



Caldo de vida: el genoma del mar

Alejandro Garcíarrubio
Investigador Titular

Instituto de Biotecnología de la UNAM

Presentación del Autor: Alejandro Garcíarrubio es investigador de tiempo completo del Instituto de Biotecnología donde realiza trabajo sobre bioinformática, evolución dirigida de proteínas y genómica comparativa. Participó en la secuenciación del genoma de la Taenia solium. Es además un ameno divulgador, destacando dentro de su obra el libro "El Genoma Humano" dentro de la serie "Viaje al Centro de la Ciencia" publicado por ADN y Conaculta. Presentado por Agustín López Munguía.

¡En el mar la vida es más sabrosa! ¡Mil millones de millones de millones de millones de organismos (diez elevado a la 27) no pueden estar equivocados! La vida comenzó en el mar hace 3600 millones de años. Sus habitantes más emblemáticos, los peces, surgieron hace 500 millones. La vida sobre la tierra tiene apenas 475 millones, cuando aparecieron las primeras plantas terrestres. Los mares cubren tres cuartas

partes de la superficie del planeta (361 millones de Km²). El mar capta el 90% del calor derivado del "efecto invernadero" que ocasiona el dióxido de carbono (CO₂) emitido por los humanos. También absorbe el 25% de ese CO₂, lo que causa su acidificación. En los primeros 100 metros de la superficie marina, donde la luz penetra lo suficiente, se genera el 50% del oxígeno con el que cuenta el mundo. El océano ayuda a moderar el clima del planeta, enfriando las regiones subtropicales y entibiando las latitudes frías, gracias a vigorosos sistemas de circulación que mueven calor del ecuador hacia los polos. La enorme biodiversidad de los arrecifes marinos, hogar de miles de especies de microorganismos y macrofauna solo es igualable por la de las selvas terrestres. Pero esa riqueza no durará mucho tiempo. Tal vez estemos siendo testigos de la sexta mayor extinción de la historia de la Tierra (han ocurrido cinco, incluida la de los dinosaurios), ya que en unas cuantas décadas la extensión y riqueza de arrecifes y selvas altas han poco menos que desaparecido y sin

haberlos conocido del todo. A pesar de su importancia, y de que ahí la vida es más sabrosa, es muy, pero muy poco lo que sabemos del mundo acuático que nos rodea.

Invitación para un viaje.

¿De verdad le interesa el Mar? ¿Quisiera saber más sobre la vida en los océanos? Para usted que gusta de lo desconocido, de viajes épicos, que no sufre náuseas en alta mar, y que dispone de 1140 días libres, hemos preparado el siguiente Tour. Navegaremos en el "Tara", una cómoda y moderna embarcación de 36 metros de largo, 10 de ancho, y un mástil de 27 metros, y recorreremos 140,000 Km (3 y media veces la circunferencia de la Tierra), cruzaremos 3 veces el mar Atlántico, 2 el mar Pacífico, un buen tramo del mar Índico, y circunnavegaremos el hielo permanente del Océano Polar Ártico. Tendremos experiencias inolvidables, como un mes entre los icebergs de la Antártida, una vista al mar más peligroso del mundo, donde cientos de naves piratas de origen somalí nos esperarán ansiosos con su embarcaciones artilladas, y vi-

viemos una travesía inolvidable por el "continente de plástico", una extensa región marina al noreste de Hawaii donde las corrientes acumulan millones de botellas de plástico que la especie más inteligente (me refiero a los humanos desde luego) arroja cada año al mar. Saldremos una mañana del puerto de Lorient (Francia) con el siguiente itinerario: primero iremos a Niza, pasando por Gibraltar para adentrarnos en el mar Mediterráneo; tocaremos la costa norte de África, Dubrovnik (esto en Croacia, ya en pleno Mar Adriático) y luego Beirut. Pasaremos por el canal de Suez hasta llegar al Mar Rojo, por Yibuti (en el Cuerno de África), el Golfo de Adén, el Pérsico, también por Mumbai para luego seguir hacia las islas Maldivas, Mauricio y La Reunión, de Mayotte (todas en el océano Índico). Después pasaremos por algún punto entre las aguas que separan Madagascar de África, bordearemos el sureste del continente negro hasta llegar a Ciudad del Cabo. Desde este punto cruzaremos hacia América para llegar a la isla Asunción, tocando Río de Janeiro, Buenos Aires y Las Malvinas. Estaremos en la punta norte de la Antártica, al sur de la Patagonia, para después

