

Soluciones espaciales en el fondo del mar



1. Orificio causado en el ala del transbordador espacial Endeavor. La fractura fue causada en la misión espacial STS-118, cuando un hule espuma desprendido por un tanque propulsor externo fue liberado durante el despegue.

Dr. Eduardo Villarreal Ramirez
Hospital for Special Surgery, NY.

Dra. Ivet Gil Chavarría
New York University, NY.

Dr. Ramón Garduño Juárez
Instituto de Ciencias Físicas, UNAM
Academia de Ciencias de Morelos

¿Quién no ha imaginado viajar al espacio y usar un traje de astronauta? ¿A quién no le sorprende ver un cohete espacial, incluso por

televisión? Mi padre nos transportaba a la luna y las estrellas con cada historia que nos contaba de viajes espaciales, nos enseñó a valorar el universo y admirar la destreza de los astronautas. El 1 de febrero del 2003 nos había prometido un día especial, íbamos a ver cómo el transbordador espacial Columbia regresaba a la órbita terrestre después cumplir con su misión. Ese día tan esperado estábamos todos reunidos en la sala, muy atentos alrededor del televisor; sin embargo, algo

impactante sucedió y transformó todo en un recuerdo triste. El transbordador nunca regresó, cuando trató de reingresar a la atmósfera terrestre, se desintegró completamente y se observaron caer los fragmentos incandescentes de la nave sobre los estados de Texas y Luisiana en los EUA.

Algunas semanas después, la NASA entregó un informe detallado sobre el lamentable suceso; su reporte señalaba que, al momento del despegue de la

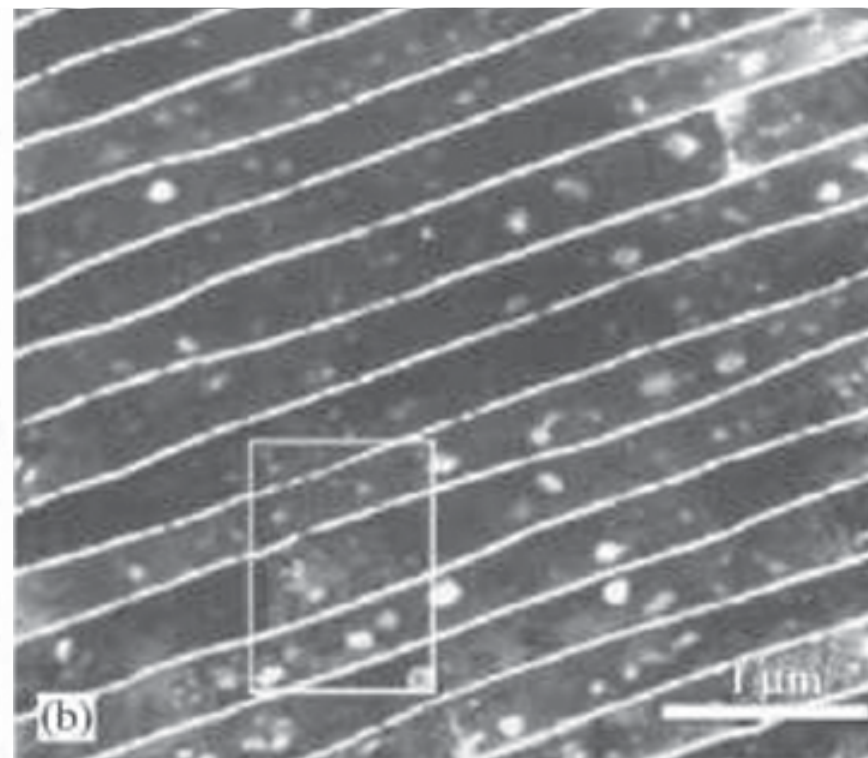
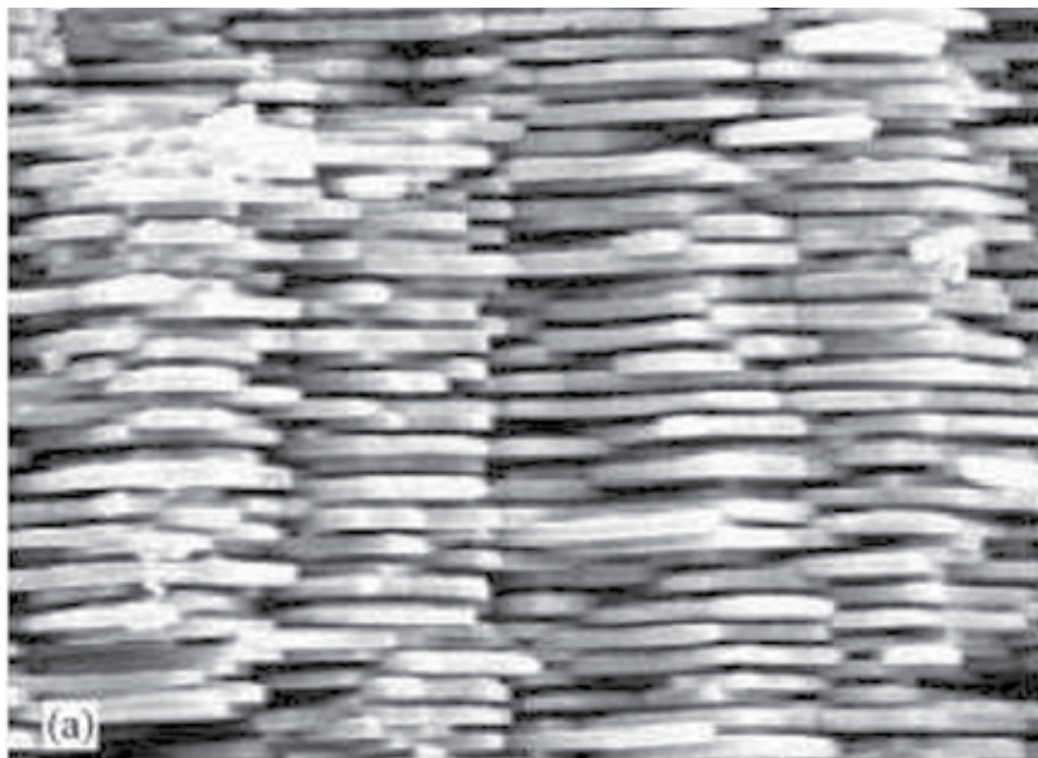
nave espacial, un objeto de hule espuma desprendido de un tanque propulsor externo golpeó el ala izquierda del Columbia. Este golpe generó un orificio de aproximadamente 15 a 25 cm de diámetro en las cerámicas termoprotectoras y permitió la entrada de los gases, ocasionando el desprendimiento del ala izquierda y una serie de giros violentos que terminaron con la destrucción completa de la nave (Figura 1). Dicha explicación me dejó muchas dudas. La primera es: ¿Cómo



