

NOVEDADES CIENTÍFICAS EN 2012

EN CIENCIAS AMBIENTALES

FORMACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE ESPECIES DE PLANTAS INVASORAS

El jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*) es una especie originaria de la cuenca amazónica de América del Sur que se utiliza como planta ornamental acuática en estanques y acuarios. Actualmente se ha extendido por numerosas zonas templadas, y en Europa se ha encontrado hasta ahora en Italia, Portugal (abundante en el centro del país) y España, donde desde el año 2004 ha proliferado sobre todo en la zona media de la cuenca del río Guadiana. Se considera una especie invasora, muy difícil de controlar.

Estas plantas forman sobre la superficie de las aguas densas esteras o alfombras impenetrables que reducen la cantidad de luz que llega a las masas de agua interiores, por lo que ponen en peligro la supervivencia de otras especies. Además, su descomposición da lugar a procesos de eutrofización disminuyendo drásticamente los niveles de oxígeno disuelto. Ambos efectos tienen consecuencias fatales para las biocenosis acuáticas. Su excesiva proliferación también tiene consecuencias económicas al dificultar la navegación de embarcaciones, reducir la pesca, obstruir canales de riego, etc. En condiciones ambientales adecuadas es capaz de duplicar su población cada cinco días. Se reproduce activamente tanto por semilla como asexualmente (estolones, fragmentación de plantas) y parece que puede ser dispersada por las aves y el viento. Las semillas pueden conservar su capacidad germinativa entre 5 y 20 años. Por todo ello, es una de las especies incluidas en la lista de las 100 especies alóctonas más invasoras elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Además, el jacinto de agua es muy resistente a agentes químicos, tratamientos físicos, biológicos para su erradicación. A lo largo de estos años se han extraído del río Guadiana de forma manual y mecánica un total de

293.245,20 toneladas de Jacinto de Agua, con un coste aproximado de 23.215.312,47 euros.

Parthenium hysterophorus L o escoba amarga es también una maleza presente en múltiples regiones del mundo. Se propaga rápidamente a través del gran número de esporas producidas y, debido a su capacidad de invasión y los efectos alelopáticos, plantea una amenaza a la biodiversidad y a los ecosistemas. Los efectos alelopáticos son causados principalmente por compuestos tipo fenoles y lactonas sesquiterpénicas. Los sesquiterpenos causan alergia y toxicidad en animales pero se degradan rápidamente en el suelo presentando una vida media corta (DT50), siendo por ejemplo de 59 h para la partenina, mientras que los fenoles necesitan tratamientos específicos para su eliminación. *Parthenium* es una fuente rica en nutrientes (N, P y K) por lo que se podría utilizar como fertilizante para el suelo después de la eliminación de los efectos alelopáticos de los fenoles.

Hasta ahora se habían llevado a cabo diferentes estudios de compostaje a partir de estas especies por separado como una alternativa medioambiental para este tipo de residuos vegetales, pero un grupo de investigadores del Departamento de Bioquímica de la Universidad de la India han preparado combinaciones de compost de *Parthenium* y *Eichhornia* y han realizado un análisis bioquímico y enzimático comparativo de los compost obtenidos. *Parthenium* es rico en fenoles y *Eichhornia* en polifenol oxidasa, por lo que el objetivo del estudio ha sido comprobar si en el compostaje de la mezcla de estas malas hierbas, la polifenol oxidasa podría eliminar los fenoles de *Parthenium* y con ello los efectos alelopáticos. En los experimentos han observado que disminuye significativamente los fenoles, el carbono orgánico, y la relación C/N y N/P, mientras que el N, P, K y la polifenol oxidasa aumentan. Además han calculado el índice de germinación (GI) en *Vigna radiata* y *Triticum* para evaluar la fitotoxicidad del compost. Los resultados obtenidos permiten afirmar que el compost de la mezcla de las dos especies tiene mayor valor nutritivo y mejor índice de germinación que los composts de cada una de las especies por separado y que podría tener gran interés tanto a nivel ambiental como en la agricultura (*Biore-source Technology*, 123, 360–365, 2012).

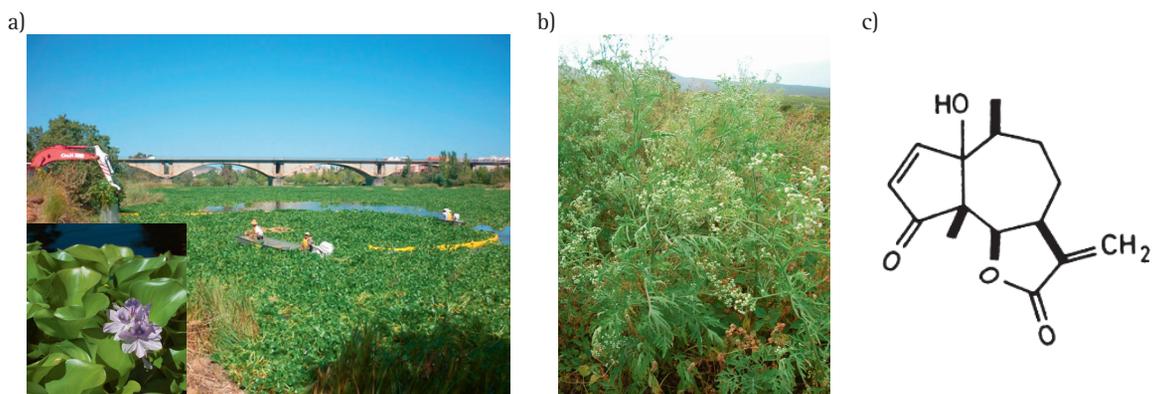


Figura 1. a) Proliferación de *Eichhornia crassipes* en ríos; b) *Hysterophorus parthenium* L.; c) Estructura química de la partenina (lactona sesquiterpénica).

