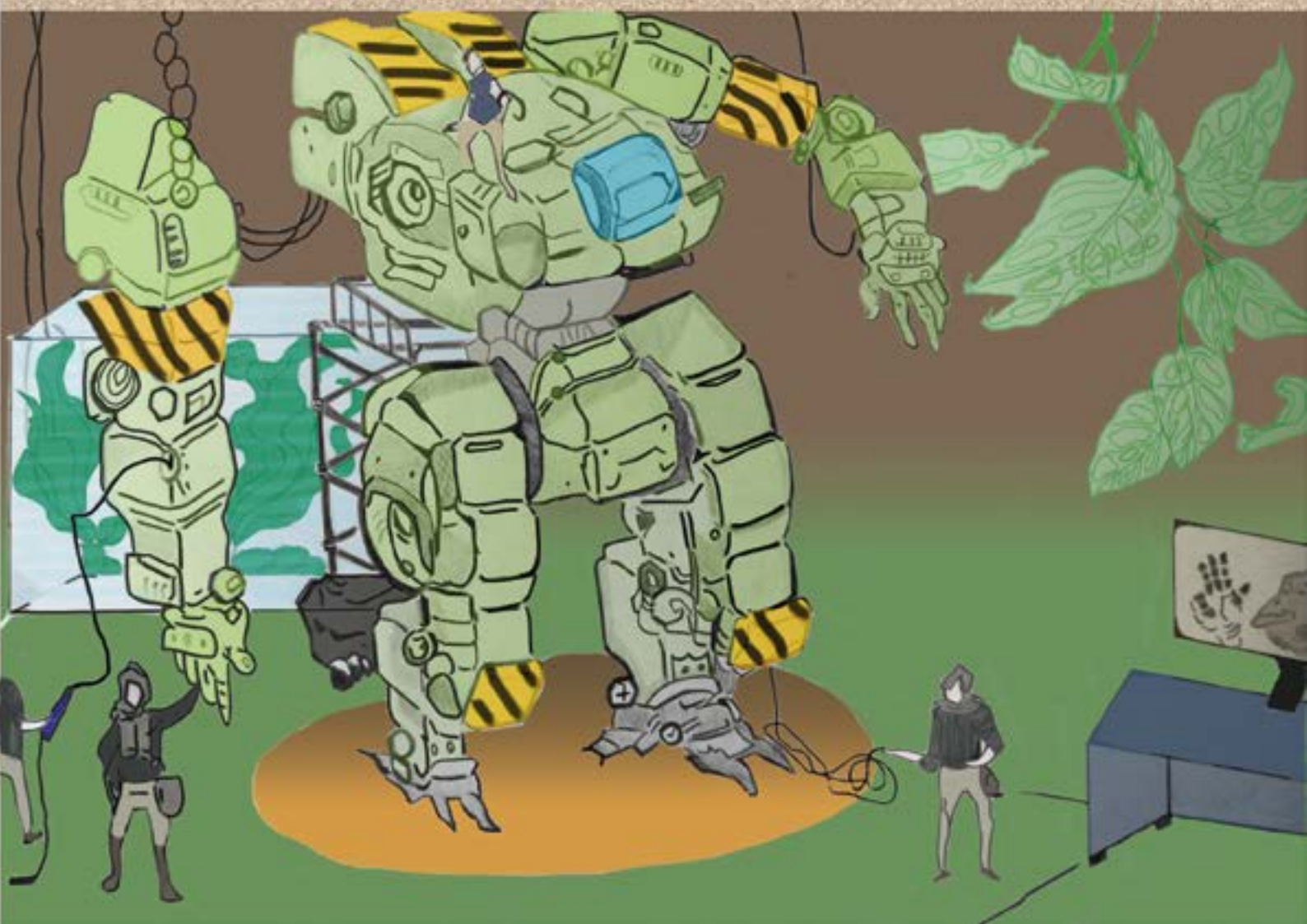


# Biología para Ingenieros

Editor. Oscar Rafael Tinoco Gómez





# Biología para Ingenieros

---

Oscar Rafael Tinoco Gómez  
Nora Rosa Malca Casavilca  
Pedro Pablo Rosales López  
Olivio Nino Castro Mandujano  
Luis Benavides Luksic  
Francisco Javier Wong Cabanillas  
Ysabel Zevallos Paravé

EDITOR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ



# Biología para Ingenieros

## **Autores:**

© Oscar Rafael Tinoco Gómez  
© Nora Rosa Malca Casavilca  
© Pedro Pablo Rosales López  
© Olivio Nino Castro Mandujano  
© Luis Benavides Luksic  
© Francisco Javier Wong Cabanillas  
© Ysabel Zevallos Paravé

## **Editado por :**

© Oscar Rafael Tinoco Gómez  
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos  
otinocog@unmsm.edu.pe

## **Diagramación de texto, maquetación y diseño:**

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-03173

Primera edición digital, abril 2025

ISBN: 978-612-03-0772-4

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

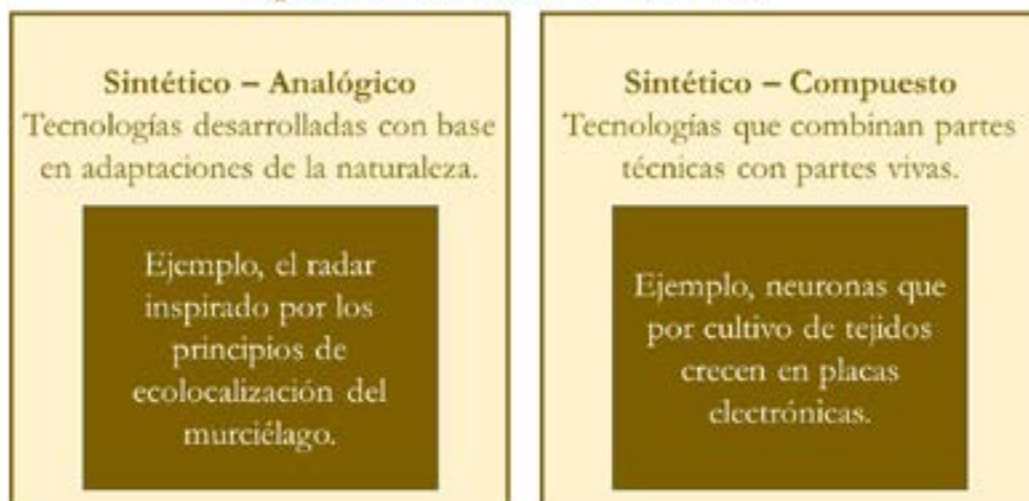
## Capítulo II: Biónica

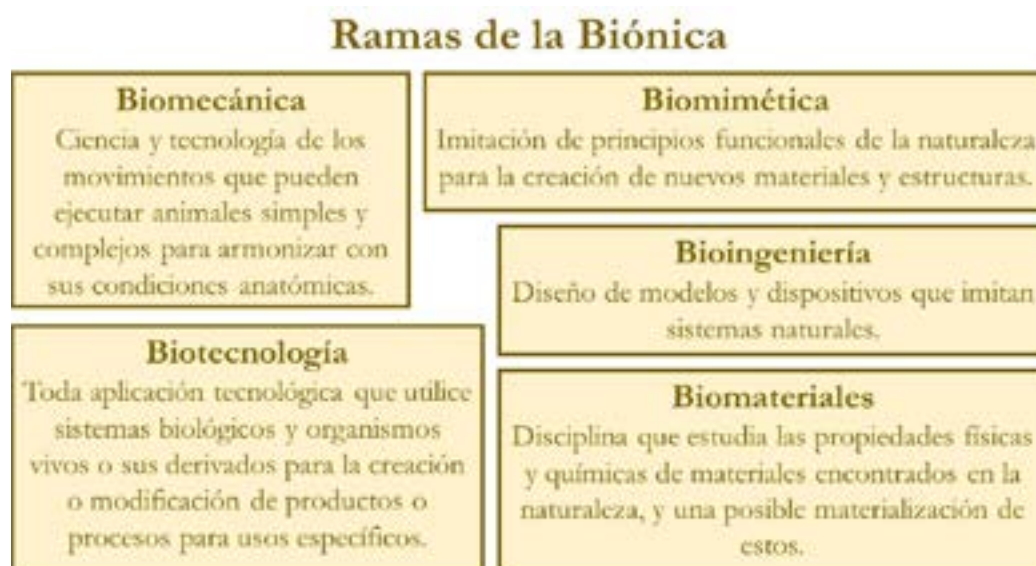
Pedro Pablo Rosales López

### Conceptos Fundamentales de Biónica

En forma simple, se puede decir que biónica es una combinación entre BIO, que significa vida y el sufijo NICA de la palabra técnica. En forma operativa, la biónica es una ciencia basada en una técnica analógica que toma como objeto de estudio la fisiología, el comportamiento y los procesos biológicos de sistemas y seres naturales, para aplicar los principios de su funcionamiento al desarrollo de soluciones tecnológicas. Este aprendizaje que obtiene el humano mediante el conocimiento de la naturaleza y los seres que lo habitan tiene mayor reto, aplicarlo en el diseño de productos o su producción misma, para mejorar la calidad de vida de la población mediante innovación permanente. La naturaleza ha desarrollado desde sus orígenes una infinidad de materiales, procesos, estructuras, estrategias y métodos que han demostrado su efectividad desde la prehistoria, con la supervivencia. Los sobrevivientes de la selección natural pueden demostrar con su forma de vivir, como lograron con diferentes características de adaptación, aprendizaje, auto organización y auto reparación, continuar poblando este planeta.