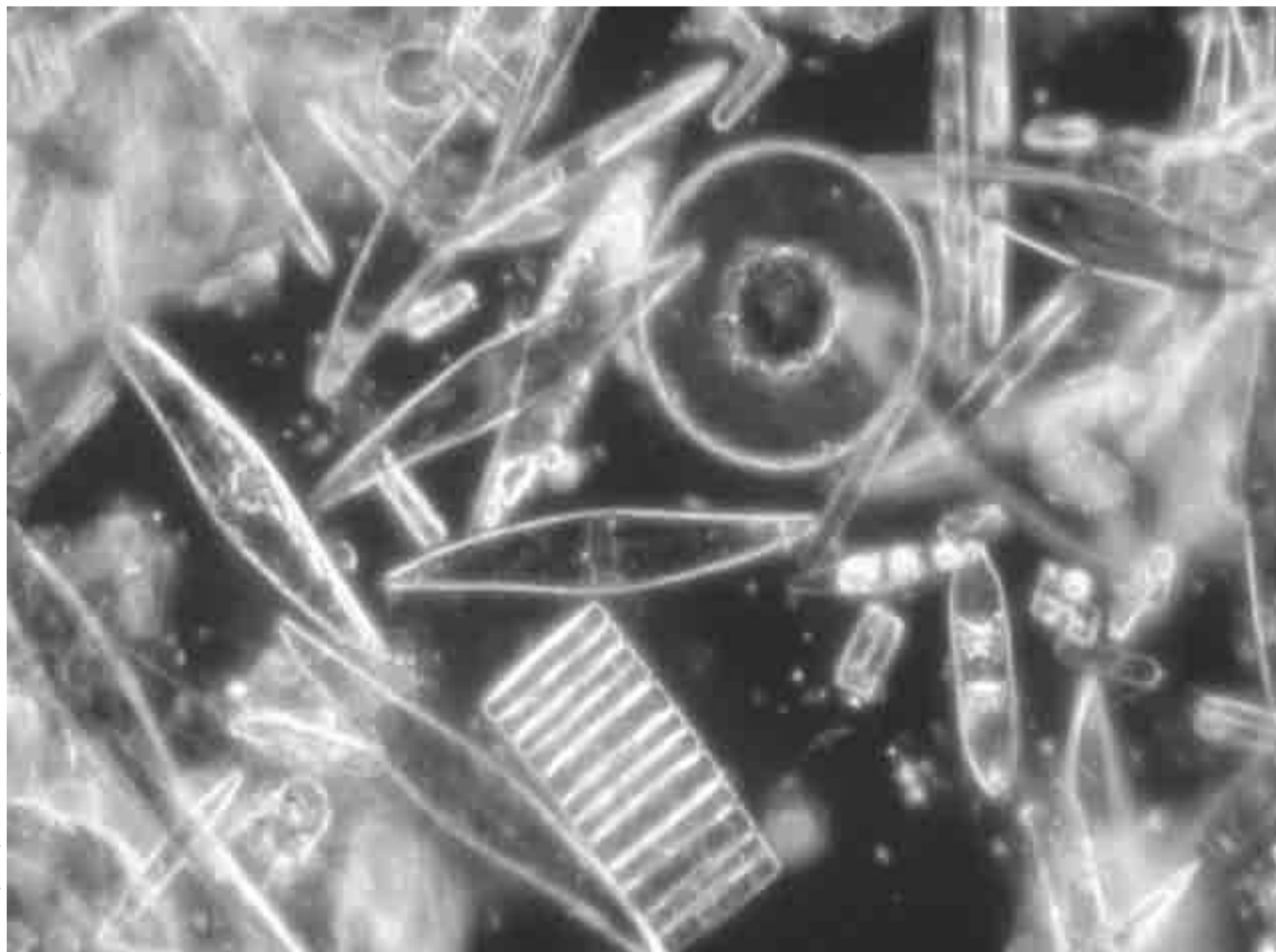
*El mar es tu espejo;
Contemplas tu alma
En el desarrollado infinito de sus
olas.*