Tabla 1. Análisis bioquímico del compost de *Parthenium*, *Eichhornia* y la mezcla de ambas especies.

S. No.	Parameters	<i>Parthenium</i>			<i>Eichhornia</i>			Combined		
		Days	0	30	60	0	30	60	0	30
1.	Total C (g/kg)	92.66 ± 2.62	84.4 ± 0.49 ^a	76.6 ± 0.4 ^a	134 ± 7.87	114.8 ± 1.2 ^a	111.7 ± 1.4 ^a	204 ± 1	168.8 ± 1.2 ^a	74.02 ± 0.8 [*]
2.	Organic matter%	15.77 ± 0.13	14.55 ± 0.11	13.2 ± 0.09	22.32 ± 0.58	19.79 ± 0.1	19.25 ± 0.08	35.17 ± 0.34	29.1 ± 0.42	12.76 ± 0.24
3.	Nitrogen (g/kg)	3.16 ± 0.763	3.9 ± 0.2 ^a	4.73 ± 5.7 ^a	3.5 ± 0.1	3.8 ± 0.4 ^a	4.3 ± 0.5 ^a	4.6 ± 0.12	5.8 ± 0.08 ^a	7.5 ± 0.15 [#]
4.	C:N	29.32	21.64	16.19	38.28	30.21	25.98	44.34	31.26	11.75
5.	Phosphorus (g/kg)	1.76 ± 0.1	2.36 ± 0.05 ^a	3.11 ± 0.1 [*]	1.4 ± 0.1	1.55 ± 0.5 ^a	3.45 ± 0.05 [*]	1.1 ± 0.15	2.31 ± 0.15 ^a	3.2 ± 0.1 [*]
6.	Potassium (g/kg)	3.8 ± 0.14	5.73 ± 0.10 [*]	7.7 ± 0.1 [#]	4.2 ± 0.12	5.4 ± 0.45	6.7 ± 0.05 [*]	3.5 ± 0.27	4.5 ± 0.13 ^a	6.6 ± 0.2 [*]
7.	C:P	52.64	35.76	24.63	95.71	74.06	32.37	185.45	73.07	23.13
8.	Phenols (µg/g)	109.33 ± 1.76	101.4 ± 0.95 ^a	83.2 ± 0.8 [#]	101 ± 4.24	77.46 ± 0.74 ^a	48.56 ± 1.9 [#]	93.43 ± 2.22	60.56 ± 1.56 [#]	42.25 ± 0.75 [*]

Values are Mean ± S.D of three different experiments.

^{*} Level of significance 0.01.

[#] Level of significance 0.05.

^a Non-significant.

EN ECOSISTEMAS MARINOS LA EXPOSICIÓN AL ZN FACILITA LA BIOACUMULACIÓN DE OTROS METALES

La contaminación en los ecosistemas marinos deriva de múltiples fuentes, como contaminantes urbanos e industriales, agrícolas, petróleo y sus derivados, etc. Las operaciones de dragado también interfieren con los sedimentos y provocan que los contaminantes pasen a la columna de agua donde son ingeridos por organismos marinos como las ostras. Éstos sufren especialmente los efectos de la contaminación, por su condición de organismos filtradores y bioacumulan, a través del bombeo del agua, gran cantidad de bacterias patógenas, toxinas y metales. Por ello, además de ser un importante recurso alimenticio que aportan nutrientes, se han utilizado como indicadores de contaminación y de estrés funcional en ecosistemas costeros.

Recientemente, investigadores pertenecientes al Laboratory of Marine Pollution, Hong Kong University of Science and Technology (HKUST), han publicado un artículo donde han analizado los posibles efectos de la exposición Zn en la bioacumulación de Cd y Cu en tres poblaciones de

ostras (*Crassostrea hongkongensis*) que poseen una gran importancia económica y ecológica en el sur de China. Las ostras son una fuente importante de nutrientes e hiperacumuladoras de elementos como el zinc, que es un metal traza esencial en numerosas funciones biológicas y necesario para la correcta transmisión de las señales entre las neuronas, y cuya deficiencia se asocia a ciertos trastornos como retrasos en el crecimiento, aumento de la susceptibilidad a infecciones, etc. En estudios previos habían medido las concentraciones de Zn en ostras donde llegaban a alcanzar hasta el 6% del peso del tejido seco. Pero estos organismos también pueden acumular otros metales como el Cd, químicamente similar a Zn, no esencial y con una elevada toxicidad, por lo que puede causar severos daños sobre la salud (huesos, hígado, etc.). Actualmente la concentración máxima permitida de Cd en los mariscos es de 1 µg Cd g⁻¹ peso húmedo en la Comunidad Europea y 2 µg Cd g⁻¹ peso húmedo en China, principal exportador de ostras (*Environ. Sci. Technol.*, 47, 1670-1677, 2013).