#### Tipos de Sistemas Biónicos





## Casos de Investigación con Aplicaciones de Biónica

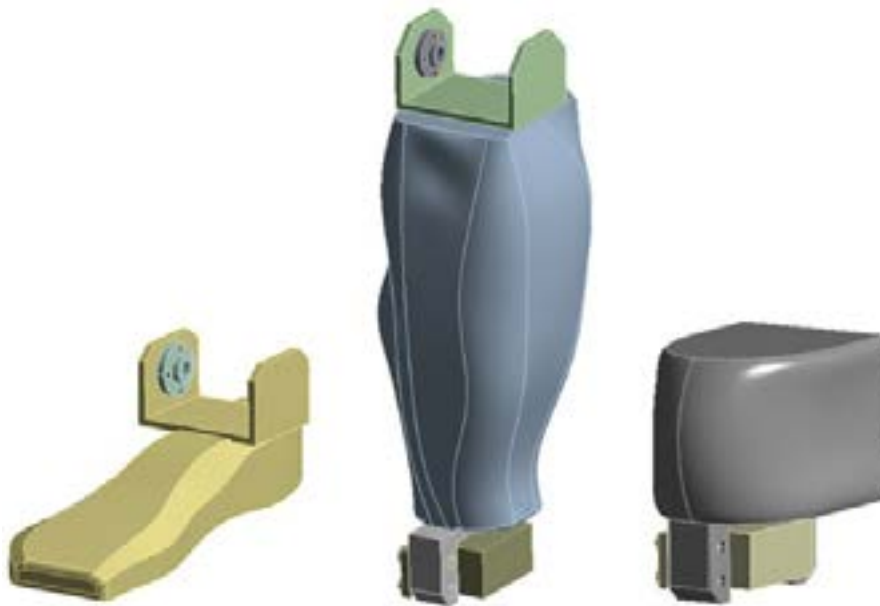
### Contribuciones al comportamiento del régimen dinámico de una prótesis de pierna biónica (Drâgoi, 2023).

El propósito de los dispositivos protésicos es reproducir el perfil de torsión angular de un ser humano sano durante la locomoción. Una articulación liviana y energéticamente eficiente es capaz de disminuir la potencia máxima del actuador y/o el consumo de energía por ciclo de marcha, al mismo tiempo que cumple adecuadamente con las restricciones de coincidencia de perfiles. El objetivo de este estudio fue resaltar las características dinámicas de una pierna biónica con actuadores eléctricos con movimiento rotacional. Para crear la pierna se utilizó tecnología de impresión tridimensional (3D) y para las articulaciones se utilizaron servomotores. Se utilizó un motor paso a paso para el movimiento horizontal. Para una mejor simulación numérica del modelo impreso se realizaron tres ensayos mecánicos (tensión, compresión y flexión), con base en los cuales se obtuvieron las principales características mecánicas necesarias para la simulación numérica. Para el modelo experimental realizado se pudieron determinar las tensiones dinámicas, lo que resalta el hecho de que, en las condiciones dadas para el modelo experimental, la prótesis resiste.

En la Figura 1 se muestran los componentes de la prótesis, representando las partes de la pierna de un ser humano, el pie, la rodilla y la pierna, con los mecanismos correspondientes para reproducir el comportamiento de la pierna humana.

En la Figura 2 se muestran a los tres elementos ensamblados, representando la reproducción de esta parte de la extremidad inferior del cuerpo humano, de tal forma que la prótesis emula el funcionamiento de la extremidad inferior.

**Figura N°1:** Elementos que componen la prótesis de pierna biónica



**Fuente:** Drâgoi (2023)

**Figura N°2:** Pierna biónica ensamblada



**Fuente:** Drâgoi (2023)

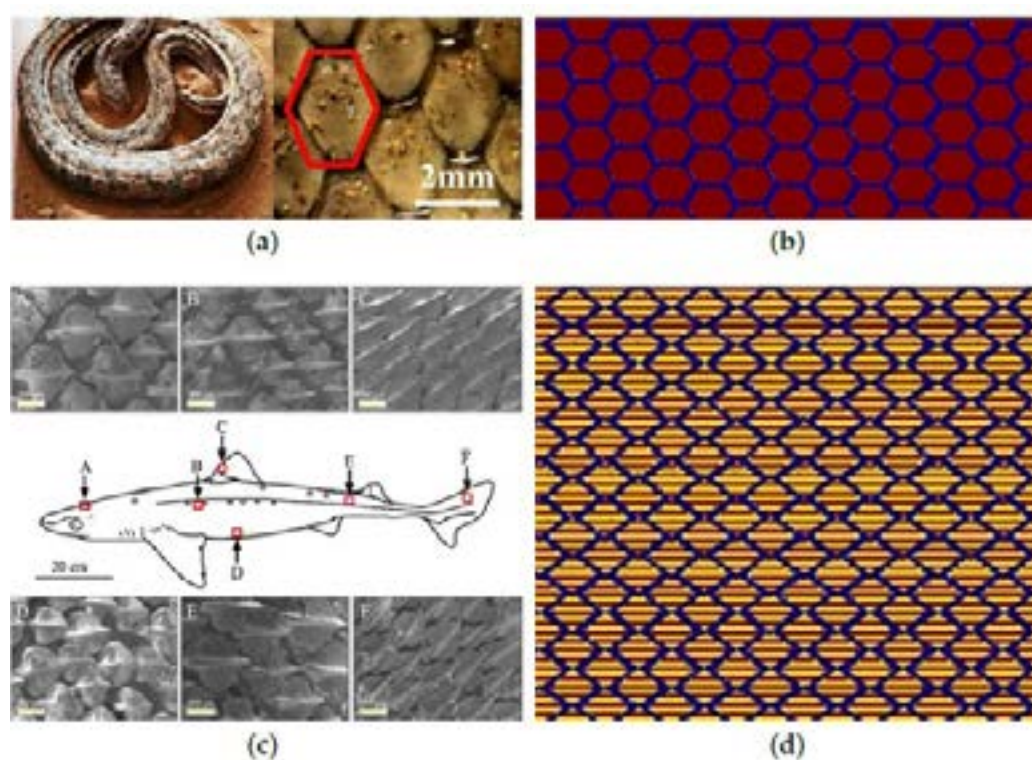
## Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. ¿Cuáles son las principales características que define la pierna biónica?
3. ¿Qué característica o propiedades se requieren para mejorar el uso de la pierna biónica?

## Investigaciones numéricas de las características tribológicas de superficies con textura biomimética (Wang, 2023).

El transporte ferroviario ha mejorado drásticamente la comodidad de los viajes, pero también ha generado problemas de contaminación ambiental y consumo de energía. Estos desafíos pueden abordarse parcialmente reduciendo la pérdida por fricción en la transmisión mecánica de los sistemas ferroviarios. Este artículo examina las propiedades tribológicas de las superficies con textura biónica inspiradas en la piel de serpientes y tiburones. Este estudio se centra en generar superficies texturizadas biónicas con picos distribuidos aleatoriamente mediante simulación numérica y conectarlas a una ecuación transitoria de Reynolds y un modelo de fatiga por fricción. El modelo biónico de lubricación por desgaste de superficie considera el espesor de la película lubricante y la presión de contacto obtenidos del modelo GT. Los resultados revelan que la existencia de una textura biónica puede reducir el coeficiente de fricción y la cantidad de desgaste en la superficie de contacto.

**Figura N°3:** Topografía geométrica de las superficies



**Fuente:** Wang (2023)

Los hallazgos de este estudio no solo ofrecen una solución potencial para reducir el consumo de energía y las emisiones en sistemas de tránsito ferroviario inteligentes, sino que también prometen proporcionar más información sobre la simulación numérica del tejido biónico y la investigación de características tribológicas.

Las propiedades tribológicas, se refieren fundamentalmente a la fricción y el desgaste que se generan

entre dos superficies que interactúan entre sí, mediante un movimiento relativo. En la Figura 3 se muestra la Topografía geométrica. (a) Superficies de piel de serpiente real. (b) Superficies con textura de piel de serpiente simulada. (c) Superficies reales de piel de tiburón. (d) Superficies simuladas con textura de piel de tiburón.

### Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener de la piel de serpiente o tiburón?
3. Seleccione una de estas propiedades e indique en qué aplicaciones se desean utilizar esta propiedad.

### Estudio de resistencia al desgaste de una capa de revestimiento de Ni biónico con picaduras en una superficie de tubería de perforación de aleación de aluminio 7075 (Li, 2023).

Para mejorar la vida útil de las tuberías de perforación y minimizar el desgaste, este estudio presenta un modelo de estructura biónica inspirado en la estructura en forma de hoyo que se encuentra en el abdomen del escarabajo pelotero. La distribución de tensiones y el desgaste de la estructura biónica picada y de la estructura ordinaria se simulan mediante un software de elementos finitos. Los hallazgos revelaron que la estructura biónica mejora significativamente la distribución del estrés, lo que resulta en un impresionante aumento del 81,3% en la esperanza de vida. Posteriormente, la superficie del tubo de perforación de aluminio 7075 se recubrió con polvo de Ni mediante un sistema de revestimiento láser. Se realizaron pruebas de desgaste para analizar el comportamiento de desgaste y daño superficial de la capa de revestimiento. Se midieron y observaron la microestructura, composición y microdureza de la capa de revestimiento. Los resultados mostraron que la capa de revestimiento estaba compuesta principalmente de  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$  y tenía una alta dureza. Además, existe una región de transición entre la capa de revestimiento y el sustrato, que comprende Al de dureza relativamente baja, mejorando así la capacidad de la tubería de perforación para soportar cargas alternas. Además, la estructura biónica posee la capacidad de almacenar partículas, lo que reduce eficazmente la aparición de desgaste abrasivo y aumenta la vida útil en un 70,0 %.