3. La línea negra en el centro de la bacteria es el magnetosoma (cristales de magnetita) en la bacteria *Aquaspirillum magnetotacticum*.

un hule espuma puede formar un orificio y desencadenar un daño tan grande? Mi padre me dio un ejemplo para explicar esto: Si tuviéramos un bate de beisbol hecho en base de hule espuma y alguien nos golpeará con él, no nos causaría ningún daño; sin embargo, si el bate de beisbol nos golpeará a una velocidad de más de 3000 kilómetros por hora el daño podría ser mortal. Del mismo modo el hule espuma dañó la cerámica termoprotectora del ala del Columbia.

Por otra parte, ¿qué tan importantes eran esas "cerámicas termoprotectoras" que al dañarse



2. Nácar de la concha del Abulón. a) Micrografía obtenida con un microscopio electrónico de barrido donde se aprecia la estructura "Ladrillo-y-mortero", b) Micrografía obtenida con un microscopio electrónico de transmisión de la misma estructura.



causaron esa irreparable tragedia? Ahora sé que las naves espaciales, a diferencia de los aviones, tienen esas cerámicas en sus alas para proteger a la nave de calor abrasivo, aguantando una temperatura de hasta 1200 C° que se genera por la fricción con las moléculas de aire en la entrada a la atmósfera terrestre.

A pesar de lo anterior, en mi mente todavía quedaban algunas preguntas pendientes, las cuales me tomó más tiempo resolver: ¿Qué hubiera sido necesario para que el ala soportara el impacto del hule espuma y por ende evitar el accidente y la pérdida del Columbia? ¿Qué materiales cerámicos conocidos hubieran podido proteger el ala? Nadie hubiera pensado que las historias de mi padre y tan fatal accidente logran interesarme en la ciencia de materiales, mediante la cual pude comprender que sucedió.

