

RETOS DE LA INGENIERÍA EN EL SIGLO XXI

INGENIEROS, la historia continúa

TEXTO: HUGO CERDÀ FOTOS: AGE FOTOSTOCK

Los cambios de siglo (y no digamos de milenio) se suelen afrontar como encrucijadas temporales en las que procede una pausa para la reflexión sobre qué camino tomar. Esta tarea se percibe especialmente acuciante en épocas tan aceleradas e inciertas como la actual. La Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos ha hecho lo propio con los derroteros de la ingeniería en el siglo XXI abriendo un debate sobre los grandes retos de los ingenieros para los próximos decenios.

La tecnología es la que nos ha permitido llegar hasta aquí. Los científicos que rastrean el origen de nuestra especie lo certifican. En estas mismas páginas el codirector del yacimiento de Atapuerca, Eudald Carbonell, señalaba hace años que la capacidad para fabricar herramientas (la tecnología, en suma) fue lo que nos hizo humanos, al permitirnos sortear los designios de la selección natural y sustituirla por una selección técnica en la que teníamos ventaja respecto a cualquier otra especie.

¿Seremos capaces de conservar esa ventaja? ¿Nuestra preciada capacidad técnica nos permitirá seguir

recorriendo con éxito el camino del tiempo? La Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos (NAE, en sus siglas en inglés) confía en que sí y ha lanzado un debate sobre cuales serán los grandes retos para la ingeniería en el siglo XXI.

La iniciativa, implementada en una página web (www.engineeringchallenges.org), invita a una reflexión sobre los principales desafíos técnicos a los que se tendrán que enfrentar los ingenieros en los próximos decenios. “En cada uno de los ámbitos de interés humano grandes retos específicos aguardan las soluciones de la ingeniería. Aplicando

las reglas de la razón, los descubrimientos de la ciencia, la estética del arte y la chispa de la imaginación creativa, los ingenieros continuarán la tradición de forjar un futuro mejor”, explican los responsables de la NAE.

Los 14 retos fundamentales

De este espíritu optimista, casi eufórico, surge una lista de 14 retos fundamentales:

1. Hacer rentable la energía solar.
2. Desarrollar la fusión nuclear.
3. Diseñar sistemas para captar CO₂.
4. Hacer seguro el ciberspacio.



Cada día mueren 5.000 niños de diarrea por consumir aguas contaminadas. Garantizar el suministro de agua limpia es un reto político pero también de ingeniería. En la foto, una niña bebe agua en Plaplaya, cerca de Río La Criba, en Honduras.

¿Es el terrorismo nuclear una amenaza que mereza una atención especial o un espejismo fabricado por una sociedad paranoica? En la imagen, dos personas con trajes protectores frente a riesgos biológicos o químicos.



5. Proporcionar acceso universal al agua potable.
6. Potenciar la realidad virtual.
7. Mejorar la infraestructura urbana.
8. Prevenir el terrorismo nuclear.
9. Avanzar en la informática aplicada al campo de la salud.

10. Progresar en el aprendizaje personalizado.

11. Desarrollar mejores fármacos.

12. Diseñar las herramientas para los futuros descubrimientos científicos.

13. Hacer ingeniería inversa del cerebro.

14. Gestionar el ciclo del nitrógeno.

El comité que ha elaborado la lista está compuesto por 18 expertos de reconocido prestigio procedentes de instituciones como el Instituto Tecnológico de Massachusetts, la Universidad de Stanford, la de Harvard, la de Princeton, la de California, y hasta la Casa de los Lores británica. Algunos de los miembros son el premio Nobel de Química de 1995, Mario Molina, el cofundador de Google, Larry Page, el polémico científico que lideró uno de los proyectos de secuenciación del genoma humano, Craig Venter, y el profesor del MIT Robert Langer, que en 2008 recibió el premio Príncipe de Asturias.

Algunos de los desafíos propuestos son claramente inaplazables, bien porque están relacionados con la supervivencia del planeta y la sostenibilidad de nuestras acciones, o bien porque son cruciales para asegurar un mínima calidad de vida para toda la población. Otros, en cambio, parecen más cuestionables. ¿Hasta qué punto se puede equiparar el desarrollo de la realidad virtual con el acceso universal a agua limpia? ¿Es el terrorismo nuclear una amenaza que mereza una atención especial o un espejismo fabricado por una sociedad paranoica?

