

Aplicación de tecnologías inspiradas en la biología para protección del combatiente a pie

Autor: Angélica Acuña Benito. OT NBQ, SDG PLATIN.

Palabras clave: biomimesis, protección personal, combatiente, NRBQ, descontaminación, detección, alerta.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1; MT 4.2.2; MT 4.2.3; MT 4.2.4; MT 4.3.1; MT 4.3.2; MT 4.3.3; MT 4.3.4.

Introducción

Muchas de las amenazas que afronta hoy en día el combatiente son similares a las que los organismos biológicos se han enfrentado y se siguen enfrentando, y éstos han ido adquiriendo y mejorado sus mecanismos de defensa naturales frente a ellos. La investigación en tecnologías inspiradas en estos mecanismos de defensa naturales presenta numerosos beneficios en aplicaciones para la lucha contra amenazas asimétricas (agentes de guerra biológica, química, etc.). Un aspecto clave para sacar partido a estos beneficios es que los requisitos y las necesidades de Defensa estén claramente definidos y darlos a conocer a la base tecnológica e industrial.

En general, las necesidades a medio-largo plazo para protección del Combatiente se centran principalmente en la mejora de la protección (balística, NRBQ, camuflaje), mejora del confort y de la ergonomía (reducir el peso de los equipos de protección y mejora del aislamiento térmico), así como en el diseño y desarrollo de sensores, obtención de capacidades de diagnóstico rápido de enfermedades, y la mejora de la capacidad de almacenamiento de energía.

Para cubrir estas necesidades, las áreas en las que se está investigando se centran principalmente en el desarrollo de ropa de protección frente a diferentes tipos de amenazas, en detección, identificación y neutralización de agentes de guerra biológica y química, en descontaminación, salud y energía.



Fig. 1. Traje de protección personal empleado por la policía de Toronto, Canadá, y desarrollado inspirándose en el caparazón del armadillo. La primera vez que se utilizó fue en la reunión del G20 que se celebró en el 2010 en Toronto (300 trajes). (Fuente: <http://www.behance.net/gallery/4833547/R4-E-Personal-Protective-Equipment>).

Ropa de protección

Las principales necesidades a medio-largo plazo en esta área están en el desarrollo de una nueva generación de textiles de protección para la elaboración de ropa más ligera y resistente y con capacidad multifuncional. Se buscan mejoras en protección balística, protección NRBQ, reducción de firma IR y aislamiento térmico principalmente.

- Protección balística: Se están empleando materiales compuestos nanoestructurales para imitar procesos, estructuras y propiedades de materiales biológicos como los huesos y dientes de mamíferos y conchas de moluscos, que se caracterizan por su dureza y resistencia. Estos compuestos tendrían potencial aplicación como sistemas de protección balística ultrarresistentes y ligeros.

Algunos ejemplos de desarrollos en marcha y ya disponibles basados en este tipo de materiales son el chaleco antibalas que está desarrollando el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) inspirado en la estructura de la concha del molusco *Placenta Placuna*, también conocido como *Ostra de cristal*. Así mismo, investigadores de la Universidad de Helsinki de Ciencia y Tecnología, inspirándose en la estructura de la madera, han desarrollado una armadura ligera que se parece al nácar, con una estructura que consta de discos de nanopartículas de arcilla apilados en filas. Este material se cree que es lo suficientemente fuerte como para ser empleado en chalecos antibalas.

Un último ejemplo que se presenta es el de un chaleco antibalas que ya está disponible y en uso por el ejército estadounidense. Se trata del Dragon



Fig. 2. Textil desarrollado inspirándose en la estructura de la piel y plumas de los pingüinos. (Fuente: Paula Croci. Presentación "biomimética aplicada a los textiles. UNT FRBA. 2012).

Skin Body Armor, un chaleco flexible, formado por capas superpuestas de material cerámico, a modo de escamas. El chaleco se ha probado y se ha visto que ofrece protección frente a balas de diferente calibre, metralla, e incluso protege contra la detonación de granadas de fragmentación.

- Protección individual NRBQ: Inspirándose en el mecanismo que emplean las piñas para replegar sus escamas en respuesta a la humedad, se está trabajando en el uso de materiales estructurales en tejidos inteligentes con capacidad de respuesta a estímulos externos (humedad, luz, temperatura). Una de las aplicaciones de estos tejidos inteligentes es

en equipos de protección individual NRBQ respirables. Concretamente, en el marco del Programa del Combatiente del Futuro estadounidense, los laboratorios Natick, junto con la empresa Dupont han desarrollado membranas conductoras en las que los elementos conductores bajo determinados estímulos pueden desplazarse bloqueando las vías de transporte del aire y del vapor de agua, convirtiéndose en una barrera impermeable. Esta misma tecnología se pueden emplear para desarrollar tejidos que permitan el aislamiento térmico (ver figura 1).