Lo primero que necesitaba saber es: ¿Qué son las cerámicas? La palabra cerámica se deriva del griego κεραμική, de κεραμος (keramiké), "sustancia quemada". Los materiales cerámicos se definen como un carácter inorgánico obtenido de una materia prima mineral, no metálica. Sus propiedades son: buen aislante, resistente a altas temperaturas y choques térmicos, resisten a los agentes corrosivos y no se oxidan; sin embargo, su punto débil es la fragilidad y la fácil propagación de fracturas en su estructura.

Cuando una fuerza produce una grieta, que es la separación entre algunos de sus átomos, ésta se vuelve el punto de inicio para la propagación de la misma, provocando una fractura. Todos hemos observado la formación de una pequeña grieta en una taza al golpearse, la cual con el tiem-

po crece hasta que finalmente se fractura la taza. Eso se debe a que no hay nada que detenga la propagación de la grieta; bueno, a veces podemos agregar "pegamento" para evitar la fractura. Seguramente todos conocemos algunos materiales cerámicos, pero, ¿conocemos cerámicos que puedan evitar la propaga-

ción de las fracturas, resistir a los impactos y además ser ligeros como para poder usarlos en el ala del transbordador? Debemos considerar que cada gramo que se sube al espacio implica incremento muy alto en el costo. También se requeriría que estas cerámicas tuvieran un costo energético de producción bajo y que no contaminen.

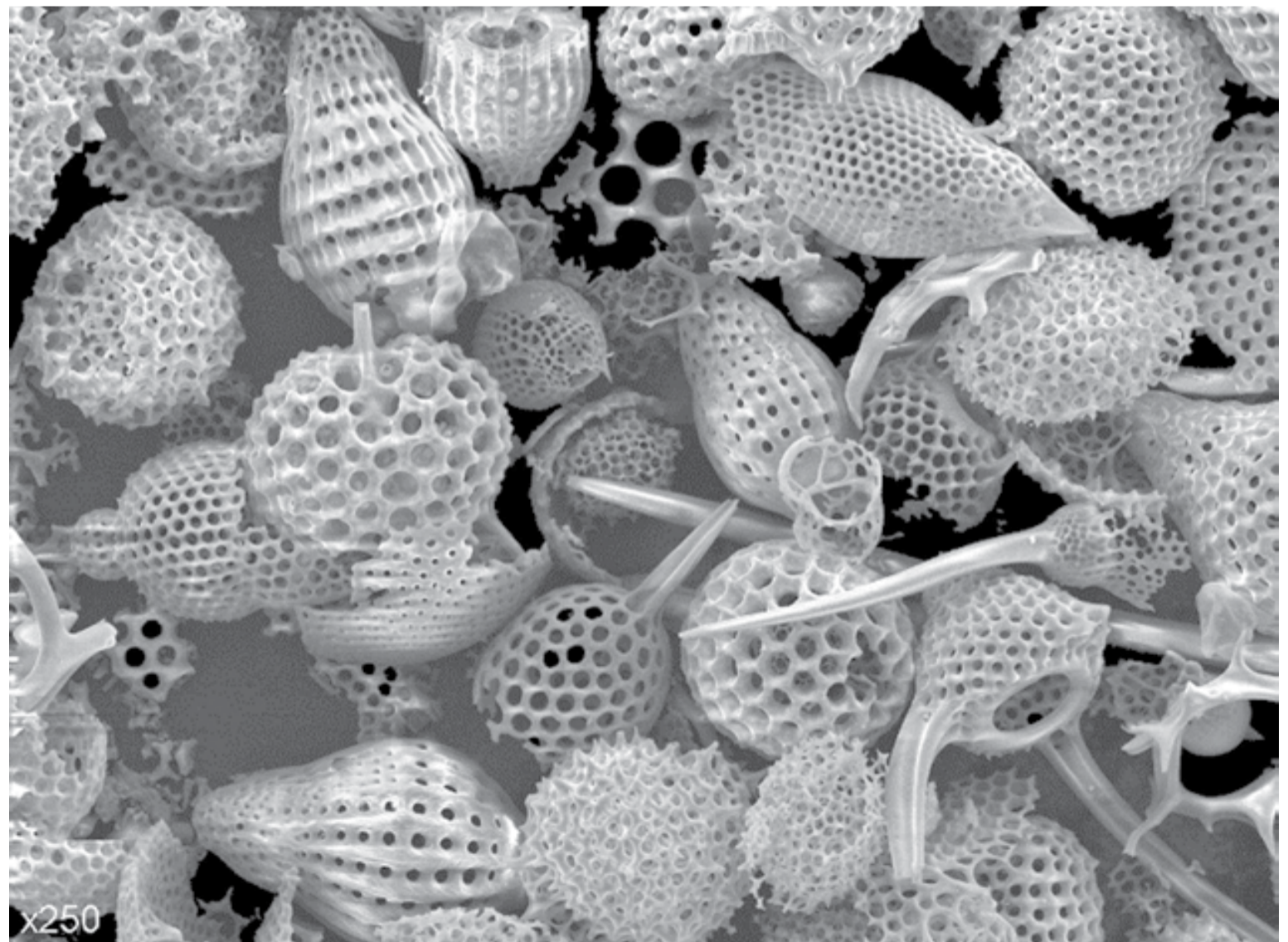
La respuesta es sí. Si conocemos materiales cerámicos que cumplen con los requisitos anteriores. Un ejemplo es la concha de los moluscos, un caparazón desarrollado por sus huéspedes invertebrados para protegerse de cualquier agresión externa y dar sostén a sus músculos y órganos. El nácar de la concha es tan fuerte que supera en 3000 veces la dureza de la aragonita inorgánica, y es 80 veces más resistente a la fractura que el cemento portland o cemento hidráulico. Esto se debe a que está compuesta en un 95% de un mineral llamado aragonita (carbonato de calcio) formando múltiples tabletas hexagonales con dimensiones microscópicas (0.020x0.0015 cm); mientras el 5% restante es constituido por macromoléculas orgánicas (proteínas y azúcares) las cuales rodean cada una de las tabletas y funcionan como amortiguador y "pegamento" ante los impactos impidiendo la propagación de la fractura (Figura 2).