En este estudio los investigadores han determinado que la exposición de las ostras al Zn aumenta significati-

vamente las concentraciones tisulares de Cd y Cu en todas las poblaciones estudiadas, pasando de 381, 810 y 2.980 hasta 3.225, 3.549 y 11.941 $\mu\text{g Zn g}^{-1}$ de peso húmedo, respectivamente. Además también se incrementó la concentración de Cd y Cu en los tejidos. En el caso de Cd de 0,6; 0,8 y 2,1, hasta 2,2; 7,1 y 8,3 $\mu\text{g Cd g}^{-1}$ de peso húmedo, mientras que para el Cu se elevó de 60, 675 y 206 hasta 209, 2.747 y 808 $\mu\text{g Cu g}^{-1}$ en peso húmedo, respectivamente. También han analizado la distribución subcelular de los metales y la relación con la concentración tisular de Zn con el objeto de conocer el mecanismo. Los resultados indican que los componentes más importantes en la mejora de la bioacumulación de Cd y Cu son las metalotioneinas (MTLP) y proteínas relacionadas y los gránulos intracelulares (MRG) que se unen a los metales. Las metalotioneinas son proteínas de bajo pesos molecular, que se caracterizan por un alto contenido en cisteína y una capacidad selectiva para unirse a metales pesados como el Zn, Cd, Cu, etc. Probablemente la exposición al Zn aumentaría la disponibilidad de sitios de unión del Cd y Cu a grupos funcionales (tioles, -SH) de las metalotioneinas y favorecería la bioacumulación de estos metales.

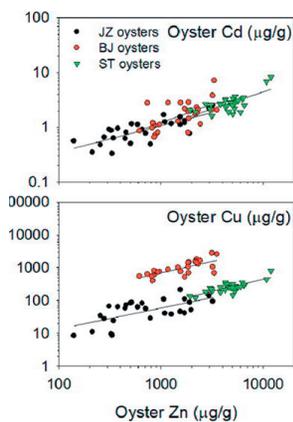
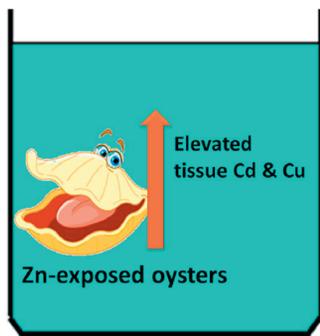


Figura 2. La exposición al Zn facilita la acumulación de otros metales como Cd y Cu en las ostras. Relación entre el Zn y la concentración de Cd y Cu en tres población de ostras (*Crassostrea hongkongensis*) expuestas en el laboratorio a Zn.

ADAPTACIONES MIMÉTICAS Y PROMISCUIDAD EN MARIPOSAS

Durante más de 150 años la diversidad de patrones de colores de las alas de las mariposas ha sido objeto de estudio por el gran interés que suscita como mecanismo de defensa y por su implicación en la evolución de las especies. Algunas especies no comestibles o venenosas comparten un mismo patrón de colores, de forma que el depredador una vez que captura a su presa tiene una experiencia negativa y aprende que debe alejarse de aquellas que presentan apariencia similar. Mediante esta forma de defensa, denominada *mimetismo mülleriano*, las presas aumentan su probabilidad de supervivencia. Pero el patrón de colores también les sirve a las mariposas como rasgo para la selección de pareja, por lo que las diferencias van asociadas a la formación de nuevas especies y a su diversificación. La importancia de la hibridación y el flujo de genes entre especies diferentes (introgresión génica) en la evolución ha generado un amplio debate, ya que los híbridos, aunque son generalmente poco frecuentes en especies animales, podrían ayudar a la adaptación mediante la transferencia de características beneficiosas entre especies.

La colaboración entre 80 investigadores de 32 universidades y centros de investigación de ocho países, agrupados en el Consorcio del Genoma de *Heliconius*, ha permitido determinar la secuencia del genoma *Heliconius melpomene* o mariposa cartero (<http://butterflygenome.org/>). El género *Heliconius* que incluye 43 especies y cientos de subespecies de mariposas se ha utilizado como modelo en numerosos estudios de ecología sobre mimetismo y especiación debido las especiales características que pueden haber facilitado estos procesos, como son el tipo de alimentación y el comportamiento de apareamiento pupal. Son el único grupo de mariposas que se alimentan de polen, actividad que puede ser responsable de su inusual longevidad y fecundidad. Además tienden a presentar comportamientos gregarios, son altamente sociales en comparación con otras mariposas y viven la mayor parte de su vida en áreas de distribución pequeñas.

Según el estudio publicado por el equipo internacional de investigadores en la revista *Nature*, las mariposas se suelen aparean con individuos de su propia especie, pero también se reproducen con miembros de otras especies, formando híbridos y produciéndose introgresión génica como en *H. timareta* y *H. elevatus*. Las especies

implicadas intercambian genes relacionados con el patrón de color que les permite la protección frente a los posibles depredadores por el mecanismo de *mimetismo mülleriano*, y favorece la radiación adaptativa. Aunque

durante mucho tiempo se ha especulado sobre la importancia de la introgresión en los procesos evolutivos, estos resultados sugieren que podría ser más decisiva de lo que se creía (Nature, 487, 94-98, 2012).

