

# Biomimetismo: Imitando a la madre naturaleza

Rodrigo E. Taboada<sup>1,2</sup>, Dr. Eduardo A. Favret<sup>3</sup> y Dr. Adrián M. Canzian<sup>2</sup>

## Resumen

En el presente trabajo se introduce el concepto de biomimetismo, su origen y sus principales aplicaciones. Se plantean diferentes ejemplos del mismo, abocando la investigación en el efecto “Hoja de Loto” y la cutícula del bicho toro (*Diloboderus abderus*). Se presentan los resultados de ángulos de contacto estático, medidos en aluminio, acero SAE 1045 e inoxidable 316 L. Se realiza un estudio topográfico de una superficie para su aplicación en una herramienta agrícola, midiendo el ángulo de contacto estático y la superficie jerárquica generada para imitar a la hoja de loto. Todo lo anterior permitió la presentación de una patente en el campo de las herramientas agrícolas.

## Abstract

In this paper the concept of biomimicry, its origin and its main applications, are introduced. This work inform different examples of this discipline, focusing on the “Lotus Effect” and the cuticle of the *Diloboderus abderus*. Results of static contact angles measured on aluminum, SAE 1045 and stainless steel 316 L, are reported. A topographic survey of an area, for use in an agricultural tool, is performed by measuring the static contact angle and the hierarchic surface generated, presented for mimic the lotus leaf. All this led to the filing of a patent in the field of agricultural tools.

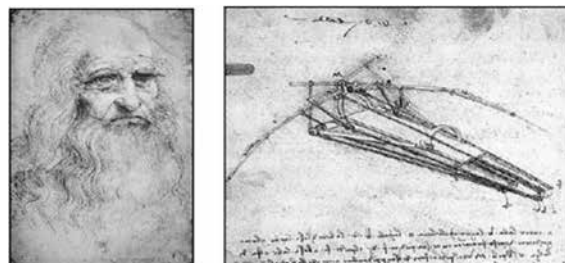
**Palabras clave:** Biomimetismo, Mojabilidad, Ángulo de contacto estático, Acero Inoxidable, Aluminio, Acero al carbono.

## 1. Introducción

Hace años que la naturaleza ha sido utilizada como fuente de inspiración, desde Leonardo Da

1. UNSAM, Instituto Sabato. rdgtaboada@gmail.com
2. UTN. FRGP. Dto. Ingeniería Mecánica. Grupo de Caracterización y Modelización de Materiales. eafavret@cni.inta.gov.ar.
3. INTA, Instituto de Suelos-CONICET. amcanzian@yahoo.com.ar.

Vinci (circa 1500) estudiando el vuelo de los pájaros y su diseño del Ornitóptero (figura 1). Incluso los hermanos Wright con sus prototipos de máquinas voladoras.



**Figura 1:** Leonardo Da Vinci: El padre del biomimetismo.

Otro claro ejemplo fue la invención del Velcro (VELours-CROchet) por el ingeniero suizo George de Mestral (1950), un mecanismo de cierre tan usado hoy día por el hombre, su desarrollo surgió de analizar la adherencia del abrojo en la pelambre de su perro (sistema de cierre denominado “hook-loop”). Observando los mecanismos de adaptación de la víbora de cascabel, se diseñó parte de la teoría de los sensores de infrarrojo. El estudio de la semilla de la tipa (*Tipuana tipu*) facilitó el diseño de nuevos paracaídas [1].

El estadounidense J. Steele y el alemán O. Schmitt, en las décadas de 1950 y 1960, propusieron los términos Biónica y Biomimetismo para

describir una nueva ciencia interdisciplinaria que estaba surgiendo y que englobaba el estudio de sistemas biológicos para el desarrollo de nuevas tecnologías. El biomimetismo/biónica se puede resumir como el diseño, construcción, evaluación y mantenimiento de sistemas artificiales que imiten sistemas vivos o bien se inspiren en ellos.

### 1.1. Nuevos diseños

Esta abundancia de diferentes diseños eficaces y multifuncionales en la naturaleza se debe a los 3.8 mil millones de años de evolución y de acuerdo a la teoría de evolución de Darwin, los organismos que mejor se adaptan a su entorno, son los que sobreviven, mientras que los que no desarrollan una capacidad adaptativa coherente con el entorno, perecen.

Si bien, desde siempre la humanidad ha intentado copiar y adaptar los diseños para su beneficio, solo en años recientes, gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo alcanzado con las diversas técnicas de caracterización, es que se ha podido desentrañar y ingeniar estos nuevos diseños. Vale destacar los siguientes:

#### 1.1.1. Textil

El mecanismo de apertura de las brácteas del fruto o cono del pino cuando se seca ha llevado a la industria textil a diseñar nuevas vestimentas para uso militar. El mecanismo es el siguiente, las brácteas se mantienen cerradas cuando el cono está en el árbol, a medida que madura y se seca dichas brácteas se abren, el cono cae y las semillas se liberan. Las brácteas consisten en capas de dos materiales distintos que reaccionan de distinta forma a la humedad. Cuando el cono se seca, las brácteas tienden a doblarse, puesto que uno de los lados se expande más que el otro [2]. Este efecto fue mimetizado en sentido inverso, creando un tejido textil de multicapas con numerosas ventanitas o "flaps", que se abren automáticamente cuando la persona que la viste comienza a sudar. Cuando la piel retorna a su humedad natural, se cierran. Una vestimenta con esta propiedad es considerada muy útil para personal militar destinado a zonas cálidas.

Existen muchos trabajos que se enfocaron en la funcionalidad de la piel de tiburón, por ejemplo, puede nadar más rápido gracias a que disminuye

el arrastre del agua con su piel. Esto se debe a la forma de las escamas del tiburón, la cual presenta también una estructura jerárquica. Una de las mayores aplicaciones fue su utilización en indumentaria deportiva. Es el caso de la empresa Speedo, en cooperación con la NASA, fabricaron trajes de baño aplicando este efecto [1]. Como se explicó anteriormente, la forma de las escamas reduce la fricción en el agua. Inspirado en esta funcionalidad se diseñaron diferentes trajes de baño, en las Olimpiadas de Sydney 2000 de las 33 medallas de Oro ganadas, 27 fueron obtenidas con este nuevo diseño.

#### 1.1.2. Aerodinámica

El efecto piel de tiburón, además tiene otras ventajas, permite reducir el arrastre del viento sobre la superficie de los aviones. De esta manera se logró una disminución del consumo de combustible del mismo. La compañía Airbus ha diseñado el 70 % de la superficie externa de sus aviones copiando la piel acanalada del tiburón, logrando reducir el consumo de combustible en un 3 % y el costo operativo en 1 %. No solo se diseñan los aviones valiéndose del efecto piel tiburón sino que también, de la fisonomía del mismo. Para ello, en el extremo del ala se emplean Winglets o Sharklet que reducen la turbulencia, de esta manera se logra un ahorro de un 4 % de combustible.

#### 1.1.3. Medicina

La piel del tiburón posee características interesantes que detallamos a continuación:

1. El flujo acelerado de agua sobre la superficie de un tiburón reduce el tiempo de contacto de los organismos.

2. La rugosidad (Nano-textura) de la piel de tiburón reduce el área disponible para que los microorganismos se fijen y crea una superficie inestable para el crecimiento de los mismos.

3. Eventualmente las escamas se alinean o flexionan en respuesta a los cambios internos o externos de presión, cuando el tiburón se mueve por el agua, creando un movimiento inestable para los microorganismos.

Estas características resultan muy atractivas para los hospitales, donde se está en contacto con virus y bacterias nocivas. De esta manera, la em-

presa Sharklet, diseñó un polímero con la topografía de la superficie similar a la piel del tiburón, que se aplica en las cerraduras antipánico y/o en otras superficies de contacto manual, ya que reduce la tasa de crecimiento de bacterias, como *Staphylococcus aureus*, *MRSA*, *VRE*, y *E. coli* [3], [4].

#### 1.1.4. Arquitectura

En Harare, Zimbabwe, el arquitecto Michael Pearce diseñó el centro comercial Eastgate, inspirado en el nido de las termitas *Macrotermes michaelseni*. En efecto, dentro del nido, la temperatura debe estar regulada entre 30°C y 32°C durante todo el día; a pesar de la variación térmica del exterior (3°C a 42°C).

Durante las horas de sol, las termitas realizan pequeñas aperturas en la parte húmeda inferior del nido, permitiendo que el aire se vaya calentando a medida que asciende por la chimenea (refrigeración por evaporación). Al igual que un termitero, el centro comercial está totalmente ventilado, refrigerado y calefaccionado por métodos naturales. Las paredes exteriores del edificio son gruesas de mampostería y posee un atrio de siete pisos de altura en su interior. El aire exterior ingresa a través de múltiples ventilaciones y la masa del edificio lo calienta o lo enfría en función de cuál esté más caliente: el hormigón de la estructura o el aire. Esto permitió un ahorro del consumo de energía del 35%.

#### 1.1.5. Agro Industria

Trabajos recientes afirman que es posible disminuir la adherencia del suelo en una herramienta agraria, utilizando diferentes técnicas, tanto mecánicas como de diseño [5] [6]. Es aquí donde se evoca el concepto de biomimetismo. Algunos autores reportan que la modificación de la topografía de la superficie de un arado, inspirada en la cutícula de un escarabajo (*Copris ochus motschulsky*) permite reducir en, aproximadamente, un 30% el consumo de energía. Reducir la adhesión de la tierra en el herramienta tiene un gran impacto no solo ecológico sino también económico, ya que permitiría reducir el consumo de combustible y los tiempos de labranza. Según investigaciones recientes, el 50% de la energía se pierde debido a la adherencia del suelo a la her-

ramienta. Por lo tanto resulta importante encontrar una alternativa que permita mejorar el proceso.

Al realizar observaciones de la cutícula de un insecto de suelo (Bicho Toro), mediante microscopía SEM, se encontró la existencia de dos escalas de rugosidades. Además, siendo la naturaleza tan sabia, esta estructura jerárquica se presenta, de manera similar, en la hoja de loto, demostrando que esa es una de las vías para reducir la adherencia. En ambos casos se puede identificar una macro y una microrugosidad. Mamdouh et al. [7] informaron que la condición de superhidrofobicidad de una superficie de oro, puede ser modificada regulando esta estructura jerárquica. Basado en lo anterior, y mediante la modificación topográfica (macrorugosidad), se presentó la solicitud de una patente para un herramienta agrícola.

Por otra parte, Qian et al. [8] generaron superficies superhidrofóbicas en aluminio, cinc y cobre, a partir de un ataque químico y del recubrimiento por un polímero. Ahora bien, si la superficie tiene que estar en contacto con el suelo, el polímero se degrada inmediatamente. Por lo tanto, se decidió investigar la mojabilidad en aluminio, SAE 1045 e inoxidable 316 L, a partir de la utilización de un ataque químico para generar una microrugosidad.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

#### 2.1.1. Aluminio

Las probetas de aluminio utilizadas tenían 15 mm x 20 mm x 5 mm de tamaño. Las mismas fueron desbastadas con paños de 65 µm hasta 2 µm. El ataque químico utilizado, fue 47% ácido nítrico, 3% ácido fluorhídrico y 50% agua destilada, variando el tiempo de exposición de las superficies. A todas las muestras se le hizo un depósito de oro mediante la descarga en atmósfera de Argón 99,999% con presión de llenado de 0.15 milibares y una corriente de 120 mA durante 30 s.

#### 2.1.2. SAE 1045

En este caso las probetas, de 7mm x 12mm x 5 mm, provenían de un acero 1045 laminado con enfriamiento controlado, provisto por la compañía PANAMERICANA DE ACEROS SA. Se le reali-

zaron estudios metalográficos que indicaron que el acero tenía un tamaño de grano de 6,5 (Norma ASTM E112) y una dureza de 53 Rockwell A (145 Brinell). Las muestras fueron desbastadas con papel de lija al agua hasta 15  $\mu\text{m}$ . Para el ataque químico se utilizó una solución de 300 ml de agua destilada y 30 g de Amonio Persulfato. El tiempo de ataque se varió hasta 5 minutos en intervalos de 5 segundos. A estas probetas se le realizó, en las mismas condiciones que el aluminio, un recubrimiento de oro.

### 2.1.3. AISI-SAE 316 L

El acero inoxidable austenítico 316 L, del cual se tomaron probetas, se encontraba laminado en planchuela. El mismo fue provisto por la compañía S.I.P.I (Italia). La metalografía reveló un tamaño de grano 9 (Norma ASTM E112), con un promedio de 3970 granos/mm<sup>2</sup>. Las probetas tenían un tamaño de 10 mm x 15 mm x 3 mm, las mismas fueron desbastadas con papel de lija al agua hasta 3  $\mu\text{m}$ . En este caso se utilizó el reactivo Marble, el cual se compone de 50 ml HCl, 50 ml H<sub>2</sub> y 10 g CuSO<sub>4</sub>. En este caso se atacó las muestras hasta 15 minutos, abarcando distintos tiempos.

## 2.2. Métodos

Para todos los casos se utilizó, para establecer la condición de mojabilidad, el ángulo de contacto estático. Tanto para el aluminio como el SAE 1045, se obtuvo a partir de los perfiles medidos, con un medidor de perfiles, para gotas de 5  $\mu\text{l}$  de agua destilada aplicadas con una micropipeta Huagei 5G. En cambio para el acero inoxidable 316 L se utilizó un microscopio digital (Digital Microscope), montado en un dispositivo, construido a tal efecto. A partir de las imágenes obtenidas con el mismo y con la ayuda del programa GIMP 2.8.10 se obtuvieron los respectivos ángulos de contacto.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Aluminio

A continuación, en la figura 2, presentamos los resultados obtenidos para el aluminio.

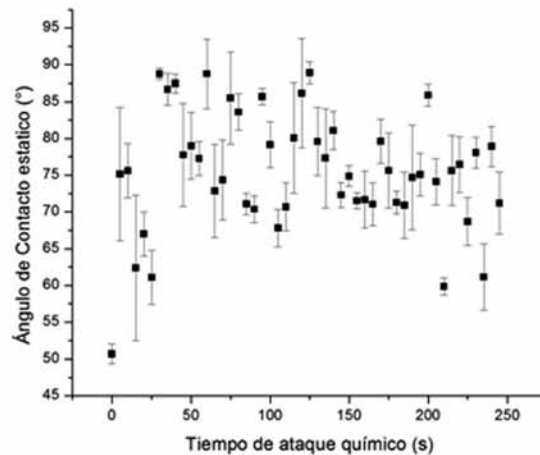


Figura 2. Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el aluminio.

De la figura se aprecia una oscilación en los valores del ángulo de contacto estático, con valores máximos próximos a los 90° y los valores mínimos cercanos a los 60°.

### 3.2. SAE 1045

En la figura 3, se muestran los resultados obtenidos para este acero.

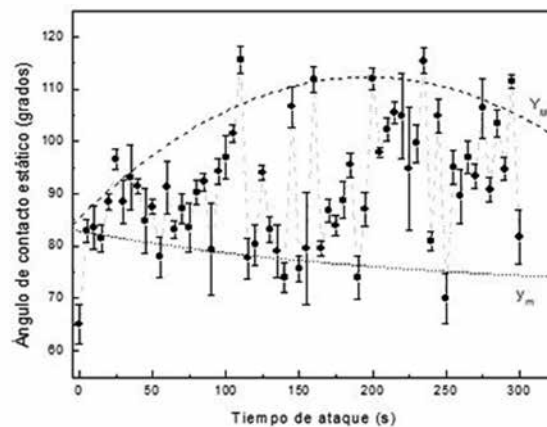


Figura 3. Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el SAE 1045.

