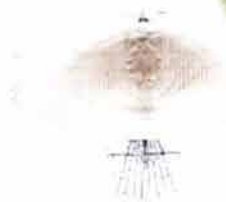



00172

Biodiseño Biología y Diseño Industrial



TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN DISEÑO INDUSTRIAL PRESENTA:

JANITZIO  ÉGIDO VILLARREAL

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
México, 2004





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Biodiseño Biología y Diseño Industrial

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN DISEÑO INDUSTRIAL PRESENTA:

JANITZIO ÉGIDO VILLARREAL

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
México, 2004



POSGRADO
en **diseño**
INDUSTRIAL
UNAM

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: JANITZLO EGIDO VILLARREAL

FECHA: 17/MAYO/2004

FIRMA: 

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Oscar Salinas Flores

**SINODALES: Profesor Horacio Durán Navarro
D.I. Guillermo Gazano Izquierdo
M. en D.I. Ana María Losada Alfaro
Ing. Ulrich Scharer Sauberli**

A mi esposa Elsa
Por su amor, apoyo y alegría.

A mis Padres
Por brindarme e inculcarme su especial visión de la vida.
También por apoyarme siempre.

A mis suegros
Por su apoyo y confianza.

A mis hermanos y cuñadas

Agradezco a mi esposa Elsa por el apoyo moral, revisión y asistencia en la edición de este trabajo.

Agradezco también a la Maestra Ana María Losada por su apoyo al invitarme a incursionar en este fascinante campo del Biodiseño y por toda su ayuda para la obtención del grado, así como al Dr. Oscar Salinas por la dirección de esta tesis.

Además agradezco al Profesor Horacio Durán, al Ing. Ulrich Scharer y al D.I. Guillermo Gazano, por fungir como Sinodales revisando el texto y brindándome valiosas sugerencias.

Deseo expresar mi profunda gratitud al Dr. Juan Pablo Gallo, por su invaluable apoyo para concluir esta tesis.

Un especial agradecimiento a todos los alumnos del seminario de Biónica de este Posgrado, por permitirme aprender de su experiencia, por compartir sus novedosas ideas y su entusiasmo por el tema, motivándome más aún para dedicar mi vida profesional a esta área.

Expreso también mi agradecimiento a la Señora Yolanda por su ayuda en el laberinto de los trámites.

Por último agradezco a todos aquellos que de una u otra manera hicieron posible este trabajo.

1. Introducción

Es sencillo mencionar que la vida en la tierra tiene una presencia de 3,500 millones de años y que en ese tiempo esta ha encontrado diversos caminos para sobrevivir y permanecer en las cambiantes condiciones de nuestro planeta. Pero imaginar todo ese tiempo resulta no ser tan simple y si tomamos en cuenta que existen aproximadamente 1,700,000 especies conocidas y presentes en la actualidad podemos comenzar a descubrir las dimensiones reales de lo que el tiempo y el ensayo constante han logrado.

Las respuestas de la vida a su entorno han cambiado tanto como este y han generado infinidad de mecanismos, procesos (tanto biológicos como ecológicos y evolutivos), materiales, códigos, patrones, conductas, etc. que aún se siguen descubriendo, interpretando y difundiendo.

Las nuevas técnicas y la nueva tecnología permiten cada vez un acercamiento más próximo a todos estos fenómenos y brindan nuevas respuestas, tanto a nuevas preguntas, como a preguntas que se habían respondido anteriormente (sin restarles mérito) con el alcance que las técnicas y la tecnología permitían entonces, enriqueciendo a algunas y cambiando las propias respuestas en otros casos. Esto, aunado al enorme acervo de información sobre los fenómenos biológicos, representa un catálogo de valor incalculable donde buscar soluciones a problemas de diseño. Soluciones que, como hemos mencionado, han sido el resultado de millones de años de ensayo.

Después de reconocer lo anterior, podría resultar tentador pensar que las soluciones se presentan directamente (razonamiento involuntariamente inocente). Si bien existen soluciones directas de la observación a la aplicación, no siempre es así y se requiere además de la observación y la interpretación de los fenómenos biológicos, de una abstracción para convertirlos en soluciones a problemas de diseño. De hecho podemos hablar de varias formas de aplicar los principios biológicos encontrados dependiendo de los objetivos y necesidades del diseño pudiendo ir de la copia fiel hasta una profunda abstracción de los principios involucrados, pasando por una aplicación pura de estos principios.

Este proceso representa un abierto trabajo conjunto entre dos actividades por naturaleza interdisciplinarias la Biología y el Diseño Industrial, ambas habituadas al manejo de diversos lenguajes en su quehacer cotidiano. La primera genera conocimiento basada en un sólido método, repetible y formal y cuyos resultados están a disposición de la comunidad (científica o no), y la segunda genera soluciones a infinidad de necesidades, mediante un robusto proceso creativo, integrador y sintetizador.

Como veremos durante el desarrollo de este trabajo, existen dos grandes áreas dentro de la generación de soluciones a partir de los seres vivos, La Biónica y la Biomimética, que son hasta cierto punto análogas, pues se originaron de una manera diversa, pero actúan de forma un tanto similar, coincidiendo en su resultado final, generar soluciones a problemas de diseño a partir del estudio de los seres vivos. Debido a ciertas diferencias que se verán en este trabajo, no pueden considerarse lo mismo y por ello las englobamos aquí, junto con otras actividades que veremos, en un campo más amplio que sería el Biodiseño (Biología Aplicada al Diseño), campo que el autor, (como biólogo que ha tenido la oportunidad y buena fortuna de estudiar, y trabajar con diseñadores industriales y ha compartido la empresa de orientar a otros diseñadores industriales) reconoce como un campo con enormes posibilidades.

2. Antecedentes

Acerca de los orígenes de la inspiración y la utilización de principios biológicos para el desarrollo de utensilios podemos intuir que tiene una historia tan antigua como el ser humano que no solo tallaba piedra para lograr "dientes" tan filosos como los de sus presas, sino que utilizaba partes de estas como herramienta. En cuanto a las primeras experiencias documentadas podemos mencionar a Leonardo da Vinci en 1505 con sus manuscritos sobre el murciélago y la utilización de sus características para construir una máquina voladora propulsada por el ser humano (Gerardin 1968), 400 años más tarde encontramos los trabajos de Adler quien también utilizó los principios de las alas de los murciélagos, pero con un enfoque distinto en el mecanismo de propulsión: una máquina de vapor y una hélice.

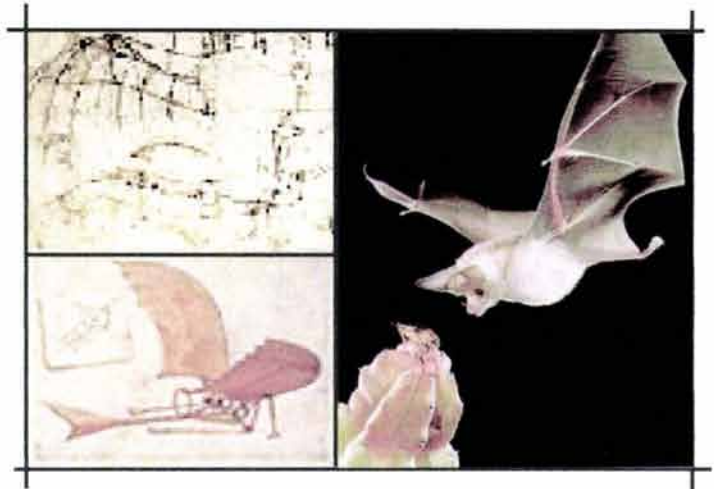


Figura 1. La máquina voladora de Leonardo Da Vinci es uno de los primeros trabajos documentados de aplicación de los principios biológicos al diseño

Por otro lado se encuentra el conocido Palacio de Cristal en París que se diseñó bajo la inspiración de las hojas de la planta *Victoria amazonica* por Joseph Paxton y fue construido en 1851.

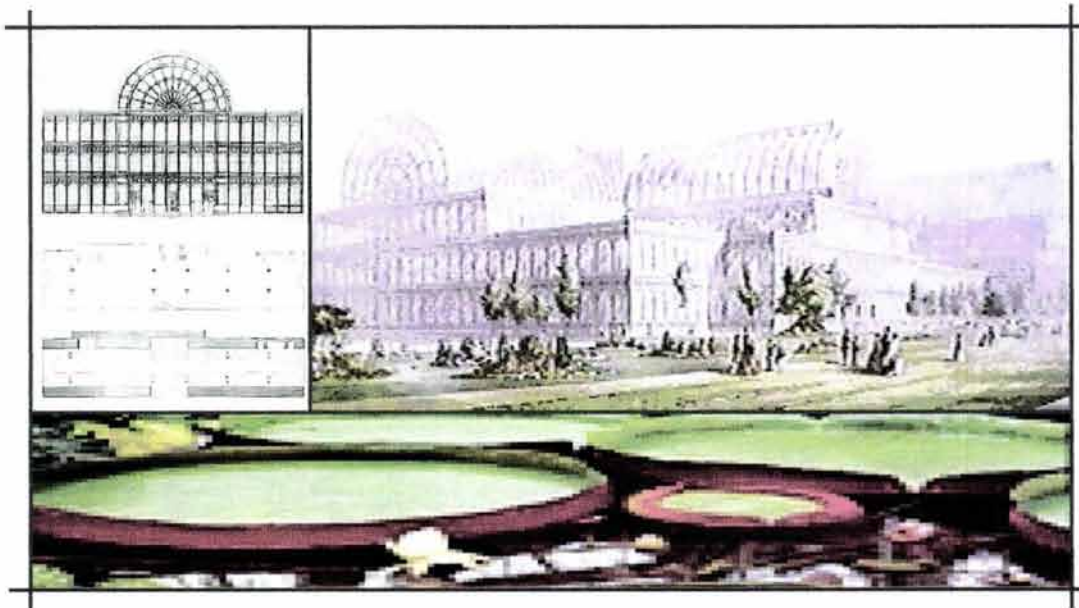


Figura 2. El Palacio de Cristal de Joseph Paxton es otro ejemplo de aplicación de los principios biológicos al diseño, en este caso diseño arquitectónico.

De manera formal una de las disciplinas (la Biónica) aparece a finales de la década de los años 60 cuando fue presentado el nombre en un congreso de ingenieros de la fuerza aérea estadounidense por el Capitán E. Steel. En un principio fue concebida, como las raíces del nombre lo indican, como la conjunción de la **Biología** y la **Electrónica** para dar solución a

problemas de esta última. Más adelante, fue modificando y ampliando sus objetivos, tratando de estudiar a los organismos vivos como "máquinas" vivientes, es decir tratando de encontrar en los organismos vivos, los principios físicos aplicados por la ingeniería en la construcción de máquinas. Finalmente, se llega a su enfoque actual, que es el estudio de los principios que rigen el funcionamiento de los seres vivos, para su aplicación en el diseño de productos, maquinaria y procesos.

La Biónica ha florecido de una manera tal que existen varias corrientes a nivel mundial entre las cuales encontramos a la estadounidense, que se centra en la cibernética; por lo tanto extrae principios del funcionamiento del sistema nervioso para su aplicación en sistemas de control, es decir sistemas de computación e inteligencia artificial. Los italianos, por su parte, se centran en la morfología y su aplicación al desarrollo de productos. Los rusos se dedican a morfología y fisiología para el desarrollo de procesos y productos y los japoneses y franceses a la aplicación de estos principios para aplicaciones biomédicas. En nuestro país existen varios grupos que trabajan con aplicaciones de principios biológicos en el diseño, por ejemplo el Posgrado de Diseño Industrial de la UNAM fomenta el desarrollo de esta actividad incluyéndola en su seminario de Biología aplicada al Diseño Industrial : Biología y diseño I (Principios de Biónica) y Biología y Diseño II a IV, además de haber iniciado la formación de un Laboratorio para la Biología Aplicada al Diseño Industrial, el Instituto Politécnico Nacional cuenta con la carrera Ingeniero Biónico, la UAM Xochimilco incluye dentro de su carrera de Diseño Industrial la materia Biónica, al igual que la Universidad de Aguascalientes.

Por su parte, la biomimética aparece a principios de los años 90 y a decir de Vincent (1998),

"se basa en el entendimiento de cómo los materiales naturales son puestos juntos... lo que somos capaces de hacer es aplicar toda clase de conceptos a nuevas tecnologías".

Lo anterior inclusive a niveles moleculares diseñando materiales desde una computadora, bajo los principios observados en la naturaleza y desarrollando los procesos requeridos para su obtención.

Es decir, la biomimética se centra principalmente en los materiales, sus orígenes, composiciones, formas, interacción con otros materiales, sus funciones en los seres vivos y su exportación al desarrollo de productos, procesos y tecnología en general. El velcro, inventado en 1948 por el suizo George Mestral, inspirado en las morfología de la semilla de la planta *Xanthium strumarium*, es uno de los más conocidos ejemplos de este trabajo.

En México existen diversos grupos que sin llamarla de esta manera, trabajan en su desarrollo, como lo son el Instituto de Investigaciones en Materiales con su trabajo sobre la fibra del coco por ejemplo.

Estas dos disciplinas (Biónica y Biomimética), serían las bases para lo que aquí llamamos Biodiseño, que es el tema de este trabajo.

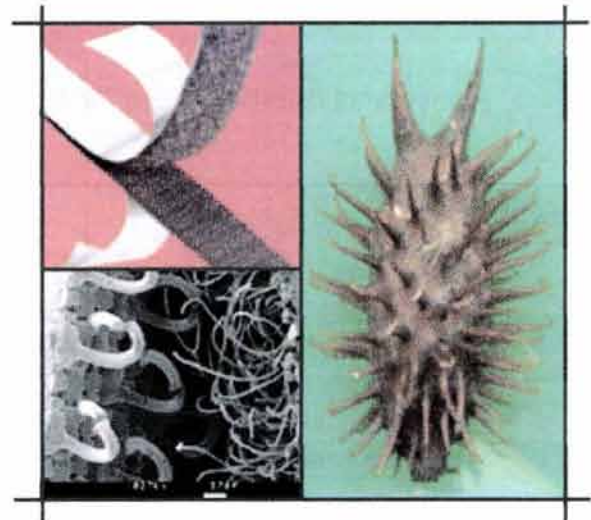


Figura 3. El Velcro y los ganchos de *Xanthium strumarium*.

3. Justificación

Como hablamos con anterioridad, la Biología aplicada al Diseño Industrial es un área con buenas perspectivas de desarrollo y una buena fuente de soluciones que requiere de un trabajo interdisciplinario y con esto en mente se evidencia la necesidad de establecer una comunicación clara entre dos actividades y esa es una de las intenciones de este trabajo, brindar un canal de comunicación entre estas dos áreas del conocimiento humano, llamando la atención de Diseñadores industriales a acercarse a la comunidad científica en busca de respuestas a sus necesidades y, por que no coadyuvar a generar nuevos conocimientos; y, por otro lado, llamar la atención de los Biólogos para integrarse a este campo que no solo les permitirá generar nuevos conocimientos, sino también aplicarlos activamente en el desarrollo de tecnología, procesos, productos, implementos biomédicos, etc.

Así, el Biólogo puede o bien dedicarse de lleno a esta actividad, o sin la necesidad de abandonar su carrera investigadora puede compartir sus conocimientos con los Diseñadores Industriales, y el Diseñador Industrial también puede dedicarse de lleno a esta actividad o bien valerse de una buena comunicación con los investigadores y establecer proyectos conjuntos, en beneficio de un México que requiere de la innovación y la apertura de nuevos campos de acción que propicien su desarrollo.

4. Objetivos

4.1 General

Fomentar el desarrollo de la Biología aplicada al Diseño Industrial

4.2 Particulares

Brindar un panorama amplio a la comunidad de Diseño Industrial sobre la posibilidad de emplear los principios de los seres vivos en la generación de productos y procesos.

Brindar a la comunidad Bióloga un amplio panorama sobre las posibilidades de desarrollo de este campo interdisciplinario.

Contribuir con un temario para la formación en esta área.

5. La Biología

A decir de la definición más "sencilla " que podemos encontrar, la Biología es la ciencia que estudia la vida, lo que invariablemente nos conduce a la pregunta ¿que definimos como un ser vivo?. No obstante que la intención de este trabajo no es la especulación acerca de este tema, podemos profundizar un poco, pero muy poco en la definición de un ser vivo, con el ánimo de hablar todos el mismo idioma cuando nos refiramos a los seres vivos a lo largo de este documento y en nuestras conversaciones con los Biólogos en caso de que este trabajo logre despertar el interés de algún Diseñador.

A grandes rasgos, un ser vivo:

1. **Se reproduce:** los organismos reproducen a los de su propio tipo, mediante la replicación de su material genético (de aquí la discusión sobre la consideración o no de los virus como seres vivos, pues estos dependen del material genético de sus hospedantes para su reproducción).
2. **Muestra evidencia de crecimiento y desarrollo:** Los programas heredables en forma de ADN dirigen el patrón de crecimiento y desarrollo, generando un organismo que es característico de su especie.
3. **Muestra evidencia de transferencia y utilización de energía útil:** los organismos toman energía, la almacenan y transforman en diversas formas de trabajo.
4. **Responde a estímulos de su entorno.**
5. **Es significativamente diferente del ambiente que lo rodea** y mantiene su ambiente interno dentro de límites tolerables, no obstante que el ambiente exterior varíe.
6. **Actúa de tal manera de asegurar su auto preservación.**

Estos son los conceptos básicos que pueden definir a un ser vivo, pero al final veremos que todos los principios que estudiaremos lo definen de una manera más completa.

Volviendo a la Biología, esta puede ir de un lado al otro de la escala de dimensiones transportándonos a mundos microscópicos buscando los fundamentos de la vida, o bien puede llevarnos a una mega-escala al estudiar a los organismos y sus relaciones con su entorno, es decir los ecosistemas. Más aún, puede transportarnos al pasado revisando el catálogo de especies que antecedieron a las actuales, en la búsqueda de los procesos que dieron origen a los organismos presentes en nuestros días.

A decir de Campbell et al. (1996) "nos encontramos en la era más excitante de la Biología, en la cual sus investigadores están revelando algunos de los fenómenos más complejos mediante nuevos enfoques y nuevos métodos de investigación".

5.1. Principios

A lo largo de su historia, la biología ha ido encontrando diversos principios que rigen a los seres vivos de una manera general. En esta sección presentaremos los principios básicos y más generalizados.

5.1.1 La vida está organizada en niveles estructurales.

Una característica básica de la vida es su alto nivel de orden, dentro de un ambiente que tiende al desorden. Un orden que en gran medida está basado en una jerarquización de niveles estructurales, cada nivel construido por los niveles inferiores a este. De esta forma, los átomos están ordenados de tal manera que forman moléculas biológicas complejas, tales como las proteínas. A su vez las moléculas de la vida están ordenadas en estructuras conocidas como organelos, los cuales conforman la célula. Si bien algunos organismos están constituidos por una sola célula, otros como las plantas y animales son agregaciones de muchos tipos de células especializadas y en estos organismos multicelulares, las células similares están agrupadas en tejidos y los arreglos de varios tejidos forman órganos que, al agregarse con otros órganos, forman sistemas (Figura 4).



Figura 4. La vida está jerarquizada en niveles estructurales cuyos niveles están constituidos por los niveles inferiores.

Estos sistemas conforman a un individuo, pero hacia el exterior de éste siguen existiendo jerarquizaciones, así tenemos que varios individuos de la misma especie, localizados en un área común conforman una población con características de organización propia, las que al vivir en una misma área con poblaciones de otras especies forman una comunidad biológica, y las interacciones de las comunidades con otras comunidades y con las características no biológicas del ambiente tal como el agua, y el suelo forman un ecosistema.

Esta jerarquización, como veremos más adelante, confiere propiedades características a las diferentes estructuras que constituyen a los seres vivos, como ahorro de energía, fortalecimiento de las mismas, control, etc.

Es importante puntualizar que los fenómenos biológicos trascienden estas jerarquías con causas y efectos a diferentes niveles de organización. Esto es particularmente importante para los propósitos de este trabajo pues del estudio de estas causas, efectos y niveles de organización surgen ideas, explicaciones y modelos cuya aplicación es posible en términos de diseño.

A

Los fenómenos biológicos trascienden a las jerarquías con causas y efectos a diferentes niveles de organización. Esto es particularmente importante para los propósitos de este trabajo pues del estudio de estas causas, efectos y niveles de organización surgen ideas, explicaciones y modelos cuya aplicación es posible en términos de diseño.

5.1.2 Cada nivel de organización biológica tiene propiedades emergentes.

En la naturaleza en general, vemos que la conjunción de partes conlleva la aparición de propiedades emergentes que los componentes por separado no presentaban.

Por ejemplo el Sodio (un metal) se combina con cloro (un gas venenoso) y forman Cloruro de sodio, la sal común (Figura 5).

Para la vida esto es particularmente importante, pues conforme se avanza hacia los niveles superiores en las jerarquías, van emergiendo nuevas propiedades que los componentes de esa jerarquía no presentaban aisladamente. Dichas propiedades surgen de las interacciones entre sus componentes y son indispensables para el siguiente nivel en la jerarquía.

A decir de Campbell et al. (1994) en cada nivel de las jerarquías de la vida, el total es mayor a la suma de sus partes.

Así, las proteínas presentan propiedades que ninguno de sus átomos presentaba por separado.

Y un músculo y dos huesos por separado (Fig. 6a) pueden desempeñar ciertas funciones pero en combinación pueden cumplir la función de una palanca (Fig. 6b).

Lo mismo se puede aplicar a los objetos de diseño, por ejemplo, la cabeza de un martillo y su mango por separado poco pueden hacer para clavar un clavo, pero si se les une de determinada manera, emerge la función del martillo como tal.

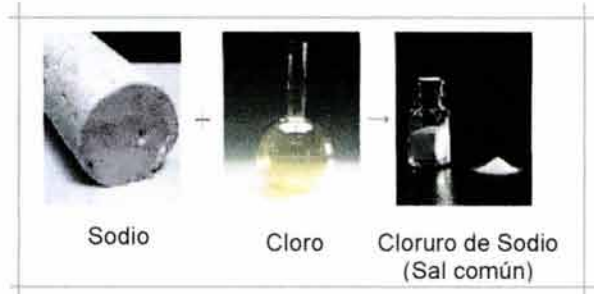


Figura 5. En la naturaleza la conjunción de partes conduce a la aparición de propiedades emergentes que los precursores por separado no presentaban. (Modificada de Campbell et al. 1994)

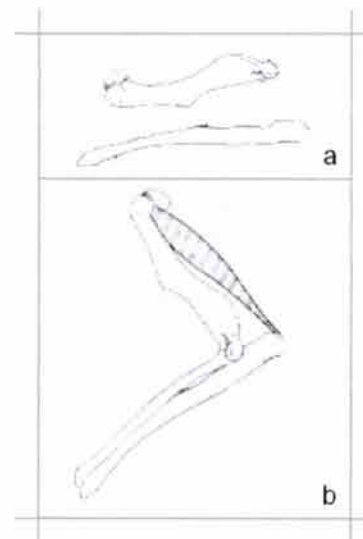


Figura 6. Otro ejemplo de propiedades emergentes. Dos huesos y un músculo juntos pueden cumplir la función de una palanca, algo que por separado no pueden hacer.

5.1.3 Las células son las unidades básicas de estructura y función.

La célula es la unidad funcional de la vida y por ende de todos los seres vivos y se define a grandes rasgos como una organización particular de materia rodeada por una membrana selectivamente permeable, capaz de auto reproducirse sin la presencia de otro ser vivo (lo que excluye a los virus)

Todos los seres vivos están compuestos por una o más células, siendo la célula la unidad más pequeña capaz de realizar todas las funciones vitales. Algunas células son más complejas que otras, pero todas ellas son capaces de crecer y reproducirse, como se mencionó anteriormente.

Las células obedecen a las mismas leyes físicas y químicas que rigen al resto del universo, es decir, no existen leyes únicas para los seres vivos, lo particular es como éstos hacen uso de ellas de diversas maneras.

Son 10 las características principales que definen a las células como entidades vivas:

- 1.- Obedecen a las leyes de la energética.
Transforman energía
- 2.- Están altamente estructuradas
3. Tienen un origen evolutivo
4. Las células metabolizan:
Procesan nutrientes, poseen rutas metabólicas, se auto ajustan por la regulación metabólica
5. Las células se auto replican (se dividen)
6. Las células osmoregulan.
7. Las células se comunican
8. Muestran animación (Ciclosis)
9. Crecen, se dividen y se diferencian
10. Las células mueren

A decir de Campbell et al. (1996), la célula tiene un lugar especial en las jerarquías de la vida de las que hemos hablado, pues es el nivel más bajo de organización que puede vivir como un organismo.



Figura 7. La célula, unidad básica de la vida

B

Las células obedecen a las mismas leyes físicas y químicas que rigen al resto del universo, es decir, no existen leyes únicas para los seres vivos, lo particular es como estos hacen uso de ellas de diversas maneras, lo que para este trabajo es muy importante pues precisamente ahí podemos encontrar diferentes soluciones a problemas de diseño.

5.1.4 La continuidad de la vida está basada en información heredable en forma de ADN.

Todos los seres vivos tienen moléculas de ADN (Ácido Desoxirribonucleico) dentro de sus células, las cuales codifican información para dirigir el crecimiento y el desarrollo. Estos juegos de instrucciones están organizados en forma de genes, los cuales determinan como será el organismo (Johnson y Raven, 1996).

Durante la reproducción estos juegos de instrucciones son pasados a la descendencia.

Un aspecto importante es que estos juegos están formados por solo 4 tipos de moléculas diferentes (bases) que se combinan en un código definido y que están conformados de tal manera que permiten una redundancia en la información que, a su vez, permite una disminución en los efectos de los errores de codificación.

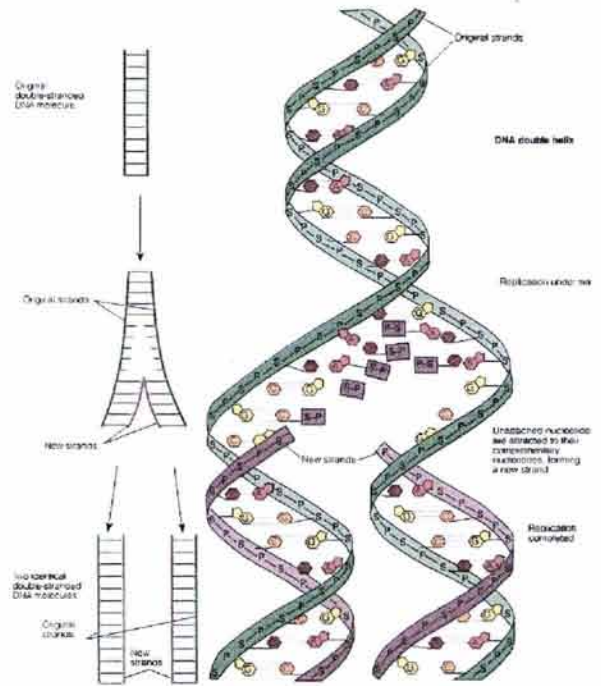


Figura 8. Molécula de DNA y su replicación.

5.1.5 La estructura y la función están correlacionadas a todos los niveles de la organización biológica.

Estructura es la manera en la que los componentes de un todo se interrelacionan y **Función** es la operación de distintos componentes individuales como parte de la estructura y de cuya conformación depende. De lo anterior se desprende que la estructura y la función están íntimamente relacionadas.

Los seres vivos, como entes estructurados no son la excepción y esto se aplica a todos los niveles de la organización jerárquica de la que hemos hablado.

Así tenemos, por ejemplo, que los huesos de las aves están conformados por trabéculas muy espaciadas, dando lugar a un hueso ligero pero con gran resistencia que permite que el ave vuele sin problemas de peso (Figura 9).

A su vez, los huesos del ala se hallan relacionados de tal manera con los músculos pectorales (Fig. 10), que brindan una estructura firme y lo suficientemente poderosa para mantener al ave en vuelo, ya sea mediante el aleteo o mediante el planeo.

Al mismo tiempo, esta estructura, junto con el arreglo de diversos tipos de plumas, permiten una forma aerodinámica de las alas que optimiza el vuelo (Figura 11)

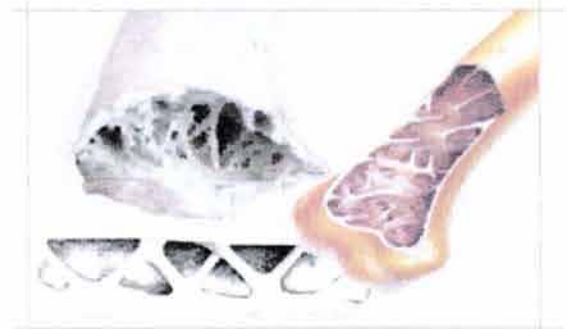


Figura 9. La estructura trabecular de los huesos de las aves, les confiere ligereza y resistencia para el vuelo.



Figura 10. Los músculos se estructuran con los huesos de tal manera que cumplen funciones específicas. Aquí el músculo supracoracoideos (—) Permite el giro del ala mientras esta es elevada, y el músculo pectoralis mayor (—) permite el abatimiento del ala.

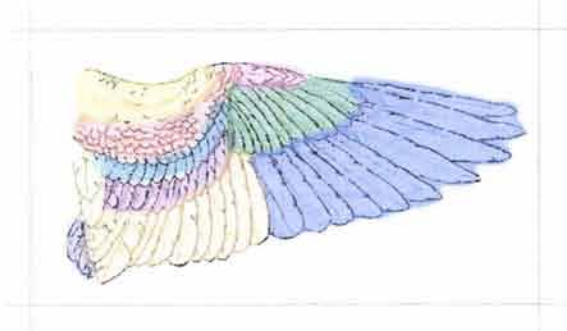


Figura 11. Las aves cuentan con diferentes tipos de plumas, que con base en su estructura cumplen funciones diferentes, y estas, estructuradas con la piel, músculos y huesos permiten una optimización aerodinámica y (refiriéndonos al inciso 5.1.2) un aislamiento térmico y de humedad.

5.1.6 Las estructuras biológicas cumplen, por lo regular, varias funciones al mismo tiempo.

Por lo regular las estructuras biológicas cumplen más de una función, producto de su conformación, así tenemos que los huesos largos de los mamíferos no solo cumplen con la función de inserción de los músculos para formar palancas, sino que en su interior la médula ósea (tejido hematopoyético) genera las células responsables del combate de infecciones, como son los glóbulos blancos, células T, etc. (Figura 12). Más adelante en la jerarquía, el esqueleto en su totalidad no solo brinda rigidez al cuerpo, sino que, debido a la conformación de sus diferentes componentes, permite una movilidad, mediante ejes de giro, lubricantes, etc.

Otro ejemplo es la aleta dorsal de los delfines, la cual, además de proporcionar estabilidad durante el nado, es una estructura de intercambio de calor, (Figura 13), similar caso es el de las orejas de la liebre, que además de cumplir con la función de concentración de las ondas sonoras y su direccionamiento hacia el oído medio, son importantes sitios de intercambio de calor con el ambiente, por su gran superficie de disipación.

Este carácter multifuncional de las estructuras de los seres vivos confiere, entre otras propiedades: Ahorro de energía, de espacio, aprovechamiento óptimo de los materiales que las conforman, etc.



Figura 12. Los huesos largos de los mamíferos no solo cumplen funciones biomecánicas, sino que albergan al tejido productor de células del sistema

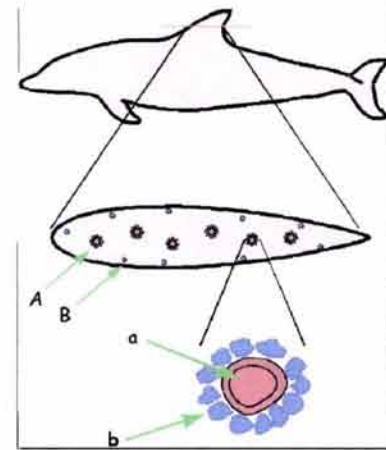


Figura 13. Las aletas de los delfines además de cumplir las funciones de estabilización del nado, cumplen funciones de regulación de la temperatura corporal, mediante un sistema de contracorriente del flujo sanguíneo. (Tomado de Kastelein, 1990).

5.1.7 Los organismos son sistemas abiertos que interactúan continuamente con su ambiente.

Los organismos no se encuentran aislados de su entorno pues intercambian con éste materia y energía. Materia por ejemplo en forma de nutrientes que toman del ambiente y utilizan en sus procesos internos, y energía en forma de absorción de energía luminosa para la fotosíntesis, así tenemos que las algas microscópicas marinas toman nutrientes del agua del mar, y energía luminosa de la radiación solar, utilizando ambas para sus procesos internos, y a la vez liberan oxígeno al ambiente y materiales de desecho. Es decir, que ambos tanto el ser vivo como el ambiente se ven modificados por esta interacción.

Como vemos, estas interacciones se pueden dar tanto con el entorno inorgánico, así como con otros organismos dentro del ecosistema.

Los seres vivos son, entonces, sistemas abiertos.

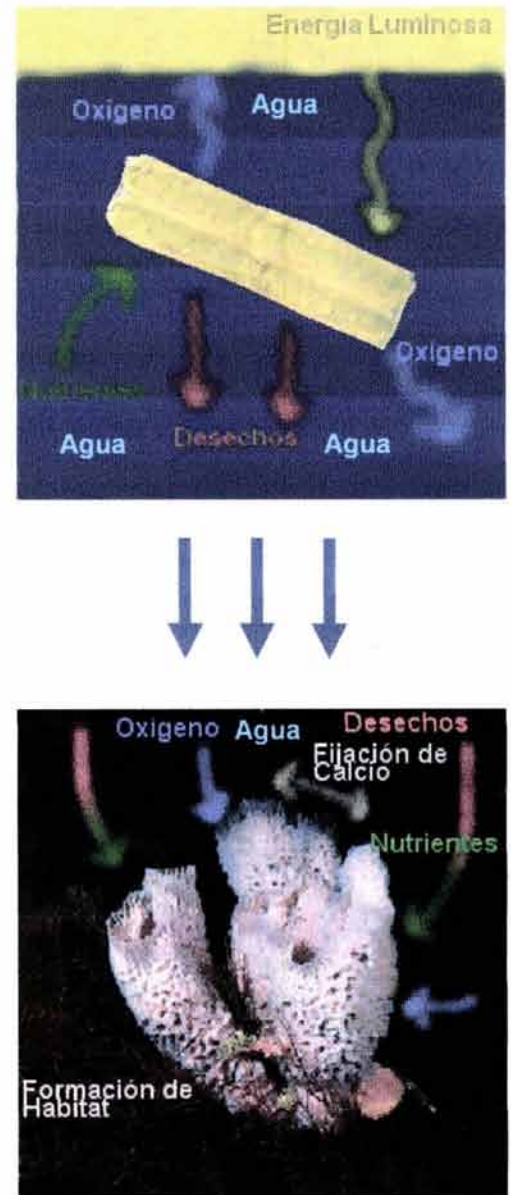


Figura 14. Los organismos como sistemas abiertos que intercambian materia y energía con su entorno, relaciones de las cuales ambos (organismo y entorno) resultan modificados.

5.1.8 Todos los seres vivos mantienen unas condiciones internas relativamente estables, en algunas ocasiones muy diferentes a las condiciones del entorno. Esto es conocido como **homeostasis**.

Los seres vivos cuentan con mecanismos reguladores que les permiten mantener un ambiente interno dentro de los límites tolerables para un buen funcionamiento.

El mencionar condiciones estables no significa que sean estáticas, y en muchas ocasiones las fluctuaciones en el interior son necesarias para mantener este funcionamiento adecuado.

Estos mecanismos pueden trabajar con base en una retroalimentación positiva o negativa según sea el caso.

Positiva: involucra el cambio en alguna variable, que “dispara” un mecanismo que amplifica el cambio, más que inhibirlo. Por ejemplo durante el parto, la presión de la cabeza del bebé sobre los sensores cerca de la salida del útero estimula las contracciones uterinas, lo que causa un aumento en la presión contra la salida del útero, aumentando las contracciones, lo que ocasiona una presión mayor, etc.

Negativa: Un cambio en una variable “dispara” un mecanismo que revierte dicho cambio. Por ejemplo, un receptor en la piel detecta un descenso en la temperatura externa, y el organismo reacciona bloqueando los mecanismos de pérdida de calor (que en condiciones de altas temperaturas le permiten perder calor), cerrando poros en la piel, construyendo los vasos sanguíneos periféricos, etc.



Figura 15. Retroalimentación positiva.

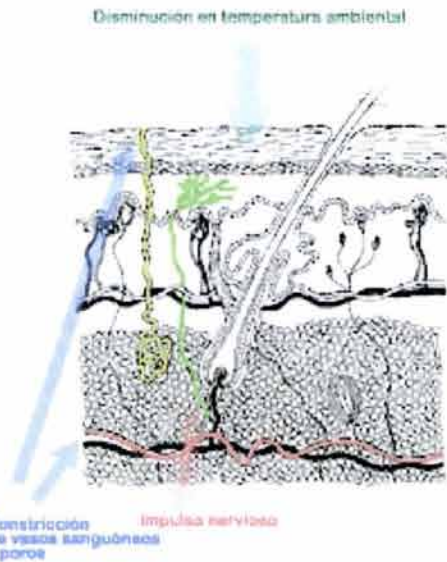


Figura 16. Retroalimentación negativa.

5.1.9 Diversidad y unidad es una característica dual de la vida en la tierra.

La vida en la tierra tiene un carácter dual, pues por un lado refleja una enorme **diversidad**, pero a la vez existe una **unidad** entre todos los seres que la conforman.

Diversidad. Evidente en los cerca de 1,700,000 especies que han sido identificadas. Especies que han desarrollado diversos mecanismos de respuesta al ambiente y que difieren entre si en formas, tamaños, mecanismos, conductas, y en muchos otros aspectos presentando "enfoques" diferentes a problemas similares (Figura 17).

Un ejemplo de esto último sería el desplazamiento en el agua: algunas especies lo han resuelto mediante el movimiento "espiral" de una estructura cilíndrica elongada (flagelo) como en el caso de los protozoarios conocidos como euglenas, mientras que otras especies utilizan la "propulsión a chorro" mediante un sifón como los pulpos o las escalopas, a la vez que otras especies utilizan aletas para "empujar" el agua y así desplazarse como hacen los peces, los pingüinos o los mamíferos marinos.

Unidad. Pero dentro de toda esa diversidad existe una unidad entre las diferentes especies tanto a niveles básicos de organización así como en complejos mecanismos y procesos.

El código genético con principios universales para todos los seres vivos es un claro ejemplo. Los mecanismos y procesos de flujo e intercambio de energía son los mismos en diferentes formas de vida y (como señala Campbell et al. 1996) las llamadas rutas metabólicas usadas por las células son las mismas en bacterias, plantas y animales, tales como la Glicólisis el Ciclo de Krebs, la Fosforilación Oxidativa y la Fotosíntesis (Figura 18).

Un ejemplo a nivel estructural serían los cilios (pequeñas vellosidades) que presentan animales tan distintos como el *Paramecium* (un protozoario) y un perro (un animal) ambos los utilizan para el desplazamiento, pero el primero de todo su cuerpo en el sustrato acuoso en el que habita y el segundo para el desplazamiento de la mucosidad que recubre al tracto respiratorio, manteniendo así limpios los pulmones. Pero la similitud va más allá, pues la estructura microscópica de ambos es exactamente la misma, la conocida como 9+2 pues si hacemos un corte transversal del cilio encontramos nueve pares de microtúbulos formando el cuerpo del mismo, más dos túbulos en la parte central (Figura 19).

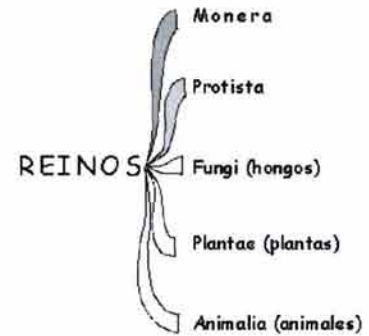


Figura 17. Clasificación de los seres vivos en cinco reinos.

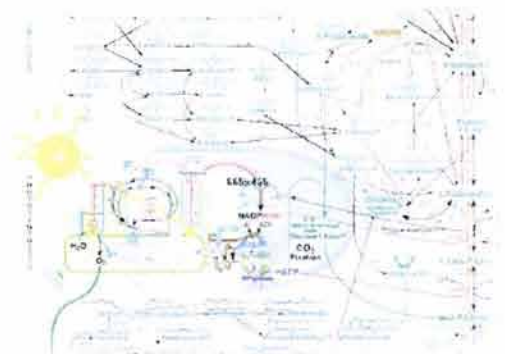


Figura 18. Fragmento de las rutas metabólicas presentes en los organismos vivos (en este fragmento se distingue la fotosíntesis).



Figura 19. Microestructura de los cilios. Nótese el arreglo "9+2" de los pares de microtúbulos que lo componen.

C
 ... (los seres vivos) difieren entre si en formas, tamaños, mecanismos, conductas, y en muchos aspectos **brindando "enfoques" diferentes a problemas similares**, siendo esta diversidad de respuestas **una diversidad de posibles soluciones**, también, a problemas de diseño.

5.1.10 La evolución es un tema central en la Biología.

Los seres vivos son sistemas muy lejos de ser estáticos, pues para seguir presentes en un mundo que cambia constantemente se requiere de mantenerse, también, en constante cambio. Este cambio se da a través de generaciones dentro de las poblaciones y es posible gracias a la variabilidad genética existente dentro de una misma población y a mutaciones, que en su manera más drástica, se refleja en individuos con diferentes capacidades de respuesta a los posibles cambios en su entorno (Figura 20). Así, si los cambios favorecen una mayor reproducción de una variación específica, esta se fijará en esa población y se alejará de la población original eventualmente dando lugar a una nueva especie. Los cambios en el ambiente mencionados actuarían, pues, como "seleccionadores".

Este cambio continuo de la organización de la vida es lo que conocemos como Evolución.

1. Las especies cambian y las especies contemporáneas surgieron de una sucesión de ancestros a través de un proceso de "descendientes con modificaciones".
2. Un mecanismo de cambio evolutivo es la Selección Natural.

Los descendientes con modificaciones cuentan tanto para la unidad como para la diversidad de la vida.

- Las similitudes entre dos especies pueden ser el reflejo del hecho de que descienden de un ancestro común.
- Las diferencias entre especies pueden ser el resultado de la selección natural que modifica el "equipamiento" ancestral en diferentes contextos ambientales.

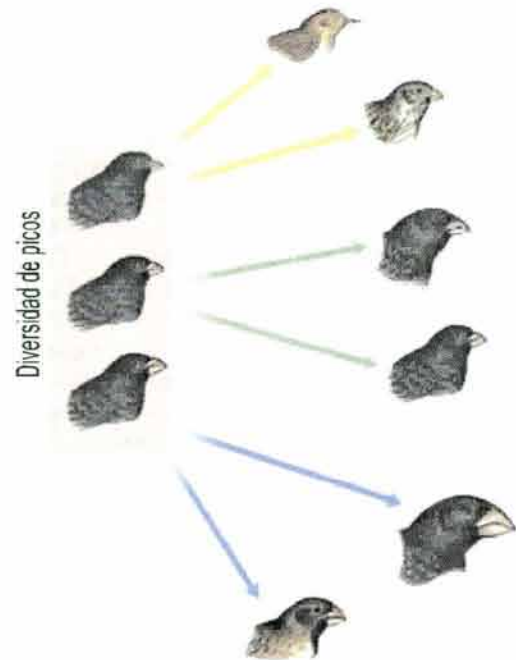


Figura 20. Diversidad y evolución. Si la diversidad de picos (en este caso) permite la explotación de nuevos ambientes gracias a lo cual existe un éxito diferencial, esto puede llevar a una especiación.

5.1.11 Los seres vivos responden a un Principio de Diseño Óptimo.

A decir de Popescu (1999) tanto la organización estructural, como la perfecta operación de los sistemas vivientes, son el resultado de leyes y principios específicos, que guían la estructuración y funcionamiento de la materia viva. Uno de estos principios fue llamado en 1967 por Rosen (en Popescu 1999) el Principio de Diseño Óptimo (PDO) el cual había sido detectado por autores anteriores como France (1920, 1921), D'Arcy Thompson (1945) y Raqshevsky (1960) (Todos en Popescu, 1999) y ha sido utilizado por autores posteriores como Dullemeier (1972) y Alexander (1982) (ambos en Popescu, 1999). El mismo autor señala que:

"...como todo principio, no puede ser probado directamente, pero sus consecuencias son verificadas a gran escala y a diferentes niveles de organización, desde el molecular hasta el poblacional".

El principio está gobernado por dos elementos típicamente Darwinianos: Las estrategias de sobrevivencia y la selección natural, tal como se comentó en el inciso anterior.

La selección natural ejerce una "presión" sobre todo cambio estructural o funcional y por lo tanto, sobre el "diseño" de los individuos y sus subsistemas y, si los cambios son favorables, los nuevos "diseños" soportarán dichas presiones conformando individuos "optimizados" de acuerdo a algún criterio particular.

De acuerdo al PDO una estructura biológica (célula, tejido, órgano u organismo), como resultado de la selección natural cumple con tres condiciones:

1. Satisface su función relativamente en la forma más económica posible (con mínimos errores)
2. Consume mínima energía y materia para construcción, mantenimiento, operación, renovación y reparación
3. Mantiene las cualidades 1 y 2 bajo diferentes condiciones (por supuesto, si estas no cambian a gran escala)

Pongamos por ejemplo a los tiburones, si bien el patrón morfológico para las condiciones marinas actuales es el óptimo (hecho evidente al encontrarlo en todas las especies de tiburones), otras optimizaciones han debido surgir a otros niveles, lo que se relaciona con las estrategias de sobrevivencia, digamos en cuanto a consecución de alimento.

Algunas especies de tiburones han sido optimizadas para la alimentación filtradora, otras mordedora y otras cazadora lo que conllevó cambios en tamaño, mecanismos bucales y conducta (Figura 21).

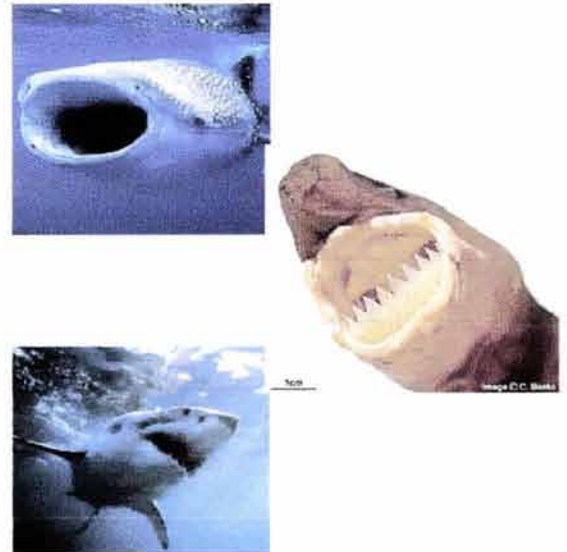


Figura 21. El plan corporal de los tiburones es básicamente el mismo, pero sus estructuras bucales se han diversificado para realizar un aprovechamiento óptimo de su forma de alimentación.

5.2. El Método Científico

La Biología, como la ciencia en general, es una búsqueda sistemática de información con la intención de revelar los secretos del mundo natural (Starr, 1999). Los Biólogos ahora estudian tópicos que van desde la estructura molecular del virus que causa el SIDA, hasta la formación de agujeros en la estratosfera. A decir del mismo autor tanto queda por aprender que pocas disciplinas claman por la naturaleza en general como su área de interés (lo que en realidad ha llevado a una especialización en diferentes campos del conocimiento), y nadie serio asegura que un solo método es suficiente para estudiar la complejidad de la naturaleza.

No obstante toda esta especialización, los científicos de todas partes tienen prácticas en común. Hacen preguntas, elaboran posibles explicaciones y visualizan posibles maneras de probar predicciones que pudieran ser verdaderas en caso de que sus explicaciones fueran acertadas.

Llamaremos a estas prácticas **Método Científico** toda vez que un método (según Gutiérrez, 1980) es el camino o procedimiento viable para conseguir un fin propuesto, siendo, entonces el método científico, el o los procedimientos adecuados para lograr los fines propios de la ciencia. Cabe mencionar que existe siempre la controversia acerca del rigor con que debe seguirse un esquema del método científico en particular (no confundir con el rigor en el momento de seguir los pasos del método elegido para realizar el trabajo científico), en otras palabras, podría decirse que existe un esquema general del método científico, pero no es inalterable ni inmodificable en sus partes, pues como se mencionaba en un párrafo anterior, estamos hablando de prácticas comunes de los investigadores. Pero debemos puntualizar que, gracias a un **buen método**, el científico logra con mayor seguridad el **control de variables** (por lo tanto una mayor certeza en la veracidad de sus resultados), una **repetitibilidad** que es muy importante para la comunidad científica (y veremos que también para la aplicación de la Biología al Diseño Industrial), pues esto permite la corroboración de trabajos anteriores, la continuación de otros trabajos por otros grupos de trabajo o por el mismo investigador y la modificación de dichas variables para buscar nuevas respuestas a los problemas planteados. También logra la **producción tecnológica**, la **explicación de la realidad** y la **satisfacción intelectual**.

Johnson et al. (1996) brindan un elemento más a esta definición de método científico, señalando que “detrás de toda investigación científica, está una aproximación **hipotético-deductiva** con la cual los científicos hacen preguntas y prueban respuestas.” Este método les permite modificar y corregir sus ideas al tiempo que surgen nuevas observaciones e información.

D

... gracias a un **buen método**, el científico logra con mayor seguridad el control de variables (por lo tanto una **mayor certeza** en la veracidad de sus resultados), una **repetitibilidad** que es **muy importante** para la comunidad científica y veremos que también para la aplicación de la Biología al Diseño.

Las etapas generales del método científico de las que hemos hablado serían:

1. Observación de un fenómeno
2. Formulación de preguntas que delimitan al fenómeno
3. Formulación de una hipótesis sobre el fenómeno
4. Comprobación (experimental o fundamentación)
5. Reporte de resultados

6. Un posible paso siguiente, es la integración de estos resultados con los resultados de otras investigaciones relacionadas con el fenómeno, lo que puede llevar a la formulación de una teoría.

Tomemos un ejemplo real de este proceso: El mecanismo de autolimpieza de la piel de ciertos delfines a partir del estudio de Baum (2002).

1. Observación de un fenómeno.

Un grupo de investigadores encuentra que la piel de los calderones de aleta larga (*Globicephala melas*) no presenta acumulación de material biológico en su superficie a diferencia de las estructuras creadas por el hombre que permanecen sumergidas en el agua como embarcaciones, columnas de concreto de muelles y plataformas petroleras, etc., las cuales es por todos conocido que acumulan desde una capa lamosa, hasta percebes (las famosas estructuras cortantes que nos impiden sostenernos cómodamente de los muelles cuando flotamos en el mar).



Además, de manera independiente, otros investigadores encuentran que ciertas especies presentan una superficie con una conformación rugosa, pero a escalas microscópicas, fenómeno que se encontró en ciertos escarabajos y plantas.

2. Formulación de preguntas que delimitan al fenómeno

Los investigadores, con base en sus hallazgos y los reportes generados por otros grupos de investigación inician una serie de preguntas tomando en cuenta factores internos biológicos y físicos.

Por ejemplo:

- ¿Dependerá esta limpieza de condiciones del agua como temperatura, salinidad, densidad, etc?
- ¿Será la conformación con rugosidades microscópicas de la piel una causa de que esta se mantenga limpia en un ambiente sumamente agresivo?
- ¿Cómo es que estas rugosidades afectan el desempeño hidrodinámico de la superficie de la piel?
- ¿Existirá algún mecanismo de autolimpieza tan eficaz que permite esta piel libre de biocontaminantes?

Cabe destacar que al mismo tiempo de formularse estas preguntas, el investigador realiza un proceso de búsqueda de información existente sobre el tema o temas relacionados. En nuestro ejemplo, los autores encontraron, primero, que estos calderones se distribuyen ampliamente en el mundo en aguas con muy diversas temperaturas, salinidades, etc. (como se muestra en el mapa) por lo que descartan las condiciones del agua como un responsable del fenómeno. Por otra parte, encontraron que en especies tan lejanas evolutivamente a los delfines, como son los escarabajos y algunas plantas, la superficie del cuerpo o de las hojas está conformada por rugosidades microscópicas (en su caso recubiertas por una capa de cera), que retienen menos eficazmente las partículas contaminantes que el agua que recorre su superficie, por lo que ésta arrastra fácilmente los contaminantes presentes en dicha superficie.



3. Formulación de una Hipótesis sobre el fenómeno.

Los investigadores, entonces tienen elementos para plantear una hipótesis acerca del fenómeno:

“Si existen mecanismos de autolimpieza en la piel de los calderones de aleta larga, entonces están relacionados con su **ultraestructura**¹”.

4. Comprobación (experimental o fundamentación).

El planteamiento de la hipótesis lleva, a su vez, al planteamiento de la forma de comprobar esta suposición. Esta comprobación por lo general es de tipo experimental, aunque en algunos casos se puede llevar a cabo mediante la integración de conocimientos previos y su análisis riguroso.

Cabe mencionar que en esta parte del **Método Científico** interviene una serie de pasos que conforman el **Método Experimental**. Para conocer los pasos de este método refiérase al siguiente inciso, donde se muestra la estructura básica de un reporte científico, el cual refleja fielmente este proceso.

La experimentación se lleva a cabo tomando en cuenta la mayor cantidad de variables posibles y manteniendo constantes las mismas, **excepto la variable de interés**.

En nuestro caso, los investigadores toman muestras de piel de 30 individuos congelando algunas y sometiendo otras a un proceso conocido como fijación, que permite la conservación de las muestras casi indefinidamente, pero que en algunos casos modifica las propiedades del tejido (por ello algunas muestras son congeladas).

Observan las muestras en un criomicroscopio electrónico y someten otras muestras a digestión con una proteasa (tripsina) conocida como un inductor de descamación a mediano plazo de la piel en otros mamíferos marinos.

Se toman fotografías y se les da un tratamiento digital para mejorar su definición y claridad, midiendo los poros formados por las nanorugosidades encontradas.

5. Reporte de resultados.

Como mencionamos antes, la experimentación culmina con un reporte que relata de manera concisa el proceso y los resultados, así como la relación que guardan estos con la hipótesis planteada.

Los componentes del proceso y del reporte se muestran a continuación:

Introducción. Breve explicación del fenómeno y marco teórico.

Explicación acerca de la bioacumulación de contaminantes en superficies sumergidas en el agua, la morfología de la piel de la especie estudiada y el fenómeno de autolimpieza observado en ciertos escarabajos y plantas.

¹ Ultraestructura = Estructura a niveles microscópicos a moleculares.

Justificación. Explicación de la importancia del estudio y sus resultados.
Es importante conocer las razones de la ausencia de biocontaminantes en la piel de los calderones de aleta larga, que les permite conservar las condiciones hidrodinámicas de su cuerpo, vitales para su sobrevivencia.

Hipótesis. La hipótesis de la que hemos hablado antes.
“Si existen mecanismos de autolimpieza en la piel de los calderones de aleta larga, entonces están relacionados con su ultraestructura”.

Material y Métodos. Explicación del equipo, materiales, sujetos de estudios y metodología que se emplearon para realizar el experimento.
Se emplearon muestras de piel de calderón de aletas largas, nitrógeno líquido, fijadores, alcoholes en diferentes diluciones acuosas, criomicroscopio electrónico, software de digitalización de imágenes, etc.

Resultados. Presentación objetiva de los resultados.
La superficie de la piel presentó rugosidades microscópicas de tales dimensiones..., se encontró un gel entre los poros, etc.

Discusión. Discusión de los mismos resultados abarcando una descripción de los mismos, su manejo, y sus relaciones con la hipótesis.
Se generó un modelo que relaciona la conformación nanorugosa de la piel del calderón con un mecanismo de autolimpieza a corto plazo y la tripsina con limpieza de contaminantes ultra microscópicos a mediano plazo.

Conclusiones. Determinación de la validez de la hipótesis planteada o, en su caso, replanteamiento de la misma o planteamiento nuevas hipótesis
En este caso, con el modelo se comprueba la hipótesis planteada, aunque los autores señalan que hacen falta más estudios en el caso del proceso de descamación.

Literatura Citada. Listado de las referencias citadas dentro del texto.

A riesgo de ser redundante, a continuación se presenta un reporte condensado de dicho estudio realizado por Baum y otros (Baum et al. 2002) y publicado en la revista científica *Marine Biology*. Cabe mencionar que se simplificaron algunas cosas tratando de ser lo más fieles al texto original, mismo que se puede consultar (íntegro) en el Anexo I. Por ejemplo, los materiales y métodos fueron simplificados y en el inciso de Literatura Citada del ejemplo a continuación solo se enlistan las publicaciones que aparecen citadas en el texto condensado del ejemplo.

Título

Nanorugosidades promedio en la piel del Calderón (*Globicephala melas*: Delphinidae): Consideraciones sobre las habilidades de auto limpieza basada en nanorugosidades.

Introducción

Esta investigación se centra en las capas de materiales que se adhieren a las superficies en el agua (lo que lleva a un aumento en la fricción con este elemento), y su auto limpieza en ciertos delfínidos.

En ambientes acuáticos, la acumulación de biomateriales se asume que se inicia a partir de la formación de una capa de residuos de carbono orgánico en superficies húmedas. Microorganismos se adhieren a esta capa acondicionante, formando una biocapa sobre la cual se prosiguen formando más capas. En los delfines la bioacumulación reduce la eficiencia hidrodinámica y puede afectar negativamente la salud si no se maneja de alguna forma.

De estudios anteriores Baum et al. (2000) Baum (2001a) y Baum (2001b) se sabe que la piel de los calderones presenta solo ocasionalmente carga de contaminantes, lo que lleva a pensar que esta especie, como algunas otras de delfínidos, cuenta con algún o algunos mecanismos para evitar la bioacumulación de contaminantes.

Antecedentes

Dos son los aspectos que conducen a la hipótesis planteada en este trabajo:

A) Si bien los materiales y microorganismos adheridos a la piel podrían ser removidos por el roce del agua con la superficie corporal, las características biomecánicas de los tejidos tegumentarios de los delfines permiten la existencia de un **Flujo Laminar**² (que permite una alta eficiencia en el nado al disminuir considerablemente la fricción con el agua) que provee una superficie protegida contra el roce y por lo tanto que impide que existan turbulencias que podrían desprender estos materiales y organismos.

Entonces ¿cómo es que la piel de estos animales no acumula materiales y microorganismos?

B) En otros organismos como insectos y plantas se han encontrado superficies que presentan rugosidades microscópicas, conocidas como nanorugosidades, y que han sido relacionados con mecanismos de autolimpieza.

Justificación

En un ambiente en el cual la sobrevivencia depende en gran medida de las cualidades hidrodinámicas del cuerpo es de primera importancia conservar al máximo dichas propiedades, y debido a que en condiciones naturales se ha encontrado que la piel de los calderones no presenta acumulación de biocapas, es importante conocer las razones que permiten este fenómeno.

Hipótesis

“Existen mecanismos de autolimpieza en la piel de los calderones de aleta larga (*Globicephala melas*: Delphinidae), relacionados con su ultraestructura”

² Flujo Laminar = movimiento particular de un fluido en el cual este se comporta como capas paralelas entre si y a la superficie en contacto con el fluido, no existiendo turbulencias, lo que reduce considerablemente la fricción.

Objetivos

Determinar la ultraestructura de la piel de los calderones
 Determinar la relación ultra estructura / limpieza de la superficie corporal de esta especie

Material y Método

Se obtuvo un total de 50 muestras de piel a partir de 30 individuos de calderones de aleta larga (*Globicephala melas*) de las aguas aledañas a las islas Faroe. Estas muestras fueron cortadas en cubos de 5x5x5 mm, y algunas fueron fijadas, deshidratadas y preparadas de diversas maneras (ver Anexo I para consultar el proceso detallado de las muestras) y otras solamente fueron congeladas con nitrógeno líquido, para su observación en un crio-microscopio electrónico, así como para determinar las características de la capa superficial de la piel.

Los trozos se observaron en el crio-microscopio electrónico y se obtuvieron imágenes digitalizadas, mismas que fueron tratadas digitalmente para aumentar su definición y contraste.

Resultados

En concordancia con estudios previos (Baum et al. 2000), las muestras frescas congeladas presentaron bajas concentraciones de **epibiontes**³. La superficie de la piel mostró pequeñas crestas que sobresalen del fondo. Estas crestas forman microporos que van de los 0.2µm a los 1.2µm (Figura 22) y aproximadamente el 90 % de ellos midieron 0.1µm a 0.2µm, además dentro de estos poros se encontró un gel (zymogel), por lo que solo sobresalen las crestas mencionadas. Este gel presenta **descamaciones por parches dependientes del tiempo** debidas a la presencia de una proteína conocida como tripsina, que está presente en estos y otros mamíferos marinos.



Figura 22. Muestra de piel de Calderón de aletas largas en la que claramente se observan poros rodeados de nanorugosidades. La barra de escala equivale a 1µm

³ Epibiontes = Organismos que habitan en la superficie de otros organismos

Discusión y Conclusiones

Fue evidente que la superficie de la piel de esta especie mostró solo ocasionalmente carga de contaminantes. Tal concentración tan baja contrasta con el conteo en otras superficies sumergidas por largo tiempo en el agua como son los cascos de las embarcaciones o la superficie de estructuras submarinas. De esta forma, los resultados presentados en este estudio indican una alta calidad de auto limpieza en la superficie de los calderones de aletas largas (*Globicephala melas*), lo que concuerda con estudios previos (Gol'din 1994; Denys 1997 Baum et al. 2000).

Puesto que los poros encontrados en este estudio fueron más pequeños que la mayoría de los organismos contaminantes cuyo diámetro es mayor a $0.2 \mu\text{m}$, los autores concluyen que esos microorganismos solo pueden adherirse a los márgenes de los poros o las orillas de los canales que estos forman, siendo para los autores esta exclusión basada en el tamaño, muy importante como una reducción en los micronichos.

Para superficies biológicas expuestas al aire, se ha reportado este fenómeno de reducción de un espacio efectivo de contacto de adherencia en insectos y plantas (Wagner et al. 1996 ; Barthlott y Neinuis 1997). En estos organismos las proyecciones cubiertas de cera que van de $1 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$, con baja absorción de agua, absorben contaminantes menos efectivamente que las gotas de agua que corren por la superficie y que finalmente remueven dichos contaminantes.

Puesto que las superficies microrugosas descritas en los insectos y plantas aumentarían la fricción con el agua en los delfines, los autores asumen que el sistema nanorugosidades-gel evolucionó como una adaptación a demandas hidrodinámicas específicas de los mamíferos marinos. Por otro lado, con esta conformación se logra un flujo laminar del agua paralelo a la superficie del delfín, que impide la formación de turbulencias que podrían despegar los contaminantes adheridos a las orillas de las nanorugosidades, las turbulencias se logran cuando se forma una interfase agua aire, ya sea cuando el animal sale a respirar a la superficie o cuando este efectúa los saltos característicos de estos organismos, aunado a que los pocos contaminantes menores a $0.2 \mu\text{m}$, son desprendidos por las descamaciones del gel espaciadas en el tiempo.

Los autores presentan un modelo (Figura 23) para explicar esquemáticamente este fenómeno.



Figura 23. Modelo preliminar de las habilidades de autolimpieza de la piel del calderón de aletas largas (*Globicephala melas*), basado en el relieve de nanorugosidades rellenas de gel. Grandes biocontaminantes presentes en la capa laminar contigua a la piel son excluidos de la superficie por el relieve y pueden ser desechados por un flujo turbulento de agua o son removidas por fuerzas removedoras de una interfase aire-líquido durante los intervalos de respiración o durante los saltos del delfín. Las moléculas adhesivas más pequeñas son excluidas de la superficie por las propiedades del gel.

Literatura Citada

- BARTHLOTT, W and C. NEINHUIS. 1997. Purity of the Sacred Lotus, or Escape from Contamination in Biological Surfaces. *Planta* 202:1-18.
- BAUM, C., R. STELTZER, W. MEYER, L.-G. FLEISHER and D. SIEBERS. 2000. A Cryo-scanning Electron Microscopic Study of the Skin Surface of the Pilot Whale *Globicephala melas*. *Aquat Mamm* 26:7-16.
- BAUM, C., L.-G. FLEISHER, W. MEYER, D. SIEBERS and R. STELTZER. 2001a. Gelation Kinetics of the Gel Collected from the Corneocytes of the Pilot Whale, *Globicephala melas*. *Zoology (Jena)* 104[Suppl IV]:53.
- BAUM, C., W. MEYER, D. ROESSNER, L.-G. FLEISHER and D. SIEBERS. 2001b. A Zymogel Enhances the Self Abilities of the Pilot Whale (*Globicephala melas*). *Comp Biochem Physiol A* 130:835-847.
- DENYS, L. 1997. Morphology and Taxonomy of Epizoic Diatoms (*Epiphalaria* and *Tursiocola*) on the Sperm Whale (*Physeter macrocephalus*) Stranded on the Coast of Belgium. *Diatom Res* 1:1-18.
- GOL'DIN, E.B. 1994. The Black Sea Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) and Overgrowing Microalgae: Same Patterns of Inter-relations. In: *Proceedings of the 1st International Symposium on the Marine Mammals of the Black Sea*. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Istanbul, pp 24-27.
- WAGNER, T, C. NEINHUIS and W. BARTHLOTT. 1996. Wettability and Contaminability of Insect Wings as a Function of Their Surface Sculpture. *Acta Zool* 77:213-225.

El Método Científico es, pues, una herramienta que brinda organización al investigador al realizar su trabajo y permite una comunicación de sus resultados, así como una repetibilidad de sus procedimientos, muy valiosa para el avance de la ciencia y para la aplicación de los resultados de la misma.

6. El Diseño Industrial

De las muchas definiciones de Diseño Industrial las tres siguientes son importantes para este trabajo, por su manejo de conceptos que serán retomados más adelante, además de la presentada por el Consejo Internacional de Sociedades de Diseño Industrial (ICSID, por sus siglas en inglés).

El Diseño Industrial es un servicio profesional que crea y desarrolla conceptos y especificaciones que optimizan la función, el valor y la apariencia de productos y sistemas para el mutuo beneficio de usuario y fabricante.

BCIDA⁴

El Diseño Industrial crea y recrea objetos para su producción, distribución, comercialización y uso, resolviendo problemas funcionales, estéticos y de comunicación, incorporando tecnologías, utilizando nuevos materiales, con avanzados sistemas de producción.

Universidad de Palermo (Argentina)

El Diseñador Industrial desarrolla conceptos y especificaciones a través de la recolección, análisis y síntesis de datos, guiados por los requerimientos del cliente o productor, estando preparado para elaborar recomendaciones claras y concisas a través de dibujos, modelos y descripciones verbales.

TECKDES

Con la intención de definir al Diseño Industrial, el ICSID presenta una descripción de los objetivos y tareas de esta disciplina, con lo que muy bien se puede condensar una definición.

Metas. El Diseño (industrial) es una actividad creativa cuya meta es el establecimiento de las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas en sus ciclos de vida completos. Por lo tanto, el Diseño es el factor central de la humanización de tecnologías y el factor crucial de intercambios culturales y económicos

Tareas. El Diseño busca descubrir y determinar relaciones estructurales, funcionales, expresivas y económicas teniendo como metas:

- Mejorar las sustentabilidad y protección ambiental globales (ética global)
- Proporcionar beneficios y libertad a toda la comunidad humana, individual o colectiva
- Los usuarios finales, productores y protagonistas del mercado (ética social)
- Apoyar la diversidad cultural no obstante la globalización del mundo (ética cultural)
- Dar a productos, servicios y sistemas, aquellas formas que sean expresiones de su propia complejidad (semiótica) y coherentes con ella (estética).

⁴ BCIDA = British Columbia Industrial Design Association

El Diseño trata de productos, servicios y sistemas concebidos con herramientas, organizaciones y lógica introducida por la industrialización (aún cuando no hayan sido producidos en serie). El adjetivo "industrial" puesto a Diseño puede estar relacionado con el término industria o en sentido de ese sector de la producción, o bien en su sentido más antiguo de "actividad industrial".

Así, el término diseñador se refiere a un individuo que practica una profesión intelectual y no simplemente a mercadeo y servicios a empresas.

Realizando una integración de estas definiciones, podemos considerar que:

El Diseño Industrial crea y desarrolla conceptos y especificaciones que optimizan la función, el valor y la apariencia de productos y sistemas (para su producción, distribución, comercialización y uso, resolviendo problemas funcionales, estéticos y de comunicación) a través de la recolección, análisis y síntesis de datos, elaborando recomendaciones claras y concisas a través de dibujos, modelos y descripciones verbales. Es una actividad creativa cuya meta es el establecimiento de las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas en sus ciclos de vida completos.

6.1. Principios

De manera general podemos señalar algunos principios básicos que dirigen o regulan el trabajo del Diseño Industrial

6.1.1 El diseño y la fabricación son dos procesos separados

Si bien en las sociedades tradicionales el proceso de "diseño" está integrado en el proceso de "elaboración" del producto, en las sociedades modernas estos dos procesos se encuentran separados y el segundo en realidad no puede iniciarse si no cuenta con los resultados íntegros del primero, puesto que este proporciona la descripción detallada del artículo a fabricar, no quedando margen al fabricante de modificar el diseño del mismo (Cross, 1990).

Esta separación permite la evaluación de los diseños previamente a su fabricación, en busca de solucionar errores, optimizar el diseño y evitar omisiones.



Figura 24. Artesana de la comunidad Seri, en el Norte de Sonora y parte de sus productos: corita y plato de torote (árbol desiertico).

A

Esta separación permite la evaluación de los diseños previamente a su fabricación, en busca de solucionar errores, optimizar el diseño y evitar omisiones.

6.1.2 Comprensión y solución de los problemas de diseño son procesos paralelos.

Los problemas básicos del diseñador son:

- Entender el problema
- Encontrar una solución

Estos dos problemas son atacados de manera paralela, pues el proceso de búsqueda de soluciones permite definir con mayor claridad el problema planteado, mismo que por lo general es "mal definido", lo que a decir de Cross (1999) permite al diseñador una mayor creatividad.

Este paralelismo se puede dar debido a los siguientes hechos:

- No existe una definición definitiva del problema
Esto se presenta debido a que generalmente las metas iniciales son vagas y sin restricciones y criterios muy bien definidos.
- Cualquier formulación de un problema puede contener inconsistencias
Las inconsistencias dentro del problema son evidentes solamente durante el proceso de solución del problema.
- La formulación del problema depende de la solución
Algunas formulaciones de problemas dependen de la forma de resolverlos, es decir, que la forma de concebir la solución influye en la forma de concebir el problema.
- La propuesta de soluciones es una forma de entender el problema
Muchas restricciones y criterios surgen como resultado de la evaluación de propuestas de solución.
- No existe una solución definitiva al problema
Pueden ser propuestas diferentes soluciones igualmente válidas al problema inicial.

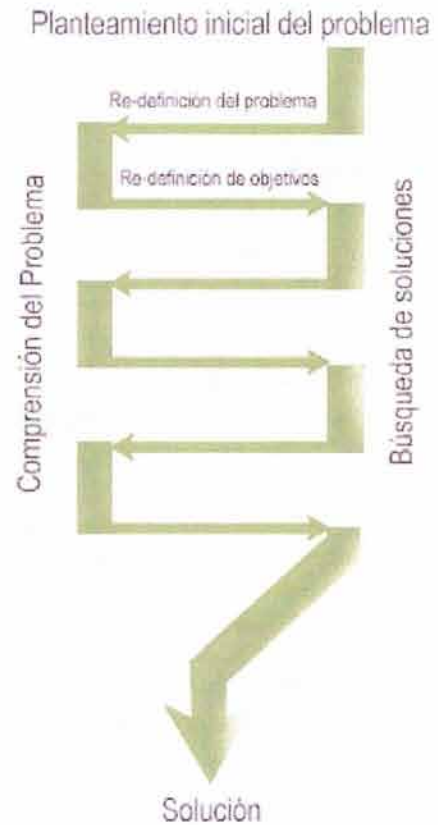


Figura 25. La comprensión del problema de diseño y la búsqueda de soluciones como procesos paralelos.

6.1.3 El Diseño Industrial es un proceso⁵.

Este proceso básicamente consta de tres fases principales, que invariablemente se cumplen (no obstante que existen varios modelos que serán tratados más adelante):

- **Acercamiento al problema**
El Diseñador se enfrenta al problema por primera vez y analiza los requerimientos del diseño, buscando principios de solución.
- **Generación de soluciones**
Esta es la fase creativa, donde propiamente se diseña el producto y sus especificaciones.
- **Comunicación de resultados**
A decir de Cross (1999), esta es la actividad esencial del diseño, y es en la cual se generan dibujos, planos, modelos, prototipos, listas y/o instrucciones escritas.

Cabe destacar que en todos ellos existe una retroalimentación y por lo tanto una iteración continua entre las fases.

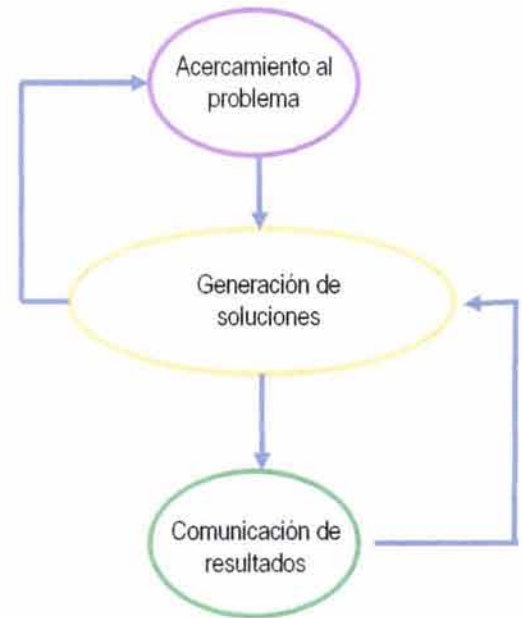


Figura 26. Fases básicas del proceso en el Diseño Industrial.

Entre los diversos modelos que se han propuesto sobre el proceso de diseño, Cross destaca que pueden ser clasificados en dos grupos principales: los descriptivos que enfatizan una presentación de conceptos de solución temprana en el proceso de diseño y los prescriptivos que priorizan un buen análisis previo al trabajo de diseño.

A continuación se presentan algunos modelos basados en esta clasificación, iniciando por los modelos descriptivos.

⁵ Entendiendo proceso como: Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial (Real Academia de la Lengua Española, 2003).

6.1.3.1 Modelo de Cross.

En este, el proceso básicamente consta de cuatro fases:

- **Exploración**
El Diseñador se enfrenta al problema, recopilando la información necesaria y realizando un primer bosquejo de ideas tentativas, mismo que le permite comprender mejor el problema inicial (ver inciso 6.1.2).
- **Generación**
Se genera una propuesta de diseño en la que ya se toman en cuenta diversos aspectos como forma, función, dimensiones, estructura, materiales, apariencia, etc., siendo esta la parte más creativa del proceso y en donde se crean comunicaciones para el diseñador mismo, como croquis y dibujos.
- **Evaluación**
Como se mencionó anteriormente (ver inciso 6.1.1), la principal ventaja de la separación entre diseño y elaboración del producto es el hecho de que se puedan verificar o evaluar las propuestas de diseño antes de presentarla como definitiva. Esta etapa puede ser la que consuma un mayor tiempo dentro del proceso de diseño a decir de Cross (1999), evaluando por ejemplo el ajuste de componentes, resistencia de partes, etc.
- **Comunicación**
El producto directo final del Diseñador Industrial es una descripción completa y comprensible del producto para quienes lo han de fabricar. Estas descripciones se comunican de diferentes maneras, como son los dibujos, los prototipos y las especificaciones escritas, siendo los dibujos los más comúnmente utilizados yendo desde un plano general, hasta secciones y detalles y estando sometidos a una serie de reglas, códigos y convenciones (Cross 1999). Los prototipos son representaciones tridimensionales que generalmente se construyen a la escala original. Actualmente existe la posibilidad de generar modelos tridimensionales en computadora e incluso dirigir desde ahí la elaboración del producto.



Figura 27. Esquema básico del proceso de diseño según Cross (1999)

6.1.3.2 Modelo de French.

Este modelo se basa en **actividades** y **resultados o etapas**

- Necesidad
Es el planteamiento que el usuario presenta al diseñador.
- Análisis del Problema
A decir de French (1998) "el análisis del problema aunque pequeño, es una parte sumamente importante del proceso de diseño" y consiste en identificar la necesidad planteada tan precisamente como sea posible o deseable.
- Planteamiento del Problema
Se llega a un planteamiento propiamente dicho del problema de diseño, sus limitantes (fechas de entrega, costos máximos, normas del cliente, etc.) y los criterios de calidad, es decir, se plantean las metas, restricciones y criterios.
- Diseño Conceptual
Aquí se generan las soluciones al problema de diseño de una manera amplia en forma de esquemas y donde se integran conocimientos (de diseño, prácticos y de producción), experiencias, y aspectos comerciales presentando alternativas de solución.
- Representación de Esquemas
Se elige una solución en caso de haber logrado varias opciones en la fase anterior y se generan esquemas formales, lográndose por lo regular un "conjunto de dibujos de arreglo general" (French 1998). El mismo autor señala que esta fase presenta o debe presentar una retroalimentación activa con la del diseño conceptual.
- Desarrollo de Detalles
En esta fase se definen detalles puntuales, pero de suma importancia para el buen funcionamiento del producto, requiriéndose un trabajo de muy buena calidad en la misma.
- III Comunicaciones
Se presentan los resultados finales del proceso como dibujos, especificaciones, etc.



Figura 28. Modelo del proceso de Diseño según French (1998), basado en actividades y resultados o etapas.

Los modelos prescriptivos buscan motivar al diseñador a adoptar mejores formas de trabajo según Cross (1999), enfatizando la fase analítica del proceso con lo cual se persigue una comprensión lo más completa posible del problema planteado y por lo tanto una optimización del proceso y de los diseños mismos.

6.1.3.3 Modelo de Archer.

Este suma al planteamiento de la necesidad la capacitación y experiencia del diseñador como “entradas” al proceso y a la solución final como “salida”, es decir como factores externos todos ellos. Además, subdivide el proceso en tres fases: *analítica*, *creativa* y *ejecutiva*

- **Programación o Planeación**
Se propone un plan de trabajo.
- **Recopilación de Datos**
Se colectan, clasifican y almacenan datos.
- **Análisis**
Se reevalúa el plan, se identifican problemas secundarios y se preparan las especificaciones de diseño.
- **Síntesis**
Se elaboran bosquejos de diversas propuestas de diseño.
- **Desarrollo**
Se desarrollan el o los diseños y se planean y llevan a cabo estudios de validación de los diseños, es decir se evalúan estos.
- **Comunicación**
Se desarrolla la documentación para la manufactura del producto.

Un planteamiento particular de este modelo es que considera que las fases de los extremos (analítica y ejecutiva) son objetivas e inductivas, mientras que la fase central (creativa) es más bien deductiva y subjetiva.

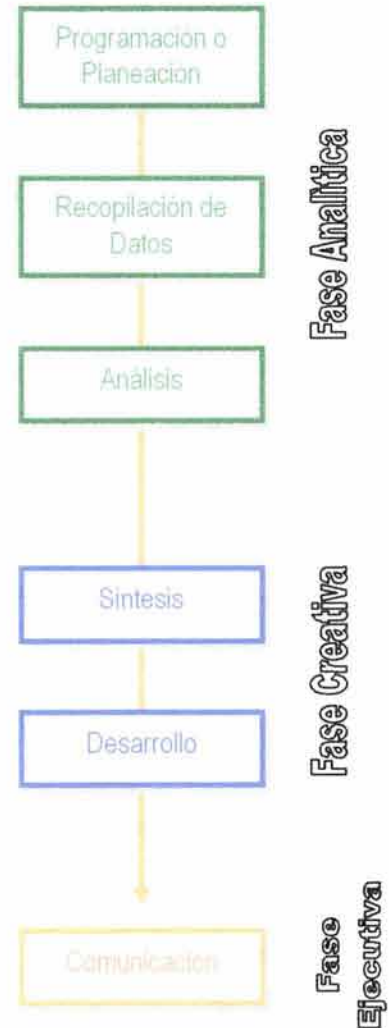


Figura 29. Modelo de Archer del proceso de Diseño (Tomado de Cross 1999).

6.1.5.4 Modelo de Pahl y Beitz.

La propuesta es algo más compleja y se centra en cuatro fases principales:

- **Clarificación de la Tarea**
Se recopila información sobre los requerimientos a incorporar en la solución y las limitantes que regirán al diseño.
- **Diseño Conceptual**
Se buscan principios de solución, desarrollando diversas variantes de conceptos y combinando estos.
- **Diseño para Dar Forma**
Se desarrollan diseños preliminares, seleccionando los más adecuados bajo criterios técnicos y económicos. Estos diseños se optimizan y completan, verificando contra posibles errores, iniciando la elaboración de los documentos de producción preliminares.
- **Diseño de Detalles**
Se desarrollan las características definitivas del producto (forma, dimensiones, materiales, especificaciones de producción, etc.) y se desarrolla la documentación completa, la cual es también verificada.



Figura 30. Modelo del proceso de diseño de Pahl y Beitz (Tomado de Cross 1999).

6.1.3.5 Modelo VDI⁶ 2221.

Este modelo es más sistemático y en este “el proceso de diseño, como parte de la creación de un producto, se subdivide en etapas de trabajo generales, haciendo que el enfoque de diseño sea transparente, lógicamente ordenado e independiente de una rama específica de la industria” (VDI en Cross 1999). Las **etapas** producen **resultados** que son referencia para las etapas siguientes.

- **Clarificación y Definición de la Tarea**
Se define con la mayor precisión posible la tarea.
- **Especificación**
Se revisa y actualiza continuamente dentro del proceso y sirve de referencia para todas las etapas subsecuentes.
- **Determinación de las funciones**
Se determinan las funciones del diseño y se genera una estructura diagramática de esas funciones.
- **Estructura de las Funciones**
Diagrama con las funciones determinadas.
- **Búsqueda Principios de Solución y Sus Combinaciones**
Se desarrollan principios de solución para todas las funciones secundarias mismas que se combinan en concordancia con la estructura global de las funciones buscando una solución principal.
- **Solución Principal**
Conjunto de soluciones de los componentes.
- **División de la Solución en Módulos Realizables**
Se divide la solución principal en módulos susceptibles de ser realizados de manera independiente.
- **Estructura Modular**
Estructura en módulos representando la solución en ensambles fundamentales.
- **Desarrollo de Módulos Clave**
Se desarrollan los módulos clave junto con los arreglos preliminares.
- **Arreglos Preliminares**
- **Conformación de Arreglo General**
Se refinan los arreglos llegando a un arreglo definitivo.
- **Arreglo Definitivo**

- **Desarrollo de Instrucciones**
Se generan las instrucciones de operación y producción.
- **Documentos del Producto**
Dibujos, listados, especificaciones de producción, etc.

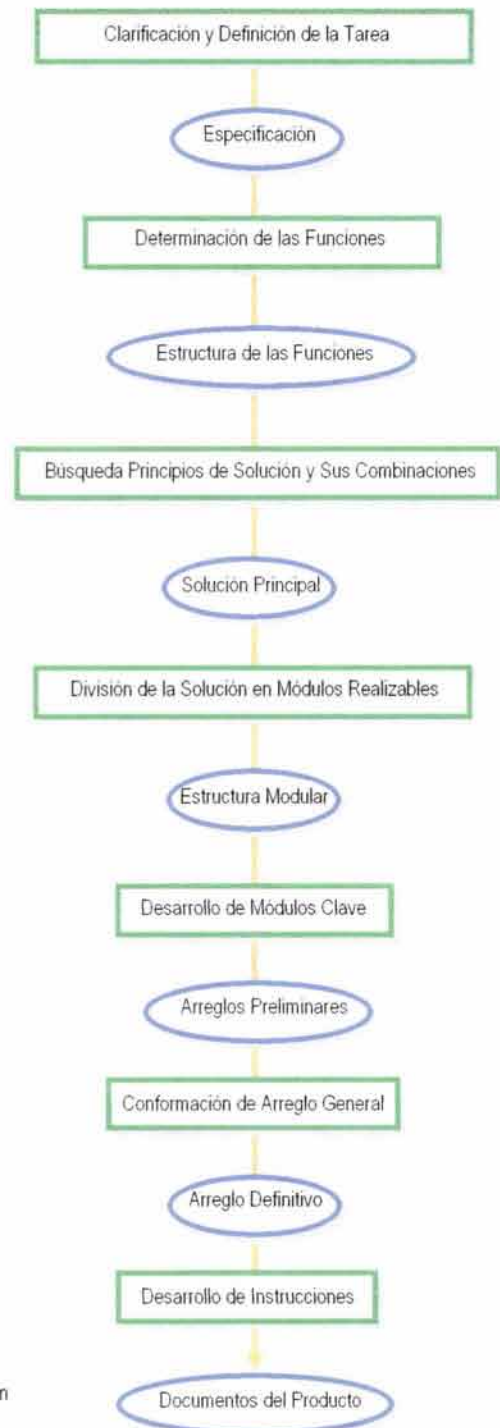


Figura 31. Modelo del proceso de diseño según la VDI (Tomado de Cross 1999), basado en etapas y resultados de las mismas.

⁶ VDI = Verein Deutscher Ingenieure.

6.1.3.5 Modelo Asimov.

El modelo de Asimov (en Jones 1974), que no obstante tiene tres décadas tiene la particularidad de prever el retiro de los objetos de diseño, algo que en la actualidad se requiere más que nunca.

- **Necesidad**
Se plantea la necesidad de diseño.
- **Factibilidad**
Se realiza un estudio de factibilidad.
- **Proyecto Preliminar**
Se generan diversas ideas de solución y se elige una.
- **Proyecto detallado**
Se prepara el diseño, se diseñan todos los subsistemas, los componentes detalladamente, se preparan los dibujos de ensamble y se realizan prototipos, efectuándose las pruebas y modificaciones necesarias, además de desarrollar las comunicaciones (dibujos, detalles, especificaciones escritas, etc.).
- **Planeación de la Distribución**
Se estudian los canales de distribución y se planea la misma.
- **Planeación del Consumo**
- **Planeación del Retiro**
Se planea el o los destinos posibles para el producto cuando sea desechado, ya sea su destrucción, o su reutilización.

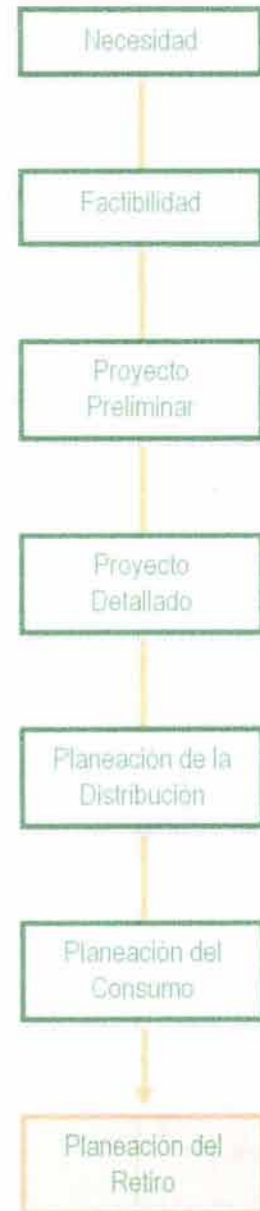


Figura 32. Modelo de Asimov del proceso de diseño (Tomado de Jones 1974), nótese que considera la planeación para el retiro.

6.1.3.6 Modelo Simétrico.

Existen muchos otros modelos, pero se presentará por último el Simétrico, que retoma el paralelismo entre la exploración del problema y su solución y asume que aunque puede haber una progresión del problema a problemas secundarios y de soluciones secundarias a solución general, "existe una relación simétrica y conmutativa entre el problema y la solución y entre los problemas secundarios y las soluciones secundarias" existiendo una iteración continua entre el problema y la solución. Este modelo también se presenta como *etapas* y *resultados*

- **Problema General**
Se define de manera general el problema.
- **Clarificación de objetivos**
Se clarifican los objetivos principales y secundarios y sus relaciones.
- **Establecimiento de las Funciones**
Se establecen las funciones del nuevo diseño y sus limitantes.
- **Fijación de Requerimientos**
Se especifica con la mayor exactitud posible el rendimiento requerido en una solución de diseño.

- **Problemas Secundarios**
Mediante las etapas anteriores se logra separar el problema en problemas secundarios, factibles de ser solucionados de manera individual.
- **Determinación de Características**
Se fijan las metas a alcanzar de las características del producto, con base en los requerimientos del cliente.
- **Generación de Alternativas**
Se genera la más amplia gama de alternativas de diseño del producto, ampliando la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.
- **Soluciones Secundarias**
Se logran soluciones a los problemas secundarios.
- **Evaluación de Alternativas**
Se evalúan las alternativas mediante algún método en particular.
- **Mejora de Detalles**
Se mejoran los detalles con la finalidad tanto de mantener o aumentar el valor del producto y disminuir el costo de producción del mismo.
- **Solución General**
Se logra el diseño y se genera la documentación necesaria.

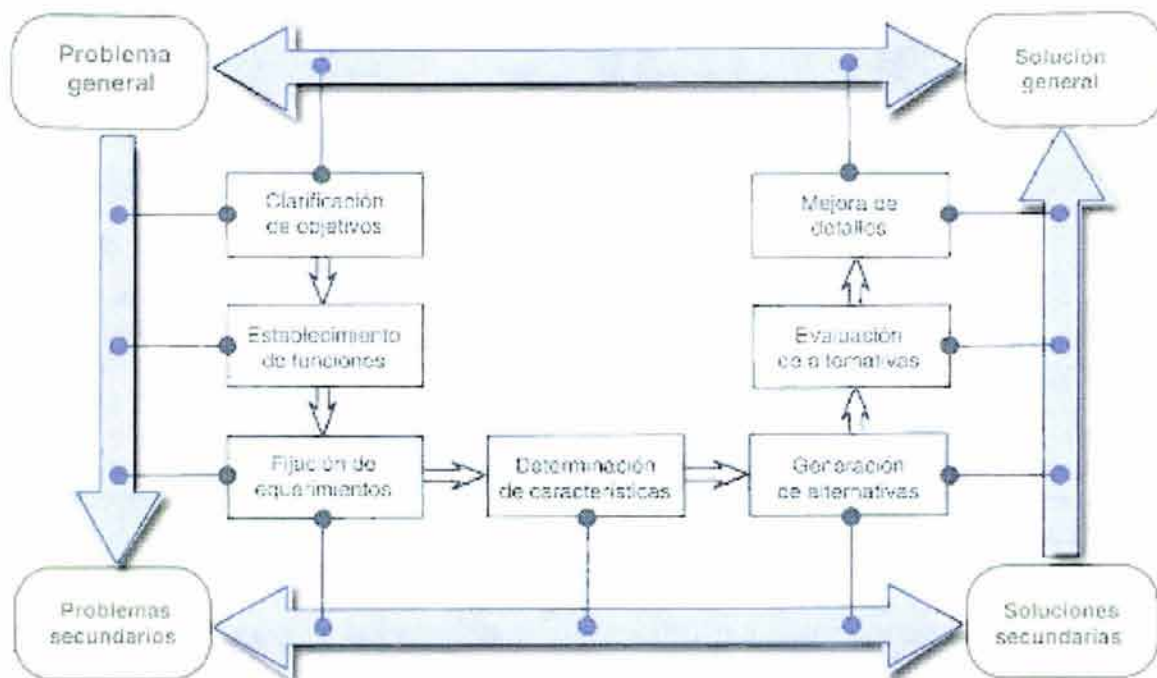


Figura 33. Esquema del Modelo Simétrico del proceso de diseño. (Modificado de Cross 1999).

6.2. El Método de Diseño

En el caso del Diseño Industrial no hablaremos de UN método general, en realidad lo que se trabaja son diferentes métodos dentro del proceso de diseño, dependiendo de la fase que se trabaje.

A decir de Cross (1999) muchos diseñadores todavía desconfían de la idea general de "métodos de diseño", algo que en mis conversaciones con algunos diseñadores ha sido también evidente y lo que es comprensible debido al ritmo de trabajo y exigencia de presentar resultados en corto tiempo. No obstante, al final el trabajo metódico rinde frutos tanto en eficacia, eficiencia y libertad para el pensamiento creativo, al "sacar" de la cabeza una buena parte del trabajo sistemático y ponerlo en papel, pues libera a la mente para ocuparse del pensamiento imaginativo e intuitivo.

Rodriguez (1989) reflexiona positivamente respecto a los métodos en el diseño al sugerir:

"Cuando el contexto en que se da un diseño exige cambios radicales se genera una gran cantidad de información y si no se poseen instrumentos operativos, esta misma información genera desorden y por tanto una fuerte tendencia a la entropía. Para contrarrestar esta tendencia se recurre, en diseño, a los métodos"

Jones (1974) aboga también por el uso de métodos en el Diseño Industrial diciendo que:

- a) *Sin métodos el Diseñador no se encuentra libre para concentrarse en solo un parte del problema y no tiene medios para comunicar la escena de sus imágenes mentales.*
- b) *Sin un buen método, no hay posibilidad de realizar juicios rápidos sobre la factibilidad de detalles críticos.*
- c) *Es necesario un buen método que permita realizar juicios con la suficiente objetividad.*

Un aspecto a favor es que muchos de los métodos de diseño formalizan procedimientos de diseño comúnmente usados por los diseñadores a decir de Cross (1999).

Una ventaja adicional es que los métodos permiten el trabajo en grupo, pues todos saben en que etapa se está trabajando y todos hablan el mismo lenguaje. Esto es de suma importancia para este trabajo, pues esta posibilidad de trabajar en grupo facilita el trabajo interdisciplinario.

Cross (1999) señala que existen dos tipos principales de métodos en diseño que finalmente son complementarios, estos son los creativos y los basados en un Marco Lógico. Los primeros tratan de fomentar el flujo de ideas y los segundos persiguen la implementación de un trabajo sistemático que incremente la calidad de las decisiones tomadas dentro del proceso de diseño.

Cabe hacer una breve referencia al Marco Lógico, que no es otra cosa que un método de sistematizar procesos, basándose en un arreglo lógico y jerárquico de sus componentes, por ejemplo, se plantean los objetivos del "proyecto" se definen las metas a alcanzar (o productos), las actividades para lograrlos y los insumos necesarios, en un flujo vertical que en dirección arriba-abajo plantea la pregunta *¿cómo?* y en el sentido opuesto plantea la pregunta *¿por qué?*, es decir, este objetivo *¿cómo lo logro?*, pues *"mediante ciertos productos o metas cumplidas"*; y

esas metas, *¿cómo las logro?*, "realizando ciertas actividades" (exactamente), *¿cómo logro estas actividades?*, "con ciertos insumos". No es difícil imaginar el flujo en sentido opuesto. *¿Por qué requiero estos insumos?*, "porque las actividades planteadas requieren..." y así sucesivamente. Como se ha mencionado repetidas veces estos métodos no necesariamente deben seguirse con rigor, pero su "filosofía" es de gran ayuda (para una explicación un poco más detallada del Marco Lógico ver el Anexo II).

Los métodos en diseño se usan, pues, para dar respuesta a cada una de las fases y los hay para explorar diferentes situaciones de diseño, por ejemplo el planteamiento de objetivos, búsqueda bibliográfica, entrevistas y/o cuestionarios a usuarios, investigación de comportamiento de usuarios, etc. Por otro lado existen los métodos de búsqueda de ideas, los cuales claramente pueden ser necesarios en casi todas las etapas, entre los cuales los más conocidos son la famosa lluvia de ideas, así como la sinéctica y los diagramas morfológicos.

También los dedicados ya a la estructura del problema de diseño en sí, como la matriz de interacciones y su complemento la red de interacciones, el Análisis de Áreas de Decisión Interconectadas (AIDA por sus siglas en inglés), la innovación funcional, el Método de Alexander para determinar componentes, etc. Y, por último, los dedicados a la verificación como son las listas de verificación, selección de criterios de verificación ponderación de diseños y la descripción de especificaciones.

A continuación se hablará de algunos métodos de diseño, tomando como ejemplo el Modelo Simétrico del proceso de diseño presentado anteriormente (ver inciso 6.1.3.6).

Tomemos como producto un equipamiento para el Museo de las Ciencias (Universum) el cual a decir del cliente es un display interactivo sobre la formación de algunas moléculas y el despliegue de información sobre sus propiedades fisicoquímicas.

Problema General

En la Sala de Química del Museo de las Ciencias (Universum) se requiere un "centro" interactivo que proporcione información en una pantalla de gran tamaño sobre las propiedades de ciertas moléculas al formarlas el usuario mediante esferas que correspondan a diferentes elementos químicos y que funcione como área de descanso llegando la información también a las personas que solo la usen para descansar.

Clarificación de Objetivos

Para esta fase se empleará el método de **Árbol de Objetivos**, en donde se identificarán y mostrarán los mismos jerarquizándolos y determinando las interconexiones entre ellos. Inicialmente hay que elaborar una lista de objetivos generales.

Interactividad
Seguridad
Comodidad
Coherencia

A continuación se colocan los objetivos jerárquicamente, generando los posibles objetivos particulares.

Interactivo

Generar información al unir esferas

Seguro

Para el Usuario

Evitar lesiones

Para el equipamiento

Evitar daños al equipamiento

Para la función del equipamiento

Evitar ambigüedades

Permitir acceso a la información a todo el público

Cómodo

Para el participante

Brindar un "área local" de juego

Para el no participante

Brindar un área de descanso con posibilidad de visualizar la información

Coherente

Conservar el estilo de la sala de Química

Esta jerarquización puede entonces convertirse en un árbol de objetivos, sobre los cuales nos preguntamos como serán logrados y estas respuestas convierten a nuestro árbol de objetivos en un árbol de medios, siguiendo un formato de Marco Lógico (los esquemas completos se encuentran en el Anexo II).

Establecimiento de las Funciones

A continuación se utiliza el método de **Análisis de las Funciones** del producto a diseñar elaborando un modelo de "caja negra" como un inicio, la que después se convertirá en una "caja transparente" al descomponer la función global en funciones secundarias y sus interacciones estableciendo los límites alrededor de dichas funciones.

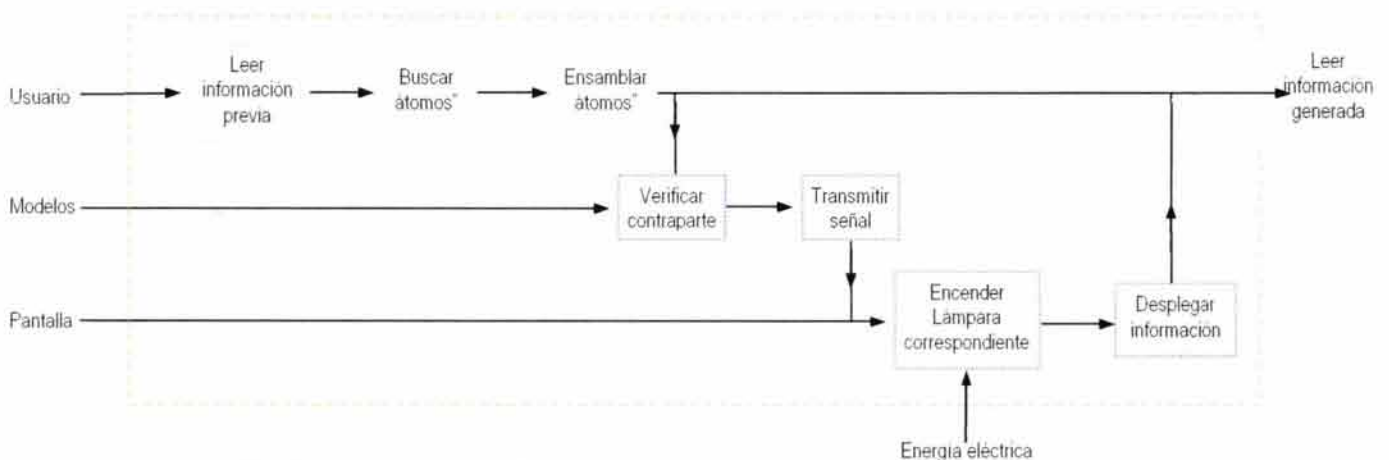


Figura 34. Modelo de "caja transparente" del método Análisis de las Funciones.

Cabe mencionar que en esta parte solamente se está tomando en cuenta el objetivo *Interactividad*.

Fijación de Requerimientos

Una vez definidas las funciones principales y secundarias del objeto a diseñar, podemos hacer uso del método de **Especificación del Rendimiento**, en el cual, como paso inicial, se determina en que nivel de generalidad se generará el mismo, es decir ¿es una innovación completa, donde se pueda generar un concepto completamente nuevo?, ¿es más bien un objeto que encaja ya dentro de un cierto tipo de producto?, o más particularmente: ¿es un objeto ya existente al que solamente hay que hacerle modificaciones?. De esto dependerá mucho la libertad de acción para presentar alternativas de diseño. Esto es, existen tres niveles de generalidad que Cross denomina como el nivel de **Alternativas** (libertad de generar conceptos completamente nuevos, por ejemplo un nuevo tipo de transporte), el de **Tipos** (libertad para generar ideas dentro de ciertos parámetros, por ejemplo automóviles con diferentes tipos de combustible) y el de **Características** (con un mínimo de libertad, como el modificar solamente elementos de un modelo de automóvil ya existente).

En nuestro ejemplo, nos encontramos en el primer caso, pues se solicitó un equipamiento totalmente nuevo, dando gran libertad de creación.

Ya determinado el nivel de generalidad del trabajo, se definen los atributos de rendimiento, mismos que están muy relacionados con las funciones del árbol de las funciones construido anteriormente, cuidando que los atributos sean independientes de cualquier solución particular, es decir, podemos definir un atributo como “no resbaladizo”, sin llegar a definirlo como “plastificado o ahulado”, que ya serían soluciones definidas.

Los atributos de rendimiento, por lo general tienen unos requerimientos cuantificables, que conviene definir evitando, al máximo, ambigüedades, por ejemplo, “los textos de la pantalla deben poder ser vistos a una distancia de 6 metros” y no solo definirlos como “textos visibles a distancia”. Cabe destacar que algunos de los requerimientos podemos definirlos como indispensables (I) y otros como deseables (D).

Determinación de Características

Conviene a continuación utilizar el método **Función de Calidad**, con el objetivo de puntualizar las correspondencias entre lo que el usuario pide y lo que el diseñador genera como respuesta a esos requerimientos, es decir determinar las características técnicas que corresponden a cada requerimiento en términos técnicos y las relaciones entre esas características técnicas, lo que puede ayudar a encontrar soluciones, evitar omisiones o bien a optimizar las propuestas. En este ejemplo, se manejaron los requerimientos básicos para el modelo de la molécula de la que se habló antes, construyendo una matriz con los requerimientos del usuario en la columna izquierda y las características técnicas en el primer renglón.

Generación de Alternativas

La siguiente fase corresponde a la búsqueda de alternativas de diseño, utilizando el método de **Diagrama Morfológico**, con base en las características o funciones esenciales del producto, elaborando una lista de estas y generando un diagrama que contenga la mayor cantidad posible de soluciones a ellas (Figura 26).

Funciones Parciales		1	2	3
1	Función I	Opción IIIA	Opción IB	Opción IC
2	Función II	Opción IIA	Opción IIB	Opción IIC
3	Función III	Opción IIIA	Opción IIIB	Opción IIIC
4	Función IV	Opción IVA	Opción IVB	Opción IVC
5	Función V	Opción VA	Opción VB	Opción VC
6	Función VI	Opción VIA	Opción VIB	Opción VIC

Figura 36. Diagrama Morfológico en el cual se han marcado con rojo las soluciones elegidas (ver texto).

En nuestro ejemplo se eligieron las celdas marcadas con rojo, cabe mencionar que se pueden generar varias combinaciones, de las cuales a decir de Cross (1999), algunas serán factibles y otras imposibles por razones de aplicación práctica o por incompatibilidad de algunos pares de soluciones. De las soluciones factibles se elegirá la adecuada en términos de costo, rendimiento, novedad o cualquier otro criterio.

Es claro que cada una de estas soluciones a los requerimientos parciales debe lograrse de alguna manera, lo que nos conduce a la formación de un cuadro de medios (Tabla 1) con base en las alternativas elegidas en el diagrama morfológico. Es decir, ya sabemos que para la función I elegimos la opción IB, para la cual pueden existir diferentes medios, por ejemplo si la función I es *transmisión de señal*, esta puede ser de radio, infrarrojo o laser, de las cuales hay que elegir alguna y reunirla con la elección de los otros posibles medios para las otras funciones seleccionadas (Ver Anexo I para ejemplo real).

Evaluación de Alternativas

La evaluación de las alternativas se realiza mediante el método de **Objetivos Ponderados** y se elabora con respecto a la satisfacción de los objetivos planteados al principio del proceso de diseño, pudiendo ser modificados estos en el transcurso del mismo proceso, como se mencionó al principio de este capítulo.

Con esto podemos crear una matriz cuyo resultado permitirá ordenar los objetivos por orden de importancia (Tabla 1).

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	Total
A	-	2	2	2	2	2	1	11
B	0	-	1	0	0	1	0	2
C	0	1	-	1	0	1	0	3
D	0	2	1	-	1	1	0	5
E	0	2	2	1	-	1	0	6
F	0	1	1	1	1	-	0	4
G	1	2	2	2	2	2	-	11
Total de valores								42

Tabla 1. Matriz de valoración de objetivos o requerimientos de diseño.

Donde:

- A. Objetivo 1
- B. Objetivo 2
- C. Objetivo 3
- D. Objetivo 4
- E. Objetivo 5
- F. Objetivo 6
- G. Objetivo 7

Una vez definidos estos valores se pondera el peso de cada uno con relación a los demás valores, distribuyendo una unidad entre estos. Así, por ejemplo, tendríamos que $A = 11/42$, por lo tanto, $A \approx 0.26$, que para los efectos de esta ponderación en la cual la exactitud no es determinante podemos igualarlo a 0.26, y así sucesivamente (Tabla 2).

A = 0.26
B = 0.05
C = 0.07
D = 0.12
E = 0.14
F = 0.09
G = 0.26

Tabla 2 Ponderación de valores de objetivos o requerimientos de diseño.

La siguiente fase es establecer una calificación de utilidad a cada uno de los objetivos o requerimientos de diseño, con base en una escala de cinco (0-5), ocho (0-7) u once (0-10) puntos (Ver Tabla 3)

Escala de once puntos	Significado	Escala de cinco puntos	Significado
0	Solución totalmente inútil	0	Inadecuada
1	Solución inadecuada		
2	Solución muy mala	1	Débil
3	Solución mala		
4	Solución tolerable	2	Satisfactoria
5	Solución adecuada		
6	Solución satisfactoria	3	Buena
7	Solución buena		
8	Solución muy buena	4	Excelente
9	Solución excelente		
10	Solución perfecta o ideal		

Tabla 3. Comparación de dos escalas de calificación de grados de rendimiento de 11 puntos y cinco puntos (Tomada de Cross 1999).

Cross (1999) señala que es importante contar con valores numéricos en los parámetros que así lo permitan, lo que permite definir calificaciones con mayor facilidad y objetividad, aunque en nuestro ejemplo no tenemos valores fácilmente cuantificables pues, por ejemplo, el grado de libertad del modelo en este caso se califica como **No libre** (en caso de comunicarse el modelo con la pantalla mediante un cable) y **Libre** (en caso de hacerlo mediante ondas de radio), obsérvese que los demás parámetros siguen la misma línea, excepto el de "ligereza", el cual si puede ser medido como masa.

Lo que procede es realizar una comparación entre las diferentes combinaciones elegidas como posibles soluciones

Mejora de Detalles

El último paso en este proceso es buscar aumentar el valor del producto diseñado, ya sea reduciendo los costos para el productor, aumentando el valor para el consumidor, o usuario, o ambas cosas, es decir, aumentando la diferencia entre el costo y el valor del producto (Cross 1999), centrándose en los valores funcionales mediante el método de **Ingeniería del Valor**. Este método se aplica tanto a diseños nuevos, como al rediseño sustancial de diseños existentes.

Las mejoras de los detalles del diseño se realizan mediante el despiece físico del producto o del prototipo, o bien mediante un **diagrama explosivo**, con tal de mostrar los componentes de manera tridimensional y sus ubicaciones y ensambles lo más fielmente posible.

En términos generales, este método se utiliza contrastando el nuevo diseño con un producto ya existente, con un arquetipo, o con una hipotética versión típica del nuevo producto propuesto. En nuestro caso no existía algo parecido, por lo que haremos el análisis del modelo mismo, terminado y armado.

El método sugiere la identificación funcional de los distintos componentes del producto (mismos que, para nuestro ejemplo, ya tenemos de incisos anteriores) y a continuación se determinan los valores de las funciones, entendiendo esta vez como valores a los que percibe el cliente, no el diseñador. Esto nos permite, entre otras cosas, discernir si al disminuir los costos del producto, no se reduce el valor para el cliente.

A continuación se determinan los costos de los componentes, incluyendo no solo el costo del material del componente o la compra de este, sino su costo en términos de mano de obra y maquinaria de los procesos de ensamble del mismo. Lo anterior se hace tanto de manera individual o absoluta, como de manera relativa, es decir como porcentaje del costo total del producto, lo que permite enfocar mayor atención en los grupos de elementos o ensambles con mayor porción del costo total.

Una vez teniendo identificados los valores y los costos, se puede proceder a buscar incrementar los primeros sin elevar los segundos y viceversa a disminuir los segundos sin disminuir los primeros. La disminución de costos puede seguir cinco criterios, como vemos en la Tabla 4 que se muestra a continuación:

Eliminar	¿Puede eliminarse completamente una función y, en consecuencia, sus componentes? ¿Son redundantes algunos componentes?
Reducir	¿Puede reducirse el número de componentes? ¿Pueden combinarse varios componentes en uno solo?
Simplificar	¿Existe alguna alternativa más simple? ¿Existe una secuencia de ensamble más fácil? ¿Existe una forma más sencilla?
Modificar	¿Existe un material satisfactorio más barato? ¿Puede mejorarse el método de fabricación?
Estandarizar	¿Pueden estandarizarse las partes en vez de que sean partes especiales? ¿Pueden estandarizarse o modularizarse las dimensiones? ¿Pueden duplicarse los componentes?

Tabla 4. Posibles puntos de acción para la reducción de costos. Tabla tomada de Cross (1999).

Por otro lado, el incremento de los valores se puede dar siguiendo los criterios mostrados en la siguiente Tabla:

<u>Ergonomía</u>	Relación física y psicológica amigable usuario-producto, funcionamiento comprensible para el usuario y uso cómodo.
<u>Utilidad</u>	Rendimiento en aspectos como capacidad, potencia, velocidad, exactitud o versatilidad
<u>Confiabilidad</u>	Ausencia de descomposturas o mal funcionamiento; funcionamiento bajo diversas condiciones ambientales.
<u>Seguridad</u>	Operación segura y libre de peligros, tanto para el usuario como para el producto
<u>Mantenimiento</u>	Ausencia de requerimientos de mantenimiento, o requerimientos sencillos y no frecuentes
<u>Estética</u>	Color, forma, estilo, sensación al tacto, acabados, atractivo al usuario.
<u>Tiempo de vida</u>	Con excepción de los productos desechables un tiempo largo de vida que ofrezca un buen valor a cambio del precio inicial de compra
<u>Contaminación</u>	Pocos subproductos desagradables o indeseables, o ausencia total de ellos, incluyendo ruido y calor

Tabla 5. Posibles puntos de acción para la mejora de valores del producto. Tabla modificada de Cross (1999).

Es importante insistir una vez más sobre la versatilidad de los métodos, los cuales no son inmodificables, mismos que, si bien en un principio presenten un reto, con el uso constante y sistemático pueden representar una herramienta invaluable para cualquier proyecto de diseño.

7. La Interdisciplina

Puesto que hemos hablado de que la biología y el diseño industrial son actividades interdisciplinarias y que además para los objetivos de la aplicación de los principios biológicos al Diseño Industrial el trabajo interdisciplinario es fundamental, debemos hacer algunas breves reflexiones acerca de este tipo de trabajo, más aún si consideramos el señalamiento de Mansilla y Gardner (2004) en el sentido de que la investigación más dinámica en las disciplinas de frontera y en nuevos terrenos es interdisciplinaria.

Ahora bien, las disciplinas del conocimiento comprenden variadas colecciones de teorías, acontecimientos, hallazgos y conocimientos y son maneras estandarizadas de construir representaciones propias de la realidad; es esta estandarización la que facilita la comunicación entre los pertenecientes a la propia y a otras disciplinas, favoreciendo, con esto, el trabajo conjunto e interdisciplinario.

Este tipo de trabajo (el interdisciplinario) supone que dos o más especialistas de diferentes áreas de conocimiento colaboran para resolver un problema (Fourez 1998) y aunque la interdisciplina en un primer momento puede parecer una intersección o superposición de disciplinas en torno a un problema particular, Stolniker (1999) puntualiza que la esta no es la simple yuxtaposición de disciplinas, sino que implica una construcción conceptual común del problema. Es decir, no se debe confundir la interdisciplina con la multidisciplinaria ni con la poldisciplinaria; en la interdisciplina todas las disciplina involucradas en conjunto construyen un marco común con objetivos definidos que lleva a un producto transdisciplinario, esto es, que supera los límites de las disciplinas involucradas; en la multidisciplinaria se reúnen contribuciones de diversos especialistas en torno a un tema sin terminar un proyecto preciso (por ejemplo una mesa redonda sobre la importancia del agua, en donde un físico, un químico, un agrónomo y un funcionario del servicio de agua potable brindan el punto de vista de su disciplina sobre el agua); en la poldisciplinaria no se trabaja para generar un producto nuevo en conjunto a partir de los acervos de conocimiento de las disciplinas involucradas, sino que cada especialista se expresa por separado (como sería un simposio sobre la explotación minera de una región en el que, el geólogo habla de su especialidad, el economista de la suya y el ingeniero hace lo propio), creando lo que Fourez (1998) llama "islotos" de conocimiento.

El mismo autor señala que, la interdisciplina construye conocimiento y presenta otra ventaja adicional, que es la creación de "contactos" interdisciplinarios en los cuales los especialistas de diversas disciplinas se encuentran y se estimulan comunicándose sus puntos de vista o se "prestan" métodos, además de que permiten percibir de mejor manera los límites de un punto de vista aislado, a lo que Stolniker (1999) añade la importancia de la importación de saberes de una disciplina a otra mediante este tipo de interacciones.

Este intercambio de "saberes" y métodos, requiere de varios factores para ser óptimo y obtener resultados sólidos y bien fundamentados, uno de ellos es una comunicación clara, fluida, en un lenguaje comprensible para las disciplinas involucradas, por lo que hace necesario sobrepasar las barreras del lenguaje, desde las más evidentes hasta las más sutiles como lo sugiere la National Research Council (1995), lo cual requiere que los conceptos fundamentales que pertenecen a solo una de las disciplinas involucradas sean definidos en el lenguaje técnico de la otra, o en bien en un lenguaje natural común.

Otro factor atañe a lo individual pues, no obstante que el trabajo interdisciplinario involucra un acercamiento entre personas, es decir un trabajo de grupo, la influencia de la actitud individual

es importante, sobresaliendo la conveniencia de renunciar a considerar que el saber de la disciplina propia es suficiente para dar cuenta del problema (Stolniker 1999).

8. Biodiseño

Es muy importante hacer algunas precisiones antes de iniciar este capítulo de Biodiseño, debido a la ambivalencia⁷ de este término, misma que conviene discutir antes de utilizar el término libremente para los propósitos de este trabajo y en lo sucesivo.

En la actualidad podemos hablar de la relación Biología-Diseño en los dos sentidos: la Biología aplicada al diseño (nuestro objetivo) y por otro lado el Diseño aplicado a generar seres vivos con características nuevas para su especie, es decir el diseño⁸ de organismos. Si bien este diseño se encuentra en sus primeras etapas, trabajando con organismos unicelulares y relativamente sencillos como las bacterias, en estos trabajos ya existe una planeación de las características del nuevo ser, esta clase de Biodiseño lo lleva a cabo la Ingeniería Genética, más con técnicas y procedimientos moleculares y bioquímicos que con técnicas de diseño, es decir, en este Biodiseño no toma parte el Diseñador Industrial, salvo que sea en las últimas fases del proceso global de aplicación del producto, como en el caso del páncreas artificial, del que hablaremos después, en donde el diseñador puede intervenir en el diseño de contenedores biocompatibles para las bacterias y el ser humano proponiendo formas, sistemas y materiales.

Así, en este trabajo al hablar de Biodiseño hablaremos de principios biológicos aplicados al diseño, es decir, en sentido Biología → Diseño. Un caso especial es el Diseño Biomédico, del que hablaremos un poco más adelante.

Ahora bien, podemos considerar al Biodiseño en la actualidad como una actividad soportada por dos disciplinas de relativamente reciente creación: la Biónica y la Biomimética las cuales, como veremos, se traslapan algunas veces y se complementan algunas otras. La intención de este trabajo es explicar la forma de trabajo de estas dos disciplinas y en adelante conjuntar y hablar de sus técnicas y métodos como parte del Biodiseño.

Si bien no debemos perder de vista el hecho de que el Biodiseño y las disciplinas que lo componen no siempre van a brindar una respuesta satisfactoria a todos los problemas de diseño, sus horizontes se amplían día a día gracias al desarrollo en la tecnología, la investigación y los métodos biónicos y biomiméticos lo que cada vez permite que se abarquen más campos de aplicación.

⁷ Ambivalencia: f. Condición de lo que se presta a dos interpretaciones opuestas (Real Academia de la Lengua Española 2004)

⁸ Entendiendo en este caso Diseño como: Proyecto, plan, de acuerdo a la Real Academia de la Lengua Española (2004)

8.1 Biónica

Como se mencionó en la Introducción la Biónica aparece formalmente a finales de la década de los 60s cuando es presentada por el Capitán E. Steel en un congreso de ingenieros de la fuerza aérea estadounidense. Concebida en un principio, como las raíces del nombre lo indican, como la conjunción de la **Biología** y la **Electrónica**, esta actividad rebasó rápidamente su definición, al albergar o darle nombre a diversos estudios de inspiración en principios naturales de la más variada índole, que poca o ninguna relación tenían con la electrónica. No obstante, el término pareció haber jugado un papel integrador o aglutinante de grupos, investigaciones y aplicaciones que se llevaban ya a cabo en ese entonces, todas ellas dirigidas a la utilización de principios naturales como base para aplicaciones tecnológicas, de productos o de sistemas.

Es interesante como casi cada grupo de trabajo o autor presenta variaciones en la definición de Biónica, revisemos algunas de estas definiciones tratando de llegar a una definición sintetizadora.

- A. Iniciemos con la presentada por el mismo Jack E. Steele (en Gerardin 1968) quien menciona que :

La Biónica es la ciencia de los sistemas que tienen un funcionamiento copiado del de los sistemas naturales o que presentan las características específicas de los sistemas naturales o análogos a los de estos.

- B. Por su parte Gerardin (1968) sintetiza la primera definición enunciando que:

La Biónica es el arte de aplicar el conocimiento de los seres vivos a la solución de los problemas técnicos

- C. En una definición muy resumida, Papanek (1977) propone a la Biónica como:

Utilización de prototipos biológicos en el diseño de sistemas creados por el hombre.

- D. Dario (1993) considera a la Biónica como:

El estudio de las propiedades de los sistemas biológicos que pueden ser aplicadas a la solución de problemas de ingeniería... la Biónica está estrechamente relacionada con el área del conocimiento alguna vez conocida como Cibernética, esto es, el análisis comparativo de los sistemas de comunicación, control e información en los seres vivos y las máquinas.

E. Llegamos a una definición amplia pero concreta, la de Munari (1983):

La Biónica estudia los sistemas vivientes, o asimilables a los vivientes, y tiende a descubrir procesos, técnicas y nuevos principios aplicables a la tecnología. Examina los principios, las características y los sistemas con transposición de materia, con extensión de mandos, con transferencia de energía y de información. Se toma como punto de partida un fenómeno natural y a partir de ahí se puede desarrollar una solución proyectual.

F. Por otra parte, Gamez (1991) señala:

La Biónica es la ciencia que trata de los sistemas que poseen algunas características comunes con los sistemas naturales o análogos a estos.

Obviando el que en un principio la definición de Steel (A) hacía alusión principalmente a aspectos relacionados con el control y la información en los seres vivos y su aplicación a la electrónica, su cobertura es muy amplia y refleja tres de los posibles tipos de aplicación de la Biónica (desglosando):

- Ciencia de los sistemas que tienen un funcionamiento copiado del de los sistemas naturales (Copia Fiel)
- Ciencia de los sistemas que son análogos a los sistemas naturales (Aplicación de principios)
- Ciencia de los sistemas que presentan los caracteres específicos de los sistemas naturales (Inspiración)

De estos tipos de aplicación hablaremos más adelante en este capítulo y en el capítulo 10.

Por otra parte, la definición de Geraldin (B) ya abarca un campo de aplicación mucho más amplio al hablar de problemas técnicos de una manera general. No queda claro si con "conocimiento de los seres vivos" se refiere al conocimiento que el ser humano adquiere acerca de los seres vivos o si se refiere al acervo que durante miles de generaciones los seres vivos han ido acumulando.

En la definición de Papanek (C), si atendemos a la definición de prototipo como un único modelo de prueba podríamos pensar que cada especie nueva (o más básicamente cada mutación) es un prototipo de prueba y que si esta tiene éxito permanece en el "mercado".

Dario (D) retoma las bases de la biónica relacionándola con la cibernética y el estudio de los sistemas de control y manejo de la información en los seres vivos, y restringe el trabajo de la Biónica a la aplicación en Ingeniería, algo que es muy común en algunas publicaciones que olvidan los otros tipos de diseño (industrial, arquitectónico, gráfico, etc.).

En la definición presentada por Munari (E) es importante resaltar el enfoque global que presenta, hablando de procesos, técnicas y principios, además de la aproximación a la forma de trabajo de la biónica.

La definición de Gamez (F) por si misma es sumamente ambigua y pareciera que se refiere al sentido contrario: la comparación de los sistemas creados por el ser humano con los seres vivos. Pero si agregamos lo que ese mismo autor menciona como objeto de la Biónica, el resultado es más completo y descriptivo:

... su objeto es el estudio de los principios estructurales y el funcionamiento de los organismos vivos con el fin de emplear estos principios en el desarrollo de la técnica para lograr un perfeccionamiento de las maquinarias, instrumentos, mecanismos, construcciones y procesos existentes y crear otros empleando nuevos principios.

Este autor menciona los principios estructurales y del funcionamiento en general de los seres vivos y deja ver una idea de la aplicación de estos principios al rediseño de productos, mecanismos y procesos así como a la creación de nuevos de estos.

Cabe señalar que menciona a los organismos vivos, aunque en realidad, como veremos más adelante, los organismos presentes en el pasado también pueden ser fuente de inspiración y soluciones.

Quizá la definición más precisa, completa y sintética a la vez sobre la Biónica es la que presenta Rechenberg (2004) de la Universidad de Berlín:

Aplicación de los resultados de la evolución biológica desde el punto de vista de la ingeniería.

Resultados de la evolución biológica abarca todo lo que un ser vivo representa: estructura, materiales, morfología, biomecánica, conducta, sistemas, procesos (incluyendo los evolutivos en sí), y con ellos todos los principios de los que hemos hablado. También implica el hecho de probar infinidad de innovaciones por selección natural y el perfeccionamiento de estas. Con la aparición de nuevas especies la naturaleza desarrolla "prototipos" mediante mecanismos evolutivos, prototipos que requieren permanecer (adaptación) y reproducirse (adecuación). Para lo primero requieren de dar soluciones a problemas que los cambios en el entorno presentan, dichas soluciones involucran modificaciones en la anatomía, morfología, fisiología, conducta, etc. Estas soluciones han sido probadas durante millones de años, dando como resultado una amplia variedad de posibles respuestas ante el mismo problema de diseño natural. Como se mencionó al principio de este trabajo, todo lo anterior ha dado como resultado un

enorme catálogo de soluciones naturales, un acervo del "conocimiento" que atesoran los seres vivos actuales o del pasado y donde el Diseño puede encontrar soluciones.

Por otra parte, sería mejor hablar del Diseño en general, no circunscribiendo la Biónica al ámbito de la Ingeniería, haciendo de esta su única beneficiaria.

Cabe destacar que la misma Universidad de Berlín trabaja en dos áreas separando a la Biónica de la Técnicas Evolutivas, pero resulta práctico tratar ambos dentro de la misma definición, pues finalmente (hablando de procesos) tanto los procesos llevados a cabo dentro de los seres vivos como los procesos que les dieron origen pueden ser fuente de soluciones a problemas de diseño.

Haciendo un recuento de todas las definiciones presentadas, encontramos frases como:

- Estudio de los sistemas vivientes
- Descubrir procesos y principios
- Conocimiento de los seres vivos
- Prototipos biológicos
- Propiedades de los sistemas biológicos
- Principios estructurales y funcionamiento de los seres vivos

Todo esto, los procesos y principios biológicos, los prototipos biológicos, las propiedades de los seres vivos, es decir, las estructuras y el funcionamiento de los seres vivos, los sistemas vivientes en si y el conocimiento que poseen son el resultado de la evolución

Así mismo encontramos:

- Sistemas
- Solución de problemas técnicos
- Sistemas creados por el hombre
- Solución de problemas de ingeniería
- Solución proyectual
- Perfeccionamiento de las maquinarias, instrumentos, mecanismos, construcciones y procesos

Todo lo anterior, el desarrollo de sistemas, el perfeccionamiento de las maquinarias, instrumentos, mecanismos, construcciones y procesos, la solución de problemas técnicos y de ingeniería, los sistemas (y productos también) creados por el hombre, son soluciones proyectuales, es decir diseño,

Con base en todo lo anterior, se podría presentar una definición sintetizada:

La Biónica es la aplicación de los resultados de la evolución biológica y/o sus principios al Diseño.

Pero, ¿Cómo trabaja la Biónica?, en principio se ocupa de la aplicación sistemática de las investigaciones en los seres vivos (Samek 2000), es decir hace uso formal de los resultados de las investigaciones en el campo de la Biología para satisfacer requerimientos en el proceso de diseño, idealmente mediante un trabajo interdisciplinario. Además puede valerse de otras fuentes, como el caso del análisis morfológico de estructuras u organismos enteros, mediante la geometría descriptiva, como lo hace Raeder (1992), en el que se extraen las formas de frutos, con la intención de brindar elementos para la posible generación de nuevas combinaciones formales.



Figura 37. Cápsula de la flor de amapola (*Papaver orientalis*), a) Inmadura, b) madura, seca, con la pared retraída por desecación c) mecanismo de liberación de semillas por vibración debida al viento. Fuentes: a y b Western Michigan University (2001) y c) University of Illinois at Urbana Champaign (2004).

Es recomendable iniciar el proceso en contacto con un Biólogo quien podría dar una primera aproximación a posibles campos donde buscar respuestas, lo que llevaría a la revisión del acervo de información biológica en revistas especializadas, o al contacto con especialistas de las áreas planteadas. Por ejemplo, supongamos que el diseñador trabaja en un problema de empaque, y requiere de un empaque que permita una apertura "inteligente", es decir, dependiendo de las condiciones del ambiente se abrirá para dejar salir su contenido. El Biólogo detectará que este es un caso típico de frutos, los cuales responden a las características del ambiente para dejar salir sus semillas, como en el caso de la amapola (*Papaver orientalis*), cuyo fruto al secarse repliega sus paredes y permite que las semillas salgan en la época de vientos (Figura 37). Si la literatura lo marca o el especialista lo sabe, se delimitarán los principios que llevan a este comportamiento: ¿es la estructura?, ¿son los materiales?, ¿son ambas cosas? Si lo anterior no se sabe, podría iniciarse una *investigación* al respecto en la que muy bien el Diseñador podría participar por su conocimiento en estructuras y materiales.

Lo anterior es lo que Gamez (1981) llama determinar el **Objeto Biológico** en la descripción del modo de trabajo de la Biónica, mismo que podemos observar en la Figura 38, el cual se tomó como base, pero al que se le modificaron diversos aspectos.



Figura 38. Diagrama del proceso del trabajo de la Biónica. (Basado en Gamez (1981))

Objeto Biológico

El objeto biológico es el organismo o la(s) parte(s) de este que se estén estudiando y que pueden ser abordados de alguna de las formas siguientes:

1. Desde el objeto en sí, para dilucidar su estructura y su funcionamiento
 - a. Estructura. Abarca aspectos tanto anatómicos como morfológicos, siendo los primeros los relacionados con los componentes del cuerpo y sus relaciones espaciales y los segundos los relacionados con la forma del cuerpo y de sus componentes y su relación con su función.
 - b. Funcionamiento. Se relaciona con la fisiología del organismo, es decir los procesos que se llevan a cabo en y entre los componentes mencionados arriba, así como con el ambiente.
2. En relación con su historia
 - a. Ontogenia. El desarrollo biológico (a nivel individual) desde el estado embrionario hasta el adulto, que conlleva cambios en los dos incisos del bloque anterior, en algunos casos muy evidentes como en las mariposas.
 - b. Filogenia. Se relaciona con los cambios adaptativos y por lo tanto evolutivos de cada especie, como sería por ejemplo la transformación del pelo en escamas queratinizadas en el pangolín.
3. En relación a su ambiente
 - a. Comportamiento. Los patrones y estrategias conductuales pueden también ser una fuente de soluciones, por ejemplo el caso de la debilitación de presas por choques sónicos de los delfines, que podría quizá servir para crear un artefacto que repela ataques de tiburones.

Modelo Lógico

Es en esta fase donde se sintetizan los principios del funcionamiento operativo, reduciendo los mecanismos inherentes al objeto biológico a principios técnicos.

Esta etapa es primordial, pues en ella se realizan la *interpretación* de los principios de funcionamiento del objeto biológico (resultados de la fase anterior) y la *abstracción*, que permite considerar los principios aisladamente posibilitando la fase siguiente.

Objeto Técnico

El modelo lógico y sus abstracciones permiten aplicar los principios a un objeto técnico, ya sea producto, sistema o proceso, bien de manera análoga o bien diversa, es decir dar solución a un problema similar al que la estructura o proceso enfrentaban en el ser vivo, o dar soluciones a problemas conceptualmente diferentes, como veremos más adelante.

En el primer caso tenemos, por ejemplo, la piel del tiburón, que gracias a la presencia de escamas acanaladas dispuestas longitudinalmente sobre la superficie del cuerpo (Figura 39) reduce la fricción con el agua evitando la formación de remolinos o turbulencias, lo que ha sido utilizado por la compañía Speedo® para generar una línea de trajes de baño (Fast-Skin®) de alto rendimiento para competencia⁹ basado en este principio (Figura 40)

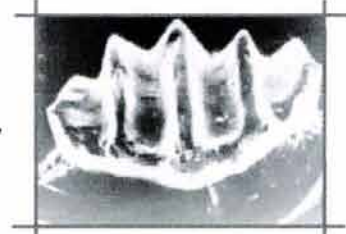


Figura 39. Microfotografía de piel de tiburón. Tomada de FA&MU (2004)

En el segundo caso, podemos citar el ejemplo de Pham y Onder (1992), en el que emplean un algoritmo genético para optimizar el diseño de un sitio de trabajo (workplace).



Figura 40. Trajes de baño Fast-Skin® basados en la piel de tiburón. Tomadas de Speedo (2004)

Evidentemente el primer caso es de una aplicación análoga, es decir la solución tiene diferente origen, pero la misma función que en el ser vivo, mientras que en el segundo caso, la aplicación es diversa, esto es, una función diferente que en el organismo de donde se extrajo el principio.

Nótese que en los párrafos anteriores se han resaltado los términos *investigación*, *interpretación* y *abstracción* sobre los cuales se profundizará en el subcapítulo 8.3, pues estos son comunes para la Biónica y para la Biomimética, es decir son parte del proceso de Biodiseño.

Ahora bien, no obstante que se ha obviado hasta el momento, es claro que la solución propuesta por la biónica puede en algún momento competir con otras soluciones, dependiendo del método de diseño empleado, participando en alguna de las dinámicas presentadas en el subcapítulo 6.2. Al respecto de la aplicación Rechenberg (2004) propone que antes de intentar llevar a cabo esta se debe responder a tres preguntas básicas:

1. ¿Es la función biológica similar a la función (que desempeñará) en ingeniería?
2. ¿Son los requerimientos biológicos similares a los requerimientos de ingeniería?
3. ¿Es la calidad biológica similar a la calidad en ingeniería?

Como hemos visto en el último ejemplo las dos primeras preguntas no necesariamente aplican para todo el trabajo biónico, pues restringen la aplicación a una de tipo análogo, lo

⁹ La compañía reporta que estos trajes fueron usados por 28 de los 33 medallistas olímpicos en Sydney 2000 y el 84% de los campeones mundiales en la actualidad

que puede dejar de lado soluciones muy útiles, fruto de un trabajo más profundo de interpretación y abstracción que llevan a la aplicación diversa¹⁰.

Por otro lado, convendría modificar la última pregunta, a si la calidad de la solución biológica es similar o mejor que la calidad del producto, sistema o proceso actual o de otras soluciones no biónicas, lo que nos lleva nuevamente a la conveniencia de incluir esta solución en las tablas comparativas, por ejemplo en el método del Diagrama Morfológico del que se habló en el subcapítulo 6.2.

La aplicación del modelo lógico al objeto técnico, también se relaciona con los conceptos de Gerardin (1968) que mencionamos con anterioridad: copia fiel, aplicación de principios e inspiración y dependen del grado de abstracción que se haga de los principios y del grado de analogía o diversidad final.

Diseño Biomédico

Un caso particular de Biónica es el Diseño Biomédico, es particular porque la gran mayoría de sus aplicaciones consiste en un proceso "ida y vuelta", es decir se toma a un elemento del organismo como modelo, se determina su estructura, funcionamiento y requerimientos, y se desarrolla un objeto técnico que cumple las mismas funciones que en el organismo, para después implantarlo en el sujeto. Es un proceso Biología \longleftrightarrow Diseño.

De hecho, una reflexión sobre la Biónica presentada por Sandberg (2000) señala que:

La Biónica busca trascender nuestra naturaleza biológica, reemplazando partes biológicas con partes artificiales, o traducir la mente humana en información en una computadora.

Los ejemplos son muchos y muy variados y van desde reemplazos prostéticos estéticos, hasta implantes funcionales de alta tecnología. Uno de estos ejemplos es el implante coclear (basta con solicitar una búsqueda de la palabra Biónica en Internet para encontrarlo), en el cual se devuelve la audición a un oído dañado basándose en el conocimiento profundo del funcionamiento de este órgano.

¹⁰ Entendiendo por diversa la aplicación conceptualmente diferente a la función que desempeñaba en el ser vivo.

Ejemplo 1. Implante coclear

Como sabemos, en las personas con audición normal, las ondas sonoras atraviesan el oído externo hasta llegar al tímpano, o membrana timpánica, la cual inicia su vibración y pone en movimiento la cadena osicular, formada por tres huesecillos: martillo, yunque y estribo. Éstos, a su vez, transfieren la energía hacia el oído interno; los fluidos contenidos en este oído interno entran en movimiento, provocando que las células ciliadas (del órgano de Corti; o sea, el "caracol") transformen estas vibraciones en impulsos eléctricos, que se transmitirán a través de las fibras nerviosas auditivas al cerebro (Figura 41).

En algunos tipos de sordera profunda, hay una destrucción de las células ciliadas.

El Implante Coclear sustituye dichas células enviando señales al cerebro.

El Implante Coclear (Figura 42) es un transductor que transforma las señales acústicas en señales eléctricas que estimulan el nervio auditivo. Estas señales eléctricas son procesadas a través de las diferentes partes de que consta el Implante Coclear, las cuales se dividen en

Externas e Internas:

Externas: Micrófono (1): Recoge los sonidos, que pasan al Procesador. Procesador (3): Selecciona y codifica los sonidos más útiles para la comprensión del Lenguaje. Transmisor (4): Envía los sonidos codificados al Receptor (5).

Internas: Receptor-Estimulador (5): Se implanta en el hueso mastoideo, detrás del pabellón auricular. Envía las señales eléctricas a los electrodos. Electrodos (6): Se introducen en el interior de la cóclea (oído interno) y estimulan las células nerviosas que aún funcionan. Estos estímulos pasan a través del nervio auditivo (7) al cerebro, que los reconoce como sonidos y se tiene -entonces- la sensación de "oír".

Ambas partes (externa e interna) se ponen en contacto por un cable (2) y un imán (4), Zamora (2004).

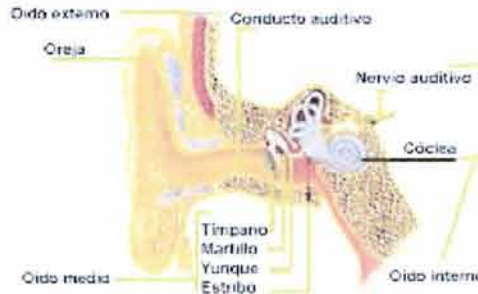


Figura 41. Corte transversal del oído normal. (Modificado de ZONAN.org).

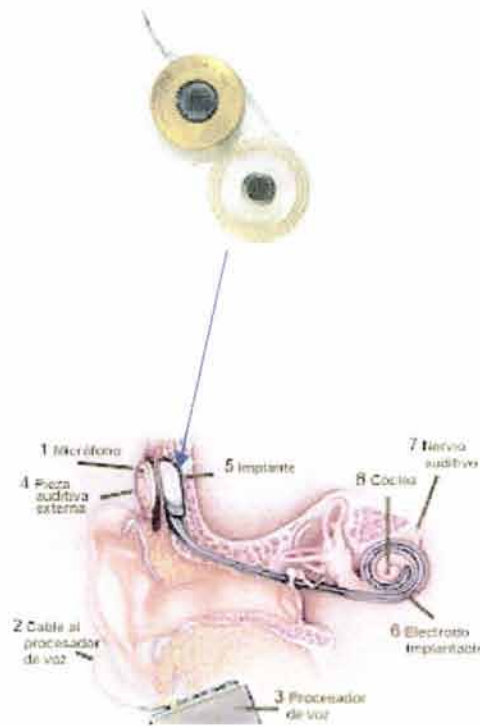


Figura 42. Corte transversal del oído con implante coclear (Modificado de Implantecoclear.org).

Ejemplo 2. Implante de cadera

La cadera es una de las dos articulaciones de tres grados de libertad, debido a que es de tipo "bola-socket", éste último es conocido como acetábulo, el cual rodea la cabeza del fémur.

Dicha cabeza del fémur y el interior del acetábulo están recubiertas por cartilago articular, muy resistente y pulido que permite el deslizamiento entre ambas superficies sin daño en ninguna de ellas.

Dos de las razones principales para reemplazar esta son la artritis y la fractura.

En la primera el cartilago se degenera y los huesos se friccionan llegando a formar callosidades lo que disminuye paulatinamente la capacidad de movimiento y produce un dolor agudo.

En el segundo caso la re-unión del hueso es difícil, pues principalmente se da en casos de personas de edad avanzada donde la osificación es deficiente, por lo que la mejor opción es el reemplazo de la cabeza del fémur.

Obviamente lo que se hace es modelar la cabeza del fémur y construir una prótesis de algún material biocompatible, que puede ser titanio, o de cabeza cerámica.



Figura 43. Articulación de la cadera, (a) fémur (recuadro) y su articulación normal con la cadera, (b) articulación afectada por la degeneración del cartilago articular. (Fuentes varias, ver anexo III)

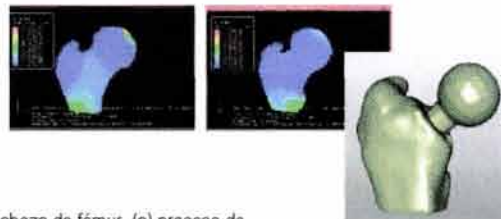


Figura 44. Prótesis de cabeza de fémur, (a) proceso de diseño dela prótesis, (b) dos tipos prótesis y (c) implantación en el fémur.

Y bueno, los ejemplos son muchísimos más incluyendo los marcapasos, corazón artificial, arterias artificiales, diálisis, prótesis de miembros, piel artificial, y las prótesis dentales entre otros, los cuales serían tema de otro trabajo completo.

8.2 Biomimética

Como mencionamos al inicio de este documento, la Biomimética es una disciplina sumamente joven con apenas 13 años, y no obstante que se inició como una disciplina enfocada a los materiales inspirados en materiales naturales, ha tenido un desarrollo impresionantemente rápido durante el cual ha incursionando en áreas tan alejadas como la Biología Molecular, y la construcción de puentes no solo tocando aspectos relacionados con materiales, sino con procesos y otros aspectos biológicos.

En este caso el vocablo proviene del Griego **Bios** = Vida y **mimesis** = imitación y apareció por primera vez en 1991 en un taller organizado por la Oficina de Investigación de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos, cuyo propósito era determinar qué podía aportar la Biología en términos de diseño y procesamiento de materiales; interés que fue generado debido a la gran versatilidad de los materiales naturales y a sus características de multifuncionalidad derivadas de su estructura jerarquizada.

Pero revisemos algunas definiciones de Biomimética antes de profundizar en su forma de trabajo, tal como hicimos con la Biónica.

A. Sarikaya y Aksay (1995) consideran que:

La Biomimética es el estudio de las estructuras biológicas, sus funciones y sus rutas de síntesis para estimular nuevas ideas y desarrollar estas en sistemas artificiales similares a aquellos encontrados en los sistemas biológicos.

B. La definición de Benyus (1997) propone que:

La Biomimética o Biomimétrica es una disciplina en la cual imitamos o tomamos inspiración de los diseños y procesos de la naturaleza para resolver problemas humanos.

C. Por su parte, Eisner (2002) señala:

La Biomimética es el estudio de la estructura y función de los materiales y sistemas biológicos como modelos para el diseño de materiales.

D. BIONIS (2004)

La Biomimética es una disciplina facilitadora que busca en la naturaleza ideas que puedan ser adaptadas y adoptadas para la solución de problemas.

E. La Universidad de Bath, Inglaterra (2004) sobre la Biomimética señala que:

Básicamente, es el concepto de tomar ideas de la naturaleza e implementarlas en otras tecnologías, tales como la ingeniería, diseño, computación, etc.

F. Vincent (1995) define a la Biomimética como:

Abstracción del buen diseño de la naturaleza

Tomando en consideración el capítulo anterior y algunas de las definiciones de Biónica, podemos encontrar que la definición de Biomimética de Sarikaya y Aksay (A) sitúa a esta última en el mismo plano que la biónica, es decir prácticamente como la misma disciplina, aunque ellos agregan las rutas de síntesis en los seres vivos, algo muy importante, pues estas son un muy buen prospecto para brindar soluciones a procesos de síntesis artificial, tendiendo al trabajo a temperatura ambiente, objetivo primordial para llegar a una industria más rentable y amable con el entorno.

Benyus (B) por su parte es el caso contrario de la definición anterior, pues es tan general como hablar de los problemas humanos. Algo que no es descabellado, si pensamos en que los seres vivos pueden brindar soluciones a una infinidad de estos, desde el diseño de productos específicos como trajes de baño, hasta poderosos filtros para la desalinización o para separar compuestos químicos, basados en los principios de los procesos llevados a cabo en las membranas de las células, como propone la misma autora, quien además añade que se trata de *innovación inspirada por la naturaleza*.

La definición de Eisner (C) es importante, pues aunque reciente, se centra en los objetivos originales de la Biomimética: los materiales naturales, como inspiración para el desarrollo de materiales artificiales.

Por su parte BIONIS (D) presenta una definición muy similar a la de Benyus, aunque es todavía más general, hablando solo de la resolución de problemas. En su publicación también añade algo de suma importancia y lo cual coincide con lo discutido en el inciso 8.1, pues menciona que la Biomimética es *inspiración más que imitación*.

La Universidad de Bath (E) es más específica respecto a lo que considera los campos de aplicación de la Biomimética.

He dejado la definición de Vincent (F) al final, por varias razones, la primera es que no obstante es extremadamente reducida, al mismo tiempo toca el punto principal en cuanto al trabajo de la Biomimética, la Biónica y por, por lo tanto, del Biodiseño: *la abstracción*.

Por otro lado (y sin ánimo de tocar excesos, ni crear íconos o personajes de culto) J.V. Vincent, a mi parecer, es la persona que más ha analizado, teorizado y aplicado a la vez sobre los conceptos, herramientas y aplicaciones de la Biomimética.

Volviendo a la definición, agrega que:

"se basa en el entendimiento de cómo los materiales naturales son puestos juntos... lo que somos capaces de hacer es aplicar toda clase de conceptos a nuevas tecnologías".

Como vemos, ese autor vuelve a los inicios de la Biomimética, refiriéndose a los materiales naturales y su aplicación para la generación de nuevas tecnologías (no explica si solo en materiales o en general). Más adelante veremos que sus conceptos sobre el trabajo de la Biomimética se han extendido y esta ya no es privativa de los biomateriales como fuente, ni de los materiales sintéticos como objetivo.

Existen otras tantas definiciones que están muy relacionadas con la búsqueda de materiales para uso médico, que involucran la generación de materiales similares a la dentina, el hueso y las conchas de moluscos.

Respecto a la definición de Biomimética, el mismo Vincent ha llegado a proponer que en la actualidad lo que el término Biomimética representa es más cuestión de creencia personal, que de un dogma rígido, y anotaremos que la libertad ha de referirse al ámbito de aplicación, es decir el estudio y la abstracción de los principios naturales para la solución de problemas de materiales, estructuras, procesos, servicios, etc.

Solo añadiremos los conceptos de Ayre (2003) de la Agencia Espacial Europea, quien señala que la Biomimética es, como el organismo que está imitando, de una naturaleza altamente multidisciplinaria, que engloba aspectos relacionados con materiales, estructuras, propiedades mecánicas, computación y control, diseño, optimización, funcionalidad y efectividad en cuanto a costos, en lo que Cheolheui (2001) coincide, pues señala que más importante que definir la Biomimética, es prestar atención a su esencia multidisciplinaria (interdisciplinaria si tomamos en cuenta los conceptos presentados en el capítulo 7 del presente trabajo).

Ahora bien, sobre la aplicación es claro que se puede seguir el mismo esquema que presentamos para la biónica (Figura 28) que consiste en un Objeto Biológico, cuyos principios (estudiados) llevan a la conformación de un Modelo lógico, a partir del cual podemos abstraer soluciones para un Objeto Técnico, lo que se aplicará en las fases de generación de alternativas o de mejora de detalles si seguimos el modelo simétrico del proceso de diseño (inciso 8.3) propuesto en la Figura 19.

Pongamos como ejemplo el trabajo de Li et al. (1995), donde el **objeto biológico** es **el bambú** y en este caso **su estructura** es el objetivo de estudio, el cual se inicia por las muy conocidas características de resistencia de las elongadas plantas de bambú, que no obstante de alcanzar grandes tallas, no se trozan con los fuertes vientos.

Estas plantas han sido utilizadas como materia prima para cantidad de productos debido a su alta resistencia.

Estos autores notaron que, a diferencia de la madera, las fibras que constituyen el tallo del bambú están formadas por cilindros concéntricos que alternadamente presentan cilindros delgados con fibras con una inclinación hacia la izquierda y cilindros gruesos con fibras con una inclinación hacia la derecha, y así sucesivamente.

Con base en lo anterior, crearon cuatro clases de "especímenes" de prueba de esfuerzos, mediante resina epóxica reforzada con fibra de vidrio:



Figura 45. Planta de bambú.



Figura 46. La resistencia del bambú a la flexión y compresión es altamente apreciada por fabricantes de gran cantidad de productos.

- a) cilindro macizo con fibras longitudinales
- b) cilindro hueco con fibras longitudinales
- c) cilindro hueco con fibras orientadas helicoidalmente a la derecha (15°)
- d) cilindro hueco con doble helicoidal, 20% hacia la izquierda la exterior (30°) y 80% hacia la derecha la interior (15°).

Después de aplicar pruebas de compresión encontraron que (d) tiene el desempeño ante la compresión óptimo en comparación con las demás conformaciones.

En un análisis más minucioso, encontraron que entre las capas gruesas y las delgadas, existen una serie de microcapas que fueron llamadas zonas de transición en las que gradualmente las fibras van teniendo un giro cada vez más cercano a la orientación de la capa principal siguiente.

Como los autores pensaron, estas microcapas aumentaban la resistencia de la estructura en su totalidad, esta vez respecto a la tensión (15% respecto a las muestras sin zona de transición), es decir, mientras la conformación helicoidal de las fibras y su disposición aumentan la resistencia a la compresión, la interfase o zona de transición confiere una resistencia a la tensión. Todo esto constituye el **Modelo Lógico**.

Para aplicaciones de diseño, el grosor de las dos capas y el ángulo de inclinación de las fibras pueden ser diseñados para cumplir con requerimientos específicos de plasticidad, fuerza y estabilidad estructural, por ejemplo en productos que estén sometidos a grandes esfuerzos como antenas de gran tamaño, o bien en pértigas para salto de altura, o trabéculas para puentes (**Objeto técnico**).

Al igual que en el caso de la Biónica, las soluciones biomiméticas pueden competir con otras soluciones "tradicionales", durante el proceso de diseño.

Árbol de la Tecnología Biomimética

Como hemos dicho, la Biomimética ha desplegado su campo de acción más allá de sus orígenes en la investigación de materiales naturales hacia múltiples áreas (en Biología se diría que ha irradiado). Hacer una clasificación de estos campos es una tarea poco sencilla, pues las posibles fuentes de inspiración biológica son innumerables, y también debido a la

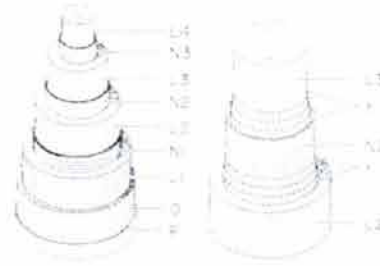


Figura 47. Estructura en microcapas del bambú.

multifuncionalidad tanto de las estructuras biológicas, como de las aplicaciones de la Biomimética.

No obstante lo anterior, la Agencia Espacial Europea en Ayre (2003) se dio a la tarea de definir lo que llaman el Árbol de la Tecnología Biomimética, en el cual definen las principales áreas de acción de esta actividad y sobre las cuales revisaremos brevemente algunos ejemplos. Cabe destacar que estas categorías se sobrelapan en muchos casos, por ejemplo, los sensores están íntimamente ligados tanto a materiales como al control, pero eso se hará evidente en los casos que así ocurra. Las categorías principales son:

- A. Estructuras y Materiales
- B. Mecanismos y Energía
- C. Conducta y Control
- D. Sensores y Comunicación
- E. Biomimética Generacional

A. Estructuras y Materiales

A.1 Estructuras

A.1.1 Nuevas Estructuras. Estructuras que se inspiran en nuevas formas encontradas en estructuras naturales.

A.1.1.a Estructuras construidas por animales



Panales /Telarañas

A.1.1.b Estructuras optimizadas para la carga



Huesos largos

A.1.1.c Estructuras con topologías novedosas

Exoesqueleto captador de agua por condensación de neblina del escarabajo *Stenocara*



A.1.2 Estructuras Dinámicas / Adaptables

Estructuras que exhiben una respuesta inteligente al cambio en las cargas, ya sean transitorias (respuesta dinámica), o bien sostenidas (respuesta adaptativa)



Cabeza del Femur

A.1.3 Despliegue, doblado y empaque

Nuevas estrategias bio-inspiradas de despliegue y doblado de estructuras, así como de empaque.

Empaque de las semillas del girasol (Fibonacci)
 Doblado y empaque de alas de coleópteros
 Empaque de hojas de helechos



A.2 Materiales

A.2.1 Materiales compuestos

Nuevos materiales que reproducen la naturaleza compuesta de los materiales biológicos

Madera



Madreperla

Microestructura de la madreperla
 Nacar artificial (Oklahoma State University)



A.2.2 Materiales compuestos Bio-incorporados

Materiales que en alguna medida incorporan materiales/moléculas biológicos o de ingeniería genética.



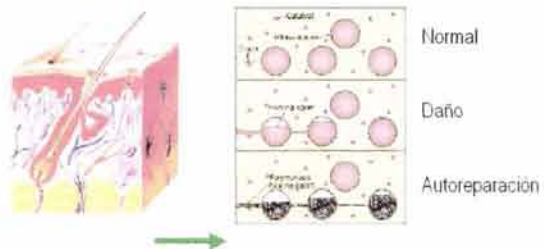
A.2.2 Materiales inteligentes

Materiales que exhiben una respuesta "inteligente" a estímulos

Tecnología de sensores
 (Girasoles / Lentes Sunsensor)



Tecnología de acción / respuesta
 Piel
 Materiales autorreparables



B. Mecanismos y Procesos

B.1 Mecanismos

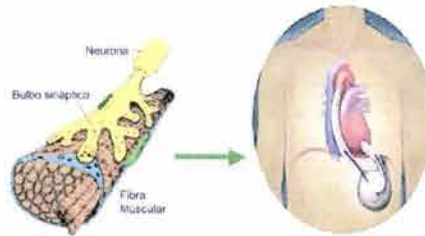
B.1.1 Músculos y actuadores

Reproducción de las características de actuación de los seres vivos (p. ej. Los mecanismos hidráulicos de las plantas, o las características de los músculos)

B.1.1a Polímeros y cerámicas electroactivos

Placa Neuromotora (Unión fibra nerviosa/músculo)

Órganos artificiales que requieren de control por pulsos



B.1.1b Aleaciones con memoria de la forma

Tulipán (las flores "recuerdan su forma")

Instrumento laparoscópico (El cirujano le da forma a temperatura ambiente y con el calor, al esterilizarlo, recobra su forma original)



B.1.1c Músculos artificiales McKibben

Lombriz de tierra (mecanismo hidráulico de desplazamiento)

Músculo hidráulico McKibben



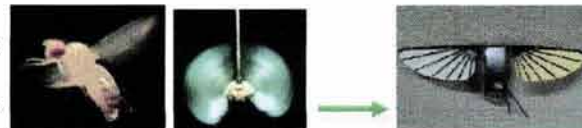
B.1.2 Locomoción

Reproducción de uno o más aspectos de la locomoción del reino animal

B.1.2a Mecanismos de vuelo

Vuelo de insectos

Robot volador de la NASA



B.1.2b Mecanismos ambulatorios

Los mecanismos ambulatorios de los hexápodos son fuente de inspiración

Robot hexápodo



B.1.2c Mecanismos ondulatorios de nado

El crustáceo fósil *Anomalocaris*
Las babosas marinas
Las Mantas



Atún aleta amarilla (*Thunnus Albacares*)
Atún Robot (MIT)



B.1.2d Mecanismos ondulatorios de reptado



B.2 Procesos

B.2.1 Nuevos procesos

Nuevos procesos a partir de procesos naturales

Filtrado y transporte de iones a través de las membranas celulares



B.2.2 Manejo térmico

Inspiración biológica sobre estrategias de manejo de calor, incluyendo conservación o disipación del mismo.

El delfín controla la temperatura corporal mediante un sistema de contracorriente (en este caso disipa calor)



B.2.3 Fabricación


Nuevos procesos de fabricación y manufactura de materiales

Procesos de deposición y mineralización en conchas, huesos y cornamentas
Proceso de nanoconstrucción de materiales para la industria electrónica



B.2.4 Generación y almacenamiento de energía Generación y almacenamiento de energía basados en procesos naturales

Proceso de la fotosíntesis
 Mejoramiento de tecnología de fotoceldas
 Recuperación de O₂ a partir de membranas fotosintéticas artificiales



The image shows a diagram of the photosynthesis process on the left, a photograph of solar panels in the middle, and a photograph of an astronaut in space on the right. A green arrow points from the photosynthesis diagram towards the solar panels and astronaut.

C. Conducta y Control
C.1 Conducta

C.1.1 Inteligencia artificial clásica Reproducción de los patrones y las capacidades de pensamiento del razonamiento abstracto encontrados en los seres humanos

Comportamiento humano
 Diseño de computadoras y Programación



The image shows an illustration of human figures on the left and a laptop displaying binary code on the right. A green arrow points from the human figures towards the laptop.

C.1.2 Inteligencia artificial conductual Enfoque "bottom-up" que se centra en los agentes autónomos que exhibe el comportamiento animal

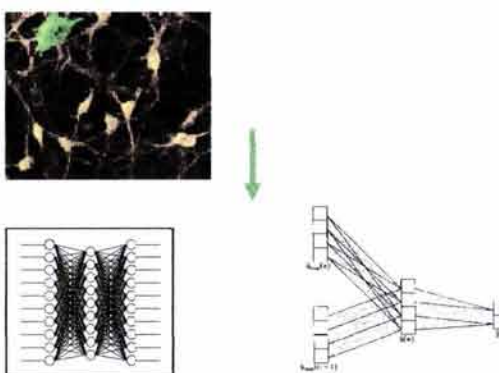
Comportamiento animal
 Diseño de computadoras y Programación



The image shows an illustration of people on a beach on the left and a laptop displaying binary code on the right. A green arrow points from the beach scene towards the laptop.

C.1.3 Mecanismos de aprendizaje Inspirados en los mecanismos in-situ de modificación de la conducta animal

Redes neuronales
 Resolución de problemas complejos (incluida la optimización de diseños)



The image shows a microscopic image of neurons on the left and a schematic diagram of a neural network on the right. A green arrow points from the microscopic image towards the schematic diagram.

Generación de tarjetas inteligentes



C.1.4 Inteligencia artificial distribuida

Hormigas (Inteligencia distribuida donde no hay un control centralizado)



Control distribuido (Internet, manufactura, etc.)



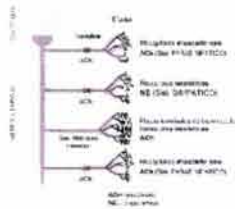
C.2 Control

C.2.1 Control reflejo

Mecanismos de control inspirados biológicamente enfocados principalmente en el control reflejo (estimulo-respuesta), el cual es dependiente del exterior

Sistema nervioso periférico (responsable del control reflejo)

Control de robots



C.2.2 Control ritmico

Bio-inspiración en generadores de patrones de conducta rítmicos, los cuales no son dependientes del exterior

Aleteo

Marcha

Respiración



Atún-Robot (MIT)

Robots hexápodos



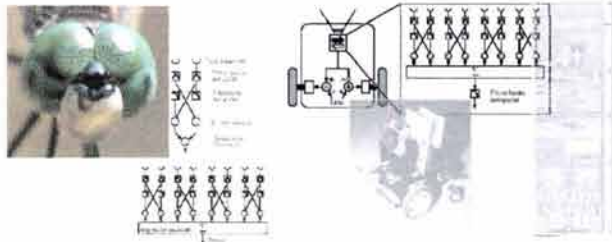
D. Sensores y Comunicación

D.1 Sensores

D.1.1 Visión

Sistemas de visión basados en principios de seres vivos

Visión de los insectos
Reproducción de visión compuesta
Reproducción de procesamiento de imágenes

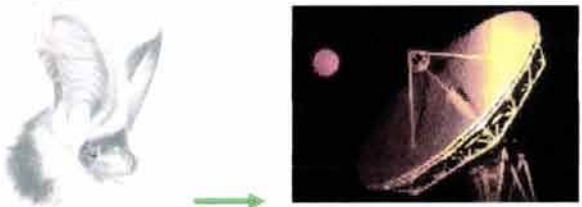


Se integra con conducta y sistemas de control

D.1.2 Audición

Sistemas de audición basados en principios de seres vivos

Movimientos de la pina (oreja)
Optimización de movimientos de rastreo



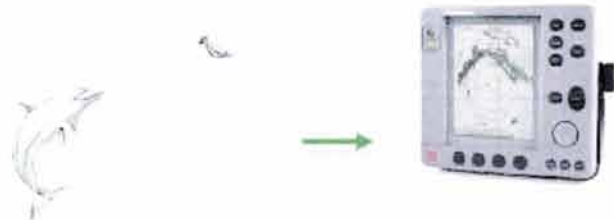
Funcionamiento del oído

Implante coclear



Ecolocalización en animales

Radar



Se integra con conducta y sistemas de control

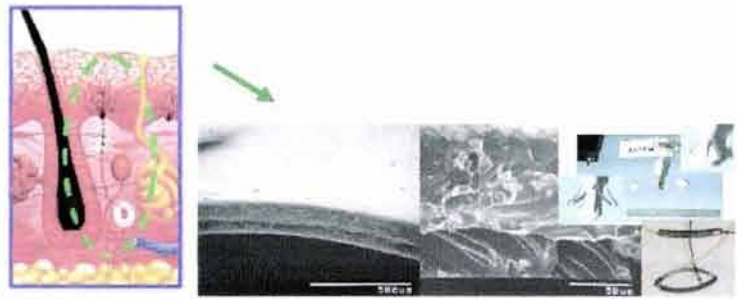
D.1.3 Tacto

Sistemas sensibles al tacto basados en principios de seres vivos

Sensores tegumentarios

EPA (Polimeros electroactivos)

Se integra con conducta y sistemas de control



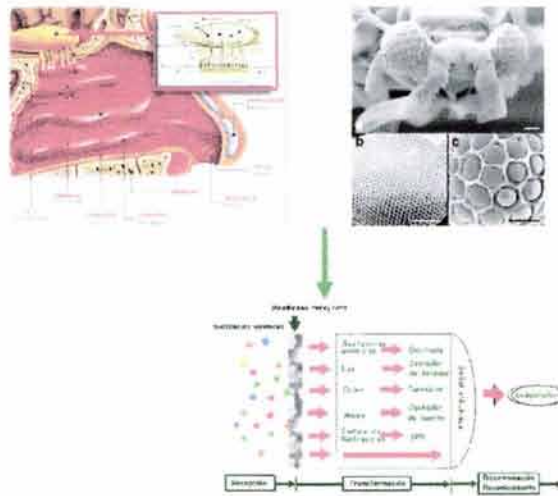
D.1.4 Sabor y Olfato

Sistemas de sabor y olfato basados en principios de seres vivos

Transductores bioquímicos de señales (olfato, visión)

Detección de compuestos de rango amplio y angosto

Se integra con conducta y sistemas de control



D.2 Comunicación

Mecanismos de comunicación basados en mecanismos de comunicación biológicos, sean químicos, conductuales, morfológicos, etc.

Comunicación Química

Comunicación conductual

Comunicación por patrones (mimetismo)

Camuflaje



E. Biomimética Generacional

E.1 Mecanismos ecológicos

Mecanismos bio-inspirados en la Ecología



E.2 Mecanismos genéticos

Mecanismos inspirados genéticamente. El objetivo es la optimización de técnicas



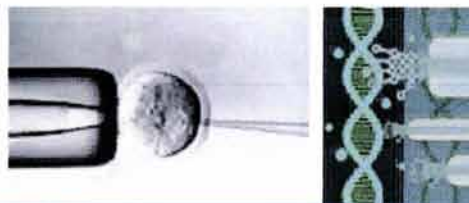
E.3 Mecanismos culturales

Mecanismos inspirados culturalmente. El objetivo es el desarrollo de la cultura dentro de equipos de agentes para mejorar el desempeño de tareas, así como combinar técnicas genéticas y culturales en la optimización.



E.4 Ingeniería genética / Alteración humana

Uso de la Ingeniería Genética y medidas terapéuticas



La Biomimética, como hemos visto, puede profundizar a niveles microscópicos y sumergirse en la complejidad de algunos procesos biológicos en su búsqueda de soluciones, trabajo que ha llevado a sus practicantes a la misma conclusión que a muchos biónicos, respecto al enfoque *“inspiración más que imitación”* que menciona Benyus (1997).

Para lograr un distanciamiento cada vez mayor de la sola imitación la herramienta es la abstracción pues aislando las cualidades del objeto del entorno (al menos momentáneamente) estas pueden ser “transportadas” a otras realidades (en otro objeto) y determinar la factibilidad de su uso para dar solución al problema al cual se enfrenta este último objeto, ya en el que se pueden modificar, complementar o mejorar las características de esas cualidades.

ABSTRAER
Separar por medio de una operación intelectual las cualidades de un objeto para considerarlas aisladamente o para considerar el mismo objeto en su pura esencia o noción¹¹.

Por ejemplo, la abstracción en el caso del Velcro® de Mestral, consistió en aislar las ideas de múltiples puntos de adhesión por ganchos y de una adhesión momentánea, pero para la vestimenta (por ejemplo) la adhesión ha de ser más fuerte y duradera, lo que se puede lograr aumentando el número de puntos de adhesión, ¿Cuántos?, los que el área de trabajo me permita. Obviamente a mayor área más número de ganchos, o bien... a menor tamaño de los ganchos, necesitaré más para cubrir la misma área. La tecnología actual permite miniaturizar un mayor número de productos y cada vez a menor escala y los ganchos de Mestral no fueron la excepción, con lo que bastó dotar a estos ganchos con una contraparte fibrosa donde anclarlos y el resultado se ve por todas partes.

Ahora bien, es conveniente prestar atención a los mapas biomiméticos desarrollados por Vincent, (2001) referentes a la transferencia de principios Biología – Diseño.

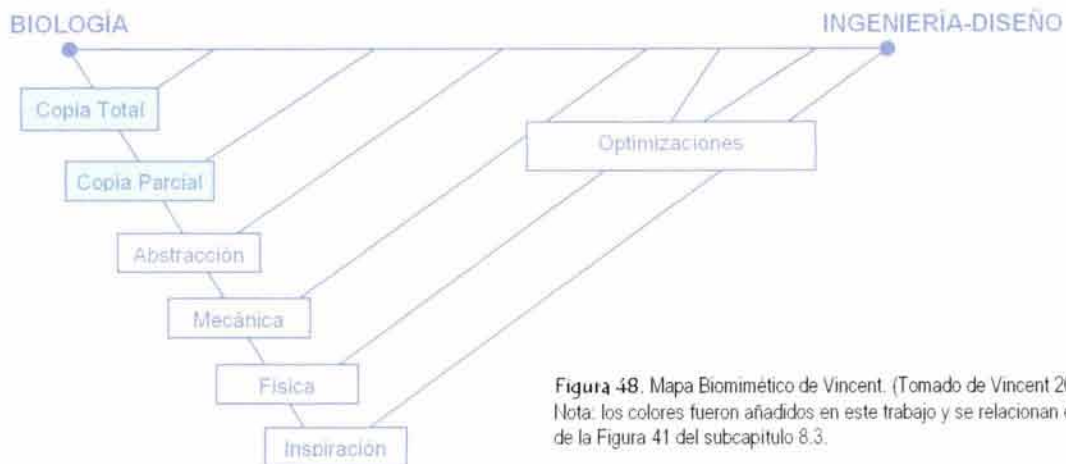


Figura 48. Mapa Biomimético de Vincent. (Tomado de Vincent 2001).
Nota: los colores fueron añadidos en este trabajo y se relacionan con los de la Figura 41 del subcapítulo 8.3.

En este primer mapa (Figura 48) se puede observar el principio de adaptabilidad, según el cual, mientras más abstracto es un concepto, es más adaptable dentro de otra disciplina, esto es, que mientras más se aleje verticalmente uno del origen (extremo superior izquierdo), más general y por lo tanto más poderoso será el concepto.

Aplicando esto de una manera más específica al caso de los materiales, tenemos la Figura 49.

¹¹ Real Academia de la Lengua Española (2004)

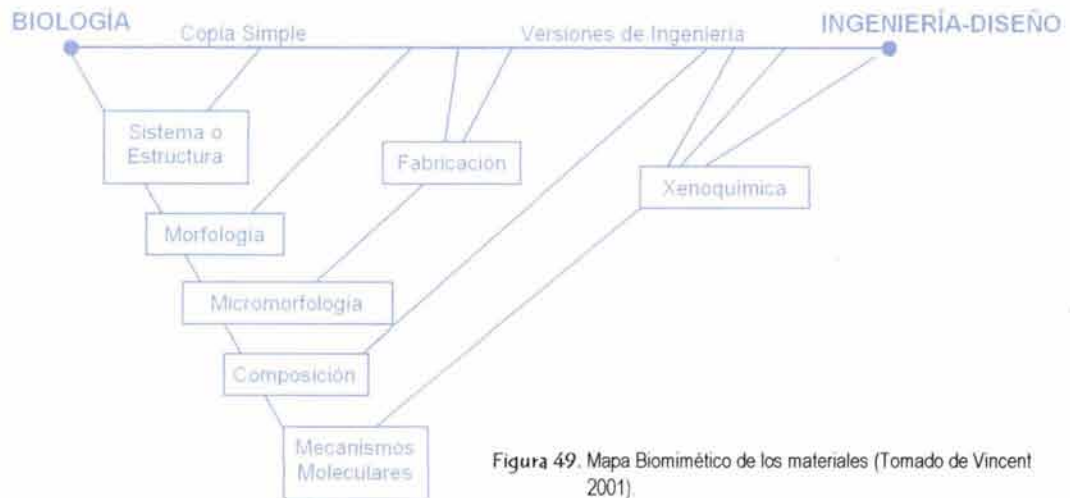


Figura 49. Mapa Biomimético de los materiales (Tomado de Vincent 2001).

La intención aquí es mostrar que mientras más básica es una propiedad dentro de una estructura es más fácil extrapolar esa función a otra área (en concordancia con la figura anterior), sobre lo que se puede ser más específico aún, si se trata el caso de la seda, como se ve en la figura que se muestra en la Figura 50.

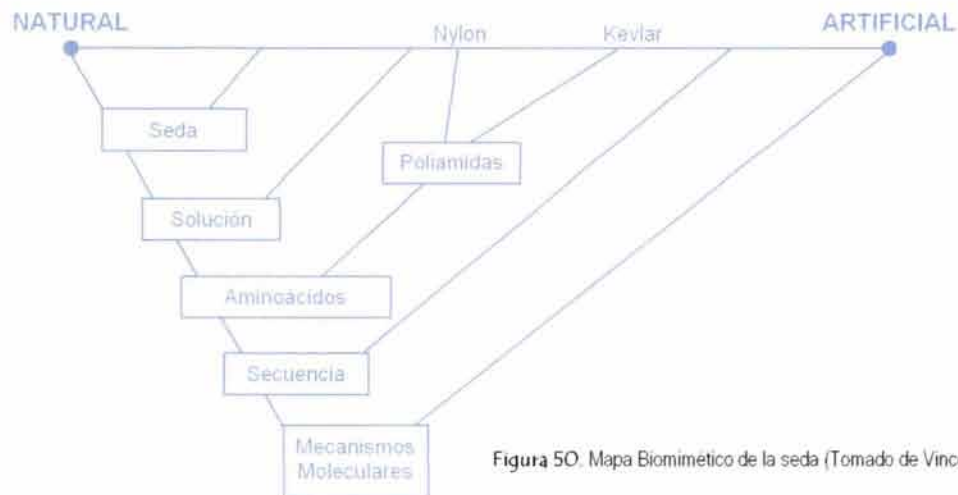


Figura 50. Mapa Biomimético de la seda (Tomado de Vincent 2001).

Se puede observar que el análisis de niveles sucesivos de la seda puede llevar a fibras con cada vez mejor desempeño mecánico.

No obstante que existen otros tantos mapas, el lector que esté interesado en profundizar en ellos puede revisar la publicación de Pellegrino (2001), donde se incluyen los ejemplos presentados aquí y otros más.

Concluiremos esta sección señalando que es claro que la Biomimética está aprovechando los últimos adelantos en la investigación científica, principalmente la Biología Molecular y los está transfiriendo al desarrollo de materiales y procesos de punta (entre otras aplicaciones), permitiendo pasar de la naturaleza como fuente de materias primas a fuente de ideas, lo que la convierte en una de las más desafiantes e importantes ramas de la Biología del siglo 21, a decir de Wainwright (1995), quien agrega que será muy importante la investigación con orientación

Biomimética en cuanto a procesos de fabricación y regeneración de materiales y sistemas en plantas y animales.

8.3 El Proceso

Recapitulemos, ¿Por qué hablar de Biodiseño?, es una manera de integrar la enorme cantidad de conceptos, principios y aplicaciones de los que se ha hablado, en un término que reúna a las dos comunidades objetivo de este trabajo (Biología y Diseño Industrial), presentando una disciplina integradora de las diferentes áreas que trabajan en la aplicación de los principios biológicos al Diseño y que contenga los métodos y principios de ambas. Es, entonces solo una manera de reunir en un solo proceso ambas líneas de trabajo

Así pues, y basándonos en definiciones anteriores diremos que:

El Biodiseño aplica los resultados de la evolución biológica y/o sus procesos al Diseño Industrial

Esta se conforma por la Biónica y la Biomimética que, si bien son sumamente traslapables, conservan cierta individualidad, siendo la primera más avocada al trabajo macroscópico de estructuras y procesos y la segunda más apegada al mundo microestructural de los materiales, sus propiedades y sus procesos de producción en los seres vivos y su aplicación a materiales artificiales. Ambas confluyen en diversos aspectos y llegan a considerarse sinónimos, lo cual es correcto hasta cierto punto dados algunos de sus enfoques y resultados, aunque existen aún aspectos que las sostienen como entidades separadas, relacionados con su historia, métodos y áreas de acción. De hecho cuando hablemos de Biodiseño estaremos refiriéndonos tanto a la Biónica como a la Biomimética, así como al Diseño Biomédico en cierta medida.

El Proceso en general es el presentado por Gamez (1981) para el trabajo biónico, al cual he modificado añadiendo las actividades que llevan de una fase a otra (Ver Figura 51) así, el proceso se inicia con una necesidad de diseño, es decir un problema de diseño, que puede ser todo o un componente de un producto. De ahí se inicia la observación y/o investigación sobre una estructura, un sistema o un proceso en el mundo biológico, cuyos resultados nos llevan a definir un Objeto Biológico (ver subcapítulo 8.1), esta investigación puede ser ex profeso o bien puede ser una revisión del catálogo de publicaciones científicas, buscando estudios relacionados con el problema planteado. La interpretación que se hace sobre el funcionamiento del objeto en cuestión permite construir un Modelo Lógico, es decir, un modelo que explique la forma y causas del funcionamiento del objeto, aún ligada a sus relaciones con el entorno en el cual se desenvuelve. A partir del Modelo Lógico y mediante un proceso de abstracción, se



Figura 51. Proceso del Biodiseño.

conforma el llamado Objeto Técnico, es decir una aplicación dentro del campo técnico, de los principios biológicos abstraídos del modelo. Obviamente, el objeto técnico puede ser todo un producto o solo una parte, dependiendo del enfoque del trabajo, es decir, la solución biológica se puede aplicar a una pequeña parte de un sistema sin necesidad de aplicar los conceptos biológicos a todo el producto. Esta parte de la aplicación puede ser auxiliada por métodos como la Teoría de Resolución de Problemas de Inventiva o TRIZ (por sus siglas en ruso: Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch) y finalmente puede ser comparada con otras soluciones no biológicas dentro del proceso de diseño.

Cabe profundizar un poco en algunos aspectos con el fin de lograr una idea clara del proceso.

Observación / Investigación.

Observación. En ciertos casos basta con realizar una minuciosa observación de un fenómeno para definir las características de un objeto biológico particular, como en el ya mencionado caso del Velcro.

Observar
Examinar atentamente
(RALE¹² 2004)

Investigación. Otros casos requieren de una indagación más profunda y formal de la función que cumple cierta estructura, material o inclusive conductual, o de la forma de funcionar de estas, sus relaciones con su entorno inmediato y con el ambiente, así como los procesos que le dan origen. Hemos hablado ya de que el método científico cuenta con las herramientas necesarias para llevar a cabo esta labor.

Investigar
Realizar actividades intelectuales y experimentales de modo sistemático con el propósito de aumentar los conocimientos sobre una determinada materia.
(RALE¹² 2004)

En ambos casos se llega a una descripción del objeto biológico.

Interpretación.

Este proceso busca explicar las leyes que gobiernan a los principios encontrados en la fase anterior, valiéndose del acervo de de información relacionada con el tema, "atando cabos" y transformándolos los principios biológicos en principios técnicos

Interpretar
Explicar acciones, dichos o sucesos que pueden ser entendidos de diferentes modos.
(RALE¹² 2004)

Abstracción.

Ya habíamos definido el término anteriormente (página 75), donde también presentamos algunos mapas biomiméticos, a los cuales agregaremos el de la Figura 52, que es un condensado del mapa general de la biomimética, acorde con la estructura que presenta este trabajo respecto al trabajo del Biodiseño.

¹²RALE = Real Academia de la Lengua Española

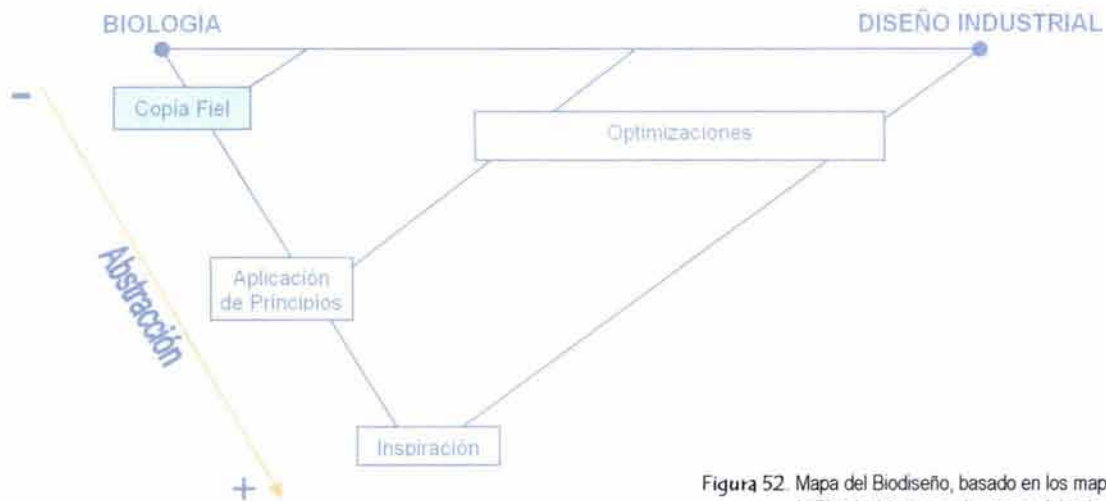


Figura 52. Mapa del Biodiseño, basado en los mapas de la Biomimética y en el proceso del trabajo Biónico.

Se han condensado las aplicaciones a tres grupos principales, que concuerdan con las presentadas por Gerardin (1968) respecto al trabajo Biónico, pues resultan más claras e inmediatas. Respecto a esto se profundiza un poco más en el siguiente capítulo. Nótese que las optimizaciones resultan de un análisis más detallado y sutil de las soluciones naturales, que difícilmente se pueden encontrar bajo el esquema de copia fiel.

TRIZ.

Como se mencionó arriba este método busca dar soluciones a problemas de inventiva e innovación, y surgió en 1946 en la entonces Unión Soviética por Genrich Altshuller y su grupo de trabajo, quienes revisaron cientos de patentes en busca de principios de innovación. Esta actividad ha demostrado ser efectiva desde sus inicios y ha tenido tanto éxito, que hasta el momento se han revisado por diversos grupos de trabajo cerca tres millones de patentes, en lo que Vincent y Mann (2004) consideran representa el mayor esfuerzo sobre la creatividad humana jamás emprendido (cerca de 1500 años/hombre), gracias a lo cual los hallazgos de Altshuller y colaboradores se han nutrido al paso de los años, llegando a tres premisas básicas:

1. Los problemas y su soluciones se repiten en la industria y las ciencias
2. Los patrones de la evolución técnica se repitieron en la industria y en las ciencias
- 3. Las innovaciones usaron resultados científicos fuera del campo donde fueron desarrollados.

Aunque de manera general, en la aplicación del método TRIZ se emplean estas tres premisas para mejorar productos, servicios y sistemas, de particular importancia para nosotros es este último punto, pues es precisamente la esencia de la labor del Biodiseño.

En términos generales el método se basa en el hecho de que todo problema técnico se puede definir con

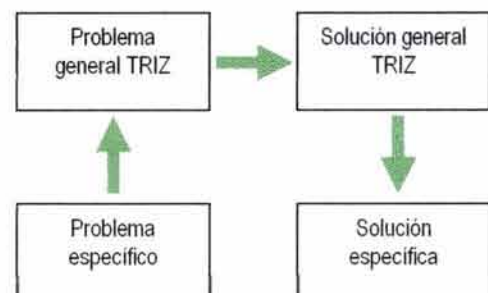


Figura 42. Secuencia de trabajo del método TRIZ

base en contradicciones (Domb 1997), ya sean técnicas (puedo construir un automóvil más potente, pero consumirá más combustible), o físicas (si deseo fabricar chocolates rellenos, el relleno debe estar lo suficientemente caliente para que fluya, pero no tan caliente para que no derrita el chocolate).

Resolviendo estas contradicciones podrá optimizarse un diseño, para lo cual en TRIZ se ha desarrollado una matriz de contradicciones (Anexo IV y Figura 43), en la cual tenemos en los renglones las características que podemos modificar de nuestro objeto y en las columnas los factores que pueden contradecirse con esas características. Nótese que ambos tienen los mismos valores, es decir las mismas características presentadas en los renglones son consideradas como posibles características negativas en las columnas, y el objetivo es ver cuales se conflictúan con cuales. Es decir, formamos parejas contradictorias, y consideramos las referencias anotadas en el cuadro resultante, por ejemplo, si en la figura 43 consideramos el variar la forma de nuestro objeto (línea 12) encontraremos que puede conflictuarse con la velocidad (columna 9) y vemos que los probables principios de solución donde se puede resolver la contradicción son los principios 15, 18, 34 y 35 de la Tabla 40 Principios de Innovación (Anexo V), basada en la experiencia de aquellos tres millones de patentes de las que hablamos antes.

	Característica Negativa →	Velocidad	Fuerza (Intensidad)	Estrés o presión	Forma	Estabilidad de la composición del objeto	Fortaleza
	Característica Positiva ↓	9	10	11	12	13	14
9	Velocidad	•	13, 29, 15, 19	6, 18, 39, 40	35, 15, 30, 34	36, 35, 37, 38	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33
10	Fuerza (Intensidad)	13, 29, 15, 12	+	18, 21, 11	36, 35, 40, 34	37, 38	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33
11	Estrés o presión	6, 35, 36	36, 35, 21	•	36, 35, 37, 38	39, 40	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33
12	Forma	35, 15, 34, 30	35, 16, 37, 40	34, 11	•	36, 35, 37, 38	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33
13	Estabilidad de la composición del objeto	35, 15, 36, 39	10, 35, 11, 17	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40	35, 15, 36, 35, 37, 38	•	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33
14	Fortaleza	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33	16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33	•
15	Duración de la acción del objeto en	15, 18, 34, 35	15, 18, 34, 35	15, 18, 34, 35	15, 18, 34, 35	15, 18, 34, 35	15, 18, 34, 35

Figura 43. Extracto de la matriz de contradicciones presentada en el Anexo III. En este caso se eligieron la columna 9 y la línea 12.

En nuestro ejemplo, para que la forma no interfiera con la velocidad del objeto, los principios encontrados en la tabla son:

- 15. Dinámica
- 18. Vibración Mecánica
- 34. Desecho y Recuperación

35. Cambio de Parámetros

El principio que en realidad se ajusta a nuestro caso es el 15, al menos en uno de sus tres incisos (ver anexo V) los cuales son:

- A. Permita que las características de su diseño de un objeto, ambiente externo o proceso cambien para ser óptimas o para encontrar condiciones de operación óptima.
- B. Divida un objeto en partes capaces de moverse relativamente unas de otras
- C. Si un objeto (o proceso) es rígido, o inflexible, hágalo móvil o adaptable.

A. Es claro que si en nuestro objeto hipotético estuviéramos considerando un avión, el permitir que el tren de aterrizaje se repliegue conduce a una forma más aerodinámica que interferirá en menor grado con la velocidad del aparato, el extremo anterior del Concorde sería otro ejemplo. Como se mencionó anteriormente, los resultados de este análisis podrían ingresar en el método de diseño para competir con otras soluciones no bio-inspiradas o bien aplicarse directamente si la certeza de su funcionalidad es elevada.

A manera de resumen de todo este capítulo se pueden tomar las ideas de Stephenson (en Meadows 1999) quien señala que “la naturaleza es una abundante fuente de inspiración para productos y materiales, si se sabe donde buscar”, a lo que añadiríamos y si se sabe como aplicar. Vincent (1999) menciona que el truco es identificar cuales elementos de un diseño biológico cumplirán con la función deseada para un material o estructura. “Lo que se necesita es una mente muy abierta y la habilidad de saltar de un concepto a otro y ser capaz de extraer la idea”.

8.4 Corrientes y escuelas actuales del Biodiseño

Por área	Por principios	Lugar	Base	Aplicaciones
Biónica	Morfológica	Italia	Forma y función del cuerpo y sus componentes	Productos
		Brasil	Forma y función del cuerpo y sus componentes	Productos
	Cibernética	Estados Unidos	Sistema Nervioso	Computación, control en general
	Biomédica	Japón	Tejidos	Regeneración de piel y vasos sanguíneos
		Francia México	Órganos Órganos	Páncreas artificial Prótesis
Fisiológica	Rusia	Fisiología	Procesos y productos	
Estructural	Alemania	Estructuras, mecanismos y sistemas	Productos	
Biomimética	Materiales	Gran Bretaña	Origen y estructura de biomateriales	Procesos de fabricación, materiales compuestos, materiales inteligentes
	Materiales	Alemania	Origen y estructura de biomateriales	Procesos de fabricación, materiales compuestos, materiales inteligentes

9. La Aplicación

Hemos ya mencionado en varias ocasiones que la aplicación de los principios naturales al Diseño Industrial no siempre es inmediata o directa y recordemos que a principios de este capítulo habíamos mencionado, basados en los conceptos vertidos por Gerardin (1968), que podemos considerar tres modos de aplicación de los principios biológicos al Diseño Industrial: La copia fiel, la aplicación de principios y la inspiración, aunque debemos mencionar un caso especial que es el de las aplicaciones híbridas.

Tomemos en cuenta que esta clasificación no es completamente rigurosa y es solo una guía para visualizar los diferentes alcances de estos métodos, con el fin de orientar al lector en las posibilidades de aplicación de su trabajo.

9.1 Copia fiel

Si bien este concepto puede ser hasta cierto punto relativo (pues tal vez se copie un principio directamente aunque con otros materiales, por ejemplo), diremos que el resultado de la aplicación es una copia directa de la estructura u organismo, lo cual no resta mérito a la aplicación aunque deben tenerse claros los alcances de esta.

El ejemplo por excelencia es la máquina voladora de Leonardo da Vinci, pero hablaremos de ella un poco más adelante en este capítulo en una discusión entre Copia Directa y Aplicación de Principios.

Por lo pronto hablaremos de otros dos muy buenos ejemplos que también pertenecen a la aviación: El planeador *Zanonia* de Igo Etrich y el *ala multialetas* de Ingo Rechenberg.

Ejemplo 1. Zanoia y otros artefactos voladores de Igo Etrich

Toda semilla requiere ser transportada lejos de sus progenitores con el fin de colonizar nuevas áreas y así evitar una competencia por los recursos de un área determinada. Algunas se valen de animales para su transporte, ya sea en el exterior de estos o bien en su interior al ser comidos los frutos que les dan origen. Pero otras, emplean el viento para su diseminación y para ello han llegado a estructurarse de tal manera que les permite aprovechar cualquier mínima brisa para iniciar y mantener su viaje.

Este es el caso de la semilla de *Alsomitra macrocarpa*, una planta de la familia de las calabazas (Cucurbitaceae), cuya semillas se encuentran en un fruto que cuelga en el extremo superior de la enredadera a grandes alturas en la parte alta de la vegetación tropical. Las semillas tienen dos alas membranosas, que sumadas dan ancho de hasta 13 cm. Gracias a esta forma pueden planear a través del aire de la selva tropical en círculos anchos, según Lower y Lower (1995) de 6 metros, con lo que cualquier ráfaga de viento los lleva mucho más lejos.

Esta semilla fue copiada por Igo Etrich en 1904 para crear su planeador conocido como Zanoia el cual, en realidad, fue volado como cometa y que después fue convertido (en 1906) en un verdadero planeador el "hoja de Etrich" en conjunto con Wells, el planeador fue sufriendo cambios, aunque nunca en la forma, hasta llegar a ser un aparato motorizado, es decir un pequeño avión, el Parasol Sin Cola, en 1908.



Fruto y semillas de *Alsomitra macrocarpa*



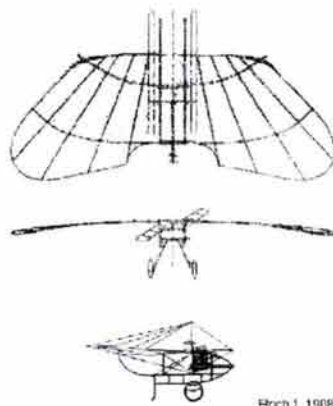
Zanoia (1904)



Hoja de Etrich (1906)



Planeador (1907)



Etrich 1, 1908



Parasol sin Cola (1908)

Figura 53. Copia fiel de la semilla de *Alsomitra macrocarpa* en la aviación.

Ejemplo 2. Buitres y el ala multialetas de Ingo Rechenberg

Las alas de los aviones sabemos que se sustentan en el aire debido a que, por su forma, permiten que sobre su cara superior exista una presión menor que en la cara inferior, lo que resulta en un empuje hacia arriba.



Ahora bien, en la punta del ala se forma un vórtice, debido a la diferencia de presiones, lo que conlleva la aparición de una turbulencia que provoca vibración del ala misma.



¿Cómo terminar con esta turbulencia dañina para la estructura del ala y molesta para quien vuela?

Rechenberg (2004) de la Universidad de Berlín, prestó atención a varios organismos planeadores por excelencia, que han empezado a brindar soluciones a este problema, estos organismos incluyen a los buitres, las águilas y las cigüeñas, a las que podemos añadir a los pelícanos.



Estas aves presentan en las alas una separación de las plumas primarias apicales, lo que las convierte en alas multialetas, las cuales dividen el vórtice del que hemos hablado, en vórtices más pequeños, que llegan a ser inocuos para el vuelo y para el ala.



Hasta el momento, ese autor ha utilizado este principio en un planeador.

Figura 54. Copia fiel de sistema de aletillas para la estabilización del vuelo de las aves planeadoras, (a) Principio de sustentación del ala, (b) Vórtice formado por la diferencia de presiones en el vértice del ala de un avión, (c) Aletillas en alas de Buitre y (d) aletillas en planeador ultraligero.

9.2 Aplicación de Principios

Aquí se extraen el o los principios que permiten el funcionamiento de cierta o ciertas estructuras (que puede ser el cuerpo en su totalidad), o bien de procesos llevados a cabo dentro del organismo e incluso de pautas de conducta, y se aplican al caso de diseño, como en los ejemplos de la *piel de delfín* de Paolo Orlandini y la *Vela de transición* de Richard Dryden

Ejemplo 1. Piel de delfín y catamarán de Paolo Orlandini

El delfín puede desplazarse en el agua a gran velocidad, y aparentemente, sin hacer esfuerzos musculares exagerados. Se ha descubierto que ello se explica de la forma siguiente: el desplazamiento del agua alrededor del delfín en movimiento permanece perfectamente regular; las "láminas" líquidas se deslizan paralelamente a sí mismas (Figura 46). Por el contrario, cuando un barco va muy deprisa, se producen remolinos a lo largo de su casco; el desplazamiento normal del agua se perturba, cesa de ser regular y se convierte en turbulento. Todo esto se traduce al final en un aumento en la resistencia opuesto al avance de la embarcación.

El secreto del delfín está en su piel, la cual está constituida por dos capas: una exterior, delgada, muy elástica, y otra interior, gruesa, formada por una serie de tubos llenos de una sustancia esponjosa. Un remolino genera siempre a su alrededor un aumento de presión. Si comienza a producirse un remolino o turbulencia al contacto del delfín, cuando éste nada a toda velocidad, la piel elástica externa transmite la sobrepresión correspondiente a la capa interna. La constitución blanda de ésta última hace que juegue un papel de amortiguador y que la turbulencia se desvanezca antes de haber tenido tiempo de amplificarse.

Orlandini (1991) llevó estos principios a la práctica, pero no copió la estructura interna de la piel, sino que utilizó compuestos que finalmente presentaban las mismas propiedades que las capas histológicas en el animal, es decir utilizó un gel y una capa de esponja debajo de este, sin elaborar la intrincada estructura mostrada en la Figura 55.

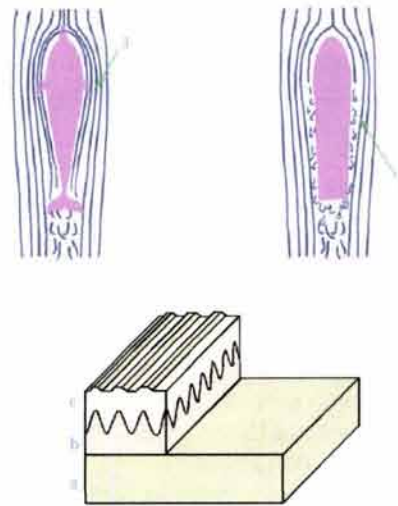


Figura 55. Representación de corte histológico de piel de delfín mostrando: a) Hipodermis, b) capa inferior de la dermis que se proyecta mediante digitaciones y provee de una superficie amortiguadora y c) Capa superior de la dermis que actúa como una gelatina que responde a los cambios de presión deformándose (Tomado de Orlandini, 1991).

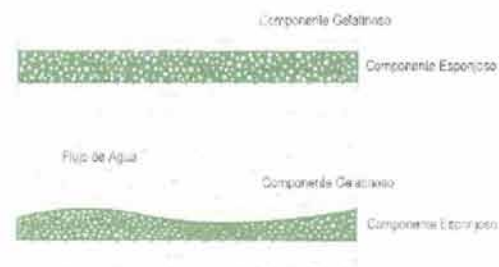


Figura 56. Aplicación de principios de la piel de delfín a recubrimiento de casco de velero.

Ejemplo 2. Velas de transición de Richard Dryden

Dos problemas han sido detectados en el uso de tablas de windsurf y de veleros uno en cuanto a la seguridad respecto a la fuerza del viento y otro respecto al manejo de las velas fuera del agua.

Respecto al primero en una vela normal de surf cuando una ráfaga de viento es mayor, la vela tiende a caer y el surfista debe ejercer mucho esfuerzo para contrarrestar el empuje hacia el agua.

Por otro lado, el manejo de la vela fuera del agua es algo impráctico pues el tamaño de la vela es muy grande y su transporte es difícil, no se diga cuando el viento sigue corriendo y el surfista trata de manipularla.

Dryden (2004) ha encontrado respuesta a estos dos problemas de diseño en el murciélago, tomando como inspiración a la membrana que va desde el ala, conecta con la pata (propatagio) y que se continúa hasta la cola (uropatagio), así como su estructuración mediante los dedos, antebrazo, brazo, pata y cola.

Al estructurar la vela de surf, con base en los principios del murciélago, ese autor consiguió que si el viento sopla ligeramente la vela se mantenga extendida por completo, mientras que con vientos fuertes basta con que el surfista se incline un poco hacia atrás para que la vela se doble un poco, bajando así el centro de esfuerzo y aerodinamizando la forma de la vela.

Otra ventaja es la practicidad que se logra al poder doblar la vela tal y como el murciélago dobla sus alas.

Cabe destacar que este concepto se ha aplicado también a pequeñas embarcaciones y se está promoviendo su prueba en embarcaciones de gran calado, tomando en cuenta los principios de escalamiento, según el mismo Dryden (2004).



Figura 57. Vela de transición de Dryden, basada en la estructura y funcionamiento del ala del murciélago.

9.3 Inspiración

Este tipo de aplicación, consiste en llevar los principios morfológicos, funcionales o conductuales, a otros campos completamente diferentes del ámbito en el que el organismo hace uso de ellos, presentamos aquí tres ejemplos, dos de la industria automotriz y uno del área de los procesos de diseño.

Ejemplo 1. La industria automotriz, la arquitectura y la Fauna

Un caso clásico de este tipo de aplicación de la Biónica son los automóviles, que en sus diseños toman inspiración de las formas naturales para obtener una identificación formal de sus productos y, en cierto modo, una personalidad propia inherente a las características del vehículo, los más conspicuos son el Beetle® y su predecesor el Sedán de Volkswagen® los cuales están inspirados en la morfología de la catarina (*Hippodamia convergens*), con formas redondeadas y curvas, que le confieren un aspecto compacto y robusto.

Por otro lado, en la arquitectura los ejemplos son muchos, y entre ellos, encontramos al Museo de Arte de Milwaukee, en el cual (a decir de Wirth 2004) Santiago Calatrava se inspira en el esqueleto de ballena, con sus múltiples costillas unidas a una columna vertebral para diseñar la imponente estructura aérea que lo distingue, misma que también recuerda la aleta caudal de una ballena al momento de iniciar una inmersión prolongada.

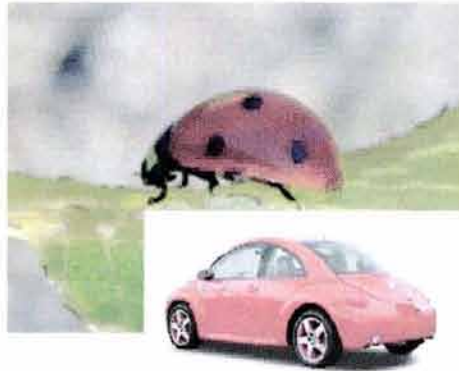


Figura 58. Inspiración en la morfología de la catarina (*Hippodamia convergens*) para el diseño del automóvil Beetle de Volkswagen (y su predecesor el sedán).



Figura 59. Inspiración en la estructura de la caja torácica de la ballena para el diseño estructural del techo del Museo de Arte de Milwaukee.

Ejemplo 2. Optimización de diseños y algoritmos genéticos

En el capítulo 6 hablábamos de los métodos de diseño y mencionamos las fases Generación de Alternativas y Mejora de detalles, pues bien, en la actualidad se están aplicando a estas lo que se conoce como **Métodos Evolutivos** para la optimización de problemas complejos de diseño.

Por una parte, Pham y Onder (1992), en su trabajo de diseño ergonómico de estaciones de trabajo, utilizaron un algoritmo genético en la fase de optimización del diseño, esto es: primero utilizaron un sistema experto (sistema computarizado basado en conocimiento) para el diseño de la estación de trabajo "conectada" a una base de datos con datos antropométricos, cuyos resultados alimentaron a otro programa de cómputo basado en algoritmos genéticos para crear diferentes opciones mejoradas en cada generación hasta llegar a una solución óptima.

Otro caso es el de Poloni (1999) quien también emplea un algoritmo genético para determinar la geometría óptima de una quilla de aleta para un velero de 22 metros de eslora, manejando 4 variables para el tamaño y la posición y 6 variables para las definiciones de la forma (la sección). De todas las posibles combinaciones (3000) corridas en tres diferentes sesiones, se obtuvieron tres soluciones eficientes, de las cuales finalmente se eligió la que presentaba la mejor relación carga/arrastre.

El Anexo VII presenta una descripción de los algoritmos genéticos y sus principios, basado en Obitko (1998).

Aquí por el momento señalaremos que, como puede uno imaginar, los algoritmos genéticos son inspirados por la teoría de Darwin de la evolución. Simplemente, los problemas son solucionados por un proceso evolutivo dando por resultado una solución optimizada (más apta o sobreviviente), es decir, las soluciones se evolucionan, todo esto con base en entrecruzamientos y/o mutaciones.

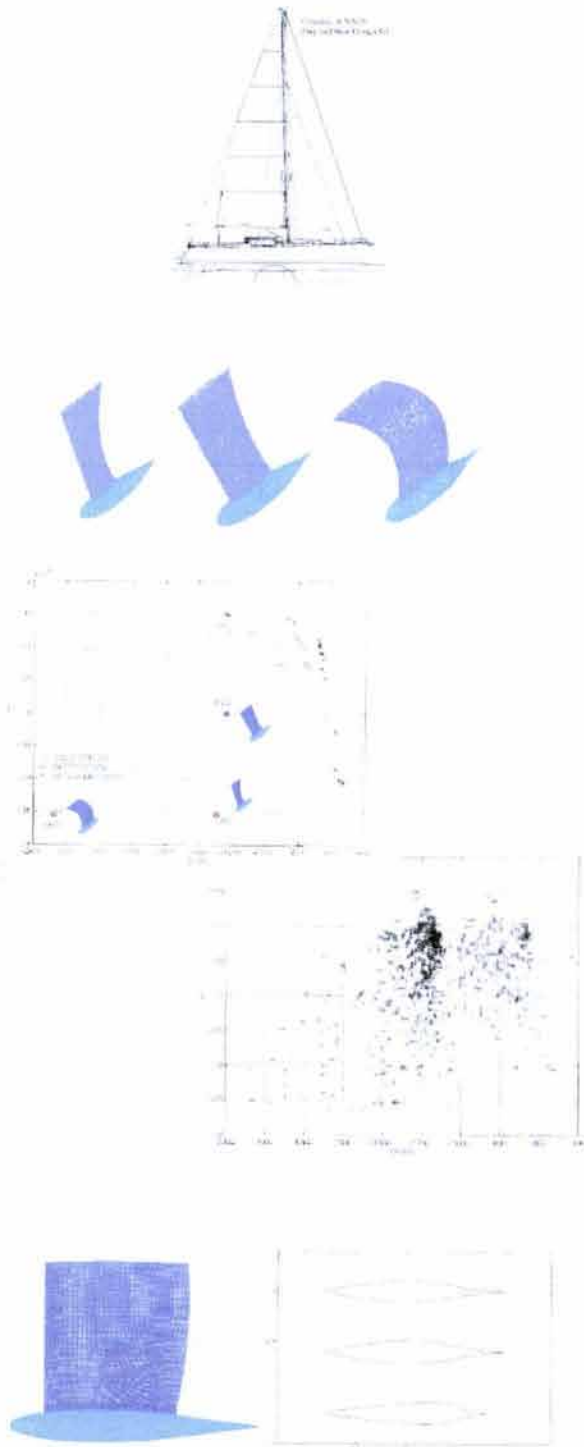


Figura 60. Definición de la mejor geometría de una quilla de velero mediante algoritmos genéticos.

Estos son solo algunos ejemplos de los muchos que en la actualidad existen y de los que cada vez se desarrollan más.