Así mismo, se está investigando sobre nuevos materiales funcionales con

capacidad superhidrofóbica (repelente al agua, líquidos y suciedad) para el desarrollo de ropa y recubrimientos autolimpiables con capacidad de protección NRBQ. Para ello se ha imitado la superhidrofobicidad de las hojas de la flor de Loto, debido a que éstas presentan unas células epidérmicas que forman nano estructuras rugosas donde las gotas de agua resbalan, arrastrando los contaminantes de la superficie.

- Reducción firma IR: En este caso, el principal reto está en el desarrollo de nuevos tejidos que enmascaren la firma de calor de un soldado. Recientemente se ha publicado una noticia sobre las investigaciones

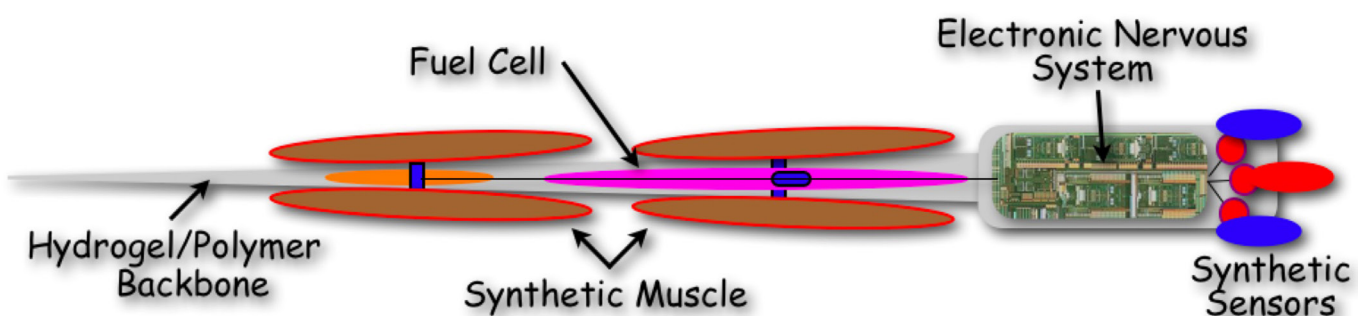


Fig. 3. Esquema de funcionamiento del nano robot Cyberplasm, inspirado por la lamprea y que emplea glucosa como combustible. Está diseñado para detectar enfermedades en humanos. (Fuente: www.kurzweilai.net).