“Fraseologías como ‘los restos del siglo xxi’ son más producto del deseo de causar impacto en la opinión pública que de la realidad de las cosas”, señala Aníbal R. Figueiras, presidente de la Real Academia de Ingeniería (RAI). Una opinión en la que coincide Jaime Sánchez-Montero, presidente del Comité de Inventiva y Creatividad del Instituto de la Ingeniería de España (IIES): “La lista de retos de la NAE corresponde con la mentalidad americana y los problemas que se suscitaban en la sociedad norteamericana, con anterioridad a la crisis financiera. En dicha lista de 14 problemas a resolver hay ausencias notables”.

Entre esas omisiones, Sánchez-Montero destaca por sorprendentes el desarrollo de las células madre, y el perfeccionamiento y obtención de nuevos materiales que consigan el abaratamiento de los estratégicos y escasos, como el *coltán* (un mineral fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías: telefonía móvil, fabricación de ordenadores, etc.), que han originado conflictos camuflados como el que actualmente azota a la población de la República Democrática del Congo.

Aunque ni la RAI ni la IIES disponen de una lista oficial de desafíos como la estadounidense, sí que tienen claras las prioridades que, a efectos útiles, viene a ser lo mismo. “Deben estimularse las actividades de ingeniería que evitan la degradación del ambiente y destrozan la salud humana”, apunta Sánchez-Montero, del IIES. Por su parte, Aníbal R. Figueiras comenta que la RAI tiene una postura activa en energía, desarrollo sostenible, preservación del medio ambiente, información y conocimiento, educación y formación, e innovación y empresa.

La propia NAE reconoce que los 14 grandes retos enunciados son sólo ejemplos que apenas rascan la superficie de los desafíos que los ingenieros afrontarán en el siglo xxi. Pero ¿serán sólo los ingenieros? La mayoría de los problemas enunciados por la iniciativa *Grand Challenges for Engineering* y los que ni siquiera nombra son más que meros problemas técnicos.

Casi todos ellos son rompecabezas en los que la pieza tecnológica no es, ni mucho menos, la última en ser ensamblada; hay además obstáculos económicos, políticos y sociales que condicionan, cuando no trapan, su resolución definitiva. ¿De qué sirve hallar soluciones para el abastecimiento de agua potable si después no existe la voluntad política y el dinero para implantarla en los países más pobres?

“Conviene dejar claramente establecido que la técnica proporciona herramientas para implantar algunas soluciones alternativas para los problemas que nos afectan, y que en buena parte de las ocasiones, como debe ser, la elección entre esas alternativas no es una decisión técnica, sino sociopolítica (a veces, y lamentablemente, sólo política por dejadez de las sociedades)”, comenta Figueiras, catedrático del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid.

Del mismo modo que la solución a la actual crisis del sistema financiero internacional no es meramente técnica, sino que está implicado el modelo económico en el que dicho sistema se inserta y la voluntad política por cambiarlo. “Los retos no son puramente técnicos, son en gran medida económicos y políticos, es decir, integrales. Esto requerirá no sólo buenos ingenieros y economistas, sino fundamentalmente hombres de Estado que puedan acceder al poder y a la representatividad con medios de comunicación transparentes e independientes”, explica Jaime Sánchez-Montero.

La iniciativa de la NAE ha abierto una discusión en la que quien lo desee puede dar su opinión sobre los retos de la ingeniería en el siglo xxi. Más de 500 personas de diferentes países ya lo han hecho. Es el caso de William Leizerowicz, de Toronto (Canadá): “Soy también ingeniero y me gusta la idea de tener un lista con los grandes retos. Sirve como una especie de inspiración para ayudar a los estudiantes de ingeniería a elegir sus áreas de estudio”. Un comentario similar al que deja Sheila, de Nueva York: “Sugiero una iniciativa fuerte en educación para preparar y entrenar a los jóvenes ingenieros para que trabajen en estos desafíos”.

Pero la acuciante falta de vocaciones entre los estudiantes no permiten ser muy optimistas al respecto. El desplome de las matriculaciones de alumnos en un 23% desde 2003 ha convertido a los ingenieros en profesionales en retirada. Habrá que ver si el primer reto de la ingeniería no deberá ser engrosar sus filas.

