



© Antonio Álvarez Morán. Retrato-territorio de santa Clara de Asís, 2013.

Crónicas del Antropoceno: el Arrecife Osborne

Gabriela A. **Vázquez Rodríguez**

ARRECIFES NATURALES Y ARTIFICIALES

Un arrecife (del vocablo hispano-árabe *arrasíf*, que significa “empedrado”) es una estructura, usualmente coralina o rocosa, que se encuentra cerca de la superficie del mar. Por extensión, los arrecifes también se refieren a las comunidades de peces, algas e invertebrados que los habitan. Representan uno de los ecosistemas más valiosos de la Tierra, ya que su enorme biodiversidad, en el caso de los arrecifes coralinos, es comparable a la de los bosques tropicales. Además, prestan servicios ambientales nada despreciables, como proveer alimento a millones de personas, disipar la energía de tormentas tropicales y tsunamis, fijar dióxido de carbono atmosférico y ofrecer sitios de belleza incomparable. En suma, se estima que los servicios de los arrecifes mundiales valen unos 375 mil millones de dólares al año. Nada mal, si consideramos que no representan siquiera el 0.01 % de la superficie terrestre (NOAA, 2008).

Los arrecifes artificiales, por su parte, son estructuras sumergidas o construidas para conseguir uno o más de estos servicios, por lo general la protección de costas y playas de la erosión. Los primeros quizás fueron construidos por la civilización persa en el Río Tigris, hace dos mil años, para protegerse de incursiones piratas. Dado que proporcionan un hábitat estable para la vida marina, también permiten incentivar la pesca recreativa

y cultivar especies de interés comercial. Algunos arrecifes artificiales de Japón, por ejemplo, se han dedicado al cultivo de ostras productoras de perlas. Otros se construyeron con fines puramente turísticos, ya sea para generar olas propicias para el surf (como los arrecifes de Cables y Bagarra, en Australia) o para atraer a buzos y entusiastas del *snorkel*. Algunos de estos últimos fueron diseñados y contruidos por artistas, como los que se encuentran en el Museo de Arte Subacuático, en el Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, en el Caribe mexicano. Así, aunque se construyen desde hace varios siglos, los arrecifes artificiales son muestra de que la alteración del ambiente que caracteriza al Antropoceno (“la era del hombre”) se extiende desde las profundidades submarinas hasta el espacio exterior.

UN ARRECIFE... DE BASURA

En 1967, Broward Artificial Reef Inc., una organización de pescadores sin fines de lucro, emprendió el proyecto de construcción de un arrecife en Broward County, Florida (E.U.A.), a partir de llantas usadas. El objetivo principal era crear un hábitat que aumentara la pesca comercial y recreativa en un área plana situada a 20 metros de profundidad y entre dos arrecifes naturales, al sureste de la península. Asimismo, se buscaba emplear un material de bajo (en este caso, nulo) costo para la construcción del arrecife y al mismo tiempo disponer “productivamente” un residuo muy abundante (Sherman y Spieler, 2006). El proyecto, encabezado por Ray McAllister, profesor de Ingeniería Oceánica de la Florida Atlantic University, fue financiado por el gobierno de Broward County y respaldado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. Con ayuda de numerosas empresas, entre ellas la Goodyear Tire & Rubber Co., que aportó una gran parte de las llantas, estas se unieron en grupos de ocho con pinzas metálicas y se arrojaron al mar (Figura 1). La población local



Figura 1. Barcaza con llantas usadas antes de zarpar. Fotografía de dominio público tomada en 1967 por el Departamento de Planeación y Protección Ambiental de Broward County, Florida, E.U.A.

contribuyó con entusiasmo al proyecto: se organizaron centros de acopio de llantas y numerosos voluntarios llevaron las propias en paseos familiares. Para 1973 se habían depositado alrededor de dos millones de llantas en un área de 150,000 m² que más tarde se conocería como el Arrecife Osborne. Goodyear arrojó una llanta dorada para “bautizar” el lugar, para el que se auguraba una productividad pesquera tres veces mayor.

Esto no ocurrió. La corrosión terminó rápidamente con las pinzas que mantenían unidas las llantas, y la marea y las frecuentes tormentas tropicales de la zona se encargaron de dispersarlas. Nadie previó que las llantas sueltas fueran tan móviles (de hecho, algunas han alcanzado playas tan lejanas como las de Carolina del Norte), y que impulsadas por las mareas dañarían los escasos arrecifes naturales de la zona. Otras simplemente se han hundido total o parcialmente en la arena, mientras que la vida marina alrededor es escasa. A diferencia de algunos peces y algas que sí llegan a colonizar limitadamente las llantas, las especies formadoras de coral permanecen ausentes. Más de cuarenta años después del inicio de su construcción, lejos de convertirse en una atracción turística, el arrecife es un cementerio de basura (Figura 2).

Frente al fracaso evidente del Arrecife Osborne, en 2001 se lanzó un programa de remediación del sitio. Desde entonces se han sucedido varios proyectos, que hasta agosto de 2016 habían logrado remover 207,843 llantas con la ayuda de buques, buzos entrenados para localizarlas e izarlas



Figura 2. Arrecife Osborne. Fotografía de dominio público tomada en 2007. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tires540.jpg>

a la superficie, y un presupuesto aproximado de 17 dólares por cada llanta, entre otros aspectos (Florida Department of Environmental Protection, 2016). El proyecto de remediación del sitio sigue en marcha.

LAS CAUSAS DEL DESASTRE

Hay que mencionar que el Arrecife Osborne no es el único construido con llantas. Solo en los Estados Unidos existen más de mil de ellos, y también se les encuentra en Israel, Malasia, Portugal y Ucrania, entre otros países (Figura 3). Japón es líder mundial al respecto, ya que ha sumergido más de 20 millones de metros cúbicos de llantas para intentar satisfacer su enorme demanda de productos pesqueros



Figura 3. Llantas usadas en la construcción de un arrecife en el golfo de Odessa, Ucrania, en 1985. Fotografía tomada de <http://reefsproject.net/article-example-2/>.

(Endangered Species International, 2015). Sin embargo, la historia del arrecife Osborne es emblemática; representa a la perfección lo que sucede cuando una idea bien intencionada se materializa sin que se estudien previamente en el laboratorio sus posibles consecuencias ambientales. En un comunicado de prensa de 1972, Goodyear proclamó que las llantas eran idóneas para construir arrecifes, y nadie pareció preocuparse por corroborarlo. Aunque el evidente sesgo de la empresa no es inusual, sí lo fue el apoyo que el proyecto recibió por parte de distinguidos académicos.

Una de las causas de que las llantas sean un sustrato tan pobre para el establecimiento de arrecifes es que liberan compuestos tóxicos con el potencial de afectar a las comunidades marinas. Aunque las llantas modernas tienen una composición muy variada, aproximadamente la mitad de su peso se integra por una mezcla de caucho natural (biopolímero del isopreno que se extrae de árboles tales como *Hevea brasiliensis*, *Castilla elastica* o *Ficus elastica*) y de caucho sintético (que puede ser polibutadieno o mezclas de butadieno y estireno). El caucho natural aporta elasticidad, mientras que el sintético contribuye a la estabilidad térmica. Durante el proceso de vulcanización, las cadenas poliméricas se entrecruzan con azufre a alta temperatura y presión, con la finalidad de originar moléculas más voluminosas que restringen el movimiento molecular. Para lo anterior se agregan activadores (como el óxido de zinc y el ácido esteárico), aceleradores (como sulfenamidas o benzotiazoles), fibras textiles y por supuesto azufre. Además se adicionan carbón negro, aceites, antiabrasivos, antioxidantes, plastificantes, fibras textiles y acero. En resumen, una llanta puede contener más de un centenar de sustancias.

Durante su vida útil, que en promedio es de 40,000 kilómetros, las llantas pierden cerca de un tercio de su masa. Esta se emite principalmente en forma de partículas sólidas pequeñas que se depositan cerca de las vías de transporte, mientras que una mínima parte se libera en forma gaseosa

o de partículas atmosféricas suspendidas. Se estima que en los Estados Unidos las llantas generan más de 500 millones de kilogramos de partículas al año (Wik y Dave, 2009). Una vez desechadas, las llantas están sujetas a la acción del agua, o de su peor enemigo después de la abrasión, el ozono atmosférico: este reacciona con los dobles enlaces de las cadenas poliméricas, las rompe y produce grietas. Así, todos los productos que se incorporaron a las llantas pueden liberarse al medio. De estos, preocupan principalmente metales pesados como el zinc (que representa el 1 % del peso de la llanta), el cadmio y el plomo, así como ciertos aditivos orgánicos. Entre los compuestos orgánicos que las llantas liberan al agua se han identificado benzotiazoles, ftalatos, fenoles e hidrocarburos (Sarasa y cols., 2006); tanto los primeros como los segundos destacan por su persistencia ambiental y por su actividad biológica (e.g., los benzotiazoles se degradan muy lentamente, son alergénicos y posiblemente mutagénicos; Liu y cols., 2016). La toxicidad de los lixiviados de llantas hacia organismos acuáticos se ha atribuido al zinc y a algunos compuestos orgánicos como benzotiazoles, ftalatos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (Wik y Dave, 2009).

La cantidad de compuestos liberados depende de la composición química de la llanta, y del medio y las condiciones en que se realizaron los ensayos, entre otros factores. En particular, influye el tamaño de los especímenes con que se experimenta, es decir, si se trata de llantas completas, en tiras, trituradas o hechas polvo. En términos generales, se ha encontrado que las partículas pequeñas generan lixiviados más tóxicos, que la liberación de metales pesados es mayor si los ensayos se llevan a cabo en medio ácido, y que los compuestos orgánicos se liberan más lentamente que los metales.

Por tales motivos, desde hace algunos años se han multiplicado los proyectos de remediación de los sitios marinos afectados por llantas sumergidas. En Francia, en 2015, se lanzó un proyecto para

remover parte de las 25,000 llantas que se colocaron en el Mediterráneo en la década de 1980. En la primera etapa del proyecto solo se removieron cerca de 2,500 llantas, y el costo de remoción de cada una de ellas fue de 105 euros (Agence des Aires Marines Protégées, 2015).

¿QUÉ HACEMOS CON LAS LLANTAS?

Queda el problema de las llantas usadas. Por una parte, es necesario evitar que los contaminantes que contienen alcancen pozos de abastecimiento o ecosistemas sensibles. Si se les dispone en condiciones inadecuadas, las llantas pueden servir como nidos para vectores transmisores de enfermedades como el dengue, el chikungunya o el zika; además, por su elevado poder calorífico, representan un riesgo constante de incendios. Por consiguiente, en México, las llantas usadas son consideradas residuos de manejo especial por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la cual “prohíbe su disposición final en predios baldíos, barrancas, cañadas, ductos de drenaje y alcantarillado, en cuerpos de agua y cavidades subterráneas” (Diario Oficial de la Federación, 2014).

Por otra parte, debemos encontrar alternativas para disminuir el ingente volumen que este residuo representa. En México se generan 40 millones de llantas usadas al año; de estas, se recicla o aprovecha solamente el 5 % (Agencia Informativa CONACYT, 2015). Luego de que se separan tres fracciones principales de las llantas (el caucho, la fibra textil y el acero), el caucho separado se co-incinera, básicamente para producir cemento, o bien se tritura para fabricar impermeabilizantes, suelas para calzado, asfalto y pisos, entre otros productos. Estas acciones de reciclaje son insuficientes para las cantidades de llantas usadas que se producen en nuestro país y en el mundo (cerca de 14 millones de toneladas en 2013; Machin y cols., 2017), y que según las estimaciones basadas en el crecimiento del parque vehicular seguirán incrementándose (Constantinescu, 2012). El reciclaje de las llantas como tales, es decir, para

fabricar llantas de nuevo, es otra promisorio alternativa que quizás esté a la vuelta de la esquina. Para ello se ha propuesto sustituir el butadieno por ciclopenteno, el cual permite sintetizar un polímero que, una vez usado, puede descomponerse a temperaturas moderadas (40-50 °C) y restituir sus componentes originales para fabricar llantas nuevas. Esta propuesta aún está en fase experimental (American Chemical Society, 2016).

CONSIDERACIONES FINALES

El seguimiento a largo plazo de los arrecifes artificiales muestra que tienen el potencial de proporcionar algunos de los servicios ambientales que los arrecifes naturales prestan; incluso, se les ha propuesto como herramientas de restauración ecológica (Seaman, 2007). No obstante, es imperativo que sean estables, que sean precedidos por evaluaciones de impacto ambiental y estudios piloto y, como ya vimos, deberían construirse con materiales como el concreto o el hormigón, que sí permitan el establecimiento de comunidades complejas y que no liberen sustancias tóxicas. Así lo establecen las regulaciones internacionales modernas, tales como las *Directrices relativas a la colocación de arrecifes artificiales* publicadas en 2009 por el Protocolo de Londres (que se refiere a la prevención de la contaminación marina debida a la descarga intencional de desechos) y el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Estas directrices desaconsejan el uso de materiales de segunda mano, tales como llantas, en arrecifes artificiales (London Convention and Protocol/UNEP, 2009). Para barcos y plataformas petroleras en desuso, que son estructuras muy comunes en arrecifes artificiales, las directrices estipulan que deben limpiarse y descontaminarse antes de ser sumergidas. En México se han hundido varios buques con este propósito; sin embargo, solo para el último hundimiento (en 2015, frente a las playas de Rosarito, en Baja California) se ha reportado el seguimiento de las normativas internacionales para arrecifes artificiales (*La Jornada*, 2015).

Aunque se construyan tomando estas precauciones, parece muy improbable que los arrecifes artificiales pudieran suplir por completo las funciones que tienen los naturales. Sin embargo, como consecuencia del cambio climático y de la acidificación de los océanos que caracterizan al Antropoceno, los arrecifes representan el ecosistema más vulnerable del planeta. La acción prioritaria es entonces estudiarlos, impedir su deterioro y conservar la enorme biodiversidad que albergan.

R E F E R E N C I A S

- Agence des Aires Marines Protégées (2015). *25,000 pneus hors des mers: le film*. Agence Française pour la Biodiversité, Ministère pour l'Environnement. Recuperado de: <http://www.aires-marines.fr/Actualites/25-000-pneus-hors-des-mers-le-film>
- Agencia Informativa CONACYT (2015). *Trisol: manejo integral de llantas usadas*. Recuperado de: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/3595-trisol-manejo-integral-de-llantas-usadas>
- American Chemical Society (2016). *Reducing tire waste by using completely degradable, synthetic rubber*. Recuperado de: <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2016/august/reducing-tire-waste-by-using-completely-degradable-synthetic-rubber.html>
- Constantinescu C (2012). Ecological dimension of tire management: Environmental impact of tire use. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences* 2:180-195.
- Diario Oficial de la Federación (2014). Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, y de la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal. Estados Unidos Mexicanos (4 de junio de 2014).
- Endangered Species International (2015). *Artificial reefs that fail to benefit anything!* Recuperado de: http://www.endangeredspeciesinternational.org/news_july15.html
- Florida Department of Environmental Protection (2016). *History and Overview of the Osborne Reef Waste Tire Removal Project*. Recuperado de: http://www.dep.state.fl.us/waste/quick_topics/publications/shw/tires/reef/Osborne-History_09Aug16.pdf
- La Jornada* (2015). *Hunden buque para crear arrecife artificial en BC* (21 de noviembre de 2015). Recuperado de: <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/11/21/hunden-buque-para-crear-arrecife-artificial-en-bc-7854.html>
- Liu X, Ding J, Ren N, Tong Q y Zhang L. (2016). The detoxification and degradation of benzothiazole from the wastewater in microbial electrolysis cells. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13:1259-1270.



© Antonio Álvarez Morán. Retrato de María Antonia Purísima Concepción, 2012.

London Convention and Protocol/UNEP (2009). *Guidelines for the placement of artificial reefs*. International Maritime Organization, Londres.

Machin EB, Pedrosa DT y de Carvalho JA (2017). Energetic valorization of waste tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68:306-315.

NOAA (2008). *Importance of coral reefs*. Recuperado de: http://ocean-service.noaa.gov/education/kits/corals/coral07_importance.html

Sarasa J, Llabrés T, Ormad P, Mosteo R y Ovelleiro JL (2006). Characterization and photo-Fenton treatment of used tires leachate. *Journal of Hazardous Materials* 136:874-881.

Seaman W (2007). Artificial habitats and the restoration of degraded marine ecosystems and fisheries. *Hydrobiologia* 580:143-155.

Sherman RLY Spieler RE (2006). Tires: unstable materials for artificial reef construction. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 88:215-223.

Wik A y Dave G (2009). Occurrence and effects of tire wear particles in the environment –A critical review and an initial risk assessment. *Environmental Pollution* 157:1-11.

Gabriela A. Vázquez Rodríguez
Centro de Investigaciones Químicas
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
gvazquez@uaeh.edu.mx