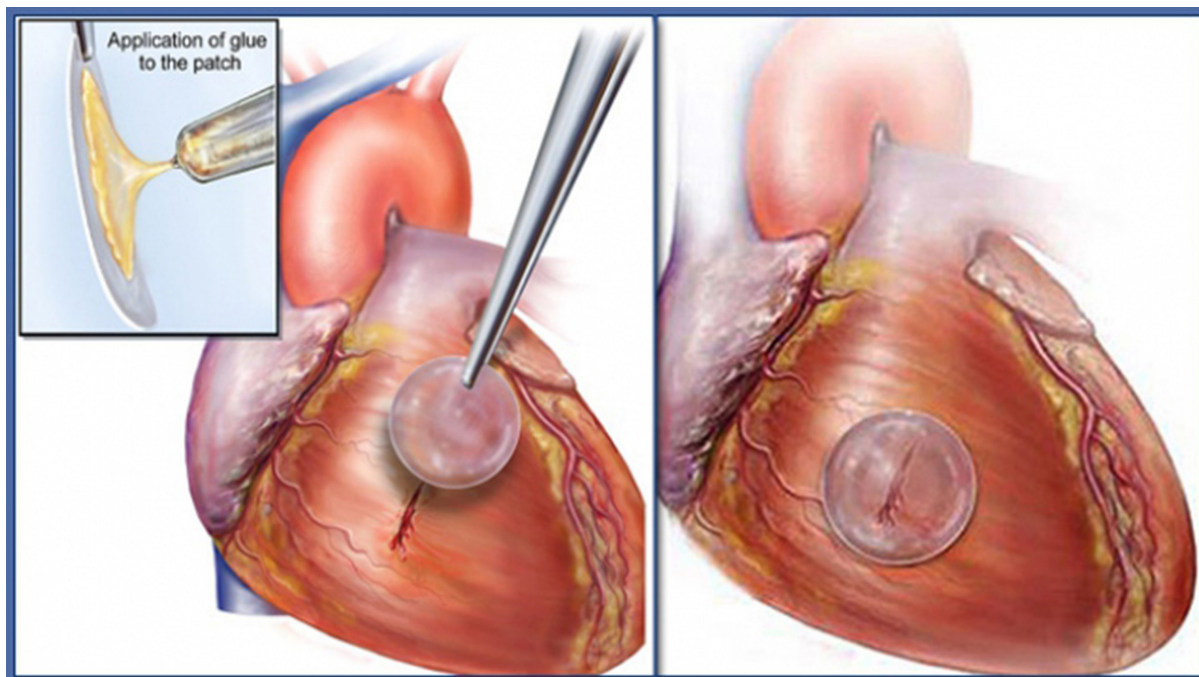


Fig. 4. Nuevo adhesivo para cirugía basado en el generado por insectos. (Fuente: Harvard University/Brigham and Women's Hospital).

realizadas por la Universidad de California, concretamente por el grupo del profesor Alon Gorodetsky, centradas en proporcionar camuflaje en condiciones de poca luz y por la noche, evitando la detección por infrarrojos. Para ello se ha inspirado en la señalización infrarroja propia del calamar, consecuencia del cambio de color de su piel para imitar la coloración del entorno que les rodea. La proteína clave de este cambio de color es la Reflectina. El grupo del profesor Gorodetsky ha modificado genéticamente bacterias para producir esta proteína y han desarrollado pegatinas poliméricas adaptables a distintas superficies. Aún quedan retos que superar, como conseguir que respondan de la misma manera al mismo tiempo cuando se produzcan de forma masiva y aunque actualmente la versión obtenida refleja la luz del infrarrojo cercano se pretende que trabajen en longitudes de onda media y de infrarrojo lejano. Así mismo, se pretende desarrollar con ellas ropa que permita retener o liberar calor corporal para mantener una temperatura óptima en función de los diferentes ambientes donde se empleen.

Por otro lado, el Laboratorio Nacional de Sandía, Alburquerque, Nuevo Mé-

xico, han desarrollado un material sintético inspirándose en la forma en que ciertas especies de peces que cambian de color y patrón para mezclarse con su entorno. Esto lo consiguen utilizando unas proteínas motoras pequeñas de sus células epiteliales. Se prevé que este tipo de material podría integrarse en ropa que podría estar disponible comercialmente en 5-10 años.

- Aislamiento térmico: Un mecanismo muy estudiado para protección térmica es el de la piel del oso polar que permite su regulación térmica. Su piel está compuesta por pelos gruesos y largos y una densa capa de pelos finos. Ambos tipos de pelo están unidos a una capa delgada de piel negra de aproximadamente 1 mm de espesor. La absorción y conversión de la energía solar parece ser debida a la morfología de estos pelos gruesos y largos. El Instituto de Tecnología Textil e Ingeniería de Procesos (ITV), en Denkendorf (Alemania) está desarrollando materiales imitando las propiedades físicas de la piel del oso polar. Otro animal que está siendo objeto de investigación es el pingüino, se está tratando de imitar la estructura de su piel y plumas puesto que parece que minimizan la pérdida de calor atrapando aire

entre sus plumas. Al momento de nadar, se libera el aire y la superficie se compacta para repeler el agua. Textiles con propiedades de aislamiento térmico adaptativo ya han sido desarrollados con el objetivo de aplicarlo en uniformes militares por la empresa inglesa N. & M.A. Saville Associates.

Detección, identificación y neutralización de agentes de guerra biológica y química.

El objetivo primordial a cubrir a medio-largo plazo es obtener capacidad de "detectar para alertar", es decir, mejorar la capacidad de detección actual, mediante la reducción de falsas alarmas, acortando los tiempos de respuesta (la tendencia es hacia respuestas en tiempo real), obtener capacidad de detección a distancia, etc. En la naturaleza, existe una gran variedad de mecanismos implicados en la detección de agentes de guerra biológica y química antes de que sus concentraciones alcancen niveles tóxicos, lo que es realmente interesante desde el punto de vista de Defensa y Seguridad. Las langostas y otros crustáceos son capaces de identificar pequeñas diferencias en concentraciones de contaminantes químicos gracias al parpadeo de un par de antenas, que arrastran a través del agua

para dirigir los pelos químico-sensores que las recubren hacia los contaminantes. Un ejemplo de una línea de I+D relacionada con esto, es la llevada a cabo por el grupo de Ciencias Biomoleculares y Biosistemas de la Oficina de Investigación Naval (ONR), centrada en aplicaciones de vigilancia y reconocimiento a través de vehículos no tripulados para la detección de minas. Otro ejemplo de línea de I+D a destacar en este área es el desarrollo por parte de DARPA de sensores nanoestructurados inspirados en las escamas de las alas de la mariposa azul para la detección rápida y selectiva a niveles de "trazas" de agentes de guerra química y explosivos.