*"El hombre y el mar",
Charles Baudelaire*

dirigirnos a Valparaíso, a la famosa isla de Pascua, Guayaquil, Islas Galápagos, y regresaremos a la isla de Pascua. Cruzaremos nuevamente hacia otro continente, siendo Tahiti nuestro primer objetivo en Oceanía, para después regresar a América esta vez visitando Hawai y San Diego en California. Borearemos la costa del Pacífico mexicano y Centro América, cruzando del océano Pacífico al Atlántico por el Canal de Panamá. Pasaremos entre Cuba y la península de Yucatán y después Bermudas, para continuar a Savannah (Georgia, USA), Nueva York y de allí, regresaremos a Europa, deteniéndonos brevemente en Lorient (donde empezamos el trayecto). Retomaremos el viaje dirigiéndonos nuevamente a América, pero esta vez con dirección a Quebec. De allí, sortearemos 1000 islas congeladas entre Canadá y Groenlandia en nuestro paso hacia el océano Ártico. Proseguiremos el trayecto navegando entre Rusia y el casquete polar ártico. Disfrutaremos de un breve pero reparador descanso en Doubinka (navegando río arriba, internándonos en la estepa siberiana). De regreso al Océano Ártico, pasaremos por Tromso (en la Laponia noruega) y finalmente, rodearemos Irlanda y Gran Bretaña, para regresar al punto del que partimos en dos ocasiones: Lorient.

Memorias del Viaje

La anterior, es una imaginaria convocatoria a la reciente "Expedición Oceánica del Tara" realizada entre septiembre de 2009 y diciembre de 2013, en la cual participaron científicos de 40 países. El objetivo del viaje era nada más y nada menos que descifrar "el genoma del mar". A lo largo de su trayectoria, el Tara tomó muestras de mar en 210 sitios, seleccionados por su importancia oceanográfica y su diversidad biológica. En total fueron 35,000 muestras, cada una conteniendo millones de organismos habitantes de las aguas de esas regiones. En distintos momentos, los "Tara-nautas" incluyeron 90 tripulantes (contando artistas y periodistas) y 160 investigadores de las 40 distintas naciones convocadas. Los investigadores usaron tres sistemas de colecta. Dado que dependiendo del tamaño de la red es el tamaño de la pesca,



Diversas diatomeas -una de las formas más comunes del fitoplancton- vistas bajo el microscopio. Estos especímenes viven entre cristales de hielo en el mar, en el Estrecho de McMurdo en la Antártica. Los pequeños fitoplancton están cubiertos de una pared celular de silicatos.

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial @acmor.org.mx



aquí no se usaron redes comunes y corrientes, sino filtros con poros de 7 distintos tamaños (desde 5 a 700 micras) que se usaron para tomar muestras de 0 a 1000 metros de profundidad; también se usaron "bombas peristálticas" (que impiden el contacto de lo que se bombea con el motor de la bomba, ya que funcionan moviendo fluidos como lo hacen nuestros "intestinos") que subían agua de profundidades entre 10 y 120 metros y la pasaban por los coladores y filtros para separar a los organismos por tamaño; contaban además con 2 tipos de robots, que además de tomar las muestras, medían una serie de parámetros físico-químicos relacionados con la muestra, como la presión, temperatura, contenido de sales, contenido de oxígeno, de nitrógeno, y algunas otras mediciones más especializadas, como la fluorescencia circundante. El robot más sofisticado, llamado "Underwater Vision Profiler" (UVP), se sumergió hasta 2000 metros, por lo que además de muestras y parámetros de interés microbiológico obtuvo fabulosas películas, fotografías de partículas y de los micro-organismos en su ambiente natural.

Aunque el *Tara* tiene un laboratorio equipado con alta tecnología (por ejemplo, un microscopio de flujo que cuenta el número de organismos, haciéndolos pasar por tubos capilares de vidrio tan delgados como un cabello), la mayor parte de los análisis se hicieron en los centros de investigación. Cada 6 u 8 semanas, al llegar a puerto, las muestras conservadas a -196°C en nitrógeno líquido, eran enviadas en avión al repositorio central ubicado en Alemania. El análisis posterior se llevó a cabo en 23 laboratorios de 10 países, donde 140 investigadores con distintas especialidades (oceanografía, geología, meteorología, biología molecular, taxonomía, evolución, epidemiología, microbiología, zoología, botánica, genómica y, sobre todo, bioinformática) colaboraron para dar sentido a la infinidad de datos generados.