En la Figura 4a se muestra al escarabajo pelotero, utilizado en esta investigación y en la Figura 4b se muestra el abdomen de los escarabajos peloteros, observado mediante un microscopio digital.

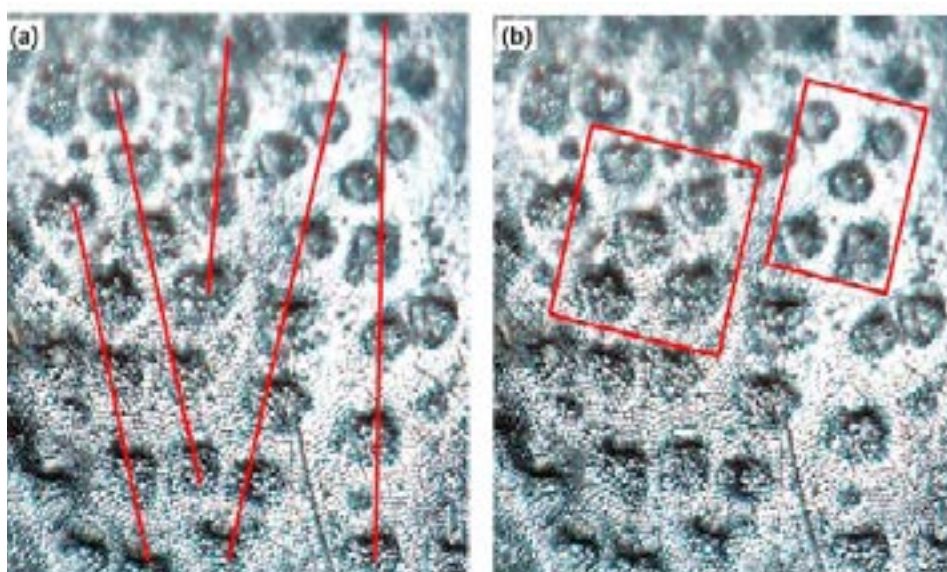


**Figura N°4:** Escarabajo pelotero y su abdomen

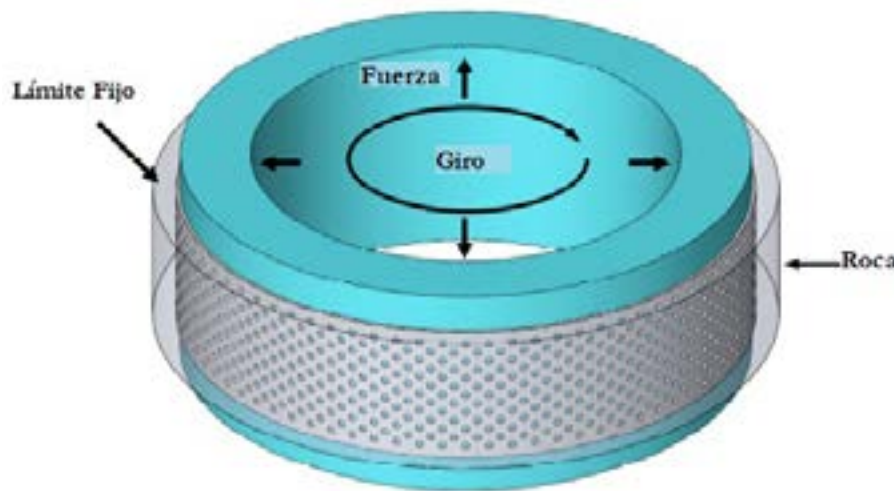
Fuente: Li (2023)

La Figura 5a se muestra el abdomen de un escarabajo pelotero ampliado 20 veces bajo un microscopio. Se puede ver que el abdomen del escarabajo pelotero tiene una estructura obvia en forma de hoyo, y las unidades de hoyo son circulares y aproximadamente distribuidas en línea recta. En la Figura 5b se muestra, además que las unidades de pozo tienen una disposición local de cinco puntos. Esta estructura puede reducir eficazmente el desgaste y mejorar en gran medida la resistencia al desgaste de la superficie del cuerpo del escarabajo pelotero

En la Figura 6 se muestra la disposición de los hoyos en la superficie de la tubería de perforación, rodeado de roca de laboratorio para comprobar, mediante simulación, la reducción del desgaste. Este es el producto elaborado en función de las propiedades en el abdomen del escarabajo.

**Figura N°5:** Topografía geométrica de las superficies

Fuente: Li (2023)

**Figura N°6:** Tubería de perforación

Fuente: Li (2023)

### Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener del escarabajo?
3. Seleccione una de estas propiedades e indique en qué aplicaciones se desean utilizar esta propiedad.

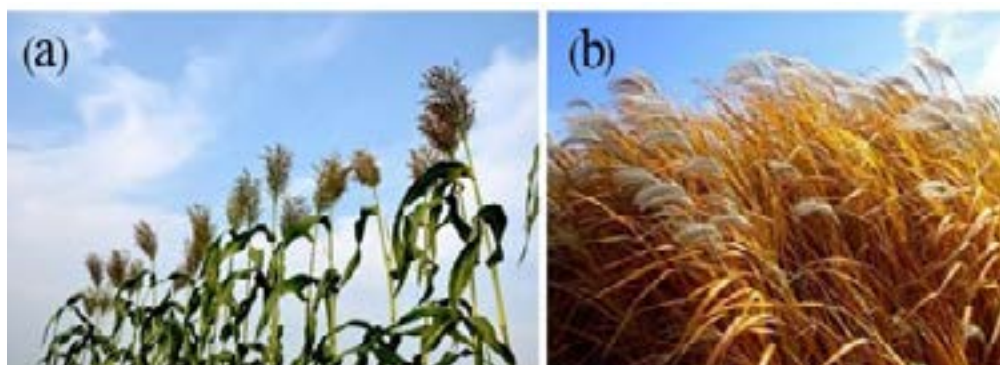
## Estudio biomimético de una estructura de absorción de energía en forma de panel basada en una estructura microporosa de paja (Xu, 2024).

En este artículo, se seleccionaron como prototipos biomiméticos el sorgo y el carrizo, que poseen estructuras de tallo ligeras en la naturaleza. Con base en sus características de estabilidad mecánica (la estructura porosa en la característica del nodo y la característica porosa en la piel exterior), se llevaron a cabo un diseño de optimización biomimética, simulación e investigación experimental tanto en la estructura hexagonal tradicional como en la estructura de panel hexagonal. De acuerdo con los dos tipos de microcélulas de paja y las características de la estructura de la cámara, así como la estructura de absorción de energía celular para el diseño de optimización biónica, se consideraron 22 estructuras de panel en 6 categorías, incluido un diseño biónico de pared celular corrugada, un diseño de celda modular, un estructura de placa de refuerzo, y una estructura autosimilar, así como una estructura de pared celular porosa y estructuras en gradiente de espesor de pared variable. Entre ellos, HTPC-3 (una estructura de panel combinada), HSHT (una estructura de panel autosimilar) y HBCT-257 (una estructura de panel de espesor de pared variable con gradiente radial) tuvieron el mejor rendimiento: su absorción de energía fue del 41,06 %, 17,84 % y un 83,59% superior al de HHT (la tradicional unidad de desacoplamiento de panel hexagonal), respectivamente. En



comparación con HHT (una unidad de desacoplamiento de panal hexagonal tradicional), la absorción de energía específica aumentó en un 39,98%, 17,24% y 26,61%, respectivamente. El análisis de las pruebas de verificación reveló que la estructura de panal combinada tuvo el mejor rendimiento y que su absorción de energía específica fue un 22,82% mayor que la de la estructura hexagonal tradicional.

**Figura N°7:** Prototipo biónico

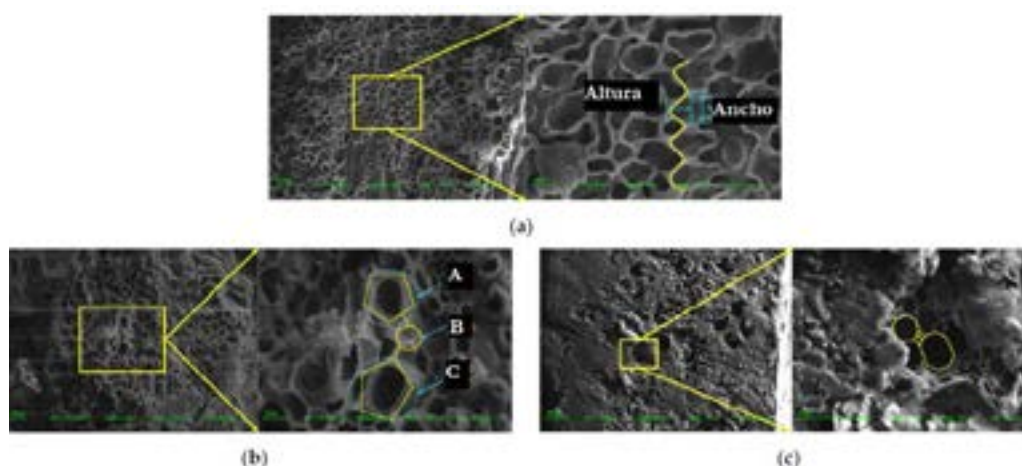


**Fuente:** Xu (2024)

En la Figura 7a, se muestra un prototipo biónico, utilizado en esta investigación, la paja de sorgo y en la Figura 7b, se muestra una paja de caña, en ambos casos se muestra un miembro delgado, que se utiliza principalmente para soportar cargas externas y peso muerto. Su estructura presenta una estructura gradual de adentro hacia afuera, y sus características de elongación y gradiente juegan un papel importante en la estabilidad y capacidad de carga de las estructuras biomiméticas de absorción de energía en forma de panal.