Descontaminación

A largo plazo, las necesidades se centran en materiales multifuncionales, que además de detectar la amenaza, neutralizar y degradar, permitirían su autodescontaminación. El principal reto está en desarrollar materiales que permitan una descontaminación segura, sin productos de degradación tóxicos resultantes. Un área de I+D muy activa se basa en el uso de biomateriales que puedan neutralizar y degradar los contaminantes ambientales y las amenazas químicas y biológicas. Se está investigando el diseño de enzimas en materiales poliméricos con un éxito moderado.

Sin embargo otras actividades en las que se ha tenido éxito han sido la incorporación de enzimas fosfatasas en materiales de poliuretano para la descontaminación de superficies expuestas a agentes nerviosos o la modificación de materiales nanoparticulados de tipo "detergente" para degradar agentes biológicos.

Las investigaciones más recientes se centran en la integración de estos materiales en ropa de protección, máscaras, filtros de aire, pinturas y revestimientos, para obtener capacidad de autodescontaminación. Con esta aplicación ya existen algunos recubrimientos no tóxicos comerciales que mantienen la superficie libre de bacterias, inspirándose en la estructura y patrón de las escamas de la piel del tiburón de las Galápagos.

Salud

En esta área lo que se busca es la mejora de la sensibilidad y especificidad de los sistemas de diagnóstico y de los mecanismos de detoxificación, así como el desarrollo de dispositivos de liberación de fármacos más eficaces y sensores embebidos. Para ello, los principales retos que se deben abordar se centran en el desarrollo de nuevos materiales para crear tejidos artificiales, en la manipulación de células y en la mejora de las tecnolo-

gías de microfluidos para la liberación precisa de moléculas fisiológicas y farmacológicas en el órgano blanco.

Ejemplos de cómo la tecnología inspirada en biología se han empleado en esta área con éxito son el desarrollo de "nanoesponjas" como mecanismos detoxificadores de toxinas peligrosas en el torrente sanguíneo. Estas nanoesponjas, desarrolladas por la Universidad de California, se envuelven en membranas de células sanguíneas (glóbulos rojos) para ser biocompatibles y evadir de esta forma el sistema inmune.

Así mismo, otro grupo de investigación, también de la Universidad de California, ha desarrollado un dispositivo en 3D con capacidad de detectar, atrapar y detoxificar toxinas en el torrente sanguíneo, inspirándose en la capacidad de detoxificación del hígado. El dispositivo ha sido diseñado para su uso fuera del cuerpo (modo diálisis), y proporciona un modelo de prueba de concepto para nuevas técnicas de detoxificación. Por último, mencionar que ya se está desarrollando un micro-robot capaz de circular por el torrente sanguíneo en busca de enfermedades inspirándose en el sistema nervioso y la capacidad de nadar de la lamprea de mar. Se prevé que este robot pueda estar en uso en el 2017-2018.



Fig. 5. Detalles del traje de combatiente Warrior Web desarrollado por DARPA. (Fuente:DARPA).

en profundidad

Otra línea de actividad exitosa que se está siguiendo es el desarrollo de materiales adhesivos que se están empleando para reemplazar suturas y grapas quirúrgicas. En este sentido, investigadores de la Universidad de NorthWestern (EEUU) basándose en el mecanismo de adhesión que emplea el gecko y los mejillones, han desarrollado una cinta adhesiva que parece ser muy útil como sutura quirúrgica. Así mismo, científicos del Hospital Infantil de Boston y del MIT han desarrollado un adhesivo biodegradable, biocompatible y elástico que permite corregir defectos congénitos de corazón en niños sin necesidad de intervención quirúrgica. Para el desarrollo de este material se han inspirado en las secreciones viscosas de organismos de la naturaleza (como la de los mejillones o la baba de la babosa).

Por otro lado, también son numerosas las líneas de I+D que se inspiran en el comportamiento de los vasos sanguíneos en presencia de una herida para desarrollar materiales que permiten el sellado y cicatrización de heridas de forma que se evita el desangrado.

Otra área de investigación importante se centra en el diseño y desarrollo de exoesqueletos ligeros para aumentar la fuerza y resistencia del individuo, permitiendo el retraso en la aparición de la fatiga y el estrés físico, evitando las lesiones por el transporte de cargas pesadas.