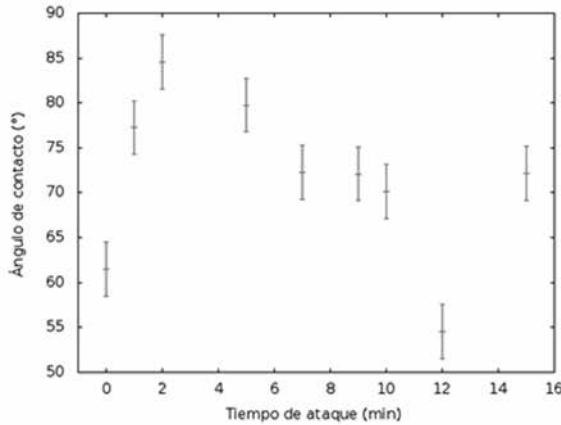
En este caso se puede ver, también, como los valores de los ángulos alternan entre máximos y mínimos. Como se aprecia del gráfico, los valores máximos rondan los 110°, es decir, corresponden a una situación de hidrofobicidad. En el caso de los valores mínimos, mayores a la probeta sin ataque químico pero menor a 90°, se encuentran en una situación de hidrofiliidad. Estos resultados son muy prometedores para ser aplicados en



la púa.

### 3.3. AISI-SAE 316 L

A continuación presentamos en la figura 4 los resultados obtenidos para el acero inoxidable.



**Figura 4.** Ángulos de contacto estático en función del tiempo de ataque químico para el 316L.

Analizando la información obtenida, se puede observar que, como en los casos anteriores, se alternan entre máximos y mínimos. Para este caso los valores máximos se encuentran próximos a los 85°. Esto indicaría que todos los valores obtenidos no se encuentran en condición de hidrofobicidad.

Por otra parte, si tenemos en cuenta los tiempos de ataque químico, para los tres casos, se observó que el máximo correspondió a dos minutos.

### 4. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se presentó el concepto de Biomimetismo y sus aplicaciones prácticas. Como resultado de esta disciplina, se incursionó en la generación de superficies hidrofóbicas sobre materiales metálicos. En todos los casos analizados, se observa que para ciertos tiempos de ataque químico se pueden generar ángulos de contacto estático superiores al inicial. Con el ataque elegido, tanto para el aluminio y el acero inoxidable 316 L no se pudo obtener una condición de hidrofobicidad. Lo anterior permitiría para el acero SAE 1045 montar una microrugosidad sobre la topografía generada para la púa.

### 5. Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen al departamento de Metalografía y Ensayos Termomecánicos, al Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Comisión Nacional de Energía Atómica Centro Atómico Constituyentes y a la compañía PANAMERICANA DE ACEROS S.A. por su aporte realizado.

### Referencias

- [1] Favret, Eduardo Alfredo (2008), La Biología inspira nuevos desarrollos tecnológicos en el campo de la ciencia de los materiales y al ingeniería. Revista de la Sociedad Argentina de Materiales Vol. 5 (1), 2-13.
- [2] Dawson, J., J. F. V, Vincent (1997), How pine cones open. Nature 390 (6661), 668-668.
- [3] <http://biomimicryinstitute.org/home-page-content/home-page-content/biomimicking-sharks.html>, 27/10/2013, 9:30 pm.
- [4] <http://hellomaterialsblog.ddc.dk/2012/09/28/interview-anthony-brennan-sharklet-technologies-on-shark-skin-surfaces/>, 27/10/2013, 9:30 pm.
- [5] Lu-Quan Ren, Jin Tong, Jian-Qiao li & Bing-Cong Chen (2001), Soil Adhesion and Biomimetics os Soil-engaging Components: a Review. J. agric. Engng Res. 79(3), 239-263.
- [6] Muhammad Azam Khan, Rashid Qaisrani & Li Jian-Qiao (2010), The Techniques of Reducing Adhesion and Scouring Soil by Bionic-Review of Literature. Advances in Natural Science Vol. 3, No. 2, 41-50.
- [7] Mamdouh E. Abdelsalam, Philip N. Bartlett, Timothy Kelf & Jeremy Baumberg (2005), Wetting of Regularly Structured Gold Surfaces. School of Chemistry and School of Physics and Astronomy, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, United Kingdom. Langmuir 21, 1753 1757.
- [8] Qian B., Shen Z. Langmuir (2005), Fabrication of Superhydrofobic Surfaces by Dislocation-Selective Chemical Etching on Aluminum, Copper, an Zinc Substrates. Langmuir 21, 9007-9009.