Como podemos observar, la transición de un tipo de aplicación a otro depende de la abstracción que se haga de los principios, lo que es importante, pues si bien la copia fiel puede dar respuesta a ciertos problemas, la aplicación de los principios biológicos no siempre es inmediata y viceversa, el hecho de que una aplicación inmediata no parezca contener una solución, no significa que mediante la aplicación de otros enfoques (que conllevan otras filosofías) no se pueda dar con la solución al problema planteado.

Tomemos como ejemplo los estudios de Leonardo Da Vinci sobre el ala de Murciélago, que como se mencionó en los antecedentes se encuentran en sus manuscritos de 1505 y en los cuales presenta los principios estructurales del ala de este mamífero. Una vez determinadas las características Da Vinci diseñó su máquina voladora, la cual sería propulsada por una persona, con la fuerza de los brazos, mediante un sistema de engranes y poleas (recuadro Figura 61), que le permitirían batir las alas.

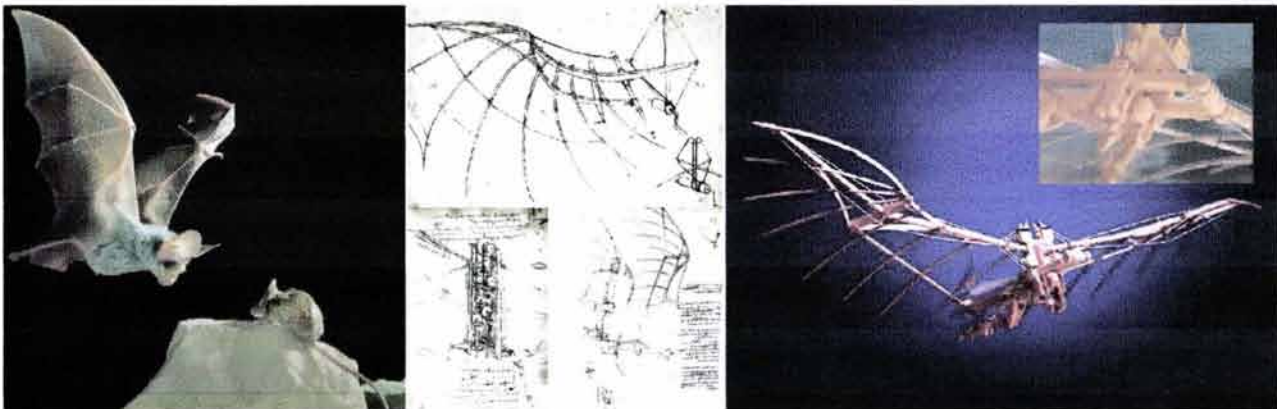


Figura 61. El murciélago, su estudio por parte de Leonardo Da Vinci y la aplicación de sus principios al diseño de la máquina voladora.

La copia directa *per se* no podría haber permitido el vuelo de esta máquina como Da Vinci lo visualizaba, pues deben tomarse en cuenta varios factores, uno de ellos es el principio de escalamiento, según el cual, los músculos deben de escalarse en la misma proporción que el resto del cuerpo si han de aumentarse las proporciones de este, además de que la energía necesaria por unidad de masa se incrementa también. No obstante que las poleas y engranes aumentan la potencia que los músculos pueden ejercer, difícilmente podría generarse tal potencia con un solo individuo. Además hay otro problema a resolver: la estabilidad, todos hemos visto volar un murciélago, con sus no tan gentiles movimientos al desplazarse. Pero Leonardo Da Vinci generó las importantísimas bases de la estructura y forma del ala necesaria para futuros desarrollos.

La evolución de la solución pudo tomar dos caminos (y de hecho así fue), uno el utilizar el ala para un vuelo "pasivo", es decir, como planeador, lo que es coherente con lo observado en la naturaleza, pues las grandes aves como el albatros y el buitre, no batan sus alas con frecuencia, son, más bien, planeadoras.

Y el otro camino fue el que Ader inició, al tomar los conceptos estructurales de la máquina voladora de Da Vinci (y por tanto del murciélago) y cambiar el tipo de propulsión, a una máquina de vapor que hacía girar una hélice, con lo que la fuerza muscular no era necesaria y el vuelo se hacía de una forma continua, es decir, sin aleteo, las alas no propulsaban más, solo aportaban la sustentación en el aire. Esta máquina fue bautizada por el mismo Ader como el Eolo (Figura 62).

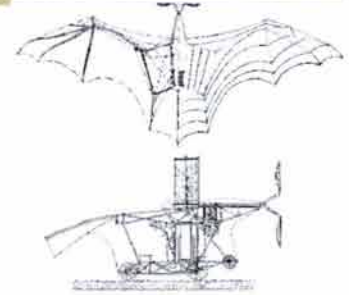


Figura 62. Máquina voladora Eolo de Clemente Ader de 1890.

9.4 Híbridos

Este tipo de aplicaciones se ha separado de las demás, pues en ellas se incluye a un ser vivo (o parte de este) como parte del producto. Si bien Bel'Kevich y Yu (en Design Matrix 1999) menciona que podría considerarse a un cocodrilo comiendo piedras o a un automóvil con su conductor dentro, no parece práctica tal laxitud de manejo del concepto, y aquí solo incluiremos a los que incluyen a un ser vivo (o alguno de sus componentes) como parte del producto, no como usuario del mismo.

Como se mencionó al inicio del capítulo 8 no obstante que en este tipo de aplicaciones principalmente se involucran aspectos moleculares y de microelectrónica, el diseñador industrial puede participar activamente desde la concepción de la idea (por ejemplo sugerir un tipo de bacteria que realice un trabajo específico), hasta el implemento físico donde el producto llevará a cabo sus funciones.

Ejemplo 1. Circuito Integrado Sensor Bioluminiscente

Estos circuitos consisten de un sensor vivo (como las bacterias) colocadas en un circuito integrado común (o "chip").

En nuestro ejemplo se trata de bacterias modificadas genéticamente para producir luz en respuesta a la cantidad de agentes (químicos o radiológicos) detectados en el ambiente al que es expuesto el chip. Estos agentes son específicos, es decir la bacteria se diseña para que responda a agentes específicos, que pueden ser residuos de hidrocarburos, explosivos o radiaciones.

El circuito es del tipo de óxido metálico semiconductor (CMOS por sus siglas en inglés) y su unidad electrónica básica es un circuito integrado específico de aplicación óptica (OASIC, también por su nombre en inglés), al cual están adosadas las bacterias y el cual traduce la bioluminiscencia generada por ellas a una señal eléctrica que se relaciona directamente con la cantidad de exposición química o radiológica, según sea el caso.

Las ventajas de este tipo de circuitos es que son pequeños, requieren poca potencia, pueden construirse inalámbricos y pueden ser colocados en sitios donde otros aparatos no pueden trabajar.

Este circuito ha sido generado por Mike Simpson del Laboratorio Nacional de Oak Ridge en Tennessee, Estados Unidos (Walli 1997).

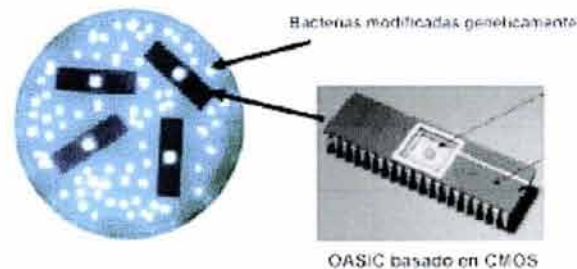
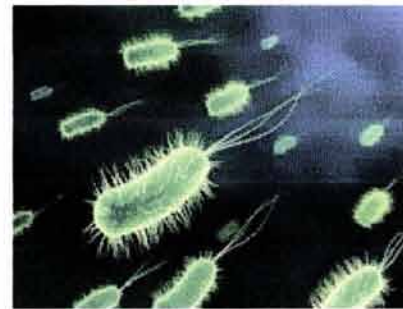
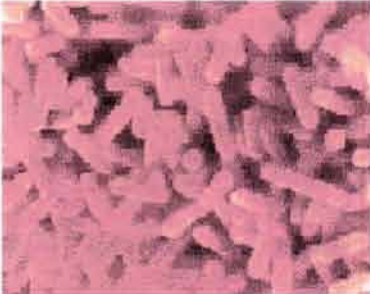


Figura 63. Biosensores basados en funcionamiento híbrido ser vivo-chip.

Ejemplo 2. Biodigestores

El reciclado de basura y en particular de residuos orgánicos, es positivo por diversos motivos, tanto logísticos como de aprovechamiento. Logísticos porque las enormes cantidades de desperdicios exigen cada vez más espacio, lo que es costoso monetaria, higiénica y ambientalmente hablando. De aprovechamiento, porque de ellos se puede obtener tanto combustible (en forma de gas), como abono, en forma de composta.



Esto se logra en los llamados biodigestores los cuales utilizan bacterias anaerobias para digerir los desperdicios, con la liberación de gas metano y residuos.

Así pues, este producto incluye bacterias dentro de su estructura por lo que aplica principios naturales directamente del organismo y los incluye como parte de su composición y funcionamiento.

Esos biodigestores están en uso desde hace ya varios años y son una buena solución para el manejo de desperdicios en embarcaciones por ejemplo.

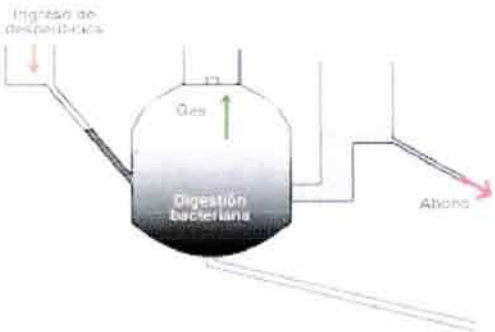


Figura 64. Biodigestores, basados en funcionamiento híbrido ser vivo-equipo.

10. La Práctica

Hemos hablado del Biodiseño, sus conceptos, sus métodos y sus logros, ahora presentaremos dos ejemplos prácticos, uno generado por los alumnos del Seminario Biónica III que tuvo la fortuna de impartir en el Posgrado de Diseño Industrial de la UNAM y otro ya probado de fuentes externas.

Ejemplo 1. El aula como generadora de integración

Al inicio de este documento mencionamos que los organismos existentes en el pasado también podían aportar soluciones al Diseño industrial, por varias razones, pues ellos también estuvieron expuestos a exigencias por su ambiente, lo cual forzó a innovaciones en sus estructuras, procesos y conductas. No obstante que los procesos difícilmente se pueden inferir, es más fácil estudiar las estructuras y las conductas inferirlas de los organismos más relacionados con ellos que existen en la actualidad.

Otra ventaja de trabajar con los organismos fósiles, es el poder aprovechar el esfuerzo de los investigadores por explicar el funcionamiento de estos organismos, lo que es una fuente de principios muy útil de donde obtener buenas soluciones.

Era	Periodo	Millones de Años
Cenozoica o Terciaria	Cuaternario	2
	Terciario	2-65
Mesozoica o Secundaria	Cretácico	65-138
	Jurásico	138-208
	Triásico	208-245
Paleozoica	Pérmico	245-290
	Carbonífero	290-360
	Devónico	360-408
	Silúrico	408-438
	Ordovícico	438-505
	Cámbrico	505-590
Arqueozoica	Proterozoico	590-2500
	Arcaico	2500-4600

Tabla 6. Eras geológicas

En 1998, dentro del seminario Biónica III del Posgrado de Diseño Industrial de la UNAM, un grupo de alumnos realizó un ejercicio de Biodiseño, basados en un organismo fósil: *Anomalocaris canadensis*. Este organismo era un crustáceo depredador de gran tamaño del período Cámbrico (que se caracterizó por una súbita abundancia de especies) y el cual fue descubierto en Columbia Británica en Canadá en depósitos de hace 530 millones de años.

El ejercicio se inició viendo el video del reporte acerca del descubrimiento de este crustáceo, en el cual se detallaban los hallazgos y la historia del organismo tipo¹³, la descripción del mismo, la discusión acerca de su posible ambiente y conducta, así como el posible mecanismo de captura de presas y de alimentación.

Se acordó trabajar sobre este último punto, con el fin de generar propuestas de diseño basadas en los principios encontrados por los investigadores.

También se contactó al Dr. Yoshiyuki Usami del Departamento de Física de la Universidad de Kanagawa en Yokohama, Japón, quien colaboró en la reconstrucción de *Anomalocaris* mediante modelado tridimensional en computadora y físico, quien amablemente envió material impreso y un video acerca de este trabajo.

Este es un caso de aplicación libre, por lo cual no había una necesidad previa detectada, sino que cada alumno detectó la posibilidad de aplicar los resultados de su abstracción.

Figura 65. Primeros hallazgos de *Anomalocaris*. Nótese el parecido de la estructura con el cuerpo de un camarón.



¹³ Organismo tipo: individuo que sirve para determinar a una especie, regularmente es el primer individuo descubierto.

Investigación. La investigación fue llevada a cabo por paleontólogos, quienes al inicio solo encontraron partes separadas del organismo en cuestión, lo que en principio los llevó a pensar que eran animales diferentes, pues encontraron una estructura curvada y segmentada que parecía ser un crustáceo tipo camarón fósil, pero en los yacimientos no se había encontrado la región torácica y cefálica. Al no encontrarse la cabeza (la cual sirve para la identificación) este supuesto camarón fue llamado *Anomalocaris* (*Anomalos*=anormal y *caris*=crustaceo).

Más adelante se percataron de una estructura circular que se encontraba justo al lado de otro supuesto "camarón" encontrado tiempo más tarde, que en un inicio pensaron que eran los rastros del cuerpo de una medusa del cámbrico.

Se encontró otro fósil en el que se pudo observar que los supuestos camarones eran apéndices que pertenecían a la cabeza de un organismo mayor, la cual presentaba también la estructura considerada como medusa hasta entonces. A todos estos hallazgos se sumaron más y más fósiles, incluyendo organismos completos, en los que se pudo ya distinguir el plan corporal, y su composición total, estando formado por un cuerpo elongado, con placas laterales independientes, una cola con apéndices, y una cabeza que incluía dos pedúnculos donde se sitúan los ojos, dos apéndices bucales (mencionados arriba) y una boca formada por placas concéntricas.



Figura 66 Restos fósiles de *Anomalocaris*, a) boca, inicialmente confundida con medusa, b) apéndices bucales y c) cuerpo entero

No obstante que finalmente se aclaró que no se trataba de un camarón, el nombre científico se conservó debido a su exactitud al definir a este artrópodo fósil.

Objeto Biológico

Anomalocaris canadensis

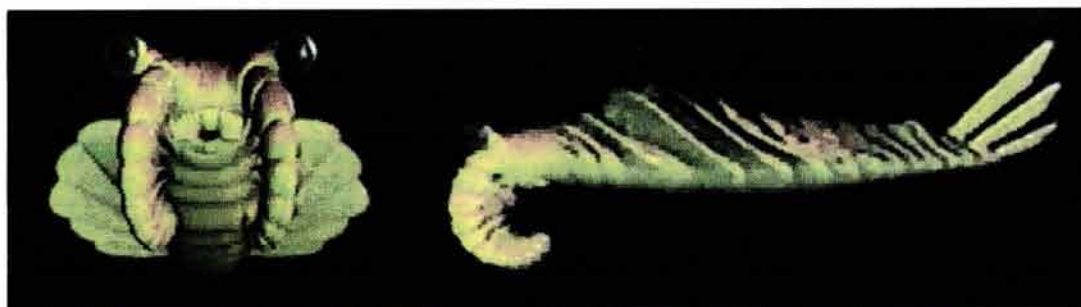
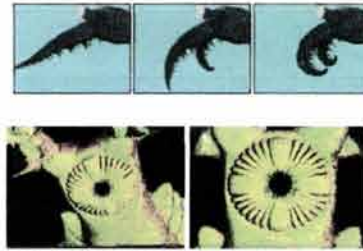


Figura 67 Modelo computacional y representaciones de *Anomalocaris* en su ambiente.

Interpretación. Los investigadores encontraron que este crustáceo de cerca de 2 metros de longitud era un gran depredador, para lo cual estaba muy bien dotado, con un par de ganchos orales con espículas, con los cuales apresaba a su víctima, acercándola a la boca, que estaba altamente especializada, con una serie de placas corneas concéntricas abatibles orientadas hacia el interior, formando un anillo. En el fondo de la boca tenía tres placas deslizables paralelas al eje del cuerpo, con espículas con las cuales sujetaba a la presa mientras que con las placas concéntricas trozaba a esta última.



Por parte del grupo hubieron dos propuestas sobre la forma de articulación y movimiento coordinado de las placas, presentada por el alumno Eberth Alfonso Álvarez

Modelo lógico.

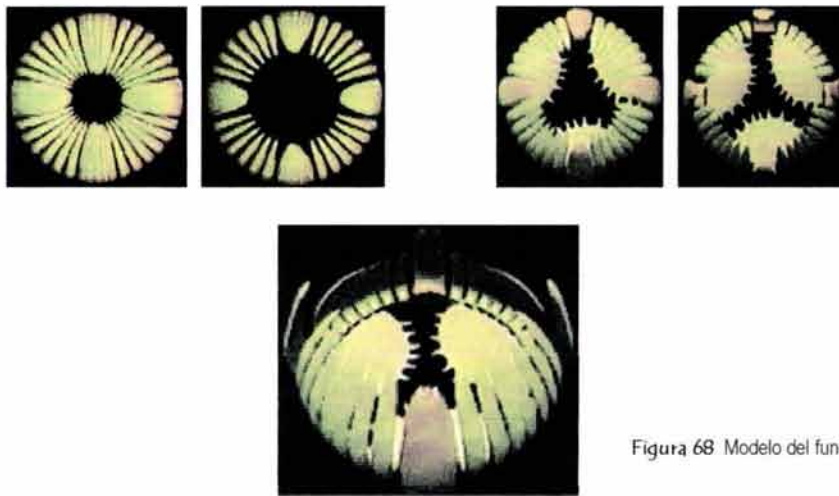


Figura 68 Modelo del funcionamiento de la boca.

Estructura bucal conformada por placas concéntricas dispuestas de tal manera que cada seis placas delgadas se encuentra una placa ancha. Las placas tienen una longitud que no rebasa los $\frac{3}{4}$ del radio de la boca, dejando con ello un hueco de $\frac{1}{4}$ de la circunferencia en el centro de la estructura. Al fondo de la boca se encuentran tres placas planas espiculadas deslizables, mismas que se mueven en coordinación con la corona de placas curvas descrita antes, de una manera alternada, es decir cuando las placas de la corona se abren, las tres placas planas se cierran y viceversa.

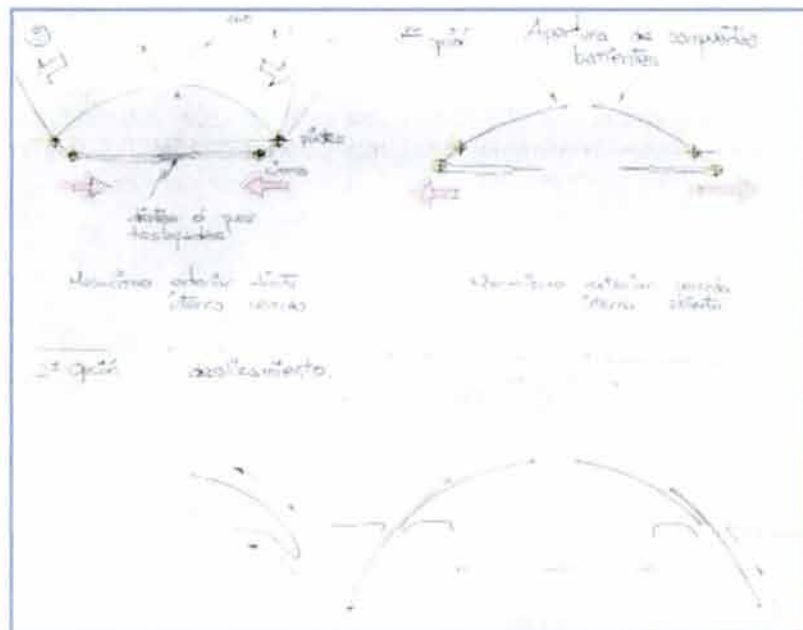


Figura 69 Modelos de la articulación de placas de la boca por Eberth Álvarez

2 Puerta dosificadora por Alberto Chacón.

Aplicación de Principios

Abstracción. En este caso, la abstracción toma en consideración que existe un mecanismo que atrapa y un mecanismo que corta dentro de la misma estructura. Ahora bien, si nos transportamos al mundo de la diversión, particularmente a una discoteca, concierto u otro centro social, en el cual exista una gran cantidad de gente intentando ingresar a un local y consideramos al total de esa gente como un solo organismo o un solo cuerpo, podemos pensar en un mecanismo que utilice los mismos principios de la boca de *Anomalocaris*, de sujetar y cortar sucesivamente con una sola estructura, para sujetar (en este caso contener), e ir seccionando a ese gran cuerpo, dosificando su ingreso al gran organismo llamado discoteca o cual sea el caso.

Objeto Técnico. Se trata de una compuerta con dos hojas especulares en forma de "L" convexa, las cuales cuentan con un pivote en el nodo que una a los dos segmentos de cada "L", como se muestra en la Figura b. Al separar los segmentos curvos, los segmentos rectos se acercan, formando una barrera, misma que es abierta a medida que los segmentos curvos se acercan, y los cuales forman otra barrera pero distante a la entrada interior. Es decir, se forman dos barreras alternadas, que dosifican el paso de la gente en grupos de un tamaño que dependerá de las dimensiones de las hojas. Cabe destacar que si se articulan los dos segmentos de cada puerta y se dota de un retardo a la apertura de los segmentos internos, se puede contener al grupo para revisiones, explicaciones, etc.

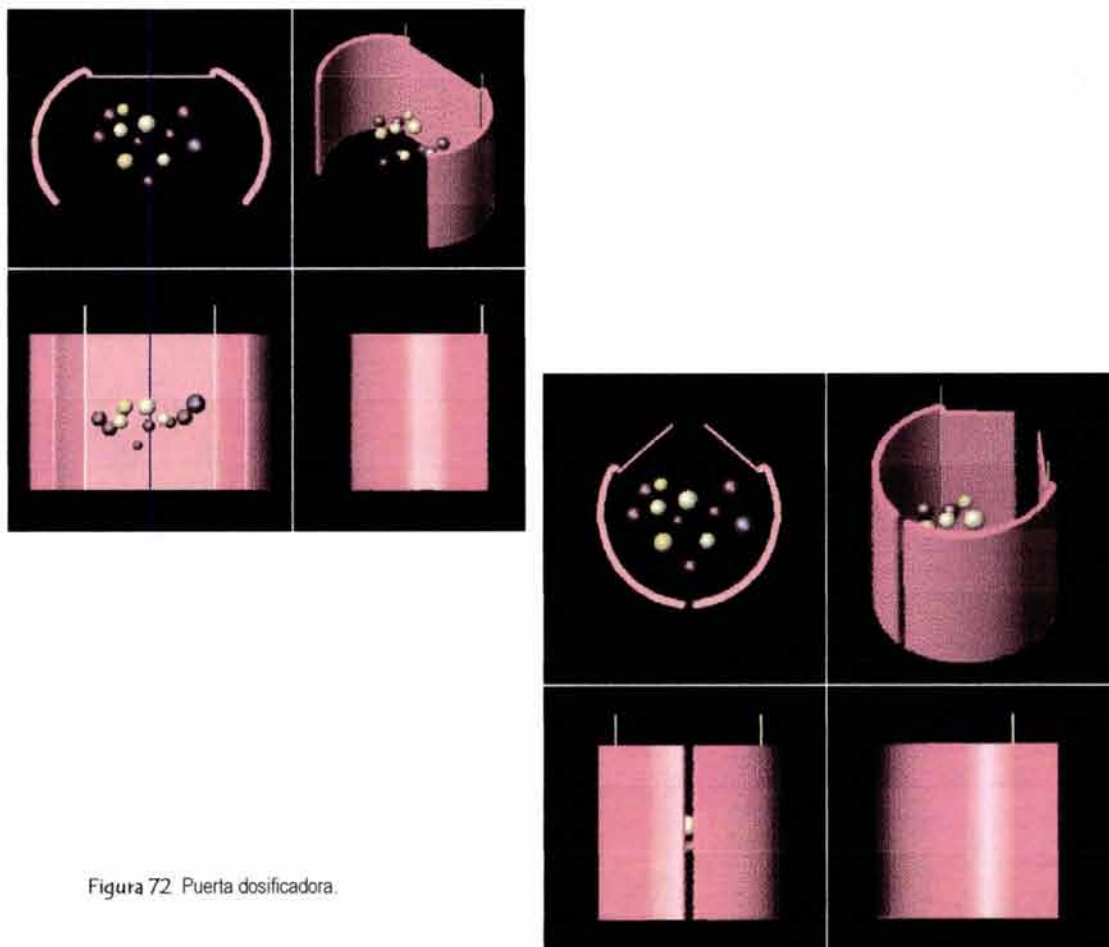


Figura 72. Puerta dosificadora.

2. Colector de Pelotas de Tenis por Diana Otálora. Inspiración

Abstracción. Diana hace una abstracción total de los principios de la boca de *Anomalocaris*, pues si bien toma en cuenta que existe un mecanismo que detiene a la presa y otro que la corta, ella reúne ambas acciones en una sola estructura (placas concéntricas abatibles) pero invierte su mecanismo, es decir se abaten hacia adentro del objeto, no dejando salir ya a la pelota y eventualmente "tragándola". De igual manera, si consideramos a todas las pelotas esparcidas por la cancha de tenis por recoger como un solo organismo, podremos utilizar un artefacto que corte y sostenga pequeños trozos del mismo (una pelota a la vez) y los vaya almacenando.

Objeto Técnico. Es un producto que tiene como función recoger pelotas de tenis, y almacenarlas. Es un tubo en este caso hexagonal con dimensiones tales que la circunferencia de la pelota queda circunscrita a la sección hexagonal. En su extremo inferior presenta un anillo circular con un diámetro ligeramente superior al de una pelota de tenis, mismo que se articula con seis placas con forma de paralelogramo de lado mínimo cóncavo.

Al paso de la pelota las placas ceden hacia el interior de tal manera que cuando se rebasa el diámetro de la pelota esta bloquea el regreso de las placas a su posición original y ya no puede volver atrás. Si se continúa el movimiento descendente del colector, el empuje del piso permite la liberación de las placas, las cuales retoman a su posición perpendicular al eje del tubo no permitiendo el regreso de la pelota, pues el anillo evita que pasen más allá de los 90° respecto al eje longitudinal. El colector puede estar conectado a una mochila mediante un tubo flexible con el fin de recoger un mayor número de pelotas.

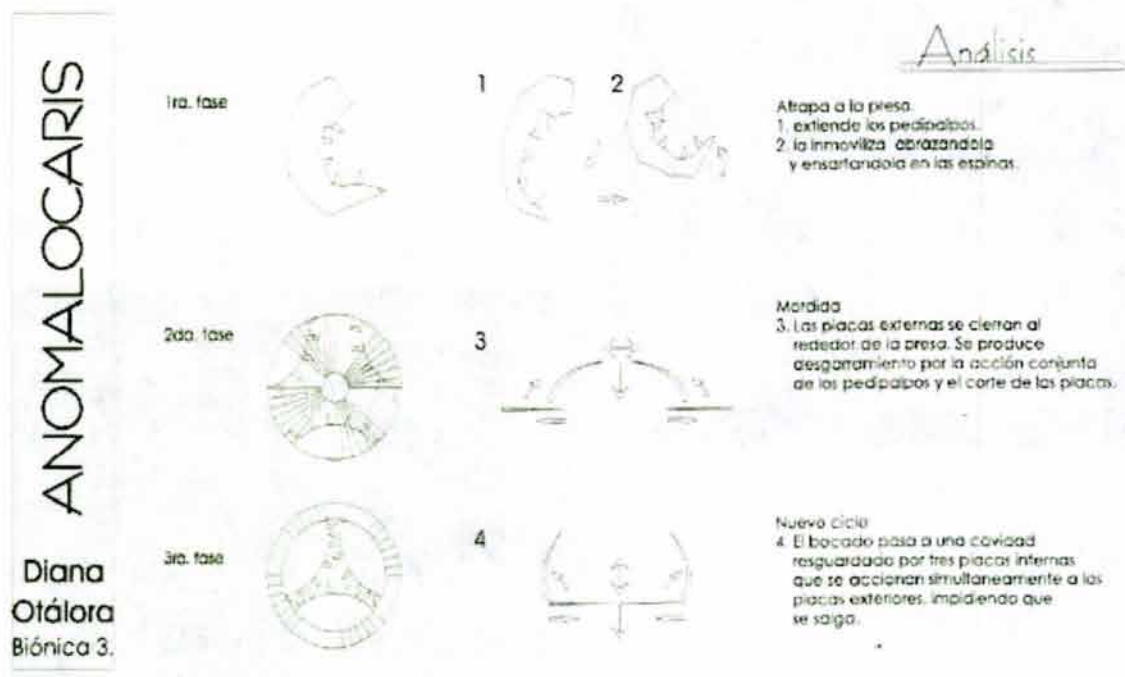


Figura 73 Análisis del funcionamiento de la boca de *Anomalocaris*.