Una parte esencial del trabajo fue secuenciar el material genético (ADN) de las muestras. El primer reporte de la expedición, recién publicado en la revista *Science*, está basado en tan solo 243 muestras de 68 localidades. La secuencia del ADN se obtuvo de manera "metagenómica" (es decir, "en bonche", sin antes separar los organismos), pero una vez organizada la información, primero en genes y luego en genomas, se llegó a la conclusión



El Tara. Embarcación en la que por más de 3 años, científicos de todo el mundo recorrieron los océanos colectando muestras para conocer el genoma de las especies marinas; el genoma del mar.

de que tenían en su poder 40 millones de genes, la mayoría nuevos para la ciencia. Usando la súper-computadora del Laboratorio Europeo de Biología Molecular (EMBL por sus siglas en inglés), ubicado en Heidelberg, Alemania, se pudo saber que estos genes corresponden a más de 35,000 especies distintas, entre virus, bacterias y eucariontes microscópicos, que en su mayoría fueron también, nuevos descubrimientos. Un resultado notable es que se encontraron muchos más eucariontes unicelulares de los que se imaginaba, y que éstos parecen más diversos que las mismísimas bacterias, justo al revés de lo que sucede en tierra firme, donde los menos evolucionados procariontes exceden en diversidad a los eucariontes que incluyen a los protistas, plantas, animales y hongos.

Gracias a nuevos modelos computacionales, los investigadores predijeron cómo interaccionan estos micro-organismos en sus comunidades marinas. Las predicciones fueron corroboradas con cuidadosas observaciones fotográficas. Un resultado importante es que las relaciones son principalmente parasíticas, favoreciendo el reciclado

de los nutrientes en la cadena alimenticia.

Además de las interacciones bióticas, los investigadores estudiaron los factores ambientales afectan a estos organismos. Se observó que en la profundidad hasta donde la luz penetra, la temperatura es el factor que más determina la composición de las comunidades de bacterias, ya que los organismos se asocian dependiendo de la temperatura.

Aunque el mar parece un sistema continuo y conectado, se encontró que hay barreras ecológicas a la migración de los organismos. Por ejemplo, paralelo a la costa sudeste de África circula una delgada corriente de agua fría (el "anillo" de Agulhas), que, a pesar de su estrechez, y de no ser mucho más fría que el agua en su entorno, basta para enfriar el ambiente del plancton y limitar severamente el paso de las especies del Océano Atlántico al Índico, y vice versa.

Otro logro fue el tener una imagen global de las comunidades virales marinas. Con ello se corroboró la antigua hipótesis, no confirmada previamente, de que los virus se producen en ciertas localidades que funcionan como "semilleros", desde donde se dispersan y combi-

nan en las corrientes marinas. Esto hace que distintos lugares puedan tener distintas mezclas de virus, aunque la diversidad global de virus, en sí, parezca limitada.

Dada la importancia que tiene la vida marina para el clima del planeta, es importante saber si, a su vez, la biodiversidad marina se afecta por algunas perturbaciones, como la contaminación. Esta es una pregunta que no se abordó directamente en el proyecto, pero el hecho de que la temperatura sea un determinante tan importante de las comunidades marinas, y el hecho de que la acción humana esté causando la acidificación y el calentamiento del mar, permiten suponer que estamos afectando seriamente su biodiversidad.

Los resultados aquí descritos fueron publicados en seis artículos en la revista *Science*, en un ejemplar dedicado especialmente a este proyecto. Todos los datos (publicados o no) están en la Internet libremente disponibles para que cualquiera que así lo desee (científicos, compañías, maestros y estudiantes, usted o yo) las pueda usar para su propia curiosidad o preguntas. De hecho, cientos de científicos que no fue-

ron parte del proyecto se han apresurado a revisar la riqueza disponible, y muy pronto se publicarán nuevos análisis. Además de secuenciar el ADN para catalogar y mapear la biodiversidad, el proyecto realizó una clasificación morfológica del plancton usando tecnología robótica y microscopía de avanzada. ¡No se pierda las imágenes y vídeos de estos organismos y sus interacciones, pues son espectaculares!

¡Hoy, la luz del sol penetra en el mar como siempre, pero nuestra visión es un poquito más profunda!

Nota: Estos links le llevan a mayor información (ambos en inglés):

1) Presentación del ejemplar especial de la revista *Science*: <http://www.sciencemag.org/content/348/6237/873.full>

2) El proyecto "Tara Oceans" tiene su propia página en el EMBL <http://www.embl.de/tara-oceans/start/>

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx