



MORELIA, MICH. JUNIO 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

Para obtener el título de:

Ingeniero Civil

TEMA:

VIGILANCIA TECNOLÓGICA EN LA BIOMIMÉTICA APLICADA EN LA INGENIERÍA CIVIL.

Presenta:

LUIS FABRICIO GARCIA GRANADOS

ASESOR:

DR. JOSE CARLOS RUBIO ÁVALOS

Fuente: <http://www.mundotkm.com/virales/2016/11/02/este-es-el-lado-oscuero-de-la-lujosa-ciudad-de-dubai/>



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores

ÍNDICE

Resumen, Abstract	7
1. Introducción	8
2. Antecedentes y generalidades de la Ingeniería biomimética	9
2.1 Definición de Biomimética	9
2.2 Planteamientos y hallazgos incipientes	12
3. Clasificación de la Ingeniería biomimética	23
3.1 Macrobimimética	23
3.2 Microbimimética	24
3.3 Nanobimimética	26
4. Empresas que nacional e internacionalmente utilizan biomimética para desarrollo de nuevos productos y tecnologías	27
4.1 Centros de investigación biomimética en México	34
5. Métodos biomiméticos	39
6. Materiales biomiméticos	48
7. Biomimética vegetal	53
7.1 Agave	53
7.1.1 Aplicaciones del agave	54
7.2 Coco	57
7.2.1 Aplicaciones del coco	58
7.3 Almidón	65
7.3.1 Aplicaciones del almidón	68
7.4 Dextrina	69
7.4.1 Aplicaciones de la dextrina	70
7.5 Flor de loto	73
8. Biomimética animal	77
9. Orictomimética (Mimética mineral)	87
10. Arquitectura biomimética	95
11. Conclusiones	107
12. Referencias	109
13. Agradecimientos y dedicatorias	110

Índice de figuras

Fig.	T í t u l o	Pág.
1	La salud de la casa común del bioma está en nuestras manos.	8
2	Impermeabilidad de follaje vegetal.	9
3	Ejemplo de entes biológicos y mecánicos.	11
4	Modelo mimético de avión semejando un delfín.	12
5	Ruinas arqueológicas de Tartessos.	14
6	Suelos de conchas en la Península Ibérica.	15
7	Huelva. Calle Botica.	16
8	Pavimentos de conchas de la fase III de Castro Marim, según Arruda (2007).	16
9	Huelva. Calle Botica 10/12. Suelo de ostras, guijarros y pequeñas lajas de pizarra. Izquierda, según García Sanz (1988-89); derecha, según Rufete (2002).	17
10	El Carambolo. Detalle del gran pavimento de conchas. Se nota el orden de la colocación de las valvas en filas, con la charnela en la misma dirección.	17
11	Cueva prehistórica utilizada como vivienda, construida con piedras.	18
12	Mapa de ubicación del camino real en la cultura inca.	19
13	Camino real de la cultura inca.	20
14	Puente construido en Perú por la cultura inca.	21
15	Edificación que data de la edad de bronce. Daimiel, provincia de Ciudad Real, España.	22
16	Grillo posado sobre una hoja vegetal. Ejemplo de macroescala.	23
17	Ácaro. Microbio del género <i>Lorryia</i> , especie <i>formosa</i> , familia Tydeidae.	24
18	Televisor de los años 60 del siglo XX. Comienzan a utilizar microtransistores.	25
19	Microchip de un dispositivo de memoria artificial.	26
20	Enfoque nanométrico de bacterias (organismos alargados) y virus (circulares).	27
21	Edificio de la empresa DuPont.	28
22	Planta industrial de la empresa DuPont.	30
23	El doctor Laurens Howle muestra una pala de turbina con forma de aleta.	31
24	Pala de turbina con forma aerodinámica.	31
25	Turbinas con aspas en forma de aleta.	32
26	Logotipo de la empresa española Agrométodos, S. A.	33
27	Centro de investigaciones de la empresa Bemygene Health Company.	34
28	Fibra de agave seca para construcción de muros ecológicos.	35

Fig.	T í t u l o	Pág.
29	Investigador trabajando en el laboratorio de Ciencias Genómicas de la UNAM, campus Morelos.	36
30	Edificio del centro de investigaciones LANGEBIO, en el Estado de Guanajuato.	37
31	Cemento fluorescente, creado por el doctor José Carlos Rubio Ávalos.	39
32	Compacto conjunto flotante de hormigas que forman un puente para atravesar un tramo de agua.	40
33	Diseño de espiral explicado en seis etapas.	41
34	Paneles solares imitando girasoles al captar la luz solar.	43
35	Francotiradores con uniforme de camuflaje.	44
36	Fuerzas especiales de la Marina danesa imitando el entorno acuático.	45
37	Mecanismo de vuelo de las aves.	46
38	Emisión luminosa nocturna de una luciérnaga.	47
39	Microscopía de la estructura de la cola de una luciérnaga.	48
40	Hoja vegetal de características superhidrofóbicas.	49
41	Tela de araña en el entorno natural.	50
42	Chaleco antibalas fabricado con tela de araña.	51
43	Traje de baño simulando piel de tiburón.	52
44	Piel de tiburón observada al microscopio.	52
45	Plantación de agave en México.	54
46	Creación de hilos de bioplástico de agave en la empresa <i>Biosolutions</i>	55
47	Productos elaborados con bioplástico de agave.	56
48	Productos elaborados con ixtle (fibra de plantas de la familia <i>Agavaceae</i>).	56
49	Suplemento alimenticio de inulina.	57
50	Cocos recién cortados de una palmera.	58
51	Bolso hecho a base de fibra de coco.	59
52	Cuadro de diferentes tipos de mezclas para prueba.	60
53	Moldes de diferentes formas, para pruebas.	61
54	Gráfica de compresión de los cinco modelos de fibra de coco.	62
55	Gráfica de la resistencia a la flexión de los diferentes modelos.	63
56	Interacción de longitud y volumen respecto de la fuerza a la flexión.	64
57	Alimentos que contienen almidón.	65
58	Gelatina con dos cerezas superpuestas.	66

Fig.	T í t u l o	Pág.
59	Superficie de un pan endurecida por cristales.	67
60	Charola de TPS biodegradable a base de almidón.	69
61	Saco lleno de dextrina.	70
62	Dextrina amarilla para la fundición de hierro.	71
63	Diferentes pegamentos a base de dextrina amarilla 97.	72
64	Juegos pirotécnicos realizados con dextrina blanca.	73
65	Flor de loto silvestre.	74
66	Imágenes de la superficie superhidrofóbica de la flor de loto a los niveles micro– y nanobiomimético.	74
67	Automóvil de lujo de la marca Nissan con pintura Ultra Ever Dry, con impurezas fácilmente eliminables.	75
68	Trozo de velcro.	76
69	Planta de <i>Arctium</i> (abrojo).	76
70	Bosquejo de máquina voladora, de Leonardo da Vinci. Semejanza con ala de murciélago.	78
71	Enseñanza de pilotaje de autogiro.	79
72	Ojos de gato, creación de Percy Shaw.	80
73	Mosquito en plena penetración de piel humana.	81
74	Retroaraña.	82
75	Retroaraña en terreno difícil de operar.	83
76	Compactadora pata de cabra.	84
77	Timberjack Walking Machine (scorpion).	85
78	<i>Héctor</i> : robot simulando un insecto palo.	86
79	Automóvil Lamborghini Gallardo con pintura termocrómica.	87
80	Ingenieros civiles utilizando <i>estación total</i> y captando datos en una tableta.	89
81	Lavabo fabricado con concreto DEXterra	91
82	Producto Sikatop 123 plus.	92
83	Edificación con estructura de acero.	93
84	Arrecife natural en el fondo marino.	94
85	Museo Kunsthaus Graz, en Austria.	96
86	Museo Kunsthaus Graz, en fase nocturna.	96
87	Estadio Nacional de Pekín (Nido de pájaro).	97
88	Estadio Nacional de Pekín (imagen de la parte superior).	98

Fig.	T í t u l o	Pág.
89	Cubo de agua, en Pekín. Vista nocturna.	99
90	Cubo de agua, parte interior.	99
91	Museo de Arte de Milwaukee, Wisconsin.	100
92	Museo de arte de Milwaukee, parte trasera.	101
93	Templo de la Sagrada Familia. Barcelona, España.	102
94	Templo de la Sagrada Familia, parte interior.	102
95	Centro comercial Eastgate, en Harare, Zimbabue, África.	103
96	Parte interna del centro comercial Eastgate. A la derecha, un termitero africano.	104
97	Esquema de ventilación de edificios, mimetizado de un termitero.	105
98	Torre Price, en Bartlesville, Oklahoma, EEUU.	106

Resumen.

El siguiente trabajo de tesis es una vigilancia tecnológica en la cual se expone el tema de biomimética para los materiales que se utilizan en la ingeniería civil, la cual es una ciencia que en los últimos años se ha estudiado y ha rendido frutos con un éxito impresionante. La biomimética es la ciencia en la cual se estudia la naturaleza y en base en ella se crean nuevos productos así como procedimientos para que seres humanos puedan solucionar problemas y además dándole un enfoque ecológico y económico.

En este documento se hace mención al termino Orictomimética el cual tiene un significado de imitación a los fósiles o bien a los minerales, el cual en ningún documento científico se había plasmado este término. Gracias a la sabiduría de Natura el mundo ha evolucionado en forma gigantesca y por esta razón le ha enseñado al ser humano a vivir de una manera más cómoda, fácil y económica.

Abstract.

The next work of thesis is a technological surveillance which exposes the subject of Biomimetics for the materials used in civil engineering, Biomimetics is a science that has been studied in recent years and it has been born as a result of an impressive success. Biomimetics is the science in which nature is studied and based on it, new products are created as well as procedures for human beings to solve problems. It also gives an ecological and economic approach.

In this document it is mentioned the term "Orictomimética" which means "an imitation of the fossils or the minerals". There is no scientific document that shapes this term. Thanks to the wisdom of Natura, the world has evolved in a gigantic way, teaching the human being to live in a more comfortable, easy and economical way

1. Introducción

Mediante el presente documento se plasma cómo, en el transcurso de los años, los seres humanos han creado gran diversidad de tecnologías. De manera particular, el avance de los 20 años recientes ha sido prodigioso, por virtud de nuestras crecientes necesidades de satisfactores. Así mismo, se ha de agradecer a la naturaleza, ya que día con día nos enseña cómo sobrevivir, debido a que ella ha permanecido miles de millones de años en proceso constante de evolución.

Gracias a que *Natura* es una gran maestra de la evolución y de la supervivencia, los científicos la investigan para conocer sus propiedades e imitarla de tal manera que tales cualidades propicien la creación de productos nuevos para el mejoramiento de nuestro estilo de vida, a fin de que sea más confortable, funcional, efectiva y lo más limpia para nuestro ámbito, sin afectar en grado inadmisibile al entorno y a los seres vivos que habitan en el planeta Tierra.

El presente trabajo consiste en acopio de información acerca de la utilización de procedimientos y materiales para usufructo del género humano.



Figura 1. La *salud* de la casa común del bioma está en nuestras manos.

Fuente: http://www.editoriallapaz.org/guias_clases_libro_1.htm. Consultada: 8 de agosto de 2016.

2. Antecedentes y generalidades de la Ingeniería biomimética

2.1 Definición de Biomimética

La palabra Biomimética (también denominada Biomímesis, o Biomimetismo) proviene de los vocablos griegos *bios* –que significa vida– y *mímesis*, que indica imitación. Mediante esta ciencia se estudian las particularidades de la naturaleza como fuente de inspiración de nuevas tecnologías innovadoras, para resolver los problemas humanos que la propia *Natura* ha ya resuelto, mediante modelos de sistemas (mecánica), o procesos (química), y/o elementos que imitan o se inspiran en ella.¹



Figura 2. Impermeabilidad de follaje vegetal.

Fuente: <http://galenofotografico.blogspot.mx/>. Consultada: 16 de abril de 2016.

La ciencia biomimética data de pocos años. Se basa en investigaciones y en estudios de modelos, procesos, sistemas y elementos naturales, con el propósito de imitarlos y así crear tecnologías nuevas para encontrar soluciones a los problemas de los seres humanos con la condición de que la nueva creación sea ecológicamente sostenible.

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Biomimesis>. Consultada: 7 de octubre de 2016.

Después de 3.8 millones de años de lenta e incesante evolución, las soluciones de la naturaleza han sido siempre innovadoras y eficientes. Funcionan dentro de un balance perfecto con el entorno, lo cual, para los seres humanos, es difícil de lograr.²

Por esta razón, los científicos aprovechan esa gran oportunidad, que al imitar peculiaridades extrañas de algunos seres permite descifrar sus secretos y aportar enormes soluciones para mejorar la supervivencia, con mayor eficiencia, económicamente viable y, sobre todo, ecológicamente sostenible.

Los científicos de numerosas ramas de la investigación han desarrollado grandes proyectos intentando igualar los diferentes procesos naturales para que el desarrollo de nuestros sistemas tecnológicos sea más eficiente.

Tal vez para muchas personas todos estos conceptos y esta nueva ciencia puedan parecer increíbles de realizar, pero en los últimos años es ya un nuevo procedimiento empleado por numerosas organizaciones multinacionales para la creación de bienes y servicios.

Un paradigma es la creación de máquinas o medios de transporte que imitan la forma aerodinámica de algunos animales, lo cual conlleva más velocidad y estructuras más resistentes y ligeras. Así mismo, entre otras muchas creaciones notables más, se han desarrollado pegamentos naturales no tóxicos, y la creación de microchips a semejanza de la parte cerebral de algunos insectos.

Como se le conoce en la práctica, la Biomimética es un método por medio del cual los diseñadores e ingenieros hacen investigaciones biológicas con el propósito de determinar cómo los organismos resuelven problemas complejos.³

² Rocha Rangel, E. *et al.*, 2012. *Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza*. Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

³ Ídem. Consultadas: 17 de abril de 2016.



Figura 3. Ejemplo de entes biológicos y mecánicos.

Fuente:

<http://camila2015perez.blogspot.mx/2015/03/naturaleza-y-evolucion-de-la-tecnologia.html>. Consultada: 8/agosto/2016.

Los animales, las plantas y los microbios son organismos consumados. A través de su evolución han acertado en qué funciona, qué es apropiado y qué perdura en la Tierra. La emulación consciente de la genialidad de la naturaleza es una estrategia de supervivencia para la raza humana, un camino hacia el futuro sostenible. Es así como en la medida que nuestro mundo se parezca y funcione como el mundo natural, mayor es nuestra probabilidad de sobrevivir en él.⁴

⁴ Íbidem. Consultada: 15 de abril de 2016.



Figura 4. Modelo mimético de avión semejando un delfín. Fuente: <http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2012/11/>

Consultada: 15 de abril de 2016.

2.2. Planteamientos y hallazgos incipientes

Durante la existencia de la humanidad se han creado diversas máquinas, productos y sistemas que han afectado a nuestro planeta Tierra, ya que todos estos inventos generan gran contaminación, por lo cual ha sido muy difícil revertir esta infición.

La mayor trayectoria de creación de inventos contaminantes tuvo lugar en la época de la revolución industrial en Europa, en la segunda mitad del siglo XVIII, cuando se inició la extracción –y la utilización– del carbón, por lo cual principia una enorme polución por aprovechamiento de combustibles fósiles. En México, el comienzo de tal revolución fue paulatino, en el siglo XX.

Debido a esta nociva situación, en el devenir de algunos decenios (*décadas*) recientes, la humanidad ha aprendido de la evolución de la naturaleza, que emprende sus complejos procesos sin causar efectos dañinos en el ambiente.

Hoy se puede observar que los seres humanos crean máquinas e inventos novedosos más ecológicos. Por ejemplo, igual que las plantas, es factible obtener energía del Sol para satisfacer nuestras necesidades energéticas mediante paneles solares.

En nuevas generaciones de investigadores y científicos se ha generado conciencia del cambio climático y un sentido más ecológico por nuestro planeta, ya que verdaderamente están existiendo cambios notables en ella, tales como el deshielo en glaciares y en los polos geográficos, así como la radiación solar y la contaminación atmosférica.

Si hablamos de biomimética en un sentido más amplio, es para imitar la naturaleza a la hora de reconstruir los sistemas productivos humanos, con el fin de hacerlos compatibles con la biosfera.⁵

Al principio, para resolver problemas, o bien vivir de manera más cómoda, las civilizaciones utilizaban de forma natural lo que hubiera a su alrededor.

En el año 2008 se cumplieron 50 años del hallazgo del tesoro del Carambolo, sitio arqueológico que se desarrolló en la época protohistórica hispana de los tartessos, descubrimiento realizado por el arqueólogo español Juan de Mata Carrizo Arroquia.

Tartessos fue el nombre por el que los griegos conocían a la primera civilización de Occidente situada en el suroeste de la Península Ibérica. Fue el primer estado organizado que se formó en la Península Ibérica, hacia finales del segundo milenio antes de Cristo, y que adquirió una extraordinaria personalidad política y cultural.

Los tartessos fueron los primeros hispánicos que se relacionaron con los pueblos históricos civilizados del Mediterráneo oriental, llegados al litoral peninsular con propósitos de tráfico mercantil. Por ello y por su riqueza minera, Tartessos alcanzó inmenso poderío. El

⁵ <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/biomimetica-tecnologia-partir-naturaleza/biomimetica-tecnologia-partir-naturaleza.shtml>. Consultada: 13 de junio de 2016.

país de los tartessos es citado en numerosas fuentes históricas siempre como pueblo rico y rebotante de esplendor.⁶



Figura 5. Ruinas arqueológicas de Tartessos.

Fuente: <http://www.red2000.com/spain/primer/1tartessos.html>. Consultada: 4 de octubre de 2016.

El gran descubrimiento del tesoro de Carambolo fue de gran importancia, ya que muchos científicos, historiadores y arqueólogos tuvieron más seguimiento de esta civilización, y así mismo emprendieron descubrimientos más notables e interesantes de esta gran cultura.

Uno de los hallazgos sobresalientes fue un pavimento (suelo) de conchas marinas en Carambolo Bajo. Después de las excavaciones, los investigadores se dan cuenta de que existen suelos con incrustaciones de conchas marinas alineadas de manera uniforme. Para aquel tiempo, constituía una tecnología novedosa, muy útil para aportar mayor resistencia al suelo.

El arqueólogo Carriazo descubrió la mayoría de las zonas donde se encuentra este tipo de suelos. Posteriormente, otros investigadores y arqueólogos

⁶ <http://www.red2000.com/spain/primer/1tartessos.html>. Consultada: 4 de octubre de 2016.

encontraron zonas adicionales donde se utilizaban casi las mismas técnicas de uso de conchas marinas como recurso para pavimento. Entre otras, estas zonas son: Algarve, en Portugal, y las provincias de Huelva españolas de Huelva, Sevilla y Cádiz.

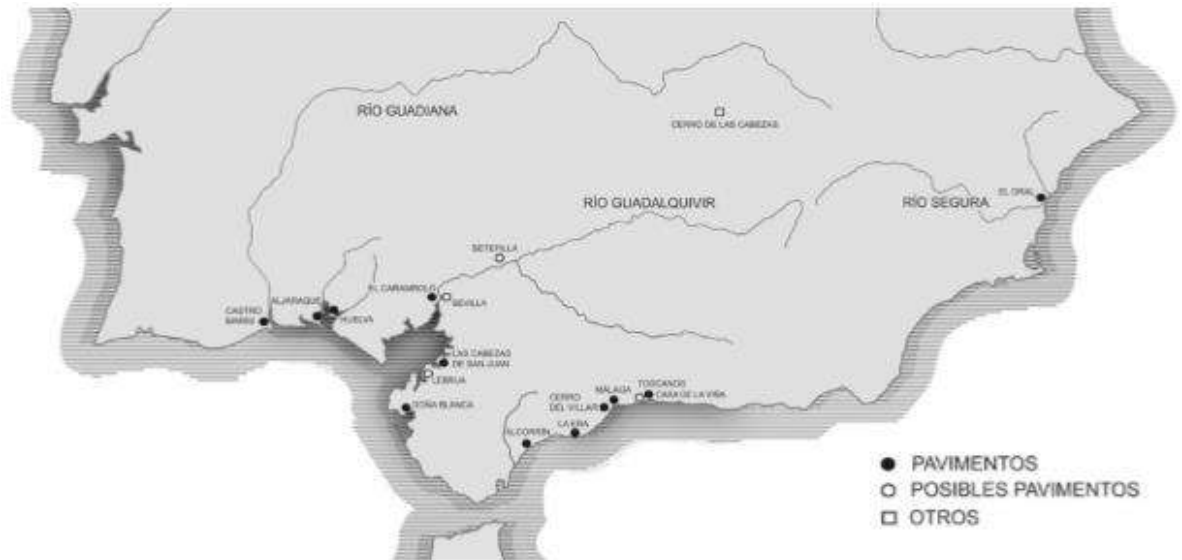


Figura 6. Suelos de conchas en la Península Ibérica.

Fuente: [http://www.academia.edu/13078920/ Conchas de salvación](http://www.academia.edu/13078920/Conchas_de_salvaci3n). Consultada: 18 de abril de 2016.

En Algarve, zona ubicada en el sur de Portugal, en el piso de la entrada de un edificio religioso se encuentran incrustaciones de conchas marinas de manera que, como es habitual, las valvas de las conchas reciben los esfuerzos de quienes las pisan.

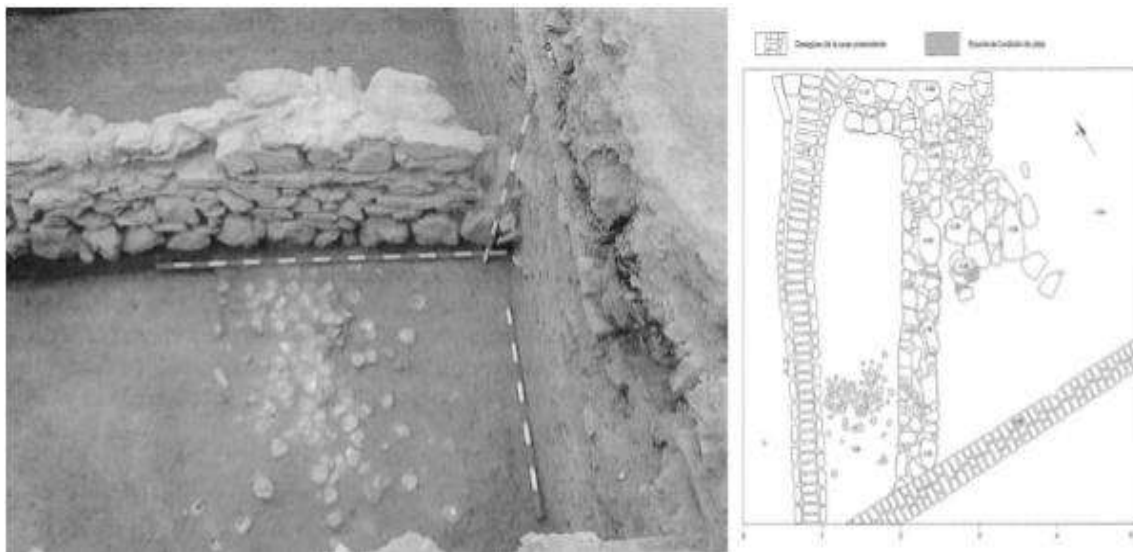


Figura 7. Huelva. Calle Botica 10/12. Suelo de ostras, guijarros y pequeñas lajas de pizarra. Izquierda, según García Sanz (1988-89); derecha, según Rufete (2002).

Fuente: [http://www.academia.edu/13078920/ Conchas de salvaci3n](http://www.academia.edu/13078920/Conchas_de_salvaci3n). Consultada: 18 de abril de 2016.

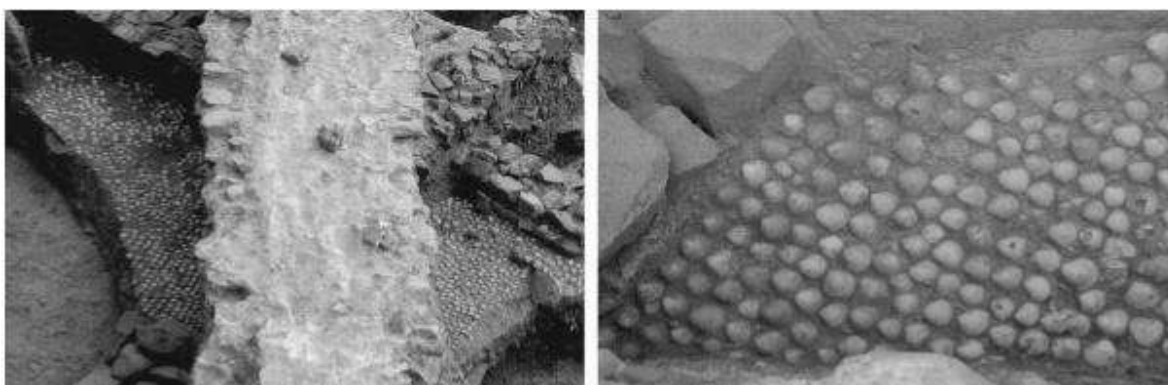


Figura 8. Pavimentos de conchas de la fase III de Castro Marim, según Arruda (2007).

Fuente: [http://www.academia.edu/13078920/ Conchas de salvaci3n](http://www.academia.edu/13078920/Conchas_de_salvaci3n). Consultada: 18 de abril de 2016.

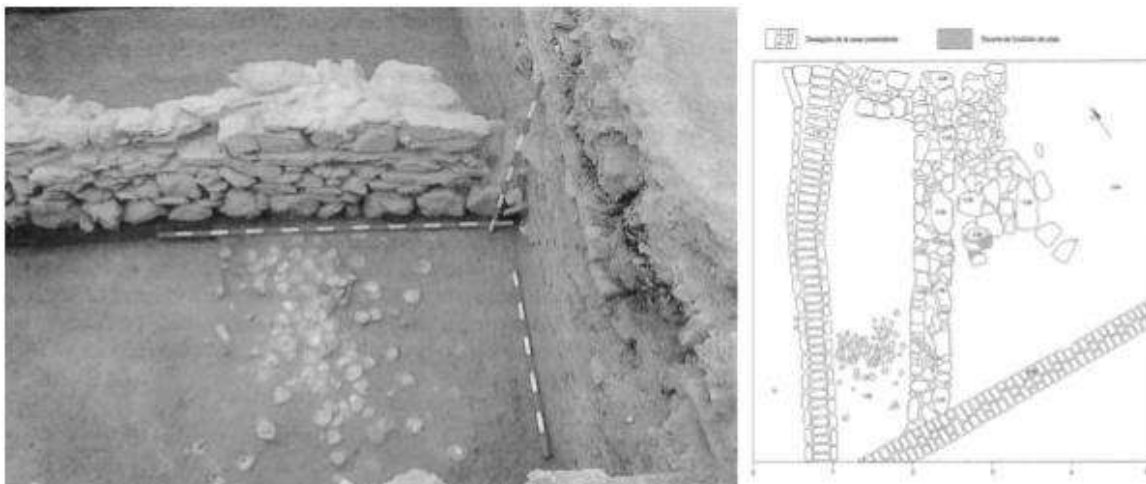


Figura 9. Huelva. Calle Botica 10/12. Suelo de ostras, guijarros y pequeñas lajas de pizarra. Izquierda, según García Sanz (1988-89); derecha, según Rufete (2002).

Fuente: [http://www.academia.edu/13078920/Conchas de salvación](http://www.academia.edu/13078920/Conchas_de_salvación). Consultada: 18 de abril de 2016.

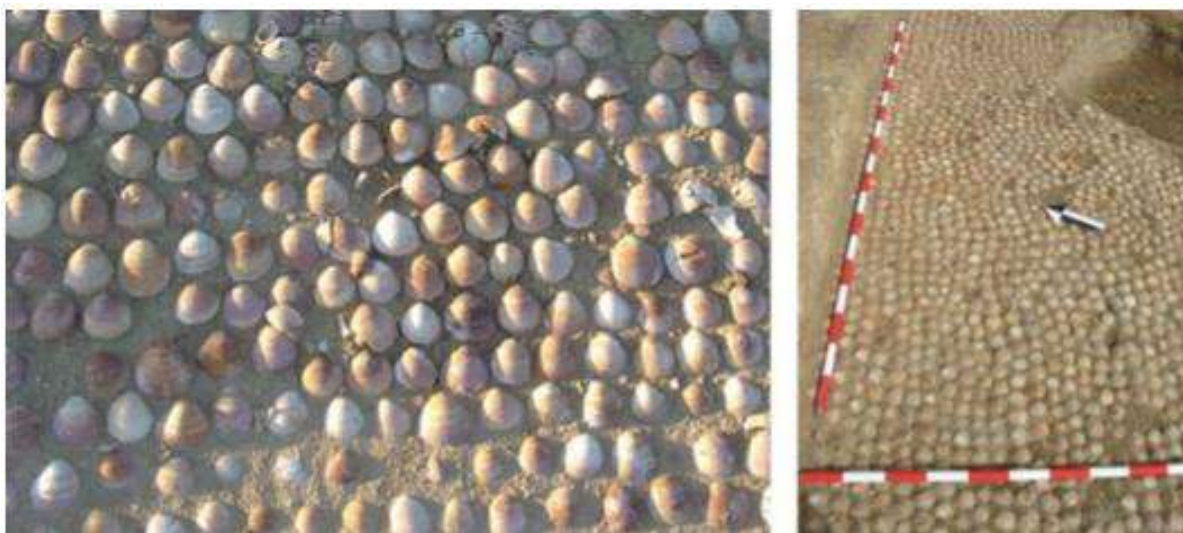


Figura 10. El Carambolo. Detalle del gran pavimento de conchas. Se nota el orden de la colocación de las valvas en filas, con la charnela en la misma dirección.

Fuente: [http://www.academia.edu/13078920/Conchas de salvación](http://www.academia.edu/13078920/Conchas_de_salvación). Consultada: 25 de octubre de 2016.

Existen muchas más evidencias de que, en el siglo VI a. C., efectivamente existían ciudades o asentamientos con pavimentos de conchas marinas. Esto corrobora que la ciencia biomimética enseña cómo utilizar la naturaleza para obtener beneficios o aportaciones para la comodidad del ser humano de modo que sea sustentable, no contaminante. En conclusión, en aquella época los seres

humanos se ayudaban de la naturaleza por necesidad. Lo obtenían observando minuciosamente todo lo que encontraban útil y factible de su entorno.

Como se ha ya mencionado, los seres humanos primigenios, desde el principio de su existencia, han utilizado la naturaleza para hacer sus viviendas. Aprovechaban palmas para hacer sus techos. La estructura se soportaba con palos, y todo esto se unía con lianas. Después, en la prehistoria, utilizaron piedras para confrontar de manera más eficiente las tormentas y diversos fenómenos naturales adversos adicionales.



Figura 11. Cueva prehistórica utilizada como vivienda, construida con piedras.

Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/03/15/material-mas-conveniente-para-la-construccion/>

Consultada: 19 de octubre de 2016.

También nuestros ancestros utilizaban las piedras para construir los caminos que comunicaban las diferentes aldeas con el reino. Ello les facilitaba la interacción mutua, la cual incrementaba su economía, ya que podían transportar diferentes tipos de productos. Uno de estos caminos fue establecido por la cultura inca, en el suroeste del continente americano.

Este camino, denominado Qhapaq Ña, también nombrado Red caminera del Tahuantinsuyo, enlazó las poblaciones de Quito, Cuzco, Tucumán y muchas localidades más, que en la actualidad comprende desde Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, hasta una pequeña parte de Argentina

En idioma quechua, Qhapaq Ñan significa: *camino del rey o del poderoso o camino del Inca*, tanto para la totalidad de esa organización de rutas, que superaban los 30 000 kilómetros, como para el camino principal (de aproximadamente 5200 km de longitud).⁷



Figura12: Mapa de ubicación del camino real en la cultura inca.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Red_caminera_del_Tahuantinsuyo#/media/File:Inca_roads-es.svg

Consultada: 24 de octubre de 2016

⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Red_caminera_del_Tahuantinsuyo

Todo el trayecto citado lo utilizó esta cultura para comunicar numerosas aldeas y a la vez para que el imperio inca ejerciera dominio sobre ellas, ya que si ocurrían disturbios o si intentaran independizarse, ante cualquier insubordinación, de inmediato el ejército imperial acudiría e impondría el orden.



Figura 13. Camino real de la cultura inca.

Fuente: <http://www.taringa.net/comunidades/todointeresante/8306365/Milagros-de-ingenieria-Los-caminos-de-los-incas.html>

Consultada: 24 de octubre de 2016.

Además de estas elongadas sendas, de trazo complicado, debido a que la topografía en esta parte del continente es demasiado accidentada, por su ubicación en la Cordillera de los Andes, la orografía, que incluye numerosas montañas, también construyeron puentes colgantes con toda índole de materias primas naturales circunstantes, como y madera lianas. Asombra pensar que hayan resistido, pero en la actualidad permanecen aún.



Figura 14. Puente construido en Perú por la cultura inca.

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/luisyupanqui/sets/72157623871051849/>

Consultada: 24 de octubre de 2016.

Después, por necesidad de más comodidades, los hombres descubrieron otros materiales, por ejemplo el bronce, lo cual propició la manufactura de nuevas herramientas, que les facilitaban la ejecución de trabajos más difíciles y la construcción de edificaciones de mayor complejidad. Luego crearon aleaciones con otros metales, como el hierro, que poco a poco les permitieron utilizar técnicas más eficientes.



Figura 15. Edificación que data de la edad de bronce. Daimiel, provincia de Ciudad Real, España.

Fuente: http://iberiamagica.blogspot.mx/2016_01_01_archive.html. Consultada: 19 de octubre de 2016.

En la construcción de estas poblaciones se aprovechó toda la diversidad de materiales ubicados en su alrededor, provistos por la naturaleza. Al encontrarlos, el hombre los usó conservando sus características primigenias así como uniendo (amalgamando o fusionando) los diferentes insumos, y así creó nuevos materiales compuestos, tales como las mencionadas aleaciones de variados metales.

Todo lo descrito previamente es de la incumbencia de la Biomimética, ya que, desde la antigüedad, empíricamente se han utilizado recursos de la naturaleza para obtener cuantiosos y novedosos materiales que han aportado confort y bienestar a la humanidad.

3. Clasificación de la Ingeniería biomimética

La ciencia biomimética está estrechamente vinculada a la Química (investigación de algunos materiales), la Física (procesos mecánicos), la Biología y muchas otras disciplinas que coadyuvan al desarrollo de aquella especialidad.

Para investigar la naturaleza se requiere emprender la visualización de sus estructuras a tres tipos de escalas: macroescala, microescala y nanoescala.

3.1 Macrobimimética

Macro es un elemento compositivo que proviene de la lengua griega y que señala algo que es "grande". Se trata, por lo tanto, de lo opuesto a micro ("pequeño").⁸

Como lo enuncia la definición del vocablo macro, esta dicción significa grande. El umbral de medición de esta escala es de 1.0 mm. Ya, aquí, se ha mencionado que la Biomimética consiste en aparentar las características de los entes naturales; es decir, los científicos trabajan con la naturaleza a esta magnitud, la investigan y descubren procedimientos químicos, físicos y mecánicos que naturalmente, a esta escala, desarrollan determinados seres biológicos para lograr la supervivencia.



Figura 16: Grillo posado sobre una hoja vegetal. Ejemplo de macroescala.

Fuente: <http://www.defondos.com/wallpaper/Grillo-en-Hoja.html>. Consultada: 27 de octubre de 2016.

⁸<http://definicion.de/macro/>

3.2 Microbiomimética

La palabra micro proviene del idioma griego y significa "pequeño". Por otra parte, micro se usa en los nombres de las unidades de medida para referirse al submúltiplo que corresponde a una millonésima parte.⁹

El grado de pequeñez del significado de la palabra micro implica dimensiones menores que las propias de la macroescala, de magnitudes de micrones: la milésima parte de un milímetro. A estas dimensiones, de igual modo se investiga la naturaleza para imitar sus características, a fin de resolver muchas carencias, mediante desarrollo de nuevas tecnologías.

A simple vista, al ojo del ser humano le es factible visualizar un milímetro, pero le es casi imposible percibir la milésima parte (la micra) de esta diminuta longitud. Para realizar este tipo de investigaciones se necesitan aparatos especiales, tales como microscopios.



Figura 17: Ácaro. Microbio del género *Lorryia*, especie *formosa*, familia Tydeidae.

Fuente: <https://www.tierrapost.net/microbio-tydeidae-lorryia-formosa-1/>. Consultada: 17 de noviembre de 2016.

⁹ <http://definicion.de/micro/>

A partir de los años 60 del siglo XX, los científicos emprendieron trabajos a esta escala. Inventos incipientes de esta magnitud fueron los transistores, utilizados en dispositivos electrónicos tales como televisores, teléfonos fijos, radios portátiles, entre otros productos electrodomésticos. Esto constituyó un gran avance para la tecnología y para las comodidades del ser humano.



Figura 18: Televisor de los años 60 del siglo XX. Comienzan a utilizar microtransistores.

Fuente: <http://tnt2010-blas.blogspot.mx/2010/12/avance-cronologico-de-la-tv.html>

Consultada: 27 de octubre de 2016.

Esta es la escala en la que se trabaja cuando se construyen dispositivos tales como memorias, circuitos lógicos y de computación. Los dispositivos de memoria y de lógica en venta en 1985 tenían estructuras con componentes de aproximadamente un micrón de ancho.¹⁰

¹⁰ <http://ibeoto2012.blogspot.mx/2012/11/microtecnologia.html>

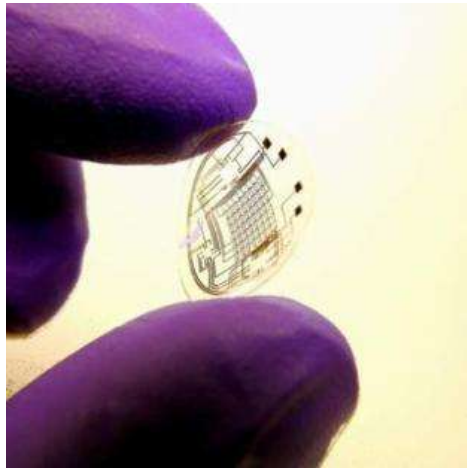


Figura 19. Microchip de un dispositivo de memoria artificial.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=MICROTECNOLOGIA&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjka6txa nNAhVWa1IKHfE2CXYQ_AUICCGB&biw=1366

Consultada: 15 de junio de 2016.

3.3 Nanobiomimética

Nano (símbolo n) es un prefijo del Sistema Internacional que indica un factor de 10^{-9} (nano = nueve, en este caso, aunque realmente significa enano).¹¹

Tal como se enuncia en la cita, nano es un factor de medición de 10^{-9} , que aplicado a longitudes equivale a la milmillonésima parte de un metro. Por ello, en esta rama de la ciencia es imposible apreciarla a simple vista. Estas mediciones se realizan con aparatos muy potentes, de gran tecnología. Por lo tanto, los investigadores que se dedican a la ciencia biomimética imitan a la naturaleza a esta escala.

Tal especialidad científica es muy importante, ya que en esta modalidad de investigación se han logrado descubrimientos sin precedentes en la historia, debido a que la naturaleza, en su estructura molecular y atómica, aloja secretos jamás

¹¹[es.wikipedia.org/wiki/Nano_\(prefijo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Nano_(prefijo))

revelados antes, pues sería factible crear máquinas de dimensiones atómicas para el reordenamiento de los átomos o para curar enfermedades.

Actualmente, esto ya no es tan insólito: en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Doctor José Carlos Rubio Ávalos creó un concreto antibacteriológico basado en geopolímeros, que se puede utilizar en hospitales, en especial en quirófanos. Dicho concreto contiene agentes a nanoescala que combaten a las bacterias que provocan diversas enfermedades. Es muy impermeable, de modo que con una sola gota de agua se puede remover la totalidad de las bacterias.



Figura 20. Enfoque nanométrico de bacterias (organismos alargados) y virus (circulares).

Fuente: <http://www.muyinteresante.es/salud/test/cuanto-sabes-sobre-virus-y-bacterias>

Consultada: 27 de octubre de 2016.

4. Empresas que nacional e internacionalmente utilizan Biomimética para desarrollo de nuevos productos y tecnologías

En nuestros días, varias empresas de diversas áreas de ingeniería se han adherido a la preocupación por el deterioro ambiental. Han emprendido acciones para

disminuir la contaminación que genera la actividad industrial, así como la infición intrínseca aportada por los productos que tal emprendimiento provoca.

Por este motivo, muchas corporaciones han indagado varias opciones para ya no generar dicha contaminación, o bien crear productos que sean amigables con nuestro planeta, o aminorar toda la polución posible. Incluso en sus reglas o políticas, dichas empresas han firmemente establecido procedimientos para generar productos sin afectar el entorno.

A continuación se incluye una semblanza de algunas corporaciones que recurren a la ciencia biomimética para crear productos sustentables y que al valerse de esta ciencia para imitar a la naturaleza resuelven problemas que los humanos no habían podido descubrir, pero Natura, mediante sus sabios procesos, ya les había encontrado solución.

DuPont

El conglomerado empresarial DuPont es uno de los muy importantes en el mundo de la industria, principalmente de la química, y de otras especialidades ingenieriles más, ya que en ocasiones todos sus productos van vinculados con otras ciencias.

DuPont es una empresa multinacional de origen estadounidense, dedicada fundamentalmente a varias ramas industriales de la química, que actualmente cuenta con unos 64.000 empleados en todo el mundo, siendo una de las más grandes empresas de química del planeta. Fue inaugurada el 19 de julio de 1802 por Éleuthère Irénée du Pont de Nemours, cerca de la ciudad de Wilmington, Delaware, Estados Unidos.¹²

¹² https://es.wikipedia.org/wiki/DuPont_Corporation



Figura 21. Edificio de la empresa DuPont.

Fuente:<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0405/kevlar/Archivos/5.html>

Consultada: 11 de agosto de 2016.

DuPont ha desarrollado bastantes materiales derivados del petróleo: el Neopreno, la Lycra –muy utilizada en prendas de ropa–, el Teflón, entre muchos otros materiales que esta asociación de científicos ha desarrollado con mucho éxito. Así mismo, como ya se mencionó, dicha empresa se ha preocupado por la alarmante contaminación causada por utilizar productos derivados del petróleo. Por ello está investigando cómo utilizar los biomateriales.

El objetivo principal de dichos satisfactores consiste en indagar algún método para realizar un producto de origen biológico a fin de obtener insumos procesados principalmente en la industria de la química. Un ejemplo palpable, muy ingenioso, es la creación de polímeros a partir de almidón de maíz, que comienza a remplazar o a sustituir la fabricación de polímeros a base de petróleo.

En el área de la ingeniería civil se están creando aditivos y modificadores de plásticos, todos de base biológica, para lograr mejor rendimiento y adhesión en materiales de la construcción. Algunos ejemplos: impermeabilizantes, pinturas,

aditivos para concreto y el modificador de asfalto Elvaloy® RET, que incrementa la *vida útil* de las carreteras, o bien, su mantenimiento.

Esta empresa no solamente elabora productos con base biológica, sino que también recicla varios materiales ya creados a base de petróleo, tales como las botellas de plástico, para convertirlas en tubería corrugada y así disminuir el precio de este insumo. Además de sustentable, este reciclaje de residuos sólidos genera una aportación económica adicional.



Figura 22. Planta industrial de la empresa DuPont.

Fuente: <http://www.dupont.mx/productos-y-servicios/consulting-services-process-technologies/consultoria-ambiental-licencias-de-tecnologia/usos-y-aplicaciones/proceso-combustion-acido-sulfurico.html>

Consultada: 10 de agosto de 2016.

Whalepower Tubercle Technology

Esta denominación es de una empresa internacional canadiense, fabricante de turbinas. Literalmente significa Tecnología (mimética) de la fuerza de los tubérculos de las ballenas. El inicio de este logro ocurrió en el Estado de Carolina del Norte, EUA.

Ahí, el doctor Frank Fish, especialista en investigación de los movimientos de los mamíferos en el océano, observó que, al momento de desplazarse, las ballenas jorobadas son mucho más rápidas, y capaces de elevarse en el aire por el impulso que en sus aletas, lisas, aerodinámicas, le propician sus «tubérculos», los cuales mantienen el aire unido a las cuchillas y evitan que caiga de las puntas.

Luego el doctor Laurens Howle comenzó la construcción de turbinas cuya forma de las palas semejaba la silueta aerodinámica de las aletas de los cetáceos mencionados. Los estudios proveyeron resultados magníficos: con 20 % menos energía, las turbinas movían 25 % más aire, lo cual reducía el consumo de carbón para la generación de electricidad.

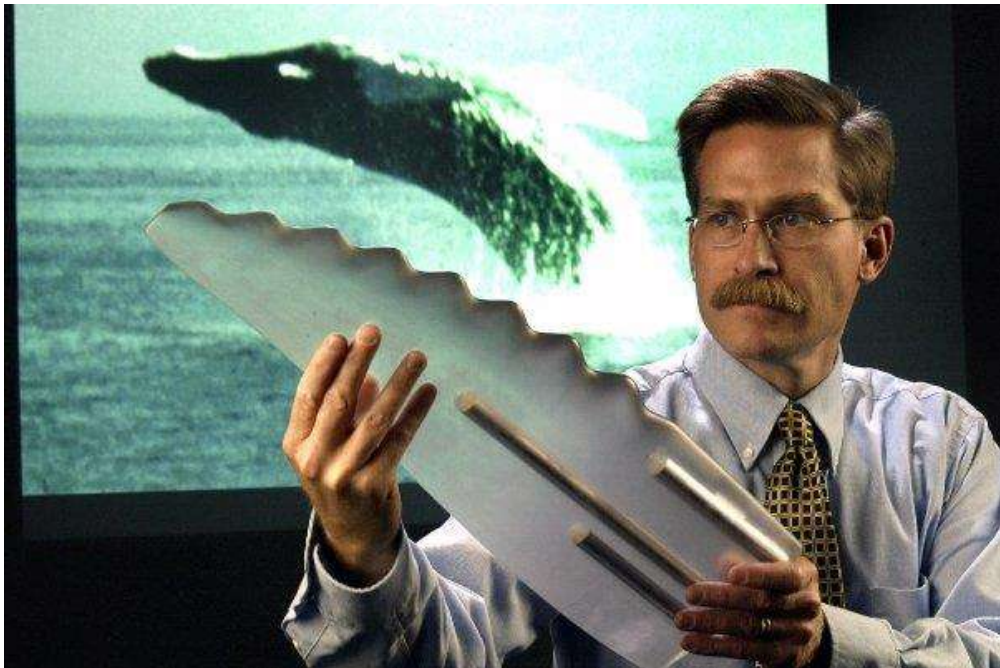


Figura 23. El doctor Laurens Howle muestra una pala de turbina con forma de aleta.

Fuente: <http://www.designtoimprovelifeeducation.dk/sv/content/whalepower-tubercle-technology>

Consultada: 23 de noviembre de 2016.



Figura 24. Pala de turbina con forma aerodinámica.

Fuente: <http://www.designtoimprovelifeeducation.dk/sv/content/whalepower-tubercle-technology>

Consultada: 23 de noviembre de 2016.

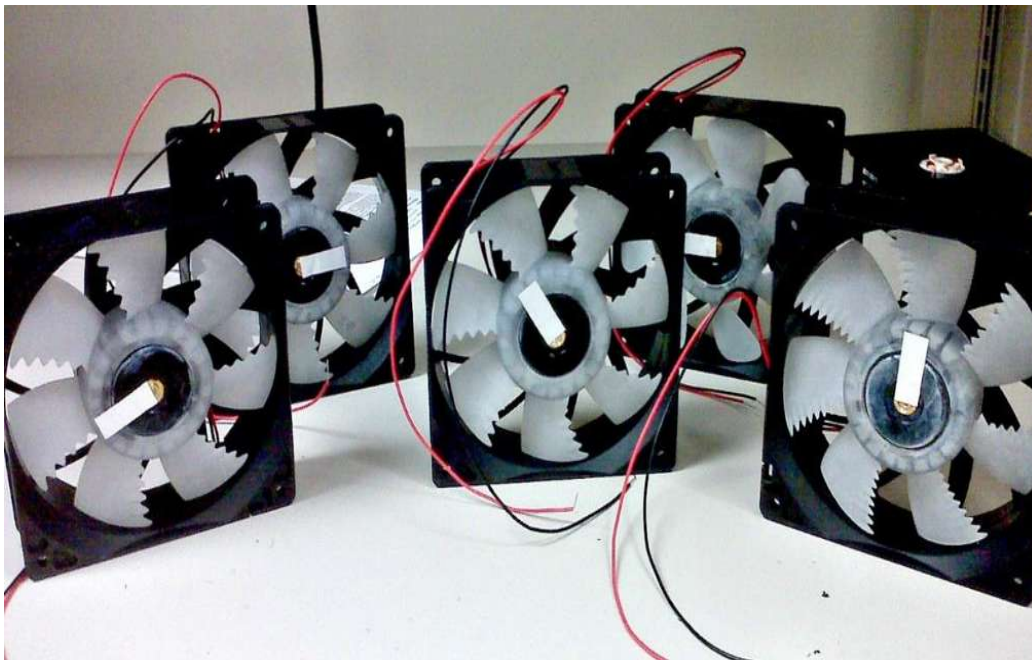


Figura 25: Turbinas con aspas en forma de aleta.

Fuente: <http://www.designtoimprovelifeeducation.dk/sv/content/whalepower-tubercle-technology>

Consultada: 23 de noviembre de 2016.

Además existen muchas empresas creadoras de nuevos materiales y de productos de variadas ramas científicas: ingenierías, biomedicina, productos farmacéuticos, agrobiotecnología. Las empresas que están a la vanguardia mundial son las siguientes:

Agrométodos, S. A.

Agrométodos S. A., es una empresa española constituida en 1986 y reconocida por el Ministerio de Economía y Competitividad con el sello de PYME innovadora, que tiene como misión principal la investigación, desarrollo, formulación de productos a base de extractos naturales, nutrientes especiales y otras especialidades para su empleo en la producción y la protección vegetal en el marco de una agricultura moderna y sostenible.¹³



Figura 26. Logotipo de la empresa española Agrométodos, S. A.

Fuente: <http://www.citadesva.com>

Consultada: 01 de febrero de 2017.

Bemygene Health Company

Bemygene Health Company® es una nueva empresa de carácter biomédico, especializada en ofrecer un servicio de detección precoz de cáncer a los ciudadanos que lo requieran.¹⁴

El objetivo principal de esta empresa, de origen español, es la investigación médica para la prevención y la detección del cáncer mediante métodos biomédicos que aportan soluciones confiables y más rápidas.

¹³ <http://www.pcuv.es/empresas-instaladas/Biotecnolog-a>

¹⁴ <http://www.pcuv.es/empresas-instaladas/Biotecnolog-a>



Figura 27. Centro de investigaciones de la empresa Bemygene Health Company.

Fuente: <https://www.linkedin.com/company/bemygene-health-company>

Consultada: 1 de febrero de 2017.

4.1 Centros de investigación biomimética en México

En comparación con los países de primer mundo, como Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, Rusia, Holanda y muchos países europeos más, en México la ciencia biomimética ha progresado muy poco.

Realmente los países latinoamericanos están muy rezagados en tecnología y en investigación en esta área científica. En universidades e institutos de México existen centros de investigación donde profesores posgraduados –de doctorado o de maestría– trabajan y dirigen a alumnos en investigaciones de este tipo. A continuación se mencionan algunos ejemplos.

En el Estado de Nuevo León, el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), entre otros centros de investigación, cuenta con un Centro de Biotecnología, cuyos planes de estudio incluyen Ingeniería en agrobiotecnología, biología y biomédica. En los centros mencionados se desarrollan productos a partir de la imitación de la naturaleza que resuelven problemas de estas ramas de la ciencia.

Un ejemplo destacado de utilizar a Natura para obtener mayor eficiencia en los materiales de la ingeniería civil, además de ser materiales sustentables, es el que llevan a cabo los investigadores Francisco Javier González Madariaga, Jaime

Francisco Gómez Gómez y Luis Alberto Rosa Sierra. En las instalaciones del ITESM han creado placas de yeso a las que han adicionado partículas de residuos de plástico, que las expande, y fibras secas de agave, que, entre otras propiedades, les aportan solidez y liviandad.



Figura 28. Fibra de agave seca para construcción de muros ecológicos.

Fuente: <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/CienciayTecnologia/04082015/995613-Con-fibra-de-agave-crean-muros-ecologicos-en-Jalisco.html>

Consultada: 23 de noviembre de 2016.

Este nuevo material es importante para la sustentabilidad en México, ya que en el norte del país el yeso es muy abundante, y en el Estado de Jalisco existen cuantiosas empresas que procesan agave para la elaboración del tequila, y a los residuos de este vegetal –sus fibras– se les había considerado desechos, .

Ahora son aprovechables, ya que la sinergia de tales fibras y los residuos de plástico proporcionan mucha más resistencia al yeso, y, a las estructuras, ligereza, *termicidad* (temperatura agradable) e *ignifugidad* (resistencia al fuego).

En el Estado de Morelos se ubica una subse de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la cual, por su eficiente trayectoria en investigación, es una de las Instituciones importantes en nuestro país.

Está a la vanguardia en el *clúster* (conjunto de empresas que trabajan para desarrollar el mismo producto con el fin de obtener grandes beneficios) de las

ciencias de la vida o del estudio de la naturaleza. Cuenta con un Centro de Investigación de Biotecnología, con especialización en Biología molecular vegetal y en Medicina molecular, y con un Centro de Ciencias Genómicas.



Figura 29. Investigador trabajando en el laboratorio de Ciencias Genómicas de la UNAM, campus Morelos.

Fuente: <http://www.morelos.unam.mx/portal/gaceta/1ciencias-genomicas-de-la-unam-de-las-carreras-de-mas-alto-nivel-academico>
Consultada: 1 de febrero de 2017.

En el Estado de Guanajuato existen algunas instituciones que fomentan la investigación en Natura y crean nuevos productos con base biotecnológica. Un ejemplo notable, no sólo en México, sino a nivel internacional, es el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO). Ahí se indagan las secuencias de los genomas de plantas, animales y microorganismos para utilizarlos en la creación de nuevas medicinas y productos agrícolas o industriales.



Figura 30. Edificio del centro de investigaciones LANGEBIO, en el Estado de Guanajuato.

Fuente: <http://course.blast2go.com/mex2012:contact>

Consultada: 1 de febrero de 2017.

Así mismo, en el Estado de Michoacán existe inquietud acerca de la investigación en la ciencia biomimética. Como primera instancia, en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, tal como en otros entes de enseñanza superior del país, existen investigadores que en conjunto con alumnos emprenden diversos proyectos para la creación de nuevos productos así como nuevos descubrimientos en la naturaleza.

Se desarrolla en instalaciones de casi todas las facultades donde se aplican ciencias exactas y biología: las facultades de Ingeniería Civil, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Tecnología de la Madera, Biología e Instituto de Ciencias Metalúrgicas. Algunas veces colaboran diversos entes, para lograr objetivos de interés mutuo.

En la Facultad de Ingeniería Civil la investigación de la ciencia biomimética está enfocada a la creación de nuevos materiales para la construcción, o bien a que en materiales previos se emprendan modificaciones de tipo natural, a fin de

incorporarles mejoras de resistencia, ductilidad o compresión, durabilidad, o que requieran menos procesos de mantenimiento.

Un ejemplo notorio en la investigación de materiales es la innovación en un insumo de construcción: el *concreto fluorescente*, realizada por el doctor José Carlos Rubio Ávalos. Consiste en una imitación de las luciérnagas, que transmiten luz fluorescente. Además, este concreto es sustentable, ya que de la luz solar obtiene su energía, o también puede obtenerla de la luz artificial, que al proveérsela le permite emitir un brillo fluorescente.

Este concreto puede durar hasta 100 años. Su esfuerzo compresional máximo es $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$. Es aplicable en muchas obras de ingeniería civil: pistas de aterrizaje, señales en carreteras, o bien, con fines estéticos, como una manera de lograr un diseño agradable a construcciones futuras.

Se emprenden otras investigaciones en concretos, mediante adición de fibra de nopal, o, para otras aplicaciones, se les agregan polímeros, para conferirles mayor resistencia dúctil, o bien para proporcionarles variadas propiedades nuevas.

En las áreas de Hidráulica y de Ingeniería Ambiental también existen varios proyectos de investigación: reactores para tratamiento de aguas residuales. Se realizan nuevos componentes o se hacen mejoras en los reactores mediante adición de pasto sintético, para obtener un porcentaje mayor en el mejoramiento de la limpieza de las aguas de desecho.



Figura 31. Cemento fluorescente, creado por el doctor José Carlos Rubio Ávalos.

Fuente: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-36662912>

Consultada: 2 de febrero de 2017.

5. Métodos biomiméticos

Merced a la experiencia adquirida en el transcurso de la vida humana ancestral, el hombre se ha dado cuenta que la naturaleza es muy sabia, pues sus procesos han tendido hacia la perfección, ya que ha evolucionado de manera constante. A lo largo de milenios ha corregido o, al menos, atenuado sus problemas, mediante la aplicación del método de *ensayo y error*.

Por esta razón los científicos han creado y analizado diversidad de modelos o estructuras que emulan a la mismísima Natura, con el fin de resolver grandes problemas que el propio ser humano no ha acertado a superar. Un buen camino para ayudarse en su objetivo es observando y valorando maneras de obtener mejores soluciones.

Los métodos biomiméticos son no sólo para aplicarse en ciencias exactas o en proyectos científicos para elaborar productos que apoyen a las diversas ingenierías en el desarrollo de tecnologías. También, tales métodos contribuyen en la solución de procesos laborales, que tal vez demanden mucho tiempo. En algunos casos se les puede reducir a etapas más breves y más rápidas, que aceleren dichos procesos mediante el simple hecho de observar cómo la naturaleza se organiza para trabajar en equipo.



Figura 32. Compacto conjunto flotante de hormigas que forman un puente para atravesar un tramo de agua.

Fuente: <https://6legs2many.wordpress.com/2011/07/>

Consultada: 9 de febrero de 2017.

Estos métodos son así mismo útiles a administradores, contadores, abogados, historiadores u otras más ramas del conocimiento, pero son más aplicables en ciencias exactas como en las ingenierías, matemáticas, ciencias biológicas y medicina.

Quizá el paradigma de la emulación de la naturaleza sea el *diseño en espiral*. Es aplicable no sólo en el medio físico. También se puede utilizar para resolver

problemas metódicos, o en procesos de fabricación de algún producto, o inclusive en la distribución del mismo insumo y, en dado caso, hasta si es necesaria la recuperación del propio producto.



Figura 33. Diseño de espiral explicado en seis etapas.

Fuente: [1] Rocha Rangel, E.; Rodríguez García, J. A.; Martínez Peña, E.; López Hernández, J. Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. 55, 56-61, 2012

Consultada: 15 de abril de 2016.

El diseño en espiral se inspira en la silueta del caracol, ilustrada en la figura anterior. Considerando en ella la secuencia de las manecillas del reloj, las etapas son las seis siguientes:

1. **Identificación de desafíos reales.** Es el punto de partida. Consiste en localización y análisis inmediato del problema, para valorar las causas que lo ocasionan y crear conciencia de los retos que se han de superar.

2. **Interpretación. Información del diseño.** La función principal de este punto es investigar cómo la naturaleza resuelve el problema y cuáles serían los procedimientos que la ciencia aplicaría para obtener un proceso exitoso.
3. **Descubrimiento de modelos naturales.** Ya investigada la solución aportada por la naturaleza, se ha de elaborar un modelo natural físico e investigarlo más a fondo, o seleccionar un método apropiado para resolver complicaciones potenciales de los propios modelos.
4. **Resumen de principios de diseño.** Consiste en seleccionar un modelo –o tal vez más, de los cuales se extraigan y fusionen compatibilidades– para crear un solo procedimiento dotado de las mejores características, y reducirlo a su modalidad más simple y muy funcional.
5. **Emulación de estrategias de la naturaleza.** Una vez obtenido el modelo apropiado, se inicia su operación para someterlo a repetidas pruebas, tratando de que no existan errores, para lograr un funcionamiento óptimo.
6. **Evaluación con respecto a principios biológicos.** Ulteriormente se efectúa una valoración del modelo obtenido a fin de que cumpla las expectativas de obtención de un producto muy eficiente en todos los sentidos, de viabilidad económica y sustentabilidad ecológica.

Este método biomimético fue creado y analizado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes por los doctores E. Rocha Rangel y J. A. Rodríguez García, entre otros investigadores que trabajaron para lograr el modelo, el cual es aplicable en todas las ciencias.

Jorge Riechmann Fernández, poeta español, ha propuesto que, para obtener desarrollo máximo, un método biomimético ha de lograr un cierre de los ciclos de materia para consumir al máximo sus propios ciclos naturales y crear un circuito cerrado sostenible.

Esto se obtiene al minimizar el transporte, que es un método localmente autosustentable, o bien mediante investigación de todas las posibles funciones de

los elementos naturales para descubrir en cuáles componentes ha evolucionado la naturaleza de cuyos métodos el ser humano aún no tiene conocimiento y por lo tanto no han sido aplicados.

Un ejemplo claro de ello es cómo el Sol puede generar energía de diversas maneras y que a la vez sea económicamente sustentable y ecológica, como es el funcionamiento de calentadores solares para elevar la temperatura del agua, o bien celdas solares para la generación de energía eléctrica, y así muchas funciones más, aún no descubiertas, de este tipo de energía.



Figura 34. Paneles solares imitando girasoles al captar la luz solar.

Fuente: <http://galt.mx/paneles-solares/>

Consultada: 9 de febrero de 2017.

Durante la investigación de la biomimética, imitatoria de la naturaleza, los científicos la clasificaron en tres niveles.

Primer nivel. Algunos científicos pueden imitar la exterioridad de la naturaleza, la investigan a simple vista, o a veces utilizan métodos matemáticos para simularla de

modo más exacto, e imitan su morfología externa, la observan, determinan su coloración, su textura, si existe humedad, en qué proporción.

Un ejemplo clásico es el de los uniformes de las instituciones militares, que fueron imitados de los camaleones. En primera instancia, estos reptiles utilizan su cromática para cuidarse de sus depredadores al simular asimilación con el entorno. Así mismo, los militares tuvieron que decidir los colores adecuados. Además, no es fácil sólo colocarlos, sino también saber en qué proporción deben estamparlos para obtener apariencia de continuidad textural con el sitio.

Para ello se necesitan fórmulas matemáticas y discernimiento de los colores que se han de cambiar, según el lugar donde realizan sus operaciones. Para pasar desapercibidos, incluso algunas veces simulan tener ramas de árboles o incrustan accesorios ubicados a su alrededor.



Figura 35. Francotiradores con uniforme de camuflaje.

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/imagenes/15752485/Top-10-paradas-Militares-de-LatinoAmerica.html>

Consultada: 9 de febrero de 2017.



Figura 36. Fuerzas especiales de la Marina danesa imitando el entorno acuático.

Fuente: <https://www.guioteca.com/fotografia/17-fotos-de-los-uniformes-militares-mas-extranos-del-mundo/>

Consultada: 9 de febrero de 2017.

Segundo nivel. En este nivel se investiga un poco más a fondo la naturaleza. Se observa lo siguiente: a) comportamiento de los organismos; b) mecanismos para desarrollar diversas actividades; c) funcionamiento de órganos para emprender acciones muy específicas.

Un ejemplo de este nivel es la indagación del mecanismo de las aves para volar, y luego seleccionar al ave más rápida del mundo para precisar la diferencia que le permite tal rapidez.

Otros ejemplos palpables de algunos animales son: a) la ubicación de los órganos auditivos para detectar sonidos a distancias muy largas; b) la diferencia que existe entre animales dotados de visión nocturna respecto de los que no pueden ver en la oscuridad.

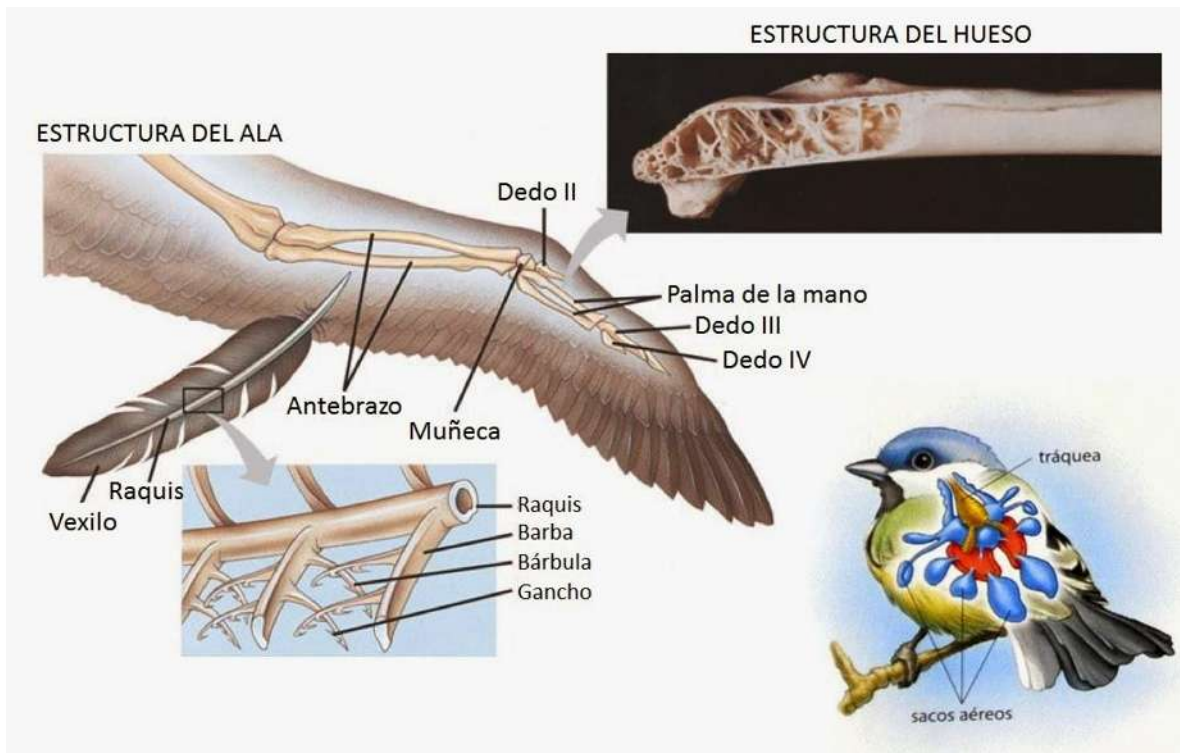


Figura 37: Mecanismo de vuelo de las aves.

Fuente: http://palaeos-blog.blogspot.mx/2013_10_01_archive.html

Consulta: 9 de febrero de 2017.

Tercer nivel. Este nivel comprende el estudio de la naturaleza en seres vivos, a mayor detalle, a escala no perceptible a simple vista, con microscopios de alta tecnología, y a nivel molecular. Mediante instrumentos especiales se provocan reacciones de las moléculas para indagar los fenómenos químicos, físicos y bioquímicos que facultan el desarrollo de actividades que distinguen a estos entes de los demás seres vivientes.

Ejemplos de estas peculiaridades son: a) las luciérnagas, que emiten luz propia; b) los camaleones, que cambian el color de su piel para confundirse con el entorno; c) las víboras, que producen venenos mediante reacciones químicas en su cuerpo.



Figura 38. Emisión luminosa nocturna de una luciérnaga.

Fuente: <http://listas.20minutos.es/lista/curiosidades-de-las-luciernagas-383154/>

Consultada: 9 de febrero de 2017.

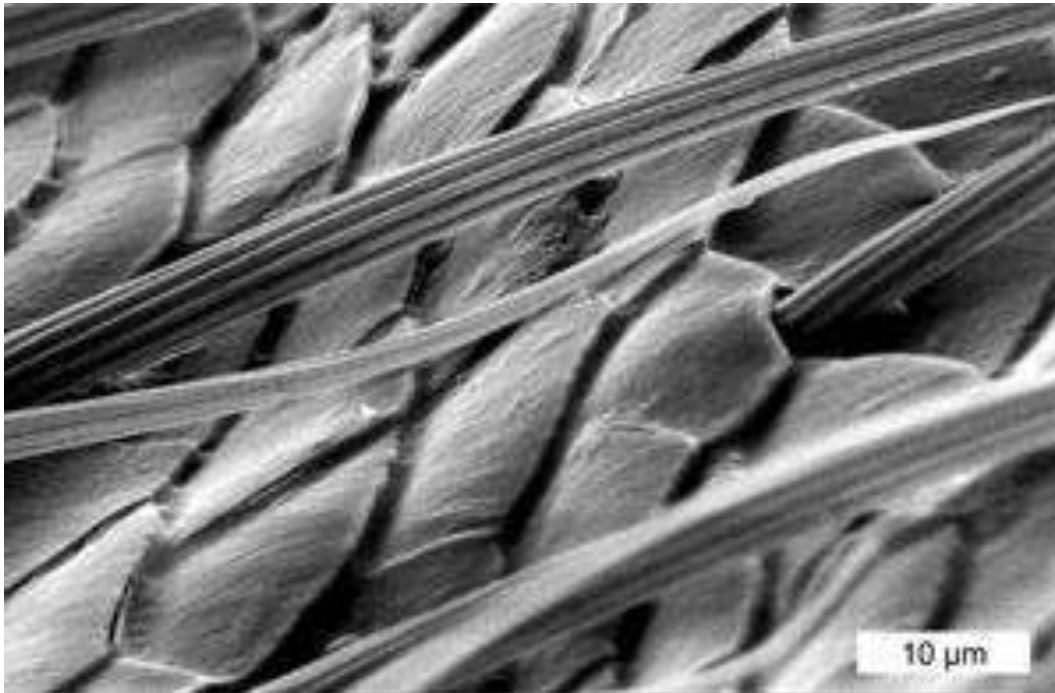


Figura 39. Microscopía de la estructura de la cola de una luciérnaga.

Fuente: <http://dailyscience.be/2015/09/11/une-luciole-dans-chaque-ampoule-led/>

Consultada: 9 de febrero de 2017.

6. Materiales biomiméticos

Los materiales biomiméticos son sustancias que se utilizan para elaborar productos que hagan semejanza con composiciones y características de la naturaleza para solucionar carencias o bien para fabricar nuevos productos con tecnología de vanguardia.

De la naturaleza se pueden imitar diversos diseños para crear materiales resistentes, flexibles, elásticos, permeables, impermeables, superhidrofóbicos, térmicos, autolimpiables, y muchas otras cualidades benéficas propias de *Natura*, aún no descubiertas en los materiales que el ser humano utiliza para construir su entorno y usar en su cuerpo.

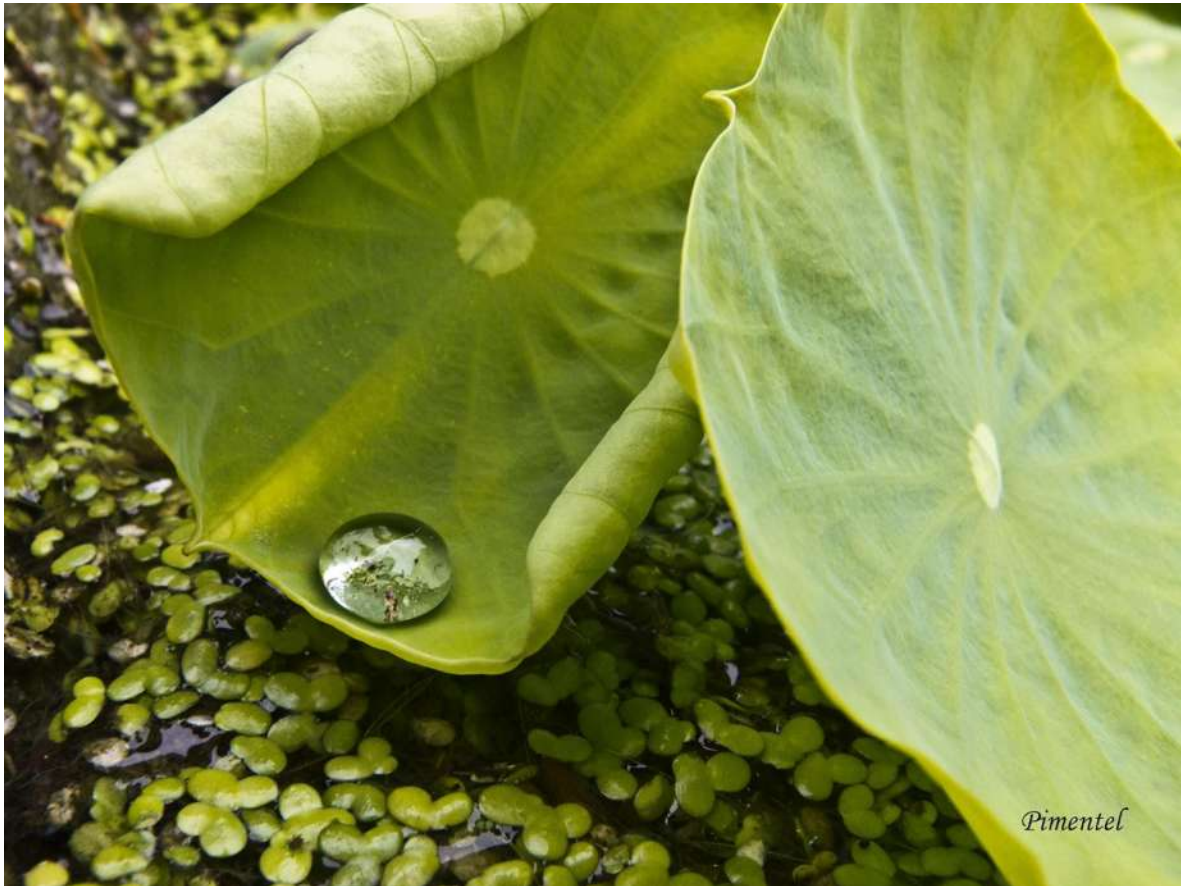


Figura 40: Hoja vegetal de características superhidrofóbicas.

Fuente: <http://miradasnaturales.blogspot.mx/2012/06/hidrofobia-y-superhidrofobia.html>

Consultada: 15 de febrero de 2017.

No es imperativo que los materiales biomiméticos sean cien por ciento naturales. En la mayoría de las ocasiones contienen agregados minerales o están integrados con componentes de variadas características con el fin de obtener nuevos materiales que incorporen mejoras cualitativas y así emular a la naturaleza en diferentes aspectos que hasta hoy han permanecido a cubierto.

Desde hace decenios (*décadas*) se ha procurado obtener materiales más resistentes y ligeros. Un ejemplo destacado es la gran investigación que realizó la revista científica británica *Nature*, la cual descubrió que la tela de araña es diez veces más resistente que el *kevlar*, material creado por DuPont para la fabricación de chalecos antibalas, neumáticos (llantas), etcétera.

Ello sugiere que ahora, para fabricar chalecos de esa índole, en lugar de utilizar el *kevlar*, se puede recurrir a la telaraña, que es más ligera. Es probable que los militares o personas que usan tales chalecos puedan moverse con mayor facilidad. También aportan la ventaja de ser más seguros, por su gran resistencia al impacto.

No sólo en otros países investigan o crean estos chalecos ecológicos: Amado Sánchez, alumno de Ingeniería Textil de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), lo está realizando con la tela de la araña denominada viuda negra (*Latrodectus mactans*), también conocida como capulina.

Este alumno y otros investigadores aseguran que la viuda negra aportará un impacto benéfico a nuestro entorno, ya que no utilizarán materiales sintéticos para fabricar este tipo de chalecos, sino que además el ser humano mostrará menor hostilidad contra esta especie de artrópodos, ya que –a causa de la toxicidad provocada por su mordedura– la mayoría de la humanidad la cataloga como animal peligroso, y en el primer instante que la ve la mata.

Por este motivo se procura un procedimiento muy precavido de extracción de la telaraña, para no propiciar su mordedura.



Figura 41. Tela de araña en el entorno natural.

Fuente: http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-12-28/una-granja-vende-telaranas-como-si-fueran-obras-de-arte_611206/. Consultada 15 de febrero de 2017.



Figura 42. Chaleco antibalas fabricado con tela de araña.

Fuente: <http://www.sexenio.com.mx/puebla/articulo.php?id=28113>

Consultada: 15 de febrero de 2017.

Otro gran descubrimiento es el que realizó la marca deportiva australiana *Speedoo*, ya que simulando los tejidos o la piel de los tiburones diseñaron un traje de baño muy *aerodinámico* (*acuadínámico*, en realidad, o *vortiginoso*), ya que a velocidad baja reduce 8.7 % la fricción con el agua y permite que el nadador se deslice mucho más fácil, logre mayor velocidad y supere límites que, en su modalidad natural, el propio hombre jamás podría alcanzar.

Dicho traje fue probado por nadadores profesionales, como Michael Phelps, en los juegos olímpicos de Pekín 2008. Como obtenía mucha ventaja sobre los demás competidores, en los juegos siguientes (Londres 2012) no le permitieron usarlo más.



Figura 43. Traje de baño simulando piel de tiburón.

Fuente: <http://www.drgen.com.ar/2012/08/londres-2012-ciencia>

Consultada: 15 de febrero de 2017.

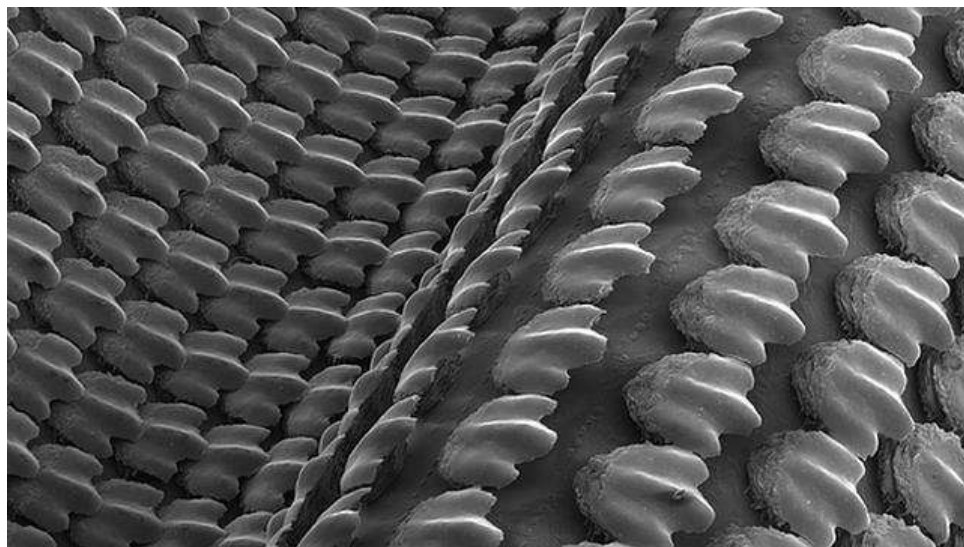


Figura 44. Piel de tiburón observada al microscopio.

Fuente: http://www.abc.es/ciencia/20140515/abci-poder-piel-tiburon-revelado_201405151148.html

Consultada: 15 de febrero de 2017.

Para el estudio de la ciencia biomimética, los científicos la han dividido en dos grupos y, por extensión, por estrecha relación composicional, un tercer grupo. Son los siguientes:

- Biomimética vegetal
- Biomimética animal
- Mimética mineral (u *orictomimética*)

7. Biomimética vegetal

El objetivo de la Biomimética vegetal es obtener productos que aparenten o imiten a la naturaleza en el reino vegetal, no únicamente por su aspecto superficial o por su morfología, sino también por sus características químicas, físicas y biológicas, con la intención de encontrar la factibilidad de aprovechar sus propiedades y crear nuevos satisfactores.

Existen ya muchos productos que los científicos han realizado gracias a esta rama de la biomimética, varios más están en proceso, y, sin duda, hay gran potencialidad de otros materiales que hasta hoy no se han descubierto. Por ello es muy importante para todas las ciencias y para la tecnología investigar este tipo de materias primas. A continuación se incluyen algunos ejemplos en los que se ha aplicado la ciencia biomimética vegetal.

7.1 Agave

El agave es una planta nativa mexicana, de la cual los investigadores han determinado que existe desde hace doce millones de años. Pertenece a la familia taxonómica *Agavaceae*, de la cual hay más de 300 especies. En México comúnmente se le denomina maguey. Tras la conquista hispana, a las plantas de agave nuestros ancestros indígenas las designaban «vacas verdes».

Esta planta es muy abundante. Se encuentra con mayor prodigalidad en zonas semisecas, muy áridas, con temperaturas promedio alrededor de 22 °C, por lo cual la mayoría de las veces se cultivan en el norte y en la parte media del país, donde no existe tanta humedad. Desde hace diez mil años, nuestros antepasados

ya lo utilizaban como fuente alimentaria (aguamiel y otros productos más) y de obtención de bebidas *espirituosas*: mezcal, pulque, tequila y bacanora.

De manera destacada se aprovecha para la elaboración del tequila. Además, el agave contiene muchas sustancias de propiedades benéficas, como la inulina, la cual es un polisacárido existente en una fibra soluble, de usos curativos para prevenir el estreñimiento y reducir los niveles del colesterol.



Figura 45. Plantación de agave en México.

Fuente: <http://mexicoxport.com/noticias/29312/se-dispara-agave-333>

Consultada: 16 de febrero de 2017

7.1.1 Aplicaciones del agave

Dada la multiplicidad de propiedades del agave, los científicos están tratando de obtener sus mayores beneficios. La empresa mexicana *Biosolutions*, de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, fabrica bioplástico derivado del agave, con el cual se elaboran dos productos: a) bolsas (totalmente biodegradables, ya que contienen 60 por ciento de bagazo de esta planta) para despacho y disposición final de sólidos; b) botellas para envase de líquidos.

Estos productos no sólo ayudan al medio ambiente, al no ser afectado, sino también a la economía del país, ya que la extracción del petróleo es cada vez más cara, y mediante esta adición de fibra de agave reduce costos. Además, los productores de tequila desperdician un 50 por ciento de toda esta materia, o algunas ocasiones la queman, lo cual provoca más contaminación ambiental.



Figura 46. Creación de hilos de bioplástico de agave en la empresa *Biosolutions*.

Fuente:<http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/94-desarrollan-bioplasticos-fabricados-con-residuos-del-agave>

Consultada: 16 de febrero de 2017.



Figura 47. Productos elaborados con bioplástico de agave.

Fuente: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/94-desarrollan-bioplasticos-fabricados-con-residuos-del-agave>

Consultada: 16 de febrero de 2017.

Los bioplásticos no son lo único en lo que se puede aplicar el agave. Con fibras completamente naturales, denominadas *ixtle*, extraídas principalmente de la lechuguilla, así como de otros agaves (jaumave y palma o pita), se elaboran variados productos más, artesanales: bolsas, morrales, estropajos, canastas, gorros, cinturones, huaraches... Así mismo, gracias a la inulina, se han creado fármacos para el mejoramiento de la digestión y de los niveles de colesterol.



Figura 48. Productos elaborados con ixtle (fibra de plantas de la familia *Agavaceae*).

Fuente: http://saboreartentusiasma.blogspot.mx/2011_04_01_archive.html. Consultada: 16 de febrero de 2017.



Figura 49. Suplemento alimenticio de inulina.

Fuente: <http://biobersa.com/sitio/?product=fibra-inulina-de-agave>

Consultada: 16 de febrero de 2017.

7.2 Coco

El coco es un fruto exótico, producto de cocoteros (palmas o palmeras) de la taxonomía *Cocos nucifera*, que se cultivan en toda la zona tropical del mundo. Su exocarpio o epicarpio (la parte exterior o superior) es una cáscara gruesa. El mesocarpio es una fibra de color marrón, conocida popularmente como estopa.

A esta porción le subyace una capa dura, que contiene al endocarpio, el cual consiste en una pulpa blanca comestible, blanda, que en su mayor grado de madurez se endurece y constituye el endospermo, del cual puede nacer una nueva planta. Previo a la germinación, su interior aloja un jugo, comúnmente denominado agua de coco.

Es debatible el origen del cocotero. Documentos muy arcaicos donde se le menciona radican en el sur asiático. Numerosas conquistas en varias partes del

mundo lo difundieron y acrecentaron su aprovechamiento. Por lo general prospera con mayor facilidad en *los trópicos*, donde la humedad y la temperatura son elevadas, como en Indonesia, que produce alrededor de 18 000 000 de toneladas al año.



Figura 50. Cocos recién cortados de una palmera.

Fuente: <https://cococolima.blogspot.mx/2015/02/cocos-colima-informes-y-ventas.html>. Consultada: 22 de febrero de 2017.

7.2.1 Aplicaciones del coco

Además de ser deliciosa la ingesta directa de la pulpa de coco, constituye un ingrediente de diversos platillos y es muy útil en la cosmética, ya que el aceite extraído de este fruto contiene nutrientes benéficos para la piel. En la ganadería, la harina de coco constituye un suplemento alimenticio en el que existen bastantes tróficos (nutrientes) beneficiosos para los animales.

En la agricultura, al irrigar suelos arenosos, se infiltra prácticamente toda el agua. Las plantas no logran retenerla. Entonces se coloca la fibra de la cáscara dura, la cual sí retiene la mayor parte de este líquido y las plantas lo absorben en mayor cantidad.

Así mismo, en la medicina, el coco es muy benéfico en la terapia de varias patologías, ya que en las acciones antiséptica y diurética ejerce gran potencial. En

varios países o regiones tropicales se le utiliza como remedio en casos de bronquitis, asma, contusiones. Entre otros padecimientos, se utiliza aceite de coco para curar quemaduras, heridas, estreñimiento, tos, fiebre.

También se utiliza para elaboración de accesorios artesanales que las comunidades rurales confeccionan con fibra de coco, tales como sombreros, canastas, alfombras, bolsas, escobas, estropajos, cepillos, bolsos, etcétera. Con la cáscara gruesa hacen, entre otras cosas, cucharas, vasijas, botones.

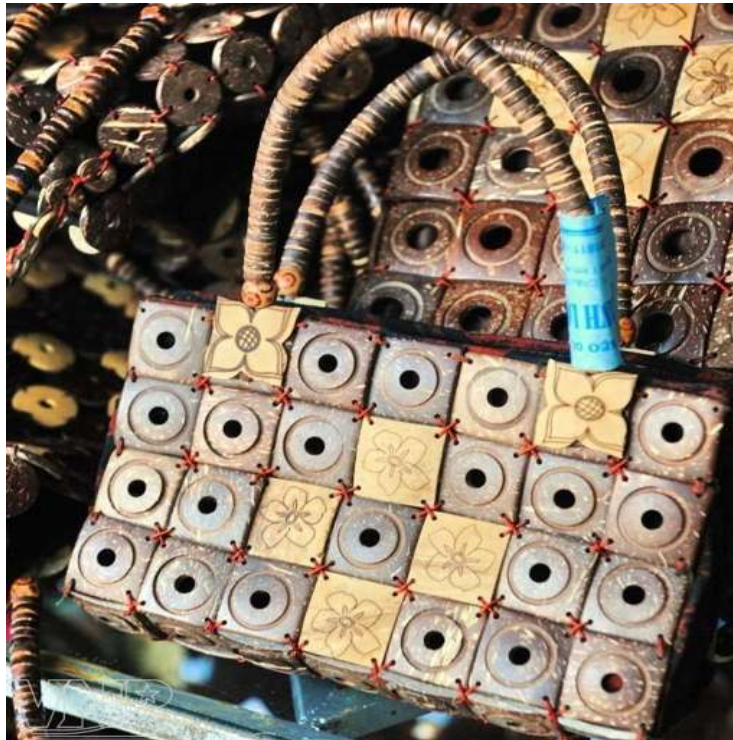


Figura 51. Bolso hecho a base de fibra de coco.

Fuente: <http://vietnam.vnanet.vn/spanish/ben-tre-la-capital-de-los-cocos/32250.html>

Consultada: 22 de febrero de 2017.

En la construcción, el coco es también un elemento que desde hace muchos años ha sido importante, ya que, en algunas aldeas, los troncos se utilizan como pilares y vigas; y las ramas (*palapas*), como techo de las casas. En algunas ocasiones, en las paredes usan la fibra de coco para protegerse del aire y del agua del exterior.

En fecha reciente (2006), los ingenieros Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo, en la Universidad Nacional de Colombia, han investigado el comportamiento de las fibras de coco (allá también denominada fibra bonote) para agregarlas al concreto y aportarle mayor resistencia a la fractura y más ligereza.

Para la creación de este concreto se utilizó cemento portland tipo 1 de un productor colombiano, arena mediana de río, grava de canto rodado fluvial, de $\frac{3}{4}$ de pulgada (tamaño máximo), agua potable (apta para consumo humano), cal para blanquear de productor local, y fibras de coco de tres empresas productoras, de tres lugares de Colombia.

Se hicieron cinco tipos de combinaciones de longitud de la fibra, para obtener la mejor proporción, como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 1
Tipos de mezclas realizadas y nomenclatura utilizada para su identificación

Mezcla N°	Longitud de la fibra (cm)	Volumen de la fibra (%)
M1	0	0
M2	L2	V0.5
M3	L2	V1.5
M4	L5	V0.5
M5	L5	V1.5

Figura 52: Cuadro de diferentes tipos de mezclas para prueba.

Fuente: Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006
Consultada: 30 de abril de 2016.

De las mezclas, con probetas, se elaboraron cilindros, y vigas, de diferentes volúmenes de fibra, para realizar pruebas compresionales y flexionales. Para ello se utilizaron 750 gramos de fibra de coco, previamente tratada, por sumersión, con una lechada de cal, en proporción de 10 gramos de cal por litro de agua, durante

dos días. Luego, para eliminar los residuos de cal, se enjuagaron copiosamente con agua.

Este proceso es para quitar las impurezas del fruto o porque los agricultores trabajan sobre él, o por posible contenido de hongos o de bacterias. Además aporta protección a la fibra en su futuro deterioro, y mayor adherencia con el cemento, pues aún, en ella, quedan asperezas que le confieren esta propiedad.



Figura 53. Moldes de diferentes formas, para pruebas.

Fuente: Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006

Consultada: 30 de abril de 2016.

Para la realización de los especímenes, primero se habían revuelto la arena, la grava y el cemento con el agua. Enseguida se agregaron las fibras de coco, pero se formaban grumos, que se debían deshacer a mano. Entonces se optó por revolver todo en seco, luego verter el agua, después colocar la mezcla en los

moldes, en tres partes, y finalmente dar 25 golpes a cada parte, para extraer el aire del interior del concreto y obtener mejor acomodo de las partículas.

Después de haber realizado los moldes de cilindros y de vigas y de la sumersión, por dos días, se desmoldaron y se procedió al curado del concreto, durante 28 días. Luego se les sometió a las pruebas.

Los resultados fueron:

- Con 0.5 % de volumen de fibras, de 5 cm de longitud, la prueba de flexión se afectó de manera positiva;
- Los otros volúmenes ayudaron más a otras pruebas. Por ejemplo, en la de 1.5 % de volumen de fibra propició un incremento de la resistencia a la compresión. De esta prueba se obtuvieron los valores siguientes:
 - A los 14 días, en la muestra 4, realizada con fibra de 5 cm de longitud y 0.5 % de volumen, ascendió a ocho megapascales (MPa).
 - Después hubo un descenso considerable; a los 28 días regresó a 4.5 MPa: casi la mitad (0.5625) de su fuerza de compresión.
 - Los valores de las muestras 3 y 5, de 1.5 % de volumen, durante todo el transcurso del tiempo crecieron proporcionalmente: a mayor volumen de fibra, 28 días ayudan más a la fuerza de compresión.

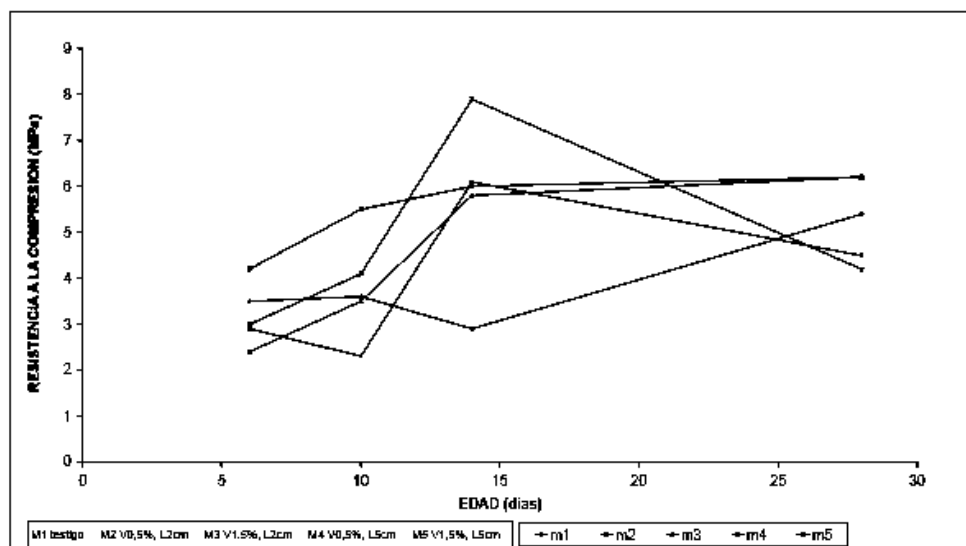


Figura 54. Gráfica de compresión de los cinco modelos de fibra de coco.

Fuente: Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006

Consultada: 30 de abril de 2016.

En resistencia a la flexión, en las muestras 2 y 5 los valores, en MPa, fueron los menores: 2.10 y 1.63; los correspondientes a las muestras 3 y 4: 2.70 y 3.00, superaron a los respectivos de las muestras 3 y 5, lo cual denota que la utilización de volúmenes bajos con longitudes largas favorece el comportamiento a la flexión del concreto, o bien utilizar volúmenes altos con longitudes cortas de las fibras de coco también mejora la fuerza de flexión del concreto.

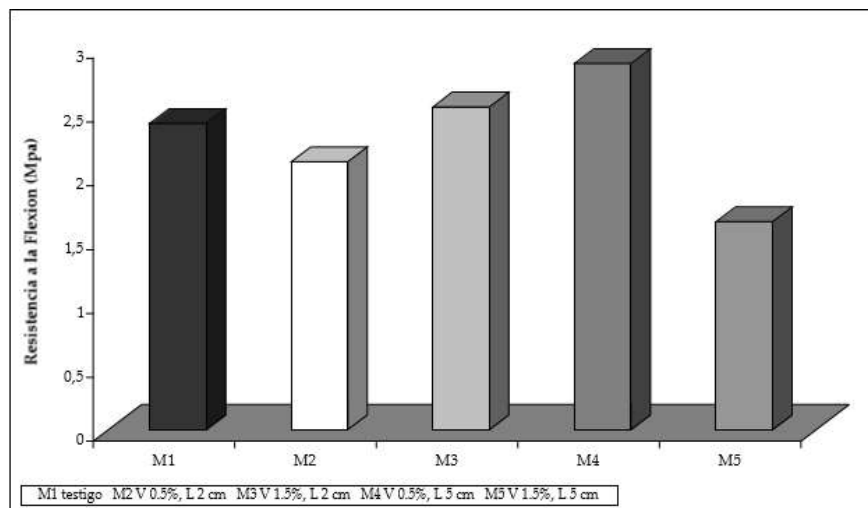


Figura 55. Gráfica de la resistencia a la flexión de los diferentes modelos.

Fuente: Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006

Consultada: 30 de abril de 2016.

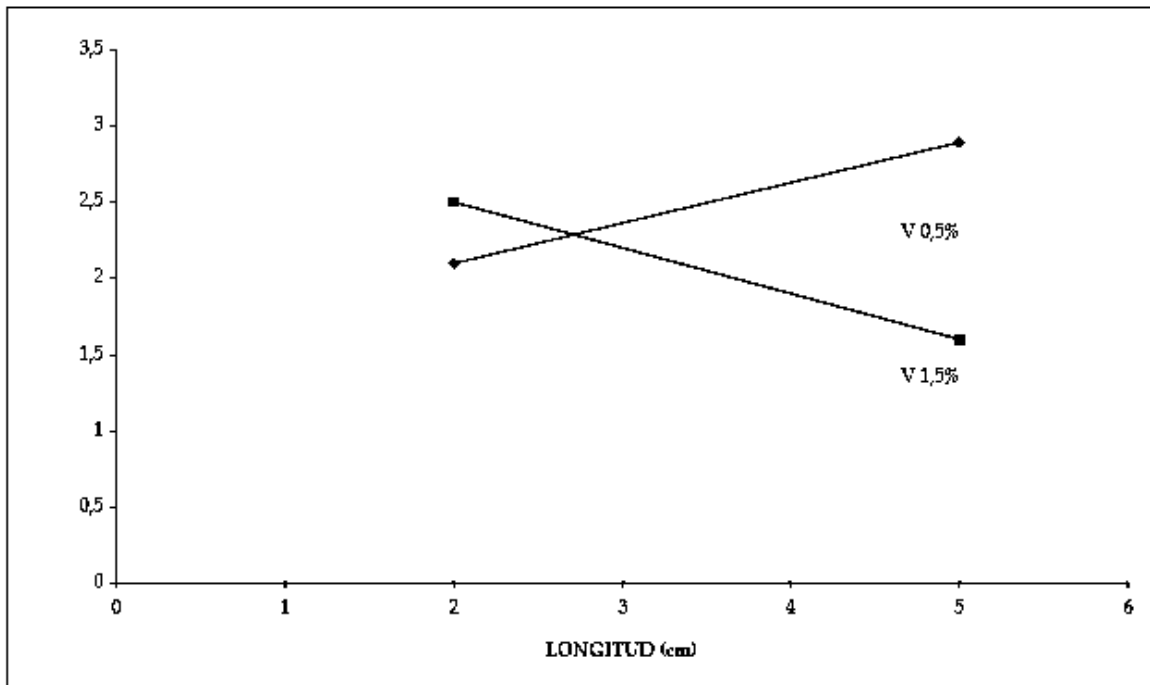


Figura 56. Interacción de longitud y volumen respecto de la fuerza a la flexión.

Fuente: Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006.

Consultada: 30/abril/2016.

Conclusiones

- La adición de fibras de coco ayudó a que, cuando haya grietas, la tensión que exista durante el agrietamiento, la propia fibra absorba la fuerza, se propague sobre ella misma e impida que se extienda la discontinuidad, lo cual evita un concreto agrietado.
- Con esta fibra las estructuras se aligeran un poco, ya que, cuando se evapora el agua, en el interior del concreto quedan algunos poros, y así el peso unitario es menor.
- Este tipo de concreto ayuda más cuando se trata de estructuras sometidas a flexión.

7.3 Almidón

En la naturaleza también existe una sustancia muy importante para la vida de las plantas, ya que en ese componente, el almidón, los vegetales almacenan su alimento, que contiene los nutrientes necesarios para su sobrevivencia. Es un hidrato de carbono polisacárido, de fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, cuya composición química suele constituir 25–30 % de amilopectina y el 70–75 % restante de amilosa,¹⁵ en gránulos de tamaño y forma variables.

Esta sustancia se encuentra principalmente en cereales: arroz, maíz, trigo (entre 55 y 75 %)¹⁶ y cebada, en leguminosas (en chícharo, 50 %)¹⁷, frijol pinto, garbanzo, lenteja y haba, así como, entre otros, en raíces (tubérculos, tales como papas, hasta 18 %)¹⁸, y en plantas *de guía* (rastreras o trepadoras), como la calabaza y el chayote.



Figura 57. Alimentos que contienen almidón.

Fuente: <https://www.johnalexander-espanol.com/carbohidratos-almidon-fecul/>

Consultada: 27 de febrero de 2017.

Este polisacárido lo obtienen los vegetales mediante síntesis a partir del dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y del agua del suelo. En dicho proceso

¹⁵ <https://es.wikipedia.org/wiki/Almid%C3%B3n>

¹⁶ *Gran Enciclopedia del Mundo*. Durvan, S. A. de Ediciones. Bilbao, España.

¹⁷ Ídem

¹⁸ Íbidem

las plantas absorben la energía solar y la almacenan como glucosa y otras moléculas afines, que forman grandes cadenas de almidón.

También existe almidón en harinas (féculas) y en productos de panadería, de los cuales constituye un componente elemental, ya que contiene muchos nutrientes, no sólo para el ser humano, sino también para muchos animales.

Para el comercio, el almidón se obtiene principalmente de semillas de cereales tales como maíz, arroz y trigo. Para otros usos, en su mayoría se extrae de la papa.

De numerosas propiedades del almidón, destacan las siguientes:

- Gelatinización
- Retrogradación
- Reticulación

Gelatinización. Ocurre cuando a bajas temperaturas los gránulos de almidón, por ser solubles en agua fría, se produce una lixiviación de la amilosa, por lo cual los gránulos se magnifican y confieren a los alimentos las propiedades de pasta de almidón. Después, al refrigerar o disminuir la temperatura, esta pasta se solidifica. El ejemplo de más fácil comprensión de esta propiedad es la popular gelatina.



Figura 58. Gelatina con dos cerezas superpuestas.

Fuente: <http://www.saborandlight.com/linea-reductiva.php>

Consultada: 27 de febrero de 2017.

Retrogradación. Este concepto significa volver hacia atrás, retroceder. Esta propiedad sucede en el almidón, ya que puede regresar a su estado inicial.

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrógeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, que está relacionada con su contenido de amilosa.¹⁹

Un ejemplo, culinario, es el pan que no es del día, en cuya superficie comienzan a surgir formas cristalizadas, las cuales le provocan endurecimiento y complican un poco su partición.



Figura 59. Superficie de un pan endurecida por cristales. Fuente:

http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&view=article&id=567&catid=55:curiosidades&Itemid=66

Consultada: 28 de febrero de 2017.

Reticulación. Esta propiedad consiste en un proceso químico por el cual los polímeros unen sus cadenas y generan concatenaciones tridimensionales, por cuya virtud adquieren funciones elásticas y plásticas, que pueden consistir en curado o en impermeabilidad.

¹⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Almid%C3%B3n#Retrogradaci.C3.B3n>

7.4 Aplicaciones del almidón

Los científicos han encontrado muchas aplicaciones para el almidón. Ya existe amplia demanda de esta sustancia, la cual puede ayudar a la economía del país, pues en el sector agrícola generaría más empleos y reduciría las importaciones actuales. Esto mejoraría las economías locales y, en un futuro mediano, tal vez, se obtendrían excedentes para exportación.

Existen varios tipos de almidón, o bien, en la industria, para elaborar diversos productos, se les somete a procesos diferentes. Un ejemplo de aplicación es el resultado de la investigación conjunta emprendida por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, en Popayán, y la Facultad de Ingeniería en Alimentos de la Universidad del Valle, en Cali, de Colombia ambas. En ellas trabajaron con esta sustancia para generar un producto denominado *almidón termoplástico TPS*.

Los investigadores crearon este almidón con los propósitos de lograr productos de plástico totalmente biodegradables, que ayudaran a la ecología, fueran más económicos y disminuyeran la contaminación así como la extracción de polímeros a base de petróleo.

Adversamente, implican desventajas por menor resistencia que los plásticos a base de petróleo, ya que a bajas temperaturas el almidón cristaliza y por ello deviene en material más frágil y propenso a la ruptura. Ahora los científicos mencionados están intentando añadir nuevas propiedades benéficas al producto o a solucionar el inconveniente aludido.



Figura 60. Charola de TPS biodegradable a base de almidón.

Fuente: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso13-14/envases/nuevo.html>

Consultada: 1 de marzo de 2017

7.4 Dextrina

La dextrina es un compuesto orgánico derivado del almidón. Su nombre alude a que desvía hacia la derecha la luz polarizada (es dextrógira).

Las dextrinas son un grupo de oligosacáridos de poco peso molecular producidas por la hidrólisis del almidón. Tienen la misma fórmula general que los polisacáridos pero son de una longitud de cadena más corta.²⁰

La mayoría de la dextrina se obtiene por hidrólisis de papas, ya que, en virtud de su abundancia, este fruto vegetal propicia mayor facilidad de extracción de la sustancia, y de su adquisición. La hidrólisis es un proceso químico que implica destrucción, alteración o descomposición de moléculas de una sustancia soluble por intercambio con moléculas de agua, que así constituye una nueva especie química, una sustancia base débil.

²⁰ <https://es.wikipedia.org/wiki/Dextrina>. Consultada el 11 de marzo de 2017.

El cuerpo humano realiza esta reacción química, ya que ningún disacárido, ni polisacárido, puede ingresar a su torrente sanguíneo hasta que el cuerpo realice la hidrólisis y lo convierta en monosacárido.

Para identificar químicamente la dextrina se realiza una prueba con una solución de yodo, que adoptará un color rojo.



Figura 61. Saco lleno de dextrina.

Fuente: <http://www.inquigoma.com/dextrina.jpg>

Consultada: 2 de marzo de 2017

7.4.1 Aplicaciones de la dextrina

Existen muchos tipos de dextrina, según hayan sido los procedimientos de producción, que a su vez dependen de los propósitos de sus aplicaciones.

Una utilización industrial de esta sustancia es en la denominada dextrina amarilla 95, que se comercializa bajo la marca Nifradex 95. Se produce mediante hidrólisis por adición de cloruro de hidrógeno (HCl) a una temperatura templada. Se usa como aditivo orgánico para la fundición de hierro y como base para algunos adhesivos.



Figura 62. Dextrina amarilla para la fundición de hierro.

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/industrial-yellow-dextrin-for-casting-and-foundry-industry-60190323009.html>

Consultada: 2 de marzo de 2017.

Existe una dextrina muy similar a la anterior: la Nifradex 97 (o dextrina amarilla 97). También se obtiene mediante hidrólisis de HCl, a altas temperaturas. Se aplica mayormente en fabricación de adhesivos en polvo y de pegamentos líquidos, secundada por la de papel, textiles, pirotecnia, tintas y acuarelas.



Figura 63. Diferentes pegamentos a base de dextrina amarilla 97.

Fuente: <http://papeleriablog.blogspot.mx/2015/08/los-distintos-tipos-de-pegamentos.html>

Consultada: 2 de marzo de 2017.

Para la elaboración de juegos pirotécnicos, la pólvora se mezcla con Nifradex BCA, denominada dextrina blanca, de la cual existen variantes graduales tales como 60, 406 y 420.



Figura 64. Juegos pirotécnicos realizados con dextrina blanca.

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/videos/5199524/Como-se-hace-Parte-1-Mega-post-interesante.html>

Consultada: 2 de marzo de 2017.

7.5 Flor de loto

En el área de la Ingeniería civil, en lo referente a materiales de construcción, la biomimética vegetal también ha ejercido un gran impacto. Un ejemplo de ello lo aporta la imitación de una cualidad de la flor de loto, que es el órgano reproductor de la planta *Nelumbo nucifera*. Contiene unas células epidérmicas papilosas que forman una pared externa gruesa, dotada de cutina.

La pared externa está incrustada de **cutina** (polímero elevado, éster de ácidos grasos no saturados y ácidos grasos oxidados saturados). También puede encontrarse en las paredes anticlinales. Además la cutina se deposita por adcrustación formando una capa continua sobre la superficie externa: la **cutícula**.²¹

Esta cutícula constituye una superficie superhidrofóbica (totalmente impermeable al agua). Por lo tanto, las gotas de agua no penetran el tejido y ruedan por toda la planta. Mediante el microscopio, los científicos analizaron la estructura de este revestimiento epidérmico.

²¹ <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema13/13-3paredepid.htm>

Utilizaron las características estructurales de la flor para fabricar pinturas superhidrofóbicas, que impiden la infiltración o absorción del agua y propician que, sólo unas pocas gotas de agua, cuando vayan rodando, arrastren el polvo y la suciedad que haya en las paredes, y se logre un efecto de autolimpieza.



Figura 65. Flor de loto silvestre.

Fuente: <http://www.alimentosaludables.com.ar/flor-de-loto-y-sus-propiedades/>

Consultada: 9 de marzo de 2017.

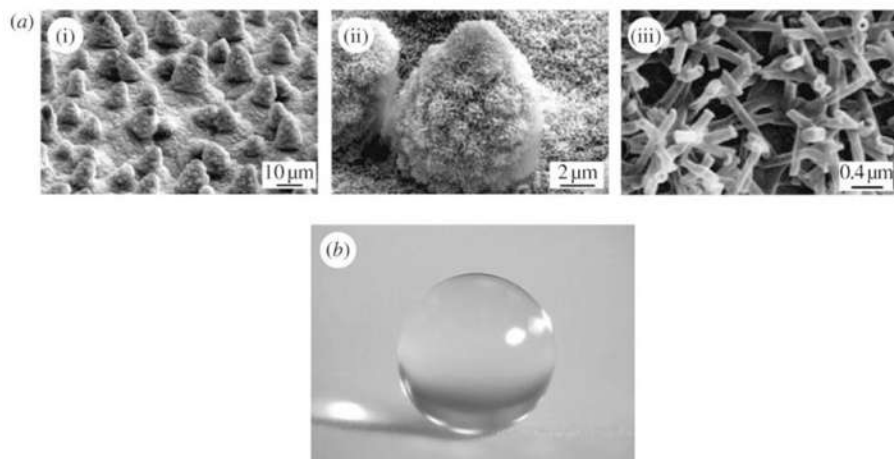


Figura 66. Imágenes de la superficie superhidrofóbica de la flor de loto a los niveles micro- y nanobiomimético.

Fuente: <http://www.interempresas.net/Ferrocarril/Articulos/145994-Nuevas-tecnicas-para-texturizacion-superficial-volumen-basadas-laseres-ultrarrapidos.html>. Consultada: 9 de marzo de 2017.

Ahora, esta técnica se emplea no solamente en el área de la Ingeniería civil, sino también en la Ingeniería mecánica. La empresa automovilística Nissan la aplica en la pintura Ultra Ever Dry, en sus autos de lujo, para proteger a los automóviles contra el polvo, el lodo y otros adherentes indeseables, como el aceite vertido en calles y carreteras. Con sólo una pasada de agua se elimina toda impureza. La creó la empresa estadounidense Ultra Tech International, utilizando nanotecnología, ya patentada, que mejoró el producto.



Figura 67. Automóvil de lujo de la marca Nissan con pintura Ultra Ever Dry, con impurezas fácilmente eliminables.

Fuente: <http://www.vehiculoslujosos.com/nuevas-tecnologias-para-el-coche/tencologia-ultra-ever-dry/>

Consultada: 9 de marzo de 2017.

Abrojo

Otro invento que se descubrió solamente por observar la naturaleza fue el velcro, hoy utilizado en ropa, mochilas, etcétera. Fue creado por George de Mestral, ingeniero suizo, quien, después de una partida de caza en los Alpes, en 1941, se percató que unas semillas se adherían a su ropa y al pelaje de su perro. Las semillas, granulares, eran de una planta del género *Arctium*: el abrojo. De Mestral analizó algunos granos, en un microscopio. Notó que, al final de las salientes radiales, los granos poseen ganchos diminutos que les confieren la propiedad de adherencia. Así, el velcro es un paradigma de *serendipia* (chiripa).



Figura 68. Trozo de velcro.

Fuente: <https://www.fayerwayer.com/2011/03/el-origen-de-el-velcro/>

Consultada: 7 de marzo de 2017.



Figura 69. Planta de *Arctium* (abrojo).

Fuente: <http://www.tipdisease.com/2014/12/benefits-of-burdock-arctium-lappa-for.html>

Consultada: 7 de marzo de 2017.

8. Biomimética animal

Como se ha ya mencionado, la naturaleza ha evolucionado desde que comenzó la vida en el planeta Tierra, hace cerca de 3.8 mil millones de años. A través de este tiempo, cada día ha tratado de evolucionar para sobrevivir a los distintos desafíos que le acechan, y adaptarse al hábitat del planeta.

En ese transcurso de eras geológicas, los animales han modificado sus características físicas, químicas y biológicas, que han coadyuvado a facilitarles su modo de vida, a conferirles mayor agilidad y propiedades de camuflaje para cubrirse de sus depredadores, o bien para sobrevivir a los cambios climáticos extremos generados por erupciones volcánicas, impactos meteoríticos u otros fenómenos adversos, que han causado glaciación y desertificación.

Desde hace muchos años, los investigadores, al observar e investigar las evoluciones de los animales, han encontrado soluciones o han realizado modelos para crear nuevas tecnologías que han aportado mayor confortabilidad a la vida del ser humano.

A continuación se relatan algunas creaciones de científicos que, gracias a la imitación de la vida animal, solucionaron problemas a la humanidad.

Leonardo da Vinci, gran genio renacentista, nacido en 1452, en Italia, pintor, arquitecto, escultor, también aportó conocimientos de botánica, aerodinámica, hidráulica y anatomía. Al observar cómo se desplazaban las aves y cómo algunas de ellas podían flotar en el agua, se inspiró para realizar algunos bosquejos para la fabricación de una aeronave y de algunos barcos. Para la aeronave se basó en las alas y en la aerodinámica del vuelo del murciélago.

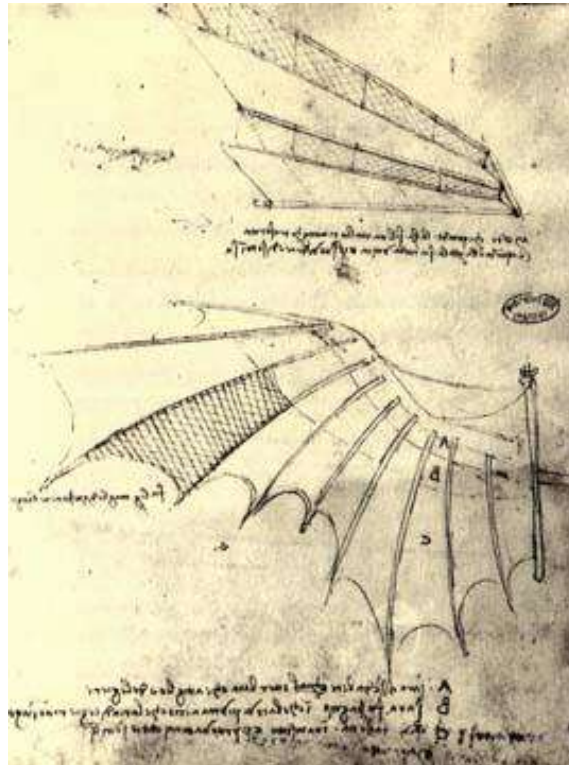


Figura 70. Bosquejo de máquina voladora, de Leonardo da Vinci. Semejanza con ala de murciélago.

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/76139049921255180/>

Consultada: 6 de marzo de 2017.

Autogiro, por Juan de la Cierva. Este vehículo aeronáutico fue precursor del helicóptero. Está inspirado en la insólita y fantástica variedad de vuelo de colibríes y libélulas (caballitos del diablo), que es omnidireccional: hacia los lados, arriba, abajo y, por si fuera poca su inverosimilitud, permite la sustentación en el aire sin desplazarse, y «avanzar hacia atrás», sin cambios de transmisión «de reversa».

Su inventor, Juan de la Cierva y Codorníu, ingeniero civil y aeronáutico y piloto español, completó el desarrollo de su primer modelo el año 1920. Aunque se ha usado mucho más el helicóptero, aún está vigente el uso del autogiro.



Figura 71. Enseñanza de pilotaje de autogiro.

Fuente: <http://avionpiloto.es/secciones/escuela/el-autogiro-su-instruccion/#>

Consultada: 14 de marzo de 2017.

La revista científica *muy interesante* publicó la reseña de algunos productos ideados por científicos que se basaron en la biomimética animal para la creación de sus modelos experimentales, que rindieron grandes frutos. Ellos son:

Ojos de gato, por Percy Shaw. Este inventor nació en Halifax, West Yorkshire, Inglaterra, el 15 de abril de 1890. De niño no destacó por ser buen estudiante. A esa edad ayudaba a su padre en reparación de herramienta, mediante lo cual percibiría el dispositivo que crearía años más tarde.

En 1933, Shaw tenía un contrato para asfaltar caminos. Ya que además gestionaba carreteras, conocía las deficiencias de éstas. En aquellos tiempos era muy peligroso manejar de noche, porque no existían señales, de ningún tipo. Solamente había alumbrado eléctrico, muy poco. Lo único que aportaba visibilidad era la de los focos de los automóviles.

Una noche, después de una exhausta jornada laboral, Shaw, cuando con un compañero de trabajo se dirigía a su casa, de pronto, en la obscuridad, y él manejando su automóvil, se percató de dos reflejos pequeños. Al acercarse a aquella fuente lumínica se dio cuenta que provenía de un gato. De inmediato le surgió la idea de hacer reflejantes de luz y colocarlos en la carretera.

Su primer prototipo lo realizó el 3 de abril de 1934. Al mismo tiempo creó la empresa Reflecting Roadstuds Limited, situada a un lado de su domicilio. Este prototipo lo elaboró con cuatro pedazos de vidrio, cada uno colocado en dos pares, sobre una moldura de caucho flexible, todo lo cual se ubicó sobre una base de hierro fundido, que permitía la fijación del dispositivo en el suelo.

Al paso de los automóviles se flexionaba la parte de caucho. Al llover, los vehículos acumulaban un poco de agua, la cual, de manera automática, limpiaban los vidrios reflejantes.

Por la peculiaridad del hallazgo, a este dispositivo accesorio vial, Shaw lo denominó ojos de gato, que en la actualidad es de gran importancia como precaución vial. Inicialmente, el gobierno había rechazado comprar su idea, pero luego se dio cuenta que contribuía a disminuir los accidentes nocturnos.



Figura 72. Ojos de gato, creación de Percy Shaw.

Fuente: <http://alef.mx/percy-shaw-el-inventor-de-los-ojos-de-gato-o-reflejantes-de-carretera/>

Consultada: 6 de marzo de 2017.

Agujas hipodérmicas finas, por un equipo científico japonés. También en el área médica la biomimética animal ha sido muy importante, tanto en fármacos como en mecanismos para soluciones de problemáticas.

En Medicina es de gran relevancia obtener sanación contra numerosas patologías, a las cuales la modernidad ha agregado la causal de la contaminación, ya global, pues han surgido enfermedades nuevas que tal vez recién descubiertas parecen irreversibles, pero a algunas de ellas la naturaleza ya las ha desafiado y encontró solución para abatirlas.

Un ejemplo más de biomimética animal es el de las agujas finas para inyecciones hipodérmicas, inventadas en la empresa japonesa Terumo. Se basaron en que, al penetrar la piel, la picadura entrante del mosquito no se siente. Emulando la finura del órgano succionador del zancudo, el diámetro de esta aguja es de sólo 0.2 milímetros, por lo cual la sustancia fluye de manera inmediata. Esto fue destinado a quienes tienen pavor a las inyecciones o a pacientes que se les lastima de manera constante porque son inyectados más de cuatro veces al día.



Figura 73. Mosquito en plena penetración de piel humana.

Fuente: <http://www.antcontroldeplagas.es/que-es-el-mosquito-tigre-y-como-eliminarlo/>

Consultada: 9 de marzo de 2017.

Retroaraña, por la empresa *Menzi Muck*. A veces resulta benéfico aprender de la biomimética animal para controlar las plagas, ya que la misma naturaleza las regula mediante depredadores que temporalmente las eliminan, de los cuales se han de investigar sus procedimientos para combatirlas.

Existe una máquina denominada retroaraña, que obviamente imita a la araña. Casi toda su estructura es igual a la de una retroexcavadora. Únicamente se cambia su mecanismo de desplazamiento o tracción, que se realiza mediante cuatro patas, para anclar bien la máquina al suelo. Se utiliza en terrenos muy abruptos, de difícil acceso, o muy poco estables, que pueden causar derrumbes.



Figura 74. Retroaraña.

Fuente: <http://ingenieriaycomputacion.blogspot.mx/2010/07/retroarana.html>

Consultada: 9 de marzo de 2017.



Figura 75. Retroaraña en terreno difícil de operar.

Fuente: <http://ingenieriaycomputacion.blogspot.mx/2010/07/retroarana.html>

Consultada: 9 de marzo de 2017.

Compactadora pata de cabra, por la empresa Volvo. Algo más común en el trabajo cotidiano de algunos ingenieros civiles o constructores, que no necesitó tanta tecnología biomimética, fue el desarrollo de la compactadora pata de cabra. El cilindro contiene varias protuberancias prismáticas, con las cuales se obtiene mejor compactación del suelo. Algunas máquinas contienen también estas protuberancias en las cuatro ruedas.

Regularmente las protuberancias penetran de 18 a 20 cm, por lo cual en suelos arcillosos o limosos se logra un secado más rápido, pues con seis a diez pasadas se amasa el suelo y mejora la ventilación. La relación con la biomimética radica en que algunos ungulados (animales dotados de pezuñas), mediante la fuerza que su peso ejerce sobre las pezuñas, al pisar el suelo lo compactan.



Figura 76. Compactadora pata de cabra.

Fuente: <http://www.roadexpertsla.com/es/equipos/compactadores/SD160>

Consultada: 11 de marzo de 2017.

Timberjack Walking Machine, por la empresa John Deere. Existe una máquina muy similar a la anterior, que, mediante ruedas o incluso con orugas, se utiliza para tala de árboles y para acceder a terrenos inalcanzables por otros medios. Esta máquina fue creada por la filial de John Deere en Finlandia.

Cada día, diferentes empresas tratan de revolucionar sus dispositivos y máquinas para mejorar el manejo. Aunque por ahora el desplazamiento de Timberjack Walking Machine es un poco lento, en John Deere se está intentando mejorarlo, con seis brazos de traslación y cola, donde se ubican la sierra y una abrazadera, que sostiene el tronco, lo cual simula un escorpión (alacrán).



Figura 77. Timberjack Walking Machine (scorpion).

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/imagenes/14418985/10-Modelos-de-Maquinas-basadas-en-insectos.html>

Consultada: 10 de marzo de 2017.

Robótica. En esta disciplina, también la biomimética ha sido parte fundamental para la evolución de la tecnología, ya que han aparentado los desplazamientos superficiales, el comportamiento y el vuelo de algunos animales para fabricar satisfactores que efectúen diversas actividades, peligrosas algunas. Existen robots de uso tanto policial como militar, que desactivan bombas, y máquinas no tripuladas que incluyen misiles y ametralladoras para exterminar individuos.

También se han fabricado vehículos aéreos no tripulados (drones) que sirven a los medios de comunicación y de difusión, los cuales incluyen cámaras que pueden grabar y transmitir en vivo desde el aire.

Robot *Insecto palo*, creado en la Universidad de Bielefeld, Alemania. Un ejemplo relevante es el robot insecto palo, denominado *Héctor*. Lo desarrollaron investigadores de la Universidad de Bielefeld, Alemania, basados en el insecto palo (matacaballo), del orden taxonómico Phasmatodea, del cual existen cerca de 3000 especies.

Todo su esqueleto es ultraligero. Está dotado de articulaciones elásticas y, por todos lados, de sensores –como los de estos organismos fásmidos–, los cuales propician su desplazamiento automático, que elude obstáculos. Gracias a sus 18 juntas elásticas, *Héctor* puede adaptarse a cualquier terreno.

Día con día se han estado mejorando los robots, para conferirles cada vez mayor agilidad.



Figura 78. *Héctor*: robot simulando un insecto palo.

Fuente: <http://www.fumigacontinente.com.ar/el-insecto-palo-robot/>

Consultada: 10 de marzo de 2017.

Pintura termocrómica camaleón, por Rene Turrek. Por último, en el tema de biomimética animal, algo que en años recientes ha sido sorprendente, casi inexplicable para nuestros tiempos, es la fabricación de pinturas que cambian de color como lo hacen los camaleones.

Rene Turrek, artista plástico alemán, a base de una pintura termocrómica, logró que un automóvil cambiara de color al verterle agua a altas temperaturas, y recuperara su cromática original al verterle agua fría.

El secreto radica en que hay dos capas de pintura aplicadas. La que está debajo es la que tiene, por ejemplo, una bandera de los Estados Unidos, como se ve en el ejemplo del Lamborghini Gallardo. Pero por encima hay una capa de pintura bordó y termocrómica. Esto quiere decir que tiene la propiedad de hacerse transparente cuando es expuesta a una temperatura elevada.²²

²² http://www.clarin.com/a-fondo/pintura-termocromatica_0_Hy9IGSYDml.html



Figura 79. Automóvil Lamborghini Gallardo con pintura termocrómica.

Fuente: <https://www.pinterest.com/explore/heat-sensitive-paint/>

Consultada: 11 de marzo de 2017

9. Orictomimética (Mimética mineral)

En la naturaleza existen sustancias u objetos inertes, abióticos –entes sin vida–: minerales o fósiles. Por ello, para esta rama de la biomimética se propone el neologismo *orictomimética*, que proviene de los vocablos griegos orictón (ορυκτόν), que significa mineral, o fósil, y mimesis: imitación. Es decir: se imita a los minerales.

Aunque carecen de vida, los minerales poseen numerosas cualidades, tanto benéficas como adversas. En particular, del carbón mineral, del petróleo y de las sustancias radiactivas se puede obtener energía. Los fósiles, antaño seres vivos, ahora son materia inerte, a veces incrustada por minerales (de ahí la estrecha sinonimia). Por esta razón se debe no considerarla biomimética, sino simplemente mimética mineral. Ya a lo mineral no se le cataloga como «reino».

Mediante la orictomimética, el ser humano ha aprendido a estudiar e investigar los minerales para crear objetos y herramientas asombrosas que sin esas

substancias sería imposible su obtención. Así mismo, en los minerales radican propiedades realmente útiles que se pueden imitar para generar prototipos y solventar problemas de la vida cotidiana.

Elementos químicos tales como el magnesio, el galio, el cobalto, el berilio y el litio son esenciales para fabricación de teléfonos móviles, computadoras, baterías para proporcionar energía y herramientas que a diario el ente humano utiliza y maneja para facilitar trabajos que antes entrañaban mayor dificultad.

Debido a que existe gran demanda de tales herramientas, según la revista Muy Interesante, del año 2006 al 2030 los requerimientos de suministro de estos minerales fundamentales se habrán triplicado, por lo cual tal vez en unos años se comenzarán a elevar los precios de diversos equipos.

Por ello los científicos y las empresas fabriles inherentes han implantado procesos de reciclaje de variados minerales, para economizar en los suministros futuros de materias primas y preservar la ecología global mediante menor actividad extractiva y depredatoria de los sitios de los yacimientos minerales.

Para la Ingeniería Civil, la industria minera es trascendente, ya que, sin sus productos, no se podrían construir las obras de su ramo, ni los aparatos tecnológicos recientes que el ingeniero civil utiliza para desarrollar su trabajo: GPS, estación total, computadoras, calculadoras, graficadoras, microscopios, en fin muchos dispositivos electrónicos imprescindibles para diversas actividades de investigación y construcción.



Figura 80. Ingenieros civiles utilizando *estación total* y captando datos en una tableta.

Fuente: <http://aecmag.com/comment-mainmenu-36/779-bentley-trimble-information-mobili/>

Consultada: 15 de marzo de 2017.

Para la obtención de materiales de construcción es esencial la industria minera. Desde la antigüedad, para construir las edificaciones se han utilizado diversos materiales térreos; entre otros: arcillas, yeso, cal. Después, tal como sucedió en Grecia y en la antigua Roma, se recurrió a materiales más resistentes, tobas (entre otros) –que son rocas ígneas efusivas–, cenizas volcánicas, en acumulaciones deposicionales.

No fue sino hasta el siglo XIX, en 1796, cuando se obtuvo cemento artificial. James Parker, británico, patentó un *Roman cement*. En 1824, Joseph Aspdin obtuvo la patente del cemento Portland, primera piedra artificial, constituida por una mezcla de roca caliza y arcilla, que, calcinada a altas temperaturas, se desintegra en polvo, el cual, al agregarle agua y luego secarse, genera una roca dura y resistente.

Aún en la actualidad, para los ingenieros civiles la utilización de este cemento es fundamental, aunque ha evolucionado de manera constante. Básicamente, existen dos tipos de cemento para concreto:

- Cemento puzolánico. Proviene de cenizas volcánicas.
- Cemento portland. Es el que se utiliza comúnmente, de granulometría arcillosa. Se extrae de la piedra caliza. Con él se fabrican diferentes tipos de concreto.

Existe otro cemento, que contiene bajas cantidades de hierro, por lo cual su color es un poco más claro. Es el cemento blanco. La mayoría de las veces se utiliza en estructuras de acabados totalmente visibles, con columnas sin recubrimiento alguno. No es resistente a la corrosión. Por ello no es recomendable utilizarlo en zonas costeras.

Así mismo existe un concreto ecológico, de la marca DEXterra. Se elabora con desechos provenientes de fábricas de vidrio y de los que proveen pepenadores de los sitios de disposición final de residuos sólidos: basureros y rellenos sanitarios. Tras un proceso de lavado del vidrio, se tritura y se le agrega concreto puzolánico, arena y fibras. Se obtiene un producto ambientalmente «amigable», de gran diversidad de acabados.



Figura 81: Lavabo fabricado con concreto DEXterra.

Fuente: <http://blog.is-arquitectura.es/2011/11/29/dexterra-baldosas-de-terrazo-con-vidrio-reciclado/>

Consultada: 15 de marzo de 2017.

También existen cementos y morteros modificados con polímeros. Es el caso del mortero SikaTop® 123 Plus, de la empresa suiza Sika AG, de productos para la construcción. Se creó para la reparación estructural de concretos dañados en lugares agresivos, como las zonas costeras, ya que cuenta con el inhibidor anticorrosivo FerroGard® 901. Además es tixotrópico y no necesita cimbra para su colocación, ya que es de fraguado rápido y sus resistencias a la compresión y a la flexión son altas.



Figura 82. Producto Sikatop 123 plus.

Fuente: <https://www.patterson-online.com/CatSearch/517/sikatop-123-plus>

Consultada: 16 de marzo de 2017.

En cuanto a cementos –tras el breve paréntesis acerca de morteros–, mediante variadas modificaciones, se han creado materiales de mayor resistencia, ecológicos y económicos, que disminuyen el gasto de mantenimiento.

Existen muchos materiales de construcción que provienen de minerales. Por ejemplo, el acero, que posibilita la edificación de estructuras de gran tamaño, más resistentes según diferentes consideraciones, por lo cual resulta fundamental para la construcción de gran diversidad de obras ingenieriles y arquitectónicas.

También el acero ha sido modificado para conferirle características específicas, como la de inoxidable, obtenida por el metalúrgico inglés Harry Brearley, en 1913, por necesidades de la primera guerra mundial, para crear armamento más resistente a la corrosión. Actualmente las estructuras metálicas son de suma importancia para la construcción de puentes, edificios, teatros, estadios y muchas obras más.



Figura 83. Edificación con estructura de acero.

Fuente: <http://spanish.structural-steelbuilding.com/sale-2366694-q235-h-beams-heavy-weight-industrial-steel-buildings-hall-with-modern-design.html>.

Consultada: 16 de marzo de 2017.

Seacrete

El océano ha propiciado múltiples innovaciones muy benéficas para la humanidad. Una creación reciente (1979) utiliza un proceso de acreción mineral electrolítica para generar arrecifes mediante anclaje de una malla de acero de morfología adecuada para la conservación de fauna y flora.

La electrólisis atrae cuantiosos minerales disueltos en el mar, que, en el cátodo, depositan carbonato de calcio, hidróxido de magnesio y otras sustancias esenciales para la creación –artificial– de arrecifes. En la actualidad, estas estructuras son elementales para la conservación del bioma marino, ya que, por distintos motivos, muchos se han destruido y se ha causado degradación de nuestro ecosistema. Por ello, esta innovación contribuye a mitigar tales perjuicios.

El invento mencionado fue obra de Wolf Hilbertz, arquitecto y científico marino alemán, al estudiar el crecimiento de conchas marinas y de los arrecifes. Su

creación, el *seacrete*, obtuvo la patente bajo la marca registrada *Biorock*.²³ Constituye el comienzo para la posibilidad de crear un concreto a base de minerales contenidos en el agua y en los caparazones de los exoesqueletos de los moluscos marinos. Al respecto, Gunter Pauli, economista belga, expresa:

El mejor productor de cemento de la Tierra son las conchas. El cemento se produce con el carbonato de calcio que se saca de las minas. Las conchas convierten el CO₂ disuelto en el mar en carbonato de calcio, con lo que se fabrican su casita.²⁴

La viabilidad de su obtención radica en la gran abundancia de la materia prima. Se ha de procurar que, al momento de extraerlo, se proceda con sumo cuidado, para no afectar arrecifes naturales de fauna y flora marinas.



Figura 84. Arrecife natural en el fondo marino.

Fuente: http://ecologia.facilísimo.com/blogs/vida-sostenible/los-arrecifes-de-coral_1309654.html

Consultada: 24 de marzo de 2017

²³ https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=4246075&KC=&FT=E&locale=en_EP

²⁴ <http://www.diariovasco.com/20080403/al-dia-sociedad/conchas-mejor-productor-cemento-20080403.html>

Otros materiales de construcción, sumamente comunes, de utilización incluso doméstica, para labores simples, obtenidos mediante procesos mineros menos complicados, son los agregados pétreos, como la arena –cuyo origen puede ser por fricción (por arrastre), o volcánico– y las gravas –ya sean originadas por fragmentación natural o artificial de rocas–, para la construcción de caminos, carreteras, túneles, puentes, puertos, en fin todo lo que un ingeniero civil crea con la ayuda de especialistas constructores.

10. Arquitectura biomimética

Temas importantes para los arquitectos y los ingenieros civiles son los diseños, recientes, inspirados en la naturaleza, de obras maravillosas no sólo desde la perspectiva visual, sino también funcional, ya que, en todos sentidos, la creación natural primigenia tiende a la perfección, y nuevos diseñadores de edificaciones creen que una buena guía para crear edificios sustentables –con enfoque ecológico– y económicos es mediante imitación de la naturaleza, lo cual les ha aportado muy buenos resultados.

Un buen logro de una idea biomimética aplicada en la arquitectura moderna, del año 2003, es el Museo de Arte Contemporáneo Kunsthaus Graz –de Graz, Austria–, de formas insólitas, caprichosas, tal vez las de pez globo. Sus creadores, los arquitectos Peter Cook, inglés, y Colin Fournier, australiano, sólo dijeron que se inspiraron en una creatura marina.

En toda la estructura del edificio se utilizaron materiales novedosos, como el metacrilato, que es muy ligero, de gran resistencia al impacto, fácil de moldear, termoaislante, que proyecta 93 % de la luz natural. El museo tiene 930 lámparas, controladas por una computadora central, que genera diversas figuras artísticas. En la parte baja, un estacionamiento alberga alrededor de 146 vehículos, por lo cual en el exterior del recinto no causa congestión vial.



Figura 85. Museo Kunsthaus Graz, en Austria.

Fuente: http://www.wanted.de/staedtetrip-nach-graz/id_57641438/index

Consultada: 16 de marzo de 2017.



Figura 86. Museo Kunsthaus Graz, en fase nocturna.

Fuente: <http://www.rutasymapas.com/kunsthau-graz/>

Consultada: 16 de marzo de 2017.

Otro ejemplo notable de la arquitectura biomimética contemporánea es el recinto deportivo que aparenta un nido de pájaro, creado en Pekín, China, en ocasión de los juegos olímpicos del año 2008, realizado por Jacques Herzog y Pierre de Meuron, arquitectos suizos.

En la mayor parte del estadio la estructura es de acero. Es el edificio con más acero en el mundo. Es sustentable, ya que contiene sistemas de energía solar y de captación de agua pluvial, muy eficiente éste, pues recolecta, purifica y utiliza el agua para regar la cancha y en la limpieza del recinto. Cuando hace frío, unos tubos en la parte superior absorben aire caliente, que se expande por todo el edificio, y si hace calor recolectan aire frío, que crea un ambiente fresco, por lo cual deviene en edificio ecológicamente sustentable, de equilibrio térmico.



Figura 87. Estadio Nacional de Pekín (Nido de pájaro).

Fuente: <http://futbol-1a.com/este-es-el-estadio-donde-se-jugara-el-clasico-sudamericano/>

Consultada: 16 de marzo de 2017.

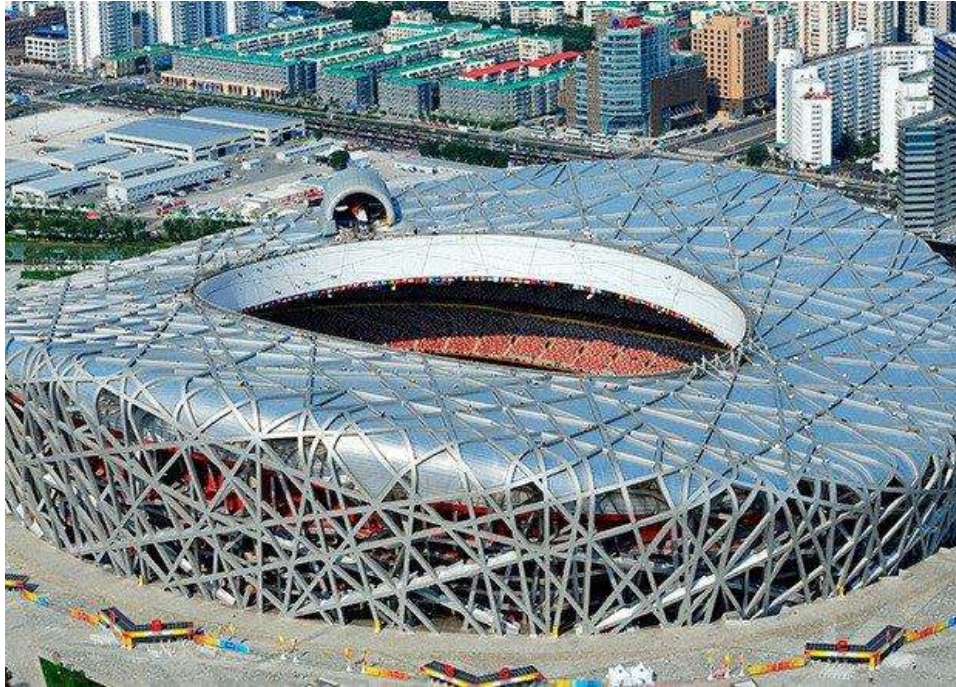


Figura 88. Estadio Nacional de Pekín (imagen de la parte superior).

Fuente: <https://www.taringa.net/posts/deportes/18184370/El-espectacular-estadio-donde-jugaran-Argentina-vs-Brasil.html>

Consultada: 16 de marzo de 2017.

Una obra construida a la par que el Nido de pájaro fue el Cubo de Agua, diseñada por PTW Architects, firma también australiana, adquirida en 2013 por China Construction Design International (CCDI). El Cubo semeja la espuma producida por combinación de agua y jabón. Aunque este diseño no es meramente de la naturaleza pura, sí imita un fenómeno de la vida cotidiana.

También es una edificación sustentable, ecológica. Toda su estructura está sostenida por acero, cubierta con ETFE (etileno tetrafluoroetileno): un polímero termoplástico que resiste altas temperaturas y la corrosión. Los paneles, que simulan las burbujas de jabón, permiten el paso de la luz natural y elevan la temperatura del agua de las albercas, lo cual reduce 30 % la energía para calefacción del agua y la luz eléctrica para iluminación del interior.



Figura 89. Cubo de agua, en Pekin. Vista nocturna.

Fuente: <http://blogchinatur.blogspot.mx/2016/12/turismo-em-beijing-china.html>

Consultada: 16 de marzo de 2017.



Figura 90. Cubo de agua, parte interior.

Fuente: <http://www.e-abaco.net/2008/08/24/vista-del-interior-del-cubo-de-agua-de-beijing-2008/>

Consultada: 16 de marzo de 2017.

Otro edificio en el que se imita a la naturaleza es el Museo de Arte de Milwaukee, situado en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin, EEUU, en la ribera occidental del lago Michigan. En un principio la forma era rectangular. En 1975, el

arquitecto David Kahler y el famoso arquitecto e ingeniero civil español Santiago Calatrava remodelaron este recinto.

Ahora semeja un hidroavión: en su base simula una embarcación, y en la parte superior unas enormes alas, móviles, inspiradas en el vuelo de aves o de mariposas, aportan protección solar al interior del recinto. La estructura de las alas aparenta ser una persiana (*brise soleil*). Se pliega en días soleados, y se retrae de noche o en días lluviosos.



Figura 91. Museo de Arte de Milwaukee, Wisconsin.

Fuente: <http://www.arqhys.com/museo-de-arte-de-milwaukee.html>

Consultada: 17 de marzo de 2017.



Figura 92. Museo de arte de Milwaukee, parte trasera.

Fuente: <https://www.pinterest.com/wflope/favorite-architect-santiago-calatrava-s-works/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.

La idea de una arquitectura biomimética no es tan reciente. El Templo Expiatorio de la Sagrada Familia, de Barcelona, España, se comenzó a erigir en 1882, por Antoni Gaudí, arquitecto catalán. Hasta la fecha no ha culminado su construcción. Se estima que, gracias a las donaciones, concluya en el año 2026, que coincidiría con el centenario del fallecimiento de Gaudí.

Mediante este fascinante edificio se intenta una apariencia arbolada. Para el interior, Gaudí se inspiró en un ambiente campirano de circunspección. Simuló un gran bosque donde se pudiera rezar de manera tranquila. Grandes vitrales semejan la entrada de la luz solar, tal como, en el ámbito asumido, a través de los espacios entre los árboles y entre las ramas, llegan los rayos solares.



Figura 93. Templo de la Sagrada Familia. Barcelona, España.

Fuente: <https://www.dezeen.com/2015/10/23/gaudi-sagrada-familia-church-basilica-final-construction-barcelona-spain/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.



Figura 94. Templo de la Sagrada Familia, parte interior.

Fuente: <http://wanderful-world.com/2012/09/29/inside-la-sagrada-familia-is-it-worth-a-visit/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.

No sólo en la parte estética o arquitectónica se ha aplicado la ciencia biomimética, sino también en lo funcional de las edificaciones. Un ejemplo de esta concepción es un centro comercial de Harare, Zimbabue, África. Debido a que este país se encuentra en el trópico africano, es sumamente caluroso.

Por ello Mick Pearce, arquitecto de esa nacionalidad, mediante observación e investigación del funcionamiento de la ventilación de los termiteros, creó el edificio comercial Eastgate, según ese sistema de acondicionamiento térmico. Se extrae aire del primer nivel, que es el más fresco del ambiente, y se sube hasta la parte superior del edificio, lo cual expulsa el aire caliente del interior del recinto.

Este sistema ventilatorio, aparte de ser novedoso, es ecológico, ya que casi no consume electricidad, pues en todo el edificio ahorra el 10 %: 3.5 millones de dólares anuales, suma muy importante, que a los inquilinos también les disminuye 20 % la renta de los locales adyacentes, mejora su economía y agrega frescura, ya que se utilizó hormigón térmico.



Figura 95. Centro comercial Eastgate, en Harare, Zimbabue, África.

Fuente: <https://es.pinterest.com/pin/270708627575294051/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.



Figura 96: Parte interna del centro comercial Eastgate. A la derecha, un termitero africano.

Fuente: <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.

Natural ventilation for high-rise buildings (termite model)

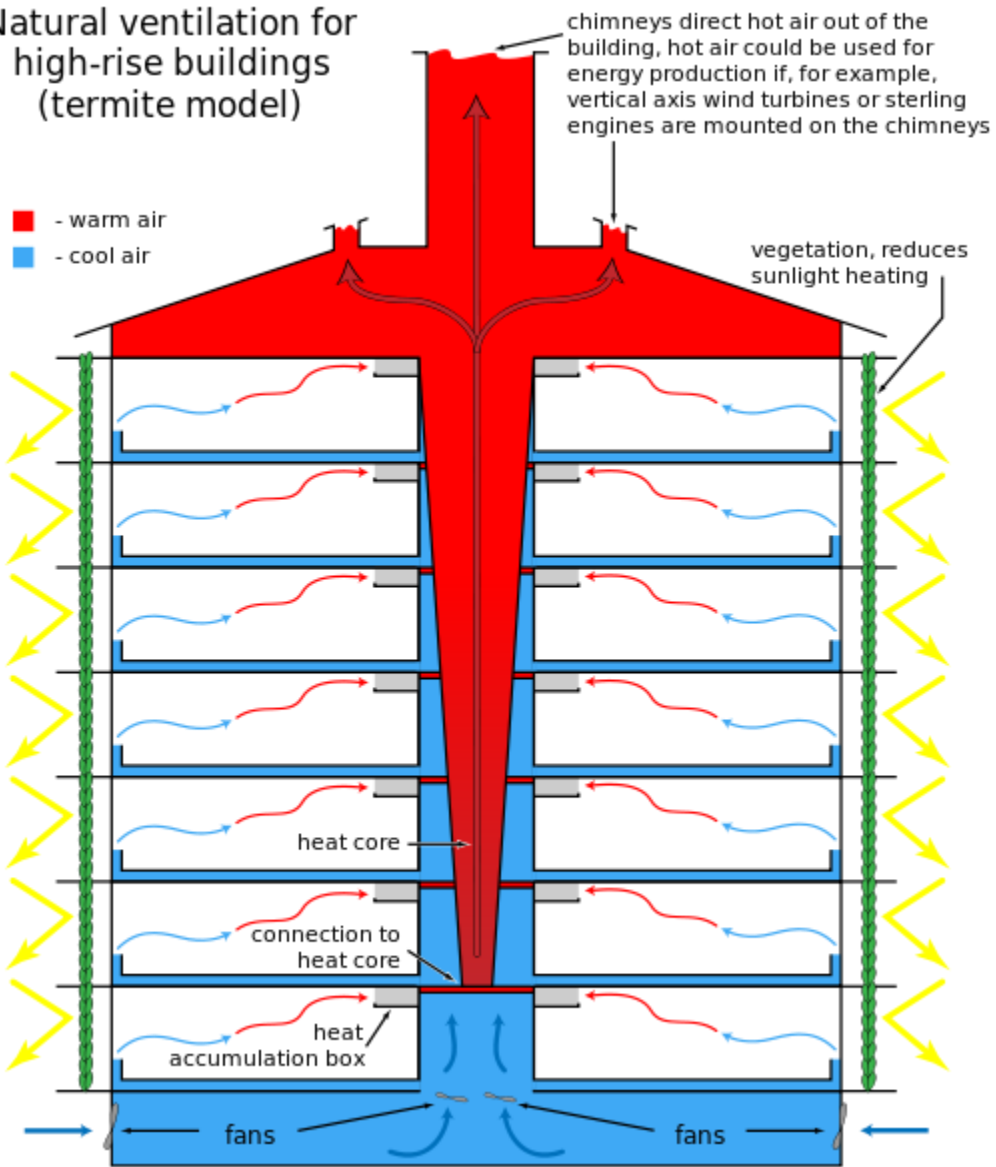


Figura 97. Esquema de ventilación de edificios, mimetizado de un termitero.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9951067>

Consultada: 18 de marzo de 2017.

En la parte estructural de los edificios también han intervenido ideas biomiméticas, como en la Torre Price, de Bartlesville, Oklahoma, EEUU, construida en 1953 por la firma Haskell Caldwell. Su forma fue inspirada en la columna vertebral humana, para desafiar los fuertes problemas que implican los vientos regionales, los cuales se resuelven mediante una estructura a manera de torsión.



Figura 98. Torre Price, en Bartlesville, Oklahoma, EE UU.

Fuente: <http://www.archdaily.mx/>

Consultada: 17 de marzo de 2017.

11. Conclusiones

Al final de este proyecto de tesis comprendí a cabalidad que la naturaleza es lo más perfecto de cuanto existe en nuestro planeta y que todavía falta infinidad de lecciones que podríamos aprender de ella para obtener mejor calidad de vida. Dios la hizo perfecta para nosotros aprender de ella.

La carrera de Ingeniería Civil es una profesión de progreso. En parte, sin los profesionales de esta rama ingenieril la vida del ser humano no sería cómoda. Sería más difícil, no tendríamos de una vivienda digna, confortable, con todos los servicios.

Tampoco habría comunicación con las poblaciones vecinas, o de lejanía media o remota, ni con el resto del mundo, ya que los ingenieros civiles construyen vías de transporte terrestre (carreteras, vías férreas), puentes, aeropuertos, puertos, presas..., obras en las que se aplican especificaciones avanzadas de seguridad.

Por estas razones se construyen infinidad de obras que, paradójicamente, al destruir inevitablemente la naturaleza y nuestro ecosistema, a la vez generan una contaminación enorme.

Para evitar mayor destrucción de nuestro planeta, los ingenieros civiles debemos aprender de la ciencia biomimética y realizar nuevos materiales de construcción amigables con el entorno, y aplicarlos, pues algunos, aunque ya existen, por falta de promoción y comunicación, su utilización es escasa o nula.

Nuestro país es rico en materiales de todo tipo: minerales, animales o vegetales, que lo dotan de paisajes sumamente atractivos, los cuales pueden ayudar a inspirarnos para crear nuevos prototipos.

Lamentablemente, por motivos sociales, económicos y políticos que limitan el progreso del país, no se ha logrado el desarrollo de su potencial. En contrapeso, algunos científicos, a pesar de carecer de un presupuesto adecuado, dedican su mayor empeño en investigaciones para obtener nuevas creaciones.

Este trabajo de tesis me permitió verificar que, a pesar de condiciones adversas, quizás habituales, se pueden lograr metas. Todo tiene solución. Para ello, la naturaleza es una excelente guía.

Confiemos que nuestra Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo encuentre la manera de apoyar de manera más significativa a todos aquellos investigadores y alumnos dispuestos a aportar más progreso a la tecnología ambiental y comprender la naturaleza para encontrar solución a fenómenos naturales –terremotos, maremotos, ciclones, huracanes, tormentas tropicales, tornados, entre otros– que impacten la infraestructura.

12. Referencias

Bibliografía citada

Durvan, S. A. de Ediciones. *Gran Enciclopedia del Mundo*. Bilbao, España. 1970.

José Luis Escacena Carrasco y María Isabel Vázquez Boza. *Conchas de salvación*. SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla.

M. Gómez–Aranzadi *et al.* 2015. *Nuevas técnicas para texturización superficial y en volumen basadas en láseres ultrarrápidos*. Universidad de Navarra, España.

Sandra Liliana Quintero García y Luis Octavio González Salcedo. *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 20: 134-150, 2006. Barranquilla, Colombia.

E. Rocha Rangel *et al.* 2012. *Biomimética: innovación sustentable inspirada por la naturaleza*. Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Héctor S. Villada *et al.* *Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables*. Información Tecnológica Vol. 19(2), 3-14 (2008). La Serena, Chile.

Bibliografía recomendada

Eddie Nahúm Armendáriz Míreles *et al.* 2014. *Ingeniería bioinspirada*. OmniaScience (Omnia Publisher SL). Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

Ernesto Arrondo. 2016. *Naturaleza inspiradora: 80 casos de biomimética*. Edición de autor. ISBN: 978846084271.

Janine Benyus. 2002. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. William Morrow Paperbacks. 320 pp.

InTech. *Biomimetics Learning from Nature*. Amitava Mukherjee (editor). ISBN 978-953-307-025-4, 542 pp. (Acceso y descargas libres en: [https://www.intechopen.com/books/biomimetics-learning-from-nature.](https://www.intechopen.com/books/biomimetics-learning-from-nature))

Jorge Riechmann. *Biomímesis: un concepto clave para pensar la sustentabilidad*. Revista *El ecologista*. 11 pp. Madrid, España.

13. Agradecimientos y Dedicatorias

Agradecimientos

Numerosas personas han participado en mi desarrollo curricular, tanto personal como para la formalidad de mi vida profesional, que, mediante el presente trabajo protocolario, está a punto de iniciarse. Cumplidamente agradezco a las personas e instituciones siguientes:

- Doctor José Carlos Rubio Ávalos, por ser mi Asesor de Tesis en este importante tema. Sin su generoso apoyo en impartirme sus conocimientos y al concederme el tiempo necesario para efectuar de manera adecuada el trabajo, no habría podido terminar la redacción de la tesis y culminar mi carrera de Ingeniero civil.
- Ingeniero Geólogo nuclear Francisco Valdez Mendoza, quien de manera incondicional me apoyó en la corrección del texto y en asesoría en temas de biomimética, derechos de autor y otros rubros importantes.
- Investigadores, científicos y empresas que desarrollaron las investigaciones –cuyos textos, aquí extractados y citados– e ilustraciones –debidamente referenciadas– de vanguardia tecnológica y aportaciones al mundo, por la viabilidad de su incorporación parcial en el presente documento.
- Los entes emisores de las páginas de Internet de donde recabé información e imágenes, cuya aportación propició que tanto el texto como el aspecto obtuvieran mayor presentabilidad.
- Todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por su didáctica que me permitió formarme como profesionista con carácter de responsabilidad ética.
- La Facultad de Ingeniería Civil y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, porque me posibilitaron estudiar en sus instalaciones, que están al alcance de alumnos de escasos recursos económicos.

- Mis amigos, por brindarme siempre apoyo, en todo momento, y procurarme condiciones de días agradables, a pesar de problemas.
- Mi novia, Liliana Lizbeth Macías González, por su constante e incondicional apoyo, su cotidiano amor, estar en las buenas y en las malas, ayuda en el negocio familiar y estar siempre a mi lado, para mayor felicidad, perenne, de mi existencia.
- Mis compañeros de la Banda de Guerra de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular al instructor, Jorge Bautista Martínez (persona triunfadora, quien se propone –y cumple– metas: se logró obtener el pentacampeonato nacional), por infundir en mí disciplina.
- Mis familiares paternos: a) tíos Juan Escutia y Manuel Escutia, así como a mis tíos radicados en el extranjero, por enseñarme a ser laborioso para obtener bienes; b) abuelos, en especial a mi abuelita, Amparo Escutia, que es como mi segunda madre, me ha inculcado valores de respeto y amor. Gracias por ser un ejemplo a seguir, mamá.
- Mis parientes maternos: a) tíos; b) primos Oswaldo y Azhalia, que han sido como mis hermanos. Con ellos crecí y siempre nos hemos apoyado; c) un agradecimiento especial a mi abuelita, María Guadalupe Valdez Mendoza, que en paz descansa, quien siempre me enseñó que Dios existe, y me dio consejos de amor y respeto a los demás.
- Mis hermanos, Carlos David García Granados y José Abraham García Granados, por su apoyo permanente en ocasiones familiares difíciles, su fraternal amor y por ser personas de bien.
- Principalmente agradezco a mis padres, José Luis García Escutia y Paulina Limbania Granados Valdez, por su ejemplaridad, su indeclinable voluntad de mi superación durante mi etapa estudiantil y formar en mí un hombre de bien, con valores, inculcarme el amor de familia, lucha y trabajo por el bien propio y el de mis hermanos, no darnos por vencidos, a pesar de las adversidades que hemos afrontado. Gracias por haberme proporcionado todo lo necesario,

para no preocuparme si me faltaba algo, pues nunca me faltó; nada. Gracias por todo, papás.

- Desearía agradecer a muchas personas más, pero lo impide la brevedad de este espacio. Gracias a Dios, siempre he tenido grandes amigos, familiares y profesores que me han imbuido el logro de una vida exitosa y ayudaron a culminar mi carrera como Ingeniero Civil. Gracias a todos.

Dedicatorias

Quiero dedicar este trabajo a muchas personas que siempre han estado conmigo para formar en mí un carácter de lucha y éxito. De manera especial deseo dedicar esta tesis a aquel Ser que nos dio la vida y que creó todo lo que existe en el universo, ya que sin Él nada sería posible. Gracias, Dios, por darme la existencia, una familia y amigos extraordinarios. Gracias por guiarme en la vida y formar a un Ingeniero Civil que quiere ayudar a la sociedad.

También deseo dedicar esta tesis a todos mis amigos que realmente me han apoyado de corazón y me han dado consejos invaluable, que siempre acataré en mi vida laboral. Al Doctor José Carlos Rubio Ávalos, quien además de ser mi profesor e invitarme a formar parte de este proyecto tan importante, para mí es también un gran amigo, ya que me ha impartido consejos y enseñanzas de suma relevancia.

En especial, dedico el presente documento a mi mejor amiga, Liliana Macías, por ser en mí una motivación diaria a salir adelante, ya que también es el amor de mi vida.

Dedico este trabajo final a mi familia, a mi tío Francisco Valdez Mendoza, quien desde nuestra niñez nos ha inculcado, a mis primos, a mis hermanos y a mí, los beneficios del esfuerzo para superarnos y ser personas de bien, a mi abuelita Lupita, por sus muchos consejos, valores religiosos y de amor, en el tiempo que estuvo con nosotros.

Igualmente dedico esta tesis a mi abuelita Amparo Escutia, que me cuidó desde que era niño, siempre me dio valores de respeto, amor, me consintió y a diario aún me consiente, me da consejos muy importantes para vencer los obstáculos de esta vida tan difícil.

Así mismo, a mis hermanos, Abraham y Carlos, les agradezco su perdurable actitud de amor y respeto.

Un reconocimiento efusivo merecen mis papás, José Luis García y Paulina Limbania Granados. Sin ellos no habría sido posible el logro de estudiar para ejercer esta profesión. Siempre recordaré sus consejos, la perseverancia de estar pendiente de mis acciones, de corregirme cuando procedía mal y hacerme hombre de bien. Su intensa dedicación al trabajo ha sido permanente ejemplo, a mis hermanos y a mí, de que, si se quiere, se puede salir adelante. Finalmente, un fruto por guiarnos por el camino correcto, es el que, de manera exitosa, el día de hoy culmino mi carrera.

Gracias a todos.