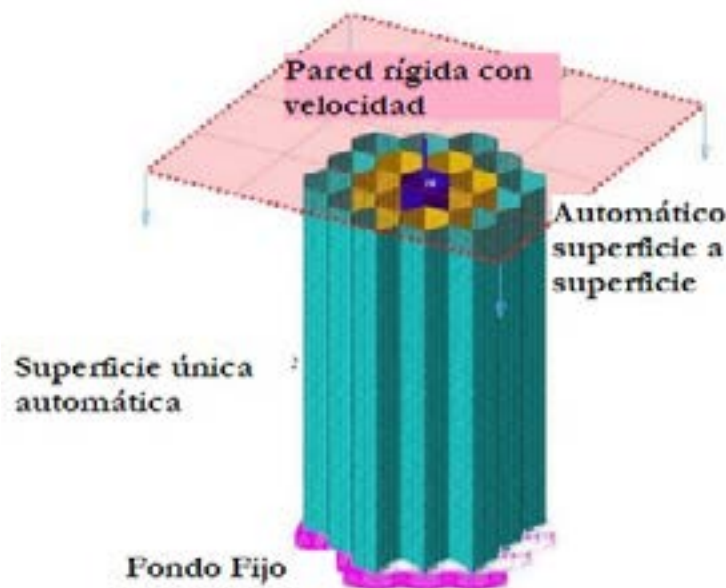
En la Figura 8a, se muestra la estructura de línea límite de celda cristalina de sección transversal longitudinal en el nodo de caña. En la Figura 8b, se muestra la microestructura del haz vascular en el nódulo de caña. En la Figura 8c, se muestra la microestructura de la pared exterior de la vaina de paja de sorgo. Estas imágenes se obtuvieron mediante un microscopio electrónico de barrido.

**Figura N°8:** Características de la estructura microcelular de la paja



**Fuente:** Xu (2024)

**Figura N°9:** Panel de espesor de pared variable con gradiente radial



Fuente: Xu (2024)

En la Figura 9, se muestra el Modelo de análisis de simulación de elementos finitos, en este caso la estructura de panel de espesor de pared variable con gradiente radial. En esta figura se muestra el producto que utiliza las propiedades del prototipo biónico, es decir de la paja de sorgo, para elaborar este producto que posee la fortaleza necesaria, utilizando un peso muy liviano.

### Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener de la caña?
3. Seleccione una de estas propiedades e indique en qué aplicaciones se puede utilizar esta propiedad.



## Estudio sobre la resistencia al desgaste de la capa de revestimiento de níquel con estructura de tira convexa de imitación en la superficie de una tubería de perforación de aleación de aluminio 7075 (Zhao, 2023).

En este estudio, se aplicó una capa de revestimiento de níquel con una estructura de tira biónica convexa a la superficie de una tubería de perforación de aleación de aluminio y se utilizó tecnología de revestimiento láser para mejorar la resistencia al desgaste de la tubería de perforación de aleación de aluminio. En primer lugar, al observar las características morfológicas de la superficie del caparazón, la relación entre el ancho de las tiras convexas y el espacio entre las tiras convexas se obtuvo entre 0,39 y 0,53 y, por lo tanto, se construyó un modelo de la estructura biónica. Se realizaron simulaciones numéricas y los resultados mostraron que el desgaste de la estructura biónica se redujo en un 77,6% en comparación con el de la estructura lisa. Posteriormente, se recubrieron las capas de revestimiento de ambas estructuras sobre la tubería de perforación utilizando polvo de níquel como material y se realizaron pruebas de desgaste. La microestructura, composición y comportamiento de dureza de las capas de revestimiento se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido, un difractómetro de rayos X y un probador de microdureza. Se encontró que la capa de revestimiento consiste principalmente en  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ , y hay una capa de transición entre la capa de revestimiento y la matriz de aleación de aluminio, cuya dureza es menor que la del  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ . Además, se puede formar un espacio de ranura entre las tiras convexas, lo que reduce efectivamente la frecuencia del flujo de desechos. Los resultados de las pruebas de desgaste muestran que el desgaste de la capa de revestimiento con estructura biónica se reduce en un 74,0%. Resultados similares en simulaciones numéricas y experimentos verificaron que la capa de revestimiento diseñada con una estructura de tira biónica convexa puede mejorar significativamente la resistencia al desgaste de los tubos de perforación de aleación de aluminio.

En la Figura 10 se muestra la superficie corporal de la concha del molusco. Para mejorar la resistencia al daño de sus caparazones, después de un largo período de evolución, los moluscos formaron gradualmente una estructura de superficie corporal similar a un prisma convexo en la superficie de sus conchas, y hay un cierto ancho de ranuras entre las tiras convexas adyacentes, que separan las tiras convexas. La concha es la capa de un molusco que vive cerca del agua. Como organismo acuático común, el caparazón del molusco tiene una textura superficial regularmente ordenada que desempeña un papel único en la reducción de la abrasión del agua de mar. Su estructura superficial sirve como una referencia importante para optimizar las interfaces de fricción y es una fuente ideal de inspiración biónica. Los moluscos que viven cerca del agua están sujetos a una gran cantidad de desgaste por fricción causado por colisiones con otros objetos y desgaste por impacto causado por el impacto de las corrientes de agua todos los días.

**Figura N°10:** Tiras convexas y ranura de la superficie de una concha



Fuente: Zhao (2023)

En la Figura 11 se muestran las zonas en las cuales se han identificado en la concha del molusco, con la finalidad de reproducir el mismo efecto en las tuberías de perforación, para reducir la fricción y el desgaste de las tuberías.

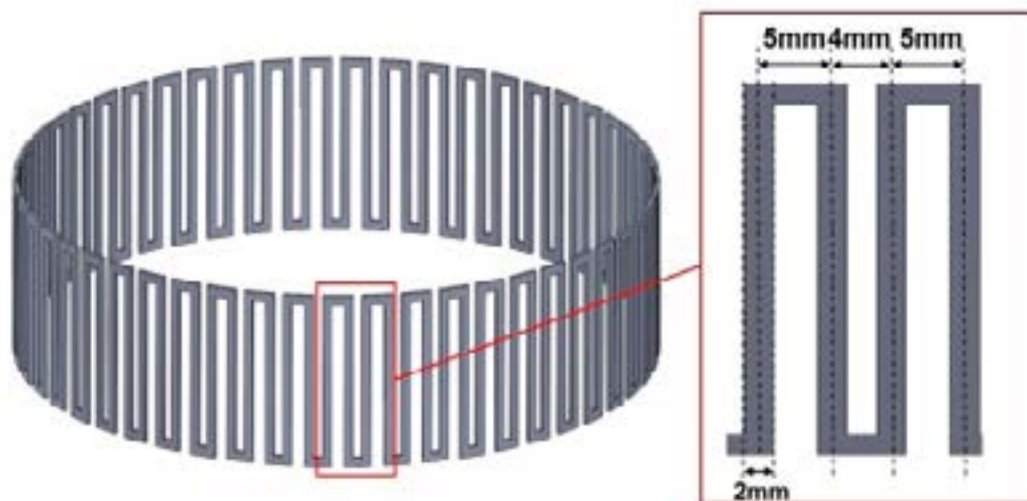
**Figura N°11:** Zonas de las costillas de la concha



Fuente: Zhao (2023)

En la Figura 12 se muestra el diseño de la superficie de la tubería de perforación con las tiras convexas que están dispuestas en paralelo en lugar de la dispersión en forma de abanico en forma de concha, lo que puede reducir efectivamente el fenómeno de concentración de tensión. También se diseñó un conjunto de recubrimientos de níquel con una estructura suave como control.

**Figura N°12:** Parámetros de la estructura de tiras convexas con revestimiento de níquel.



Fuente: Zhao (2023)

### Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener de la concha del molusco?
3. Seleccione una de estas propiedades y describa una aplicación de esta propiedad.

