneo. Aparecen referencias de su producción en la ciudad fenicia de Tiro en textos que datan aproximadamente del 1600 a.C. (“Fenicia” viene del griego “púrpura”). Este raro colorante de color brillante se convirtió en uno de los primeros y principales productos básicos del emporio comercial fenicio; más tarde fue adoptado como símbolo de realeza entre los romanos, los egipcios y los persas.

Los organohalogenados naturales encierran un enorme potencial terapéutico para la humanidad. Los efectos antibióticos de la vancomicina, por ejemplo, pueden salvar vidas: a menudo constituye el último recurso para defenderse contra bacterias que han desarrollado resistencia a diversos fármacos. La telfairina, un metabolito clorado producido por algas marinas, es un insecticida contra los mosquitos tan potente como el lindano (hexacloruro de benceno), un compuesto criticado por su supuesta toxicidad para los humanos. El maracén, un metabolito fúngico clorado con propiedades antibióticas, se muestra activo contra las micobacterias, agentes de la tuberculosis. La punaglandina, también clorada y proveniente de un coral blando del Pacífico Sur, ofrece una poderosa actividad antitumoral; quizá pronto encuentre una aplicación clínica.



La criptocina, un compuesto organoclorado derivado del alga *Nostoc*, una cianofícea, ofrece mayor eficacia que los anticancerígenos comerciales Taxol o la vinblastina en sus primeras pruebas. Se están llevando a cabo ensayos clínicos de por lo menos un compuesto sintético análogo. La presencia de cloro resulta crítica para las propiedades farmacológicas de esta molécula —la sustracción del halógeno reduce de forma notable su actividad—. La espongiatina 9, un metabolito espongiario clorado, ha resultado uno de los compuestos más potentes de los hasta ahora analizados entre 60 líneas de células tumorales en el estadounidense Instituto Nacional del Cáncer. Otros organohalogenados inhiben virus, entre ellos el VIH.

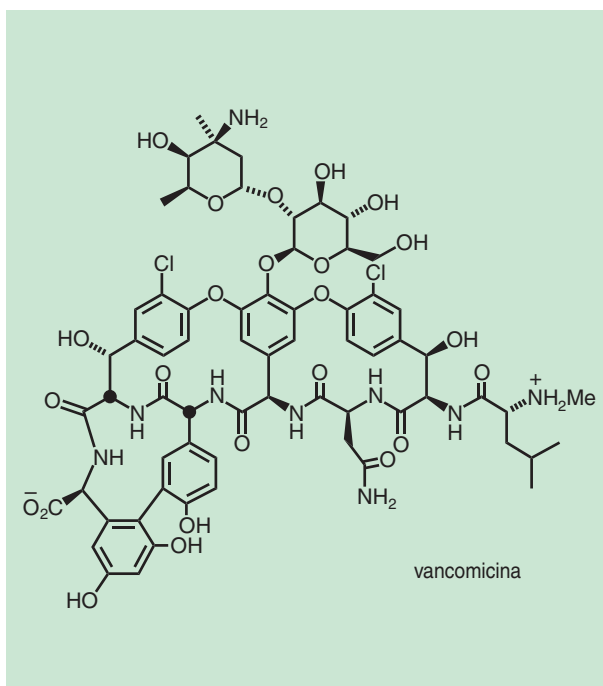
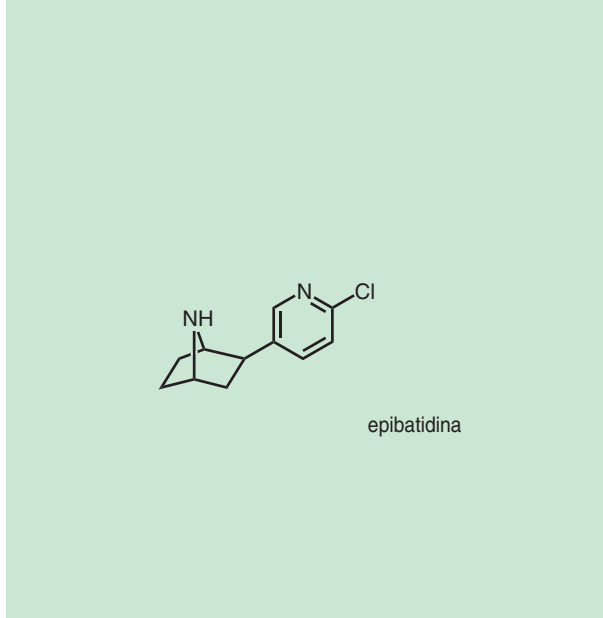
En su búsqueda de fármacos potenciales, los expertos en química de productos naturales descubren entre 100 y 200 nuevos compuestos orgánicos halogenados cada año, principalmente de fuentes marinas. Pero de las 500.000 especies de animales, plantas y bacterias marinas estimadas, sólo se ha examinado un pequeño porcentaje; miles de compuestos naturales organohalogenados esperan ser descubiertos. En el caso de los primitivos briozoos, por ejemplo, se han detectado distintos compuestos orgánicos halogenados en la mayoría de las varias decenas de especies que se han analizado; quedan todavía otras 3900 por examinar.