También, se están desarrollando vacunas inspiradas en plantas africanas que tienen la capacidad de rehidratarse tras secarse. Así por ejemplo, la compañía farmacéutica Cambridge Biostability Ltd., ha desarrollado vacunas que no necesitan frío gracias a

que las vacunas son vaporizadas con un recubrimiento de una sustancia denominada trehalosa, formándose esferas inertes que se pueden envasar de forma inyectable y mantenerse almacenadas durante meses.

Energía

En cuanto a la búsqueda de sistemas de almacenamiento de energía más eficaces, las líneas de investigación se centran en la mejora de la eficiencia energética de las células solares y en el desarrollo de dispositivos solares baratos, ligeros, flexibles y duraderos, a la par que pequeños y con capacidad de autorregeneración.

En este sentido, alguno de los ejemplos que podemos mencionar en este artículo es la investigación desarrollada por el MIT, por el grupo de investigación de la doctora Angela Blecher que utiliza virus modificados genéticamente para producir estructuras que mejoran la eficiencia energética de las células solares en una tercera parte. La principal aplicación de este desarrollo sería en los países en vías de desarrollo y en áreas remotas. Por otro lado, otro grupo de investigación del MIT ha empleado un proceso de deposición de vapor por oxidación química para la impresión de células fotovoltaicas en cualquier tipo de papel (papel de seda, de impresora, de periódico), para su incorporación en dispositivos solares baratos, ligeros, flexibles y duraderos.

La Universidad de Harvard ha desarrollado hojas artificiales con capacidad de autoregeneración, emulando la producción de luz solar y agua de las hojas reales.

Por último, mencionar que el Laboratorio de Materiales Avanzados de la

Facultad de Ciencia Macromolecular de la Universidad Fudan (Shanghai) se ha inspirado en el mecanismo por el que el camaleón cambia de color para desarrollar placas de energía solar de pequeño tamaño y poco peso con el objetivo de hacer que éstas puedan ser transportadas fácilmente.

Conclusiones

La biomimesis es una plataforma que facilita la transferencia de tecnología desde la naturaleza a un amplio espectro de aplicaciones del mundo actual. Los materiales y estructuras biológicas son “inteligentes” por naturaleza, ya que tienen que permitir una multitud de mecanismos necesarios para sustentar la vida, también tienen que protegerse, repararse, mantenerse y adaptarse a los cambios del entorno. Todo esto muestra el enorme potencial que la biomimesis tiene en el desarrollo de materiales inteligentes para todo tipo de aplicaciones, incluidas aplicaciones para Defensa.

No obstante, para alcanzar todo el potencial que tiene este tipo de tecnologías en protección es necesario tener en cuenta que:

- Los requisitos y las necesidades de Defensa en este ámbito deben estar claramente definidas y ser conocidas por todos los actores implicados.
- La viabilidad técnica de muchos de estos materiales ya ha sido demostrada, pero en algunos casos aún existen retos a alcanzar antes de obtener una aplicación real en este ámbito.
- El reto no sólo reside en el uso de organismos vivos como modelo para la obtención de estos materiales, sino en la comprensión y manipulación de estos organismos para obtener las aplicaciones deseadas.
- La principal limitación para mimetizar los sistemas biológicos en materiales y procesos para Defensa radica en el desconocimiento de estos sistemas y las limitaciones en cuanto al uso de estas moléculas, estructuras y procesos.

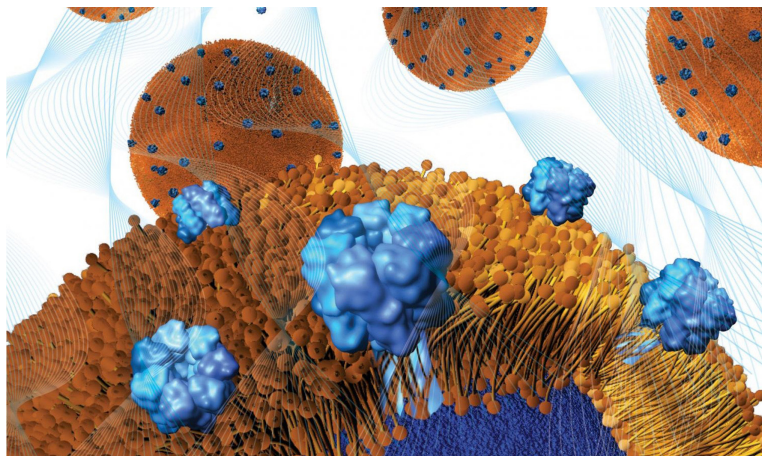


Fig. 6. Nanoesponja defoxificadora desarrollada por la Universidad de California, San Diego. (Fuente: Weiwei Gao/Jacobs of Engineering/UC San Diego).