“La Real Academia de Ingeniería se encuentra desvelada por ello y dedica grandes esfuerzos a analizar el problema y encontrar y valorar soluciones”, comenta Aníbal R. Figueiras. “Pero debería preocuparnos a todos, y no sólo a los técnicos. Si carecemos de ingenieros competentes, difícilmente se va a mantener la calidad de vida actual. Y si se nos deja a los ingenieros discutirlo en soledad, se creerá que pretendemos que se nos preste atención sin motivo y que se nos privilegie”.

Por su parte, Jaime Sánchez-Montero, del Instituto de la Ingeniería de España, quita hierro al asunto, cuestionando que la falta de interés por las carreras técnicas sea en sí un problema. “Creo que tomando conciencia de los problemas que pueden tener los procesos de formación de ingenieros en

sus distintos niveles no habrá grandes problemas de disponibilidad de buenos y competentes ingenieros", explica Sánchez-Montero.

Independientemente de cómo se resuelva la falta de ingenieros, lo que parece claro es que los que han anunciado el fin de la historia e, incluso, el fin de la ciencia deberán esperar para presentar los certificados de defunción. Todavía hay demasiados problemas y conflictos abiertos, tanto en el ámbito social como en el político. La ciencia no es una excepción. Ingenieros, la historia continúa.

De los 14 retos propuestos por la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos, los que siguen son algunos de los principales.

Dar brillo a la energía solar

La energía solar sigue representando un ingrediente minúsculo en el pastel energético mundial: menos del 1% de la energía total consumida, comparado con el 85% proporcionado por el petróleo, el gas natural y el carbón. Es obvio que hay margen para la mejora. Nada iguala al Sol como fuente de energía. Sólo una pequeña parte de la radiación solar llega hasta la Tierra, pero incluso esa cantidad es 10.000 veces superior a la energía comercial consumida en el planeta. El reto está en ser capaces de aprovechar de manera más eficiente esa energía que literalmente nos llueve del cielo.

Las células fotovoltaicas actuales, hechas en su mayoría de silicio, convierten la luz solar en electricidad con una eficiencia de sólo un 10% o 20%. Para hacer rentable la energía solar, los científicos e ingenieros deberán encontrar formas de aumentar la eficiencia de las células y disminuir los costes de fabricación.

Una cuestión clave es la pureza de los materiales. Las células fotovoltaicas actuales requieren materiales con una pureza elevada, ya que las impurezas bloquean el flujo de la carga eléctrica. Evidentemente, esa pureza encarece la materia prima. Ese problema se atenuaría si las cargas tuvieran que viajar sólo una distancia corta, a través de una capa fina de material. Las capas finas, sin embargo, serían incapaces de absorber tanta luz.

Una forma de eludir este dilema podría ser utilizar materiales gruesos en una dimensión para absorber la luz solar, y finos en otra dirección a través de los

cuales pudieran viajar las cargas. Una solución de este tipo implicaría el diseño de células fabricadas con cilindros diminutos o nanotubos. La luz sería absorbida en toda la longitud de los tubos, mientras que la carga eléctrica viajaría a través de la anchura estrecha de esos cilindros.

Otra posibilidad es diseñar células fotovoltaicas de óxido de titanio dopadas con compuestos orgánicos. La principal traba es la corta duración de estas células por la inestabilidad de los compuestos orgánicos.

Emular al Sol en La Tierra

$E=mc^2$. La fórmula más famosa de la ciencia podría dar la clave para la resolución definitiva del dilema energético: la fusión nuclear. La idea es sencilla en su esencia. Bajo unas condiciones de temperatura y presión determinadas, se provoca la unión de dos núcleos atómicos para formar uno de mayor peso atómico. El nuevo núcleo tiene una masa