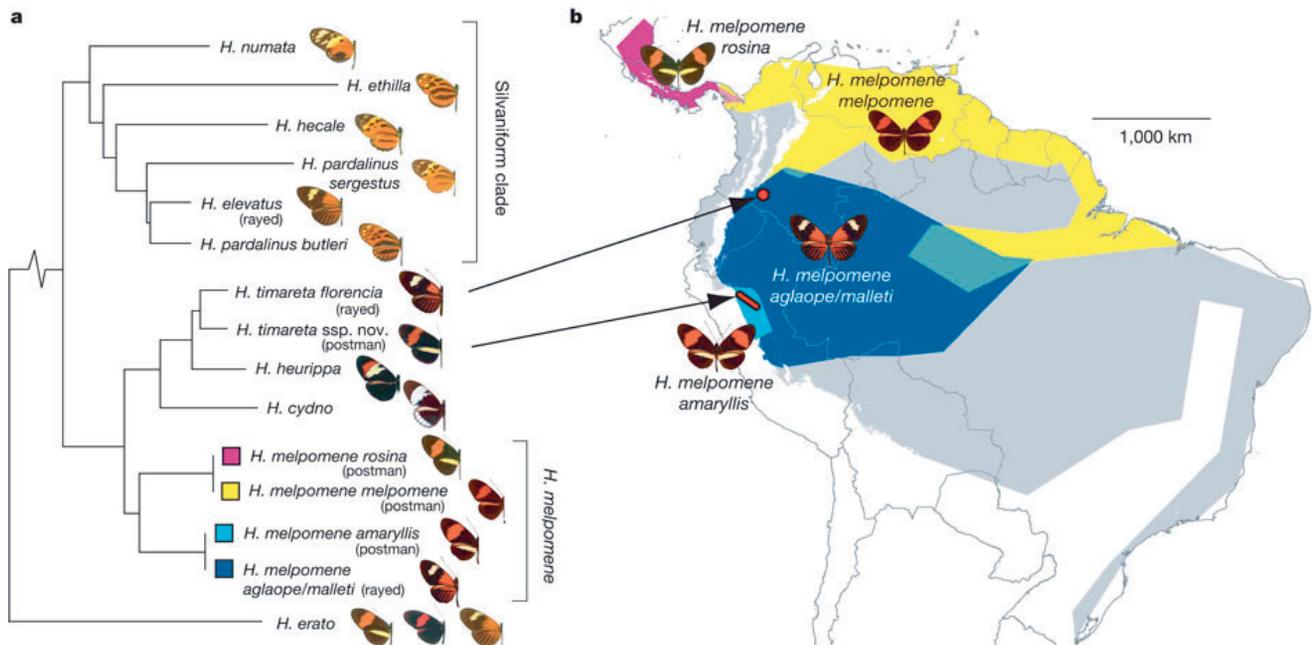


Figura 3. Distribución, mimetismo y relaciones filogenéticas del género *Heliconius*: a) Relaciones filogenéticas de especies y subespecies en los clados melpomene y silvaniform del *Heliconius*; b) Distribución geográfica completa de *H. melpomene* (gris) y distribución de las razas de *H. melpomene* estudiadas en el artículo (azul, amarillo y morado). *Heliconius elevatus* y otras especies de silvaniform se distribuyen ampliamente por toda la cuenca del Amazonas.

SE APROXIMA UN CAMBIO DE ESTADO DE LA BIOSFERA DE LA TIERRA

La biosfera de la Tierra se ha sometido a grandes cambios en el pasado, cuyos estados de transición han durado largos periodos de tiempo. El cambio de estado más reciente tuvo lugar durante los 3.000 años de transición entre la última glaciación –hace 14.000 años y que había durado 100.000 años– y el actual periodo interglacial–que comenzó hace 11.000 años. Otros grandes eventos a escala geológica, como los ocurridos en las conocidas como cinco grandes extinciones, han acarreado también periodos de transición de decenas de miles de años a millones de años. Durante todos estos periodos se modificaron seriamente las condiciones atmosféricas, climáticas y oceánicas y la biosfera sufrió importantes alteraciones: extinciones, aparición de nuevas especies, proliferación de ciertos organismos, cambios en la cadena trófica, etc. Ejemplos de ello son el paso de los dinosaurios a los pequeños mamíferos

hace 65 millones de años o la aparición del ser humano en la transición entre la última glaciación y el periodo interglacial.