### Efecto de la microtextura biónica compuesta sobre el rendimiento de corte de las herramientas (Xu, 2024).

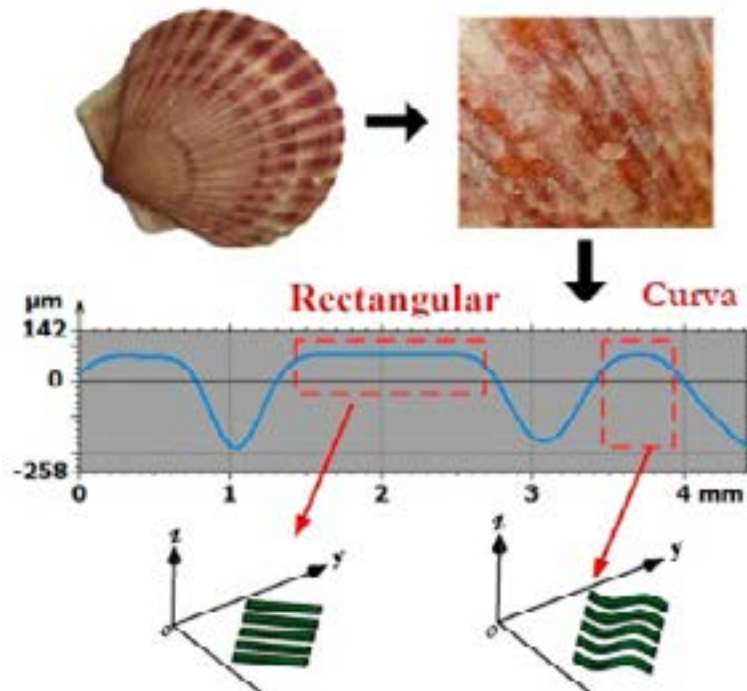
El corte en seco es un método eficaz para hacer realidad el concepto de corte en verde en la actualidad. Sin embargo, en el proceso de corte de acero para rodamientos, las altas temperaturas y altas presiones producidas por la herramienta de corte y la viruta bajo fricción seca afectan seriamente el rendimiento de mecanizado de la herramienta. Por lo tanto, se propone una herramienta de microestructura biónica basada en biología para mejorar el rendimiento de corte y reducir la fricción al cambiar los parámetros de tamaño de la microestructura. Sobre la base de la simulación de elementos finitos y las pruebas de corte, se utilizan la fuerza de corte, la rugosidad de la superficie y la forma de la viruta para evaluar el rendimiento del corte. Se ha descubierto que las herramientas microtexturizadas biónicas compuestas tienen una fuerza de corte significativamente reducida en comparación con las herramientas no microtexturizadas; las herramientas microtexturizadas biónicas compuestas conducen a una reducción de la rugosidad de la superficie del 10 al 25%; y las herramientas microtexturizadas biónicas compuestas son más propensas a mejorar el rizado y la rotura de las virutas. Además, con el aumento de la ocupación del área de la microestructura, el rendimiento de corte de la herramienta también mejoró significativamente. Además, se descubrió que el rendimiento de corte de la herramienta mejoraba cuando se aumentaba la ocupación del área de la microtextura.



en la cara frontal de la herramienta.

En la Figura 13, se muestra la configuración de la superficie de la carcasa. La configuración única y consistente de la perlita superficial exhibe características mecánicas distintas, lo que demuestra resistencia a las presiones externas, y el impacto amortiguador sobre ciertas tensiones geológicas es notablemente efectivo. El análisis biónico reveló que la estructura de perlita en la superficie del caparazón está basada en calcio, lo que le permite evadir la invasión de los depredadores marinos.

**Figura N°13:** Fuentes de microtexturas biónicas.



Fuente: Xu (2024)

**Figura N°14:** Mecanismo de herramienta microtexturizada.



Fuente: Xu (2024)

En la Figura 14, el proceso de acción de la herramienta microtexturizada que contiene la biónica del caparazón. La fricción se correlaciona con la carga en los casos en que el material de la pieza de

trabajo es definido. En consecuencia, alterar la zona de proximidad entre la herramienta y la pieza de trabajo puede reducir potencialmente la creación de fuerzas de corte. Las dimensiones y la forma de las formaciones de microtexturas en la zona de trabajo frontal de la herramienta afectan directamente su desgaste, y especialmente cuando el tamaño y la forma de las estructuras microtexturizadas no son prácticos, de esta forma se logra una reducción de la fricción y reducir potencialmente el desgaste de la herramienta y mejorando la calidad de la superficie de la pieza de trabajo después del mecanizado.

### Actividad

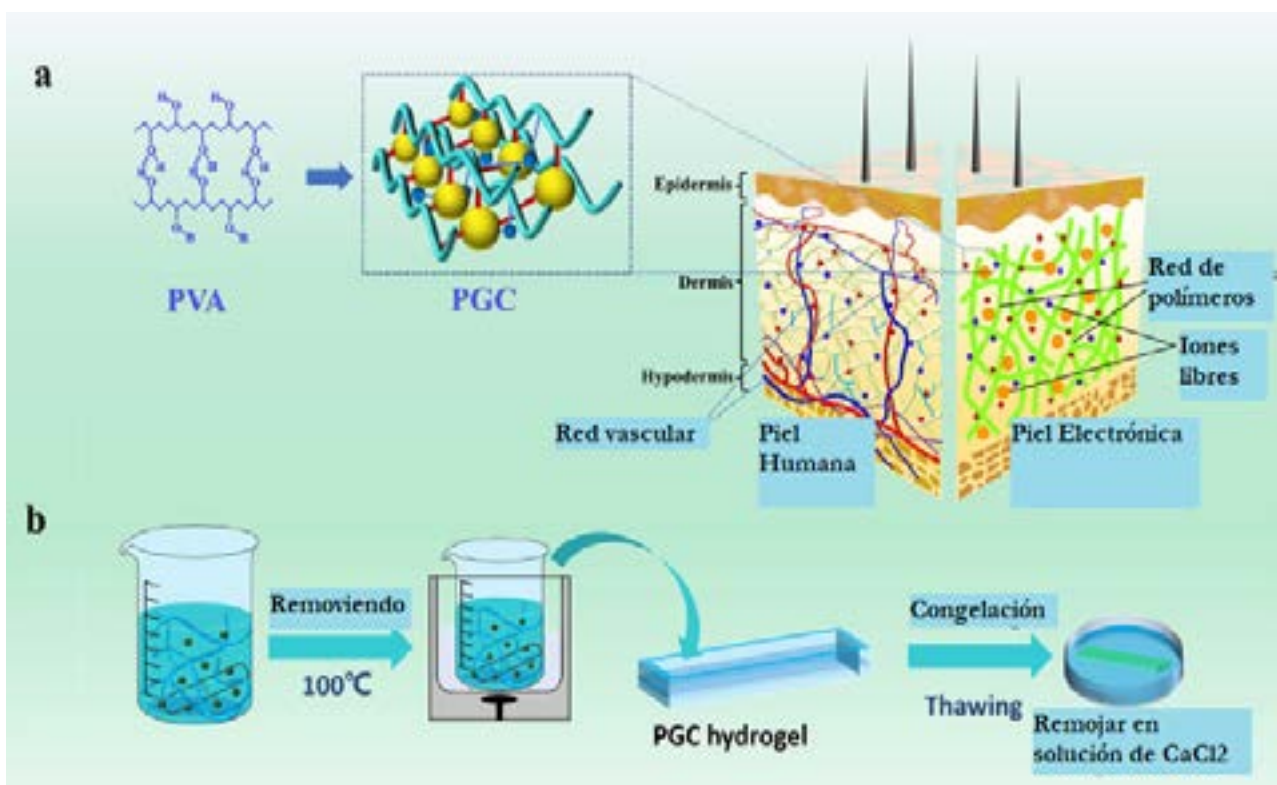
1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener del caparazón?
3. Seleccione una de estas propiedades y describa un producto en el cual se pueda usar esta propiedad.

### Piel electrónica de hidrogel multifuncional supramolecular ultrarresistente inspirada en la piel para la interacción persona-máquina (Chen, 2023).

La piel electrónica biónica ultrarresistente supramolecular multifuncional con una durabilidad única para la interacción hombre-máquina en escenarios complejos sigue siendo un desafío. En esta investigación, se desarrolló una piel electrónica ultrarresistente inspirada en la piel humana con propiedades mecánicas ajustables mediante un método físico de reticulación de salazón, congelación y descongelación. El agente gelificante fue  $\beta$ -glicerofosfato de sodio: Gp, que induce la agregación y unión de las cadenas moleculares de PVA y, por lo tanto, las endurece, con una tensión de hasta 5,79 MPa y tenacidad de hasta 13,96 MJ m<sup>-3</sup>. En particular, debido al autoensamblaje molecular, los hidrogeles se pueden reciclar y reprocesar completamente mediante calentamiento directo de 100 °C durante unos segundos, y la resistencia a la tracción aún se puede mantener en aproximadamente el 100 % después de seis recuperaciones. El hidrogel integra transparencia, > 60%, super dureza de hasta 13,96 MJ m<sup>-3</sup>, soporta 1500 veces su propio peso de tracción y buenas propiedades antibacterianas, con respecto al E. coli y S. aureus, protección UV para Filtración: 80 %–90%, alta conductividad eléctrica en promedio 4,72 S m<sup>-1</sup>, antihinchamiento y reciclabilidad. El hidrogel no solo puede monitorear las actividades fisiológicas diarias, sino que también puede usarse para actividades complejas bajo el agua y cifrado/descifrado de mensajes. También se puede utilizar para crear un sistema completo de rehabilitación de las articulaciones de los dedos con una interfaz interactiva que presenta dinámicamente el estado de salud del usuario. Esta piel electrónica multifuncional tendrá un profundo impacto en el futuro de los nuevos campos de rehabilitación médica, interacción hombre-máquina, VR/AR y metaverso.

En la Figura 15a, se puede apreciar Composición microscópica y propiedades similares a la piel del hidrogel de PGC. En la Figura 15b, se puede apreciar el proceso de producción de hidrogel de PGC. Con el surgimiento del metaverso, la interacción hombre-máquina (HMI) atrae cada vez más atención como elemento indispensable en el metaverso, incluso la robótica, la realidad virtual/realidad aumentada y los sistemas hombre-máquina. La investigación actual sobre interfaces bioorgánicas ha contribuido significativamente a la realización de HMI. Como alternativa importante, la piel electrónica de hidrogel, como interfaz hombre-máquina emergente y prometedora, está dotada de sensibilidad, flexibilidad, elasticidad, comodidad, biocompatibilidad y escalabilidad. Por lo tanto, la piel electrónica de hidrogel permite a las personas conectarse sin problemas con dispositivos electrónicos para lograr una interacción única entre humanos y máquinas y muestra amplias perspectivas de aplicación en el futuro monitoreo de la salud, equipos electrónicos personales, robots inteligentes, electrónica portátil, ingeniería de tejidos y medicina de rehabilitación.