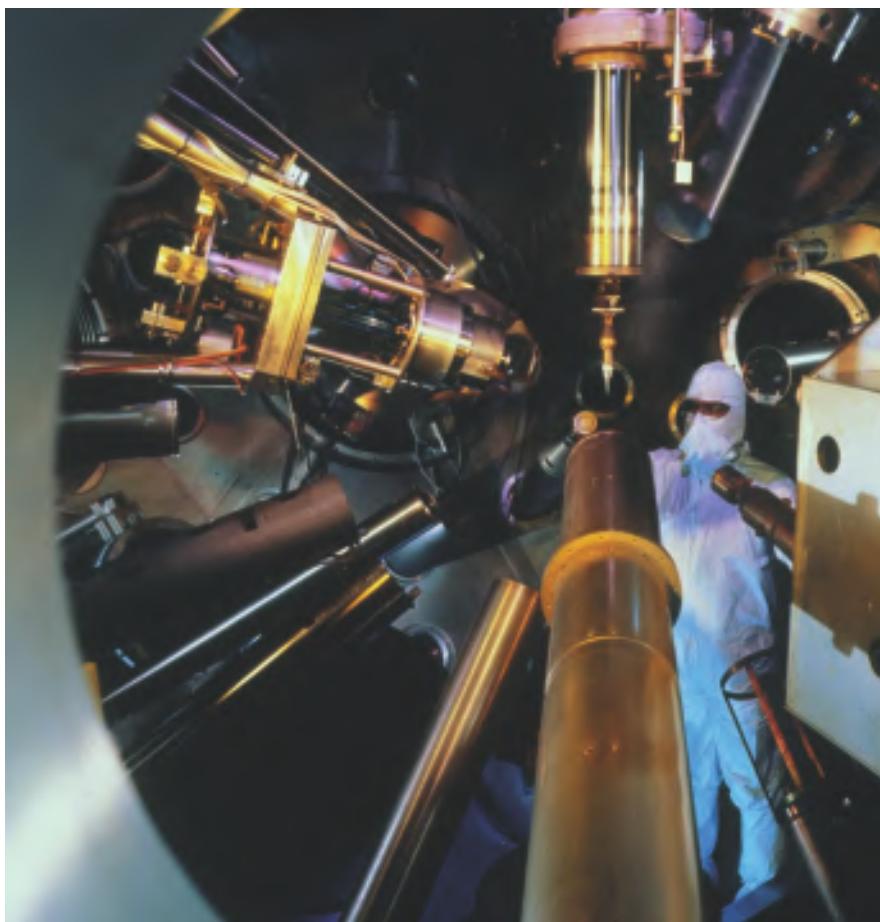
inferior a la suma de las masas de los dos núcleos que se han fusionado para formarlo. Esta diferencia de masa es liberada en forma de energía.

Es el proceso que alimenta al Sol y que podría ser replicado en la Tierra si se resuelven las dificultades técnicas que impiden su uso comercial en centrales específicas. Las ventajas frente a la fisión nuclear actual son la gran abundancia de la materia prima (agua y litio) y la ausencia de residuos radiactivos como consecuencia de la reacción.

La fusión nuclear parece haber demostrado su viabilidad científica y comenzará ahora a demostrar si es tecnológicamente viable con la construcción del ITER, la primera gran instalación mundial de experimentación en fusión termonuclear que se instalará en Cadarache (Francia). Despues se tendrá que demostrar su viabilidad económica. En cualquier caso, el calendario marcado para el ITER sitúa la disponibilidad de esta fuente de energía no antes de 30 años.

Antes se habrán tenido que resolver

La fusión nuclear, la unión de los núcleos de dos isótopos del hidrógeno (deuterio y tritio) para obtener energía, es un objetivo que se persigue desde hace décadas. En la imagen, el láser Nova utilizado experimentalmente para obtener temperaturas elevadísimas, de millones de grados Celsius, que permitirían iniciar la fusión nuclear.



algunos problemas técnicos, centrados sobre todo en el área de los materiales. Joaquín Sánchez Sanz es el coordinador del grupo de investigación del Ciemat que participa en la construcción del ITER. "Los principales retos para los ingenieros en la fusión nuclear tienen que ver con los materiales que se emplearán para construir el reactor y el manto fértil que servirá para la extracción de la energía y la regeneración del tritio. Los diferentes requerimientos para el manto harán de él un componente sin precedentes en la historia de la ingeniería", señala Sánchez Sanz. "Asimismo, se necesitarán materiales que resistan la radiación de los neutrones generados y cargas térmicas de entre 5 y 10 megavatios por metro cuadrado".

Asegurar el ciberespacio

Los ordenadores y las redes que los conectan (como Internet) son los gestores silenciosos de muchos de los sistemas que hacen funcionar nuestra sociedad. Comunicaciones, tráfico, banca, sanidad, transporte, suministro energético... la lista de las funciones clave gobernadas por las computadoras es tan extensa como crucial. Resulta evidente que un ataque contra estas redes informáticas podría tener consecuencias desastrosas para la vida de millones de personas; de ahí la necesidad de avanzar en el desarrollo de un ciberespacio seguro.

Jorge Ramió, profesor de la Universidad Politécnica de Madrid y director de la Cátedra UPM Applus+ de Seguridad y Desarrollo de la Sociedad de la Información, reconoce la imposibilidad de implantar una seguridad total en las redes informáticas por tratarse de "sistemas abiertos en los que no podemos poner vallas". Pero también se muestra convencido de que la seguridad de las redes y la protección de la información será una importante parcela de trabajo de los futuros ingenieros.

En los últimos años venimos asistiendo a un espectacular crecimiento de un tipo de delincuencia que usa la Red como medio idóneo para cometer sus delitos, comúnmente conocidos como cibercrimen, y en 2005 superó en ingresos al tráfico de drogas, según el Departamento del Tesoro de Estados Unidos.

"Un paso más allá está la guerra digital o *information warfare*, sobre la que ya hemos tenido algunas muestras tangibles como es el caso del ataque

masivo por grupos de *hackers* al sistema informático de Estonia en 2007", comenta Jorge Ramió, que también es coordinador de la Red Temática Iberoamericana de Criptografía y Seguridad de la Información (CriptoRed). "Estas son las mayores amenazas a las que ya nos enfrentamos y que seguramente empeorarán en el futuro, unidas al *malware* enfocado principalmente hacia este tipo de delitos", advierte Ramió.

¿La solución? Una oferta muy especializada y de alta calidad, algo abundante en España, según Jorge Ramió, quien recuerda que, aunque existen soluciones técnicas para minimizar estos riesgos, "no debe olvidarse que la seguridad siempre tiene un coste, entre otros el económico, y que en algunos casos podría ser muy alto".

Perfeccionar la realidad virtual

La posibilidad de crear mundos ficticios adaptados a las diferentes necesidades ha convertido la realidad virtual en una herramienta multiuso que, de momento, no conoce límites en su propagación. Se emplea ya en campos tan dispares como la psicología, la educación, el diseño, la cirugía y el entretenimiento. La tecnología de realidad virtual se está empleando ya para tratar fobias y otros trastornos psicológicos, ensayar operaciones quirúrgicas complicadas, entrenar a pilotos de aeronaves, diseñar edificios y automóviles, mejorar la interacción y la comunicación en la Red, entre otras aplicaciones. Pero promete otras muchas, si los ingenieros son capaces de superar algunas barreras tecnológicas.

La resolución de las imágenes debe ser lo bastante alta y la frecuencia de actualización lo bastante rápida como para que las escenas se vean y cambien tal y como lo hacen en el mundo real. El campo de visión debe ser lo suficientemente amplio y las luces y sombras deben ser lo bastante realistas como para mantener la ilusión de una secuencia real. Lograr una reproducción creíble de las sensaciones sonoras, táctiles y motrices es una cuestión clave.

"La construcción de un humano virtual que pueda interaccionar de manera autónoma con una persona real, utilizando el reconocimiento del habla, la generación de frases con sentido, la expresión facial, la emoción y los movimientos musculares, está todavía fuera

de la capacidad de la inteligencia artificial", señalan la neurocientífica María Sánchez-Vives y el ingeniero informático Mel Slater en un artículo en la revista *Nature Reviews Neuroscience*.

Pero más allá de la visión, el tacto supone un desafío enorme. Ya existen guantes con sensores que pueden captar los movimientos de la mano y proporcionar sensaciones táctiles, pero todo ello de una manera muy rudimentaria. Desde luego no es suficiente para entrenar a un cirujano que, cuando practique un corte en tejido virtual, debería sentir diferentes grados de resistencia al movimiento del escálpelo en diferentes zonas.

Diseñar métodos para secuestrar CO₂

Uno de los retos más formidables a los que se enfrentan científicos e ingenieros en este siglo es el desarrollo de sistemas para capturar el CO₂ derivado del uso de combustibles fósiles y almacenarlo de modo seguro lejos de la atmósfera. Lograrlo significaría dar un paso de gigante en la lucha contra el cambio climático.

El apresamiento del CO₂ podría pasar por la sustitución de las chimeneas de las centrales eléctricas por torres de absorción fabricadas con sustancias químicas capaces de atrapar el CO₂ y separarlo del resto de gases. Otra posibilidad consiste en quemar el carbón en oxígeno puro en vez de en aire corriente, lo que facilitaría la separación del CO₂ al salir mezclado sólo con vapor de agua y no con nitrógeno. De ese modo, sólo restaría condensar el vapor para aislar el dióxido de carbono y poder bombearlo hacia una instalación de almacenaje. En este caso, el problema a resolver es cómo conseguir el oxígeno puro inicial de una forma rentable.

En cuanto al almacenamiento, los desafíos tienen que ver con la seguridad frente a escapes. El depósito de CO₂ tiene que ser seguro y una opción válida para la mitigación del cambio climático, no una carga para futuras generaciones: ni riesgo ni incertidumbre.

Los sedimentos rocosos profundos con salmuera son una posibilidad, aunque algunos expertos dudan de su capacidad para contener de forma segura el CO₂ durante siglos y milenios dada la posibilidad de que se produzcan fisuras.

Otra opción es inyectar el gas en los



La realidad virtual parece no tener fronteras. Se emplea ya en campos tan dispares como la psicología, la educación, el diseño, la cirugía y el entretenimiento. En la imagen, un piloto realiza ejercicios de vuelo en un simulador de realidad virtual.

sedimentos situados por debajo del suelo oceánico, contando con que la alta presión impida las fugas. En cualquier caso, no hay duda de que la elección de los emplazamientos y el diseño y control de las instalaciones de enterramiento serán un desafío para la ingeniería.

“Los retos científicos y económicos todavía existen”, señala Daniel Schrag, geólogo de la Universidad de Harvard, “pero ninguno es lo bastante arduo como para pensar que la captura y almacenamiento del CO₂ no vaya a funcionar a la escala necesaria para contrarrestar billones de toneladas de dióxido de carbono en los próximos siglos”.

Proporcionar acceso al agua potable

El problema del agua. Estas cuatro palabras han adquirido ya una entidad propia como enunciado de un conflicto de proporciones gigantescas que se antoja irresoluble en los próximos años. La

cuestión es simple: el agua potable escasea en nuestro planeta, bien sea por falta de ella o porque la que hay está contaminada. Las consecuencias de ello son devastadoras. Algunas estimaciones calculan que cada día cerca de 5.000 niños mueren en el mundo de enfermedades relacionadas con la diarrea, una sangría que frenaría de forma drástica si garantizáramos el suministro de suficiente agua potable a toda la población.

Es evidente que el problema no es únicamente técnico, sino que tiene numerosas implicaciones político-económicas y de justicia social, pero también es cierto que la tecnología tiene mucho que aportar a su solución definitiva. La progresión impasible del cambio climático convertirá la cuestión del agua en un conflicto global que afectará a todos los territorios del planeta.

En el futuro serán necesarias mejores técnicas para proporcionar agua potable a la población. Ante la escasez, una de las posibles soluciones pasa por arrancarle al mar parte de sus gigan-

tescas reservas del líquido elemento, evidentemente a través de la desalinización. Pero las plantas desalinizadoras son caras y consumen mucha energía, lo que las convierte en una opción inviable para los países pobres.

Esta situación podría cambiar con el desarrollo de nuevas tecnologías capaces de reducir esa demanda energética. Una de ellas es la nano-ósmosis, que puede filtrar la sal empleando nanotubos de carbono. Los experimentos llevados a cabo han demostrado que esos diminutos tubos tienen una capacidad excepcional para el filtrado.

La nanotecnología también puede ofrecer interesantes soluciones en el campo de la purificación de aguas y eliminación de contaminantes, de modo que algún día el agua reciclada podría servir incluso para reabastecer los acuíferos. Algunas propuestas podrían ser muy útiles, como las membranas de nanofiltrado, que pueden ser diseñadas para eliminar contaminantes específicos mientras permiten el paso de importantes nutrientes.