Un estudio reciente muestra que la actividad humana podría forzar cambios abruptos e irreversibles en el estado actual de la biosfera de forma similar a los sufridos en épocas pasadas a escala planetaria. En la actualidad, la alta tasa de crecimiento de la población humana con el consiguiente consumo cada vez mayor de recursos, fragmentación de los hábitats naturales y utilización de combustibles fósiles, así como el cambio climático, superan en ritmo y magnitud a las condiciones que dieron lugar a los cambios de estado de la biosfera durante el periodo interglacial. El ser humano ha llegado a transformar actualmente el 43% de la superficie terrestre en paisajes agrarios o urbanos, lo que supera el 30% de la superficie que dejó de estar cubierta por hielo glacial al final de la última glaciación. Esta actividad ha llevado a importantes transformaciones en el flujo de energía de los ecosistemas, ahora acaparado

por la especie humana en un 20-40%, y en los ciclos biogeoquímicos, lo que ha provocado importantes modificaciones de las condiciones climáticas y oceánicas: aumento de la concentración de CO₂, disminución del pH de los océanos, concentración de contaminantes, etc. Asimismo, se ha reducido considerablemente la población pesquera en las zonas costeras, se han sustituido ecosistemas de gran diversidad por otros en las que predominan unas pocas especies y se ha modificado la abundancia y los ciclos vitales de muchas especies. De

continuar estos rápidos cambios por encima del umbral de respuesta que la biosfera puede tolerar y en menos tiempo del requerido por los mecanismos evolutivos para adaptarse a dichos cambios, una gran proporción de la superficie terrestre se transformará de forma irreversible e impredecible, incluso las zonas inalteradas del planeta. Esto traería importantes consecuencias negativas, no sólo en los ecosistemas naturales, sino también para el ser humano: agitación social, inestabilidad económica e incluso pérdida de vidas humanas.

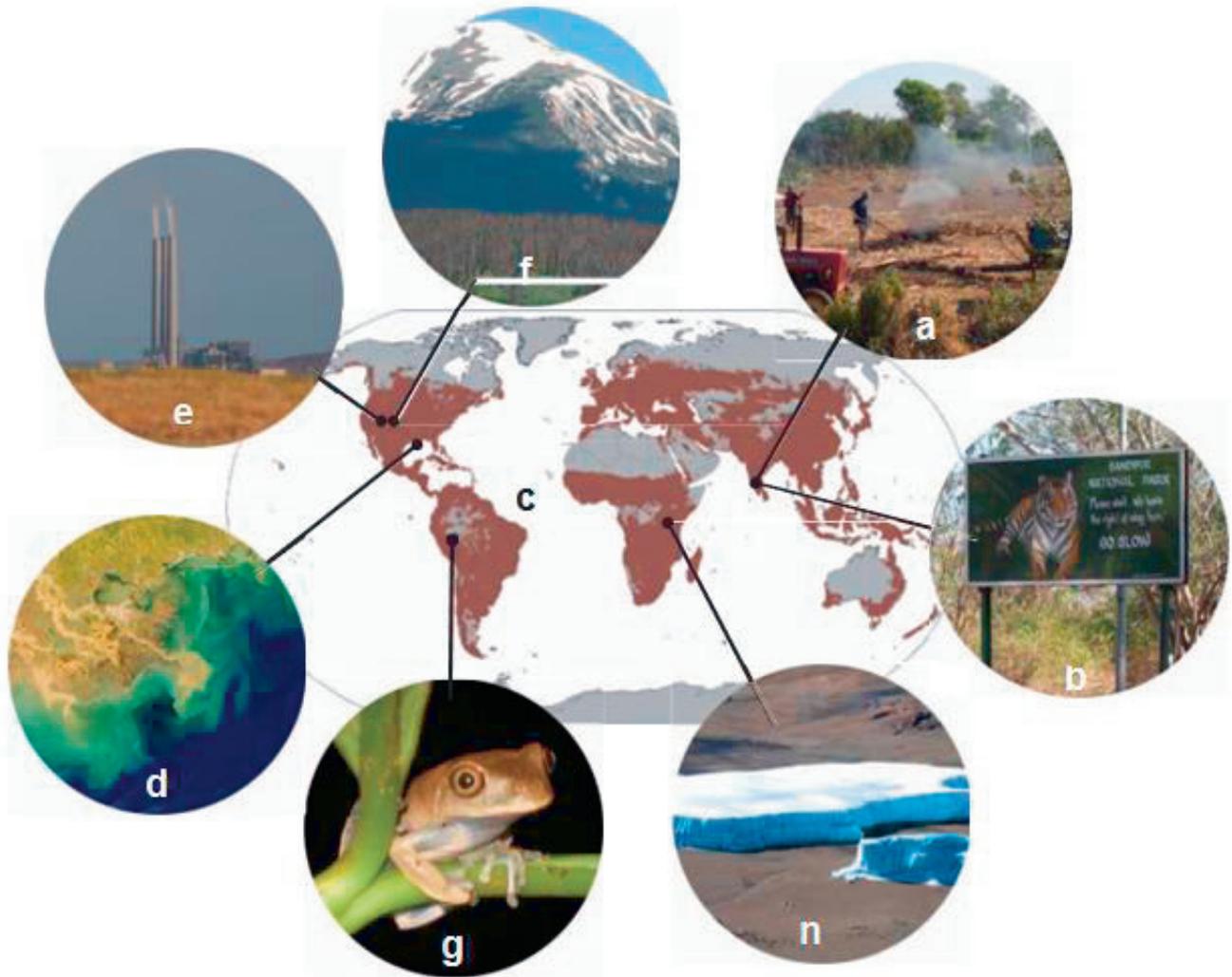


Figura 4. Causas de un potencial cambio de estado planetario: a) transformación y fragmentación de los ecosistemas naturales; b) impacto indirecto sobre áreas naturales adyacentes sin alterar; c) la acumulación de impactos antropogénicos locales produce cambios de estado globales; d) zonas costeras de baja productividad pesquera; e) alteración de las condiciones atmosféricas y oceánicas debido al efecto invernadero producido por la quema de combustibles fósiles; f-h) cambios de estado globales que producen impactos ecológicos incluso en zonas no alteradas por la actividad humana.