### Riesgo ambiental

El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y otros elementos de la vida forman parte de nuestro entorno natural. También los halógenos. Lo mismo que muchas otras sustancias constituyentes de los seres vivos, los compuestos organohalogenados biogénicos desempeñan funciones esenciales para la supervivencia de los organismos. Junto con otras biomoléculas, las hormonas halogenadas y las sustancias de defensa han evolucionado bajo la presión de la selección natural para desarrollar funciones específicas.

Con todo, la abundancia de organohalogenados naturales no implica que sus análogos sintéticos sean siempre benignos, como si “natural” fuera sinónimo de “inofensivo”. En realidad, los compuestos que contienen halógenos son a menudo biológicamente activos, según corroboran distintos ejemplos aludidos en el artículo. Harto conocido es el daño ambiental que causan los CFC, los halones, los disolventes clorados, el DDT, los PCB, las dioxinas y otros halocarburos.



7. VARIOS FARMACOS DE INTERES corresponden a compuestos organohalogenados naturales. La rana venenosa *Epipedobates tricolor* secreta epibatidina, un analgésico 500 veces más potente que la morfina (*arriba*). La vancomicina, un antibiótico, se extrae

de *Streptomyces orientalis* (ahora *Amycolatopsis orientalis*), un pariente del *Streptomyces coelicolor* (*abajo*). La complejidad de los metabolitos tiene poco que ver con la de las especies que los sintetizan.

La existencia de versiones naturales de algunos halocarburos antropogénicos hace necesaria una revisión de los riesgos ambientales, una evaluación más amplia, que no dependa del origen de las sustancias. Cuando la suma de los organohalogenados naturales y antropogénicos constituya un riesgo inaceptable, la contribución humana deberá reducirse. Ello requiere conocer cuál es la proporción industrial y cuál la de la naturaleza, una labor que demanda una mayor comprensión de las fuentes y sumideros biogeológicos de estos compuestos.

### El autor

**Gordon W. Gribble** es profesor de química orgánica y ambiental en el Instituto Dartmouth. Su investigación se centra en la síntesis orgánica y los productos naturales. Desde 1990 se dedica al estudio de los organohalogenados naturales.  
©American Scientist Magazine.

### Bibliografía complementaria

THE DIVERSITY OF NATURALLY PRODUCED ORGANOHALOGENS. G. W. Gribble en *Natural Production of Organohalogen Compounds*. Dirigido por G. W. Gribble. Springer-Verlag; Nueva York, 2003.

THE DIVERSITY OF NATURALLY OCCURRING ORGANOHALOGEN COMPOUNDS. G. W. Gribble en *Chemosphere*, vol. 52, págs. 289-297; 2003.