**Figura N°15:** Propiedades estructurales del hidrogel supramolecular de PGCM.



Fuente: Chen (2023)

### Actividad

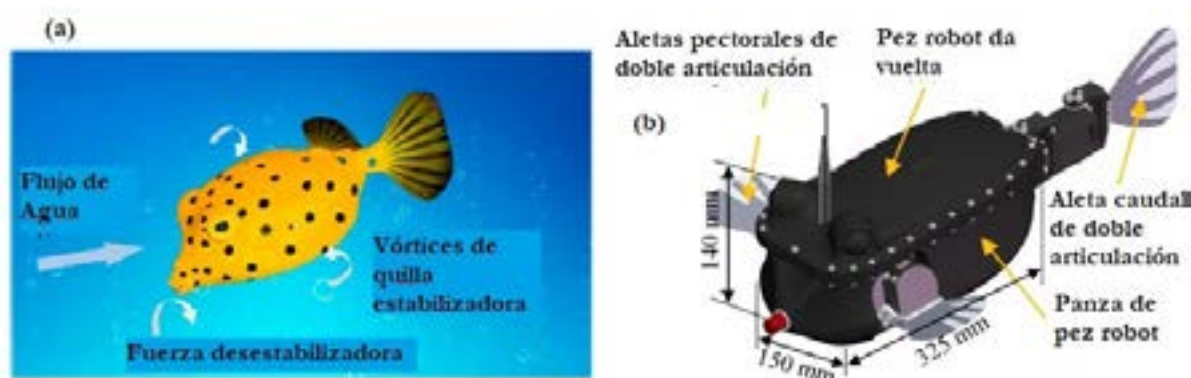
1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales propiedades que se desea obtener de la piel?
3. Seleccione una de estas propiedades y describa por lo menos una de sus aplicaciones.



Control de locomoción basado en el generador de patrones centrales (CPG) y experimentos hidrodinámicos de interacción sinérgica entre las aletas pectorales y la aleta caudal para un robot tipo pez cofre (Chen, 2023).

El control de la locomoción de la interacción sinérgica entre aletas ha sido uno de los problemas clave en el campo de la investigación de peces robóticos debido a su contribución a la mejora y mejora del rendimiento de la natación. En esta investigación, se estudia el control coordinado de la locomoción del robot tipo pez cofre con aletas pectorales y caudales, y se analizan cuantitativamente los efectos de diferentes parámetros de control en el rendimiento de la propulsión mediante el uso de experimentos hidrodinámicos. Primero, se diseñó un robot parecido a un pez cofre sin ataduras, con dos aletas pectorales y una aleta caudal. En segundo lugar, se utiliza un controlador basado en un generador de patrones central (CPG) para coordinar los movimientos de las aletas pectorales y caudales para realizar la locomoción biónica del robot parecido a un pez cofre. Finalmente, se llevan a cabo extensos experimentos hidrodinámicos para explorar los efectos de diferentes parámetros CPG en el rendimiento de la propulsión bajo la interacción sinérgica de las aletas pectorales y caudales. Los resultados muestran que la amplitud y la frecuencia afectan significativamente el rendimiento de la propulsión, y la capacidad de propulsión es mejor cuando la frecuencia es de 1 Hz. Diferentes retrasos de fase y ángulos de compensación entre la torsión y el aleteo de la aleta pectoral pueden generar fuerzas positivas e inversas, que realizan la natación hacia adelante, hacia atrás y de cabeceo ajustando estos parámetros.

**Figura N°16:** Características de forma y mecanismo de actuación del robot biónico.



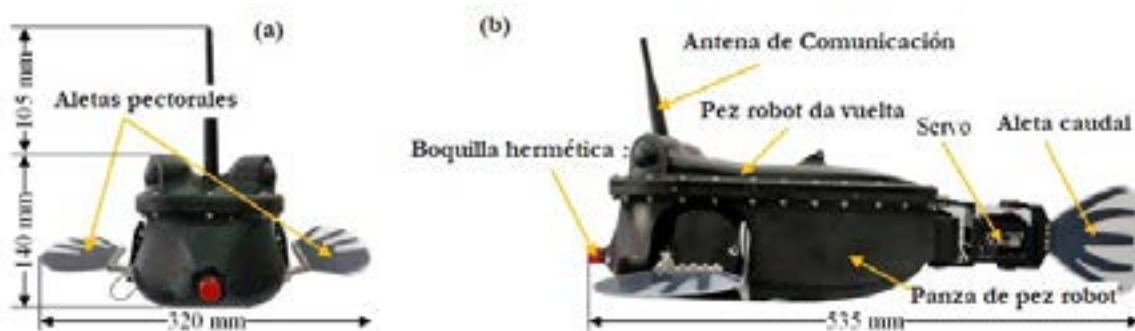
Fuente: Chen (2023)

Esta investigación revela por primera vez los efectos de diferentes parámetros CPG sobre el rendimiento de la propulsión en el caso de la interacción sinérgica entre las aletas pectorales y la aleta caudal utilizando métodos experimentales hidrodinámicos, lo que arroja luz sobre la optimización de los parámetros de diseño y control de El pez robótico.

En la Figura 16a se muestra la inestabilidad en la natación y maniobrabilidad del pez cofre, específicamente se ilustra el momento desestabilizador causado por el cambio de actitud de rumbo y el momento de estabilización causado por el vórtice inducido por la quilla durante la natación del pez cofre. En la Figura 16b se muestra el prototipo virtual diseñado del robot tipo pez cofre, que busca que en el momento de autoestabilización generado por el vórtice de la quilla durante el proceso de natación, así como el pez cofre también necesita ajustar activamente el movimiento coordinado de múltiples aletas acopladas para mantener la estabilidad del rumbo y la actitud.

En la Figura 17a se muestra la vista frontal del prototipo real de robot parecido a un pez cofre y en la Figura 17b se muestra la Vista lateral, es decir el objeto físico y el tamaño tridimensional (3D) general del pez robótico diseñado. Según investigaciones anteriores, las aletas pectorales y caudales del prototipo están hechas de placas de fibra de carbono (CFP) y silicona. Mientras tanto, parte del esqueleto de la placa de fibra de carbono de la aleta está ahuecado a lo largo de la dirección radial y lleno de pegamento de silicona, lo que dota a la superficie de la aleta de flexibilidad y mejora el rendimiento biónico del aleteo de la superficie de la aleta.

**Figura N°17:** Prototipo real de robot parecido a un pez cofre.



Fuente: Chen (2023)

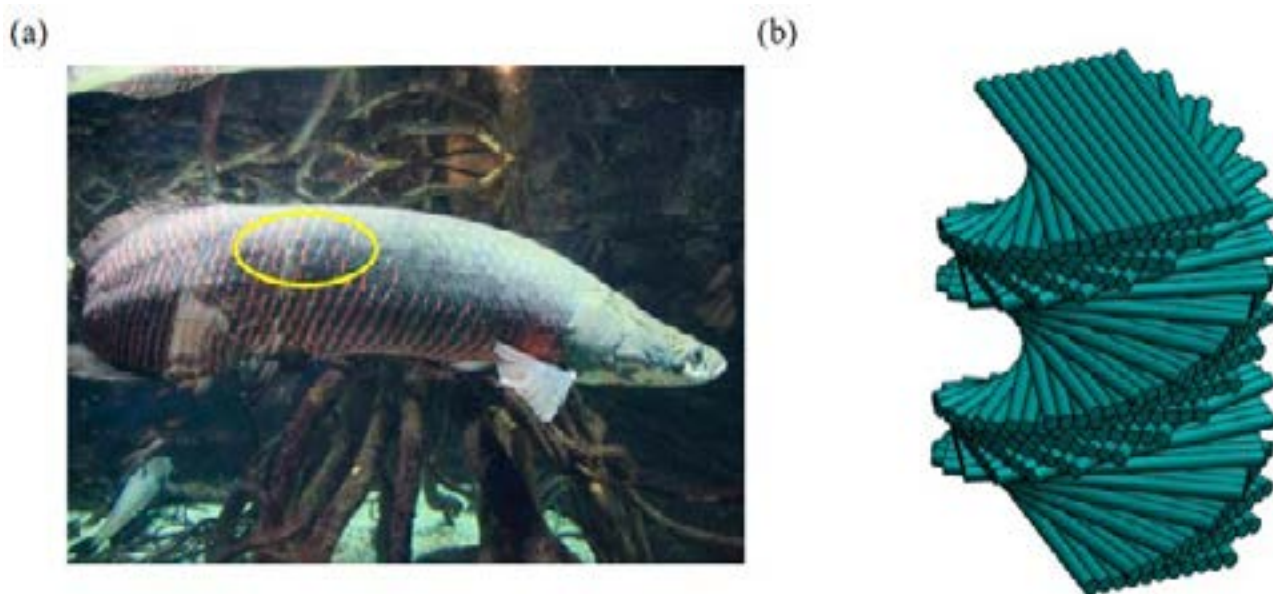
## Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener de un pez?
3. Seleccione una de estas propiedades y comente sobre sus aplicaciones.

## Resistencia mejorada al impacto dinámico de compuestos de ácido poliláctico helicoidal reforzado con fibra óptica continua impresos en 3D (Wang, 2023).