Para reducir la incertidumbre en los posibles cambios de estado de la biosfera es necesario desarrollar y llevar a cabo diferentes estrategias para comprender,

monitorizar y predecir los impactos de la actividad humana en la naturaleza, tanto a nivel local como global. El estudio propone además minimizar estos impactos

para evitar alcanzar esta situación mediante la reducción del crecimiento demográfico y del consumo de recursos, la utilización de energías renovables, el au-

mento de la eficiencia de la producción alimentaria y la mejora de la gestión y conservación de los ecosistemas naturales (*Nature*, 486, 52-58, 2012).

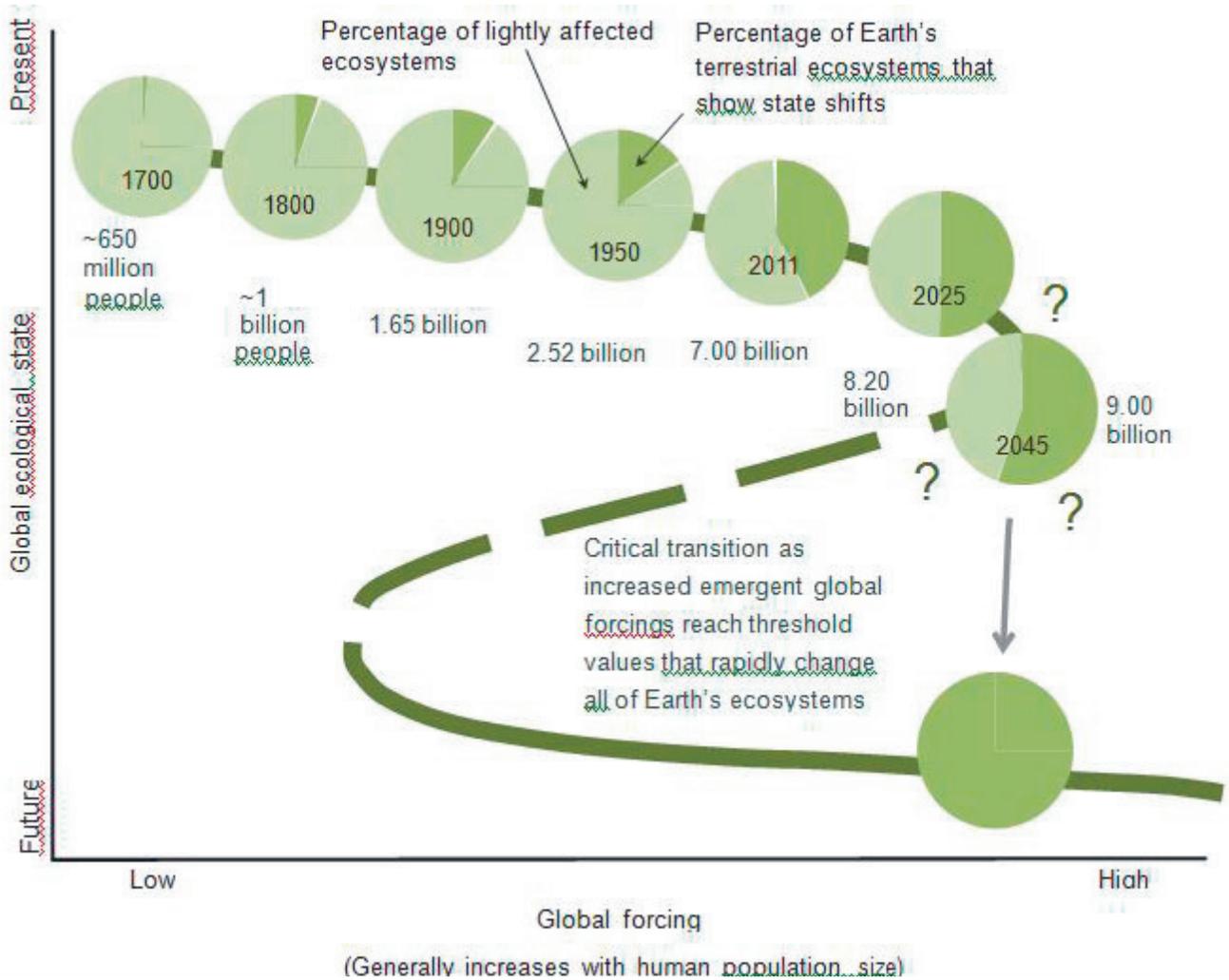


Figura 5. Cuantificación del uso de la superficie terrestre como método para anticipar un cambio de estado planetario (billion = 10⁹ personas).