El nácar de la concha de los moluscos se compone por materiales relativamente simples como calcio (Ca^{2+}) y carbonato (CO_3^{2-}), los cuales forman estructuras verdaderamente resistentes. Además se forman en condiciones estándar, es decir, no se necesitó de altas temperaturas, ni cambios en la presión, ni hay productos de desechos en su elaboración, tanto así que, las conchas son parte de los ciclos geoquímicos de la tierra y por si fuera poco son sumamente ligeras.

La concha de los moluscos no es la única cerámica que presenta estas características. Conocemos cerámicas únicas como los huesos, los cascarones de los huevos o los dientes. Para ser exactos conocemos alrededor de 60 tipos distintos de cerámicas similares y se encuentran en todos los reinos de los seres vivos, presentes en lo menos 55 *phyla* (Figuras 3 y 4). Estas cerámicas han sido desarrolladas por la naturaleza durante miles de millones de años a partir de muy pocos elementos y formando materiales de una variedad sorprendente. Estas cerámicas biológicas son llamadas biominerales, minerales biogénicos, biocerámicas, biocompuestos o biomateriales. Siempre están formados por una fracción mineral (carbonatos, fosfatos de calcio, silicatos, sulfatos y óxidos) y en menor porcentaje de una

fracción orgánica (lípidos, proteínas y polisacáridos). El proceso de formación de los biominerales se conoce como biomineralización. Imaginemos que pasaría si lográramos entender completamente la formación de las cerámicas. La respuesta es que se podrían desarrollar materiales parecidos al nácar de la concha, a los huesos o al esmalte dental (tejido con la mayor dureza en el cuerpo humano) y entonces, podríamos emplearlo en aplicaciones tecnológicas o médicas. El conocimiento de los principios de la biomineralización nos llevaría a perspectivas interesantes para resolver problemas de nuestra sociedad.

Aunque conocemos detalles muy precisos para la formación de dichas cerámicas, aún estamos muy lejos de poder competir con la Naturaleza; afortunadamente, hoy en día somos capaces de producir cerámicas con excelentes propiedades mecánicas y con mayor resistencia a la fractura. Quizá con la tecnología actual se hubiera evitado la tragedia del Columbia. Tal vez en un futuro no muy lejano podamos imitar los procesos de la naturaleza, reforzando las alas de los transbordadores, viajando en autos blindados de materiales como el nácar de la concha, regenerando tejidos dentales y óseos, mejorando nuestra calidad de vida.



4. Esqueletos de radiolarios, estructuras basadas casi siempre en el sílice.