Caracterizados por su peso ligero y alta resistencia, los compuestos se utilizan ampliamente como materiales protectores en cargas de impacto dinámico en condiciones extremas, como altas tasas de deformación. Por lo tanto, basándose en las excelentes propiedades de tracción de la fibra continua y la buena flexibilidad y dureza de la estructura en espiral biónica, esta investigación utiliza una impresora 3D multimaterial para incorporar fibra continua y luego modifica el archivo G-CODE para controlar la ruta de impresión. Para lograr la producción de una estructura helicoidal (ángulo de espiral de  $60^\circ$ ) compuesta de ácido poliláctico continua reforzada con fibra (COF-HP). Se han realizado experimentos de comportamiento dinámico bajo impactos de alta tasa de deformación utilizando la barra de presión Split Hopkinson (SHPB). Se han analizado curvas de tensión-deformación, curvas de energía de impacto y fotografías de cámaras de alta velocidad con diferentes tasas de deformación a  $680 \pm 1$  y  $890 \pm 1$  para explorar el proceso dinámico e ilustrar la evolución del daño. Además, se han establecido y verificado algunos modelos de simulación detallados considerando la incorporación de fibra óptica continua (COF) y diferentes tasas de deformación para investigaciones más profundas. Los resultados muestran que el COF mejora la resistencia al impacto de los laminados. Cuando se reduce la porosidad, la tensión máxima del material compuesto reforzado con fibra continua es entre un 4% y un 7% mayor que la del material PLA puro. Los hallazgos que se encontraron en esta investigación, amplían la aplicación de COF y proporcionan un nuevo método para diseñar materiales protectores, que tienen amplias perspectivas de aplicación en las industrias aeroespacial y automotriz.

**Figura N°18:** Estructuras helicoidales en la naturaleza.



Fuente: Wang (2023)



En la Figura 18a se muestra que las escamas de Arapaima o Paiche, tienen una disposición laminar obvia, que puede resistir la depredación de las pirañas. Las estructuras de protección livianos y confiables desempeñan un papel importante en la protección en condiciones extremas, como altas tasas de deformación, altas temperaturas, altas presiones e impactos de velocidad ultra alta. La estructura de las escamas del Paiche, se utiliza para diseñar nuevos materiales y nuevas estructuras para resistir daños por impacto en entornos extremos, inspiradas en la naturaleza y las bioestructuras. En la Figura 18b se muestran los élitros del escarabajo, que tienen diferentes disposiciones de fibras en diferentes ciclos de vida, que es parecido a la puntera del *Odontodactylus Scyllarus*, que consta de varias estructuras de puntera apiladas que proporcionan dureza y evitan daños durante el ataque. Todos estos animales tienen la misma estructura, una estructura laminada retorcida, que consta de capas de fibra unidireccionales con un pequeño ángulo de desajuste entre las capas de fibra, lo que resulta en una rotación helicoidal de 180 a lo largo del eje vertical del plano de apilamiento. En estudios anteriores han demostrado que el ángulo helicoidal óptimo es 60 bajo un impacto de alta tasa de deformación.

### Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales propiedades que se desea obtener del paiche?
3. Comente sobre los productos que pueden usar estas propiedades y para qué fin.

## Estudio de simulación y optimización del rendimiento de la ventilación de edificios de gran altura inspirado en la estructura de la cámara del termitero blanco (Wei, 2023).

Los edificios de gran altura suelen utilizar sistemas mecánicos para ayudar a la ventilación a mantener la estabilidad de sus ambientes internos, y el consumo de energía de la ventilación mecánica plantea un gran desafío para los entornos urbanos y los sistemas energéticos. El sistema de ventilación de los montículos de termitas con una combinación de cámaras internas principales y adjuntas es uno de los ejemplos clásicos del enfoque biónico de la naturaleza para mantener un ambiente de ventilación interna estable para estructuras de gran volumen. En esta investigación, basado en la inspiración de la estructura de la cámara de ventilación interna de los montículos de termitas biónicos, construimos siete modelos de ventilación de cámaras de edificios de gran altura basados en la estructura de la cámara de los montículos de termitas con cámaras principales, cámaras principales más cámaras unidas (tres tipos), y cámaras principales más cámaras dobles (tres tipos) en condiciones de ventilación natural, con el objetivo de obtener el modelo óptimo de ventilación de cámara de baja energía y alta eficiencia para montículos de termitas biónicos en edificios de gran altura.

La velocidad y presión del viento del edificio de gran altura con la adición de la estructura de la cámara del montículo de termitas biónica es mayor que la del edificio de gran altura tradicional sin cámara en los pisos de muestra, la diferencia máxima del viento, la velocidad entre los dos modelos es de 0,05 m/s, y la diferencia máxima de la velocidad del viento de un solo edificio es de 0,14 m/s, siendo la diferencia máxima de la velocidad del viento de un solo edificio de 0,14 m/s; y el ambiente de ventilación natural puede satisfacerse mediante un edificio de gran altura con una cámara. Después de aumentar la estructura de una sola cámara del montículo de termitas biónico, la diferencia en la velocidad del viento de diferentes pisos es de 0,15 m/s, que es 0,10 m/s mayor que la del modelo de edificio de gran altura con el principal. cámara únicamente. Bajo el modelo de cámara biónica de montículo de termitas de edificio de gran altura con doble cámara adjunta, la diferencia máxima en la velocidad del viento de cada punto de muestreo del piso puede alcanzar 0,19 m/s, mientras que el mapa de nubes de presión del viento muestra un sistema de entorno de viento estable.

Se agregan dos cámaras adjuntas en A y B del edificio de gran altura para formar el modelo a4 de la cámara del edificio de gran altura con un montículo de termitas biónico de doble cámara. Según los resultados, se puede ver que el modelo de los nueve puntos de muestreo de piso de la diferencia máxima de velocidad del viento tiene seis lugares para el valor más alto, y la diferencia de velocidad del viento de un solo edificio para el valor mínimo de 0,10 m/s. El estudio tiene como objetivo optimizar la conectividad y el rendimiento de la ventilación de los edificios de gran altura en condiciones de ventilación natural y promover el diseño ecológico y sostenible de los edificios de gran altura.

**Figura N°19:** Anatomía de la morfología del termitero y su estructura interna.



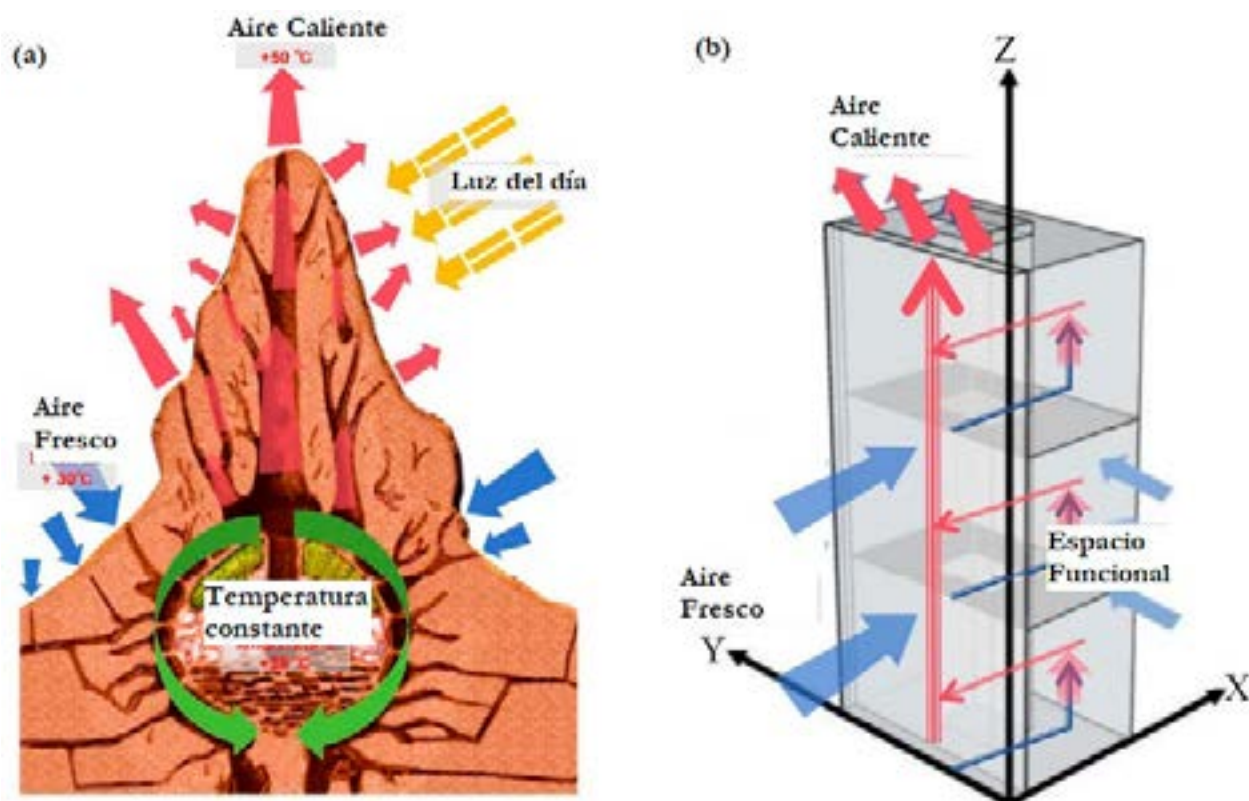
**Fuente:** Wei (2023)

En la Figura 19 se muestran los montículos de termitas. La estructura de los montículos de termitas es muy similar a la de los edificios de gran altura, pero el ambiente interno de los montículos de termitas es extremadamente estable y se ha demostrado que las termitas crean un ambiente habitable para sí mismas al cambiar la estructura interna de los termiteros. Las termitas son enjambres de insectos que construyen grandes montículos de tierra para sobrevivir. Construyen enormes montículos de tierra para sobrevivir, cuya parte aérea se llama termitero, que a menudo se eleva sobre el suelo en forma de torre, columna o cono y puede alcanzar alturas cientos de veces superiores a la suya.