EL CALENTAMIENTO GLOBAL Y LA PRODUCCIÓN DE HEPATOTOXINAS POR LAS CIANOBACTERIAS EN LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

La rápida proliferación de cianobacterias es un fenómeno muy común que tiene lugar en numerosos lagos de agua dulce en todo el mundo, en estuarios salobres y en zonas oceánicas tropicales y subtropicales. Este fenómeno conlleva importantes consecuencias ambientales y económicas, tales como la falta de oxígeno y nutrientes en el agua, la pérdida de valor de los terrenos afectados y la disminución del turismo en estas zonas. Sin embargo, es más

preocupante el efecto de la producción de toxinas por la proliferación de algunos tipos de cianobacterias sobre la salud pública. Estas toxinas afectan no sólo a los productores primarios de los que forman parte las cianobacterias (fitoplancton), sino también a los que se alimentan de ellos, como el zooplancton, a los siguientes eslabones de la cadena trófica, y finalmente a la calidad del pescado y del agua para consumo humano. Entre las toxinas producidas por estos microorganismos se incluyen sustancias químicas tóxicas para la mayoría de los vertebrados, como las neurotoxinas (anatoxina A, saxitoxina), hepatotoxinas (microcistina, nodularina y cilindrospermopsina) y citotoxinas.

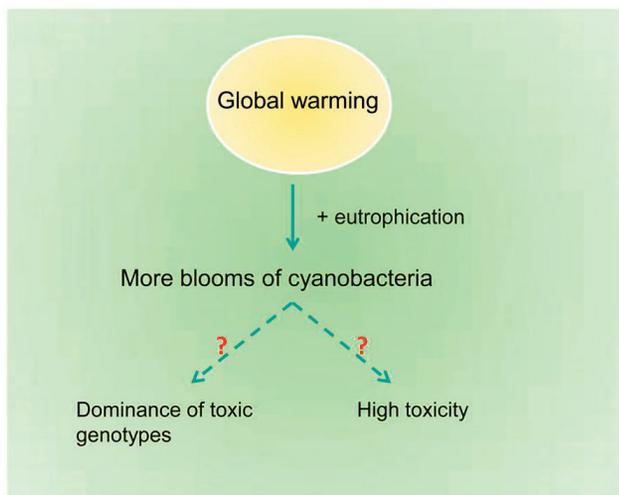


Figura 6. a) Cianobacteria. b) Producción de hepatotoxinas.

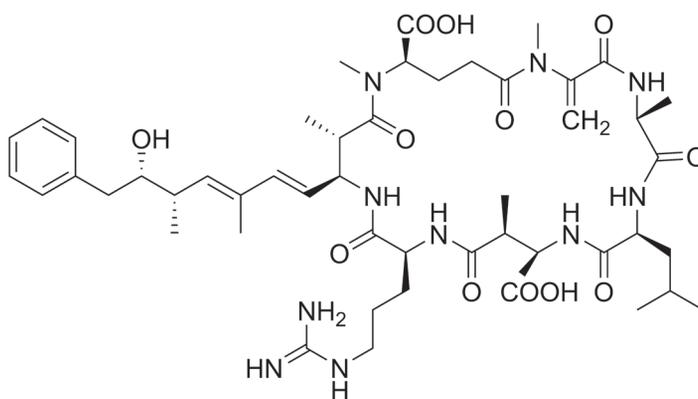


Figura 7. Estructura química de la microcistina LR.

Se ha sugerido que la eutrofización de las aguas —debido principalmente al aumento de la concentración de N y P en el agua por el uso de fertilizantes y detergentes— y el calentamiento global suponen un efecto sinérgico en la proliferación de cianobacterias. Un trabajo reciente ha revisado los últimos avances en el conocimiento de los efectos del calentamiento global en el crecimiento de las poblaciones de cianobacterias y la producción de hepatotoxinas (*Water Research*, 46, 1420-1429, 2012).

Aún se desconoce el papel biológico de las hepatotoxinas en las cianobacterias, aunque se barajan varias teorías. Algunas hipótesis apuntan a que estas sustancias protegen las proteínas de la célula en situaciones de estrés ambiental, como una excesiva radiación ultravioleta o la limitación de nutrientes. Otros autores han sugerido que actúan como señales químicas para la comunicación extracelular en condiciones adversas.

También podrían ser utilizadas por las cianobacterias para facilitar la absorción de Fe y P. Las toxinas pueden servir además como sustancias alelopáticas, es decir, compuestos liberados para inhibir el crecimiento de especies competidoras (el resto del fitoplancton), o también como mecanismo de defensa frente a la depredación por el zooplancton. Todas estas funciones conferirían a las cianobacterias una ventaja competitiva en condiciones de estrés.

El calentamiento global puede suponer otra ventaja competitiva para las cianobacterias, cuyas poblaciones experimentan un mayor crecimiento cuando las temperaturas son más cálidas. De hecho, durante las últimas décadas la abundancia de cianobacterias ha aumentado en muchos ecosistemas de agua dulce y salado del planeta. Las poblaciones de cianobacterias se componen a menudo de grupos de organismos tóxicos y otros grupos no tóxicos, los cuales pueden ser de la misma o de dife-

rentes especies. Se ha observado que la subida de temperatura también aumenta la dominancia de genotipos tóxicos en las poblaciones. El estudio sugiere que podría ser debido al efecto alelopático que ejercen las toxinas sobre poblaciones competidoras no tóxicas o la menor depredación sufrida por las cianobacterias tóxicas por parte del zooplankton, especies que se ven favorecidas por un aumento de las temperaturas. A ello se suma que la temperatura también promueve la biosíntesis de toxinas por parte de estos grupos tóxicos, por lo que aumenta la toxicidad de estos organismos.