En la Figura 20a se muestra el Esquema biónico de ventilación del montículo de termitas. En la Figura 20b se muestra el Diagrama esquemático de la ventilación biónica de un montículo de termitas para un edificio de gran altura.



Figura N°20: Esquema biónico.



Fuente: Wei (2023)

## Actividad

1. En base a la lectura, investigue y comente por lo menos un artículo de investigación parecido.
2. En base a su investigación, ¿Cuáles son las principales características que se desea obtener del termitero?
3. Seleccione una de estas propiedades y describa un producto en el cual se pueda usar esta propiedad.

## Referencias Bibliográficas

Drăgoi, M.-V.; Hadâr, A.; Goga, N.; Baci, F.; Ștefan, A.; Grigore, L.S.; Gorgoteanu, D.; Molder, C.; Oncioiu, I. (2023). Contributions to the Dynamic Regime Behavior of a Bionic Leg Prosthesis.

Biomimetics 2023, 8, 414. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8050414>

Wang, C.; Cai, J.; Cheng, G.; Wang, J.; Tang, D. (2023). Numerical Investigations of Tribological Characteristics of Biomimetic-Textured Surfaces. Sustainability 2023, 15, 13054. <https://doi.org/10.3390/su151713054>

Li, X.; Gao, K.; Zhao, Y.; Xie, X.; Lü, X.; Zhang, C.; Ai, H. (2023). Wear Resistance Study of Bionic Pitted Ni Cladding Layer on 7075 Aluminum Alloy Drill Pipe Surface. Coatings 2023, 13, 1768. <https://doi.org/10.3390/coatings13101768>

Xu, S.; Chen, N.; Qin, H.; Zou, M.; Song, J. (2024). Biomimetic Study of a Honeycomb Energy Absorption Structure Based on Straw Micro-Porous Structure. Biomimetics 2024, 9, 60. <https://doi.org/10.3390/biomimetics9010060>

Zhao, Y.; Liao, G.; Li, X.; Gao, K.; Zhang, C.; Lv, X.; Ai, H.; Xie, X. (2023). Study on Wear Resistance of Nickel Cladding Layer with Imitation Shell Convex Strip Structure on the Surface of 7075 Aluminum Alloy Drill Pipe. Coatings 2023, 13, 1317. <https://doi.org/10.3390/coatings13081317>

Xu, T.; Ma, C.; Shi, H.; Xiao, K.; Liu, J.; Li, Q. (2024) Effect of Composite Bionic Micro-Texture on Cutting Performance of Tools. Lubricants 2024, 12, 4. <https://doi.org/10.3390/lubricants12010004>

Chen, K.; Liang, K.; Liu, H.; Liu, R.; Liu, Y.; Zeng, S.; Tian, Y. (2023). Skin-Inspired Ultra-Tough Supramolecular Multifunctional Hydrogel Electronic Skin for Human–Machine Interaction. Nano-Micro Lett. 2023- 15:102

Chen, L.; Cai, Y.; Bi, S. (2023). Central Pattern Generator (CPG)-Based Locomotion Control and Hydrodynamic Experiments of Synergistical Interaction between Pectoral Fins and Caudal Fin for Boxfish-like Robot. Biomimetics 2023, 8, 380. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8040380>

Wang, A.; Liu, Y.; Yan, R.; Wang, Y.; Luo, P.; Li, Y. (2023). Enhanced Dynamic Impact Resistance of 3D-Printed Continuous Optical Fiber-Reinforced Helicoidal Polylactic Acid Composites. Polymers 2023, 15, 4599. <https://doi.org/10.3390/polym15234599>

Wei, Y.; Lin, Z.; Wang, Y.; Wang, X. (2023). Simulation and Optimization Study on the Ventilation Performance of High-Rise Buildings Inspired by the White Termite Mound Chamber Structure. Biomimetics 2023, 8, 607. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8080607>



## ACERCA DE LOS AUTORES

### Oscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como Ingeniero Industrial. Su grado de doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente es director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, así como docente investigador RENACYT nivel VI y coordinador del Grupo de Investigación “Producción más limpia”.

### Nora Rosa Concepción Malca Casavilca

Bióloga, magíster y doctora en Ciencias Ambientales, docente de pre y posgrado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, investigadora de temas gestión ambiental, asesora de tesis de pre y posgrado, integrante de grupos de investigación relacionado con el cambio climático, revisora par y evaluadora de los artículos para revistas nacionales e internacionales, integrante del comité consultivo de la revista IIGEO de la FIGMMG-UNMSM. Parte del Comité Editor de la Revista Gemma de la FIGMMG-UNMSM. Autora y co-autora de artículos de investigación y libros relacionados al ambiente y educación.

### Pedro Pablo Rosales López

Doctor y magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Es asesor y consultor de empresas en optimización, métodos y sistemas, así como docente investigador (RENACYT CM-III) en temas de productividad, circularidad, sostenibilidad y simulación de sistemas complejos. Es miembro titular del grupo de investigación Producción más Limpia, de la UNMSM. Cuenta con más de 20 años de experiencia profesional en el análisis, desarrollo e implementación de sistemas orientados a producción, logística, gestión, planeamiento, calidad y control de la producción, y de sistemas comerciales, de contabilidad, finanzas y recursos humanos. Es autor de los libros *Casos de Ingeniería Industrial*, *Logística para pymes*, *Estadística Básica*, *Introducción al análisis cuantitativo en la investigación de mercados con soporte del SPSS* y *Algoritmos de programación con Lenguaje C*.



## Luis Benavides Luksic

Doctorado en Pensamiento Complejo, magíster en Administración de Empresas y licenciado en Ciencias especialidad Biología, el profesor Benavides posee un profundo conocimiento en diversas áreas del saber, lo que le permite abordar de manera integral los desafíos del mundo empresarial y académico. Con 9 años de experiencia en la docencia universitaria y 17 años liderando la gestión comercial y de operaciones en empresas de servicios industriales y ambientales, el docente Benavides aporta una visión estratégica y un enfoque innovador a sus actividades profesionales. Su combinación de experiencia práctica y conocimientos teóricos lo convierten en un referente en la integración de la teoría y la práctica en el ámbito educativo y empresarial. Con un enfoque en la excelencia académica y el desarrollo integral de sus estudiantes, el maestro Benavides se destaca como un líder en la formación de profesionales capaces de enfrentar los retos del mundo empresarial actual. Su pasión por la enseñanza y su compromiso con la excelencia lo posicionan como un activo invaluable en el campo de la educación superior y la gestión empresarial.

## Olivio Nino Castro Mandujano

Docente e investigador de la UNMSM-Perú. Químico de la UNI, magíster en Química de la PUCP, doctor en Ciencias Químicas de la UNMSM. Docente asociado a dedicación exclusiva en la UNMSM. Ha trabajado en diferentes proyectos nacionales (CONCYTEC, INNOVATE, PROCENCIA, varias universidades, etc.) e internacionales (AECI, ALFA-POLYLIFE, POLYCOM, ETC.) Las líneas de investigación que desarrolló son: Química de los productos naturales y biopolímeros. Autor de 10 libros y 40 artículos publicados en revistas nacionales y 9 artículos en revistas internacionales. Asesor de 6 tesis de pregrado sustentadas.

## Francisco Javier Wong Cabanillas

Nació en Lima, en el distrito capitalino de Lince, en el año 1955. Su formación profesional la realizó en las siguientes universidades: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), obteniendo el título de Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) Facultad de Ciencias Sociales obteniendo el título de licenciado en Sociología; a su vez realizó estudios en la Facultad de Ciencias Contables y Administrativas obteniendo el grado de doctor en Ciencias Contables y Empresariales, realizó estudios en la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, obteniendo el grado de doctor en Ciencias de la Educación.

Dentro de su formación complementaria ha llevado los siguientes diplomados: diplomado en Planificación y Gestión del Desarrollo Local y Regional en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el diplomado en Políticas Públicas e Interculturalidad (UNMSM).

Director General de la Revista Digital CTS-CAFÉ-Para ciudadanos,

Ha desempeñado diversos cargos a nivel académico y profesional, jefe de la Oficina General de



Cooperación y Relaciones Interinstitucionales (OGCRI) de la UNMSM, director académico y director del Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales de la Facultad de Ciencias Sociales en la UNMSM. Director General de la Dirección General de Responsabilidad Social (DGRS) en la UNMS. Rector de la Universidad Garcilaso de la Vega, en el periodo, 2023-2024.

En la actualidad, de desempeña como docente de pregrado y posgrado, así como docente investigador Renacyt, y coordinador de Estudios Generales en la Facultad de Ingeniería Industrial- UNMSM.

## Ysabel Zevallos Paravé

Docente de las especialidades de Biología y Química, magíster y doctora en Ciencias de la Educación, maestría concluida en Bioquímica y Nutrición por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Docente de pregrado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Investigadora de productos naturales y temas educativos; asesora de tesis de pre y posgrado, integrante de grupos de investigación relacionado con educación y productos naturales. Autora y co-autora de artículos de investigación relacionados a educación y productos naturales. Integrante del comité científico de la revista CTS café en el área de Ciencias de la Salud.



DIBUJO Y ARTE DE LA PORTADA: MARIELLA SOLEDAD VILLAVICENCIO QUIÑONES  
DISEÑO DE PORTADA: CARLOS ALBERTO VEGA VIDAL



ISBN: 978-612-03-0772-4



9 786120 307724