Todo ello indica que el calentamiento global aumenta el riesgo de exposición de los organismos acuáticos y los seres humanos a las toxinas, al afectar la temperatura al crecimiento de cianobacterias y a la producción de hepatotoxinas, así como a las relaciones tróficas entre estos organismos y el resto del plancton. Se hace necesario por tanto gestionar y regular las poblaciones de cianobacterias en el agua teniendo en cuenta las predicciones sobre el cambio climático.

MEDIDAS PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL SUELO Y EL AGUA

La proliferación de vertederos de residuos sólidos urbanos e industriales representa una de las principales causas de contaminación de los ecosistemas de las zonas periurbanas de muchas ciudades (Figura 8). El vertido de estos residuos de forma incontrolada –en la que se sella el vertedero tapándolo únicamente con una capa de sue-

lo– altera las propiedades físicas del medio, aumenta la salinidad y la concentración de metales pesados y compuestos orgánicos, modifica el flujo de contaminantes hacia las aguas superficiales y subterráneas y afecta a la diversidad de especies que habitan en estas áreas, incluso años después de su clausura.

Un grupo de investigadores ha examinado diversas propiedades químicas (pH, salinidad, concentración de metales y contaminantes orgánicos) de muestras de suelos y aguas de pastizales próximos a 15 vertederos de la Comunidad de Madrid, sellados hace 20 años, con objeto de diseñar medidas para la restauración de estas zonas. Además, se realizó el inventario de especies vegetales y el recuento y clasificación de nematodos, los cuales resultan buenos indicadores del ciclo de los nutrientes, la diversidad de especies y de las relaciones tróficas entre ellas (*Journal of Environmental Management*, 95, S42-S49, 2012).

En las muestras de suelos de la mayoría de estos vertederos se encontraron elevadas concentraciones de Zn, Cu y Pb, superiores a los niveles de referencia, lo que podría producir toxicidad para las plantas y para los animales que se alimentan de ellas (Tabla 2). También se registró en ellos una elevada salinidad (determinada mediante la conductividad eléctrica), incluyendo altas concentraciones de sales como cloruros, nitratos y sulfatos. En cuanto a los contaminantes orgánicos, se observaron niveles perjudiciales de insecticidas clorados, como el lindano, así como la presencia de compuestos fenólicos, bifenilos policlorados e hidrocarburos alifáticos y aromáticos.

Tabla 2. Concentración de metales pesados (mg kg⁻¹) y conductividad eléctrica (CE, μS cm⁻¹) en muestras de suelos de 15 vertederos de la Comunidad de Madrid.

Vertederos	CE	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
Colmenar Viejo	244	68	14	4	6	14	0
San Lorenzo	669	185	40	12	6	223	0
El Escorial	606	693	139	23	13	182	0
Móstoles	160	38	9	3	3	9	0
Villaviciosa	392	93	36	1	3	25	0
Navalcarnero	101	12	4	2	1	3	0
El Álamo	106	26	8	2	2	4	0
Pinto 1	190	39	9	0	3	7	0
Pinto 2	184	39	8	0	3	5	0
Pinto 3	759	144	55	40	5	51	0
La Poveda	645	50	28	3	9	13	0
Arganda	1947	110	27	6	7	60	0
Mejorada del campo	1248	148	29	8	15	20	0
Alcalá	650	130	23	12	15	13	0
Aranjuez	2440	86	69	2	15	12	0
Niveles de referencia	> 350	140	36	100	35	50	1

La lixiviación de estas sustancias encontradas en el suelo tras las lluvias termina afectando también al medio acuático. Las muestras de aguas recogidas de las zonas próximas a los vertederos poseían elevados valores de pH y de demanda química de oxígeno y altas concentraciones de Na, S, Ca y Mg. Además, se detectaron cantidades importantes en el agua de resinas, componentes de detergentes y el herbicida Terbutcarb, así como diisobutilftalato, usado como aditivo en aislantes plásticos y que puede afectar negativamente al crecimiento y reproducción en animales.

Todas estas sustancias presentes en el suelo y el agua se incorporan a la cadena trófica a través de las plantas al ser consumidas por el ganado y el resto de la fauna silvestre. La toxicidad producida por estos contaminan-

tes redujo considerablemente la diversidad de plantas y nematodos presentes en estas zonas. Como resultado, predominaron pocas especies de nematodos en el suelo, principalmente los bacteriófagos, mientras que las especies fitopatógenas, fungívoras y omnívoras escasearon en los suelos de estos vertederos en comparación con otros ecosistemas de referencia.

La presencia de contaminantes y la baja diversidad de especies, muy diferente a las registradas en otros ecosistemas degradados cercanos, dificultan la restauración y revegetación de estas zonas afectadas por los vertederos. La determinación de estas propiedades se hace necesaria para la elaboración de planes de restauración de este tipo de áreas degradadas.



Figura 8. Vertedero incontrolado de residuos urbanos.

Consuelo Escolástico León y
Javier Pérez Esteban
Dpto. de Química Orgánica y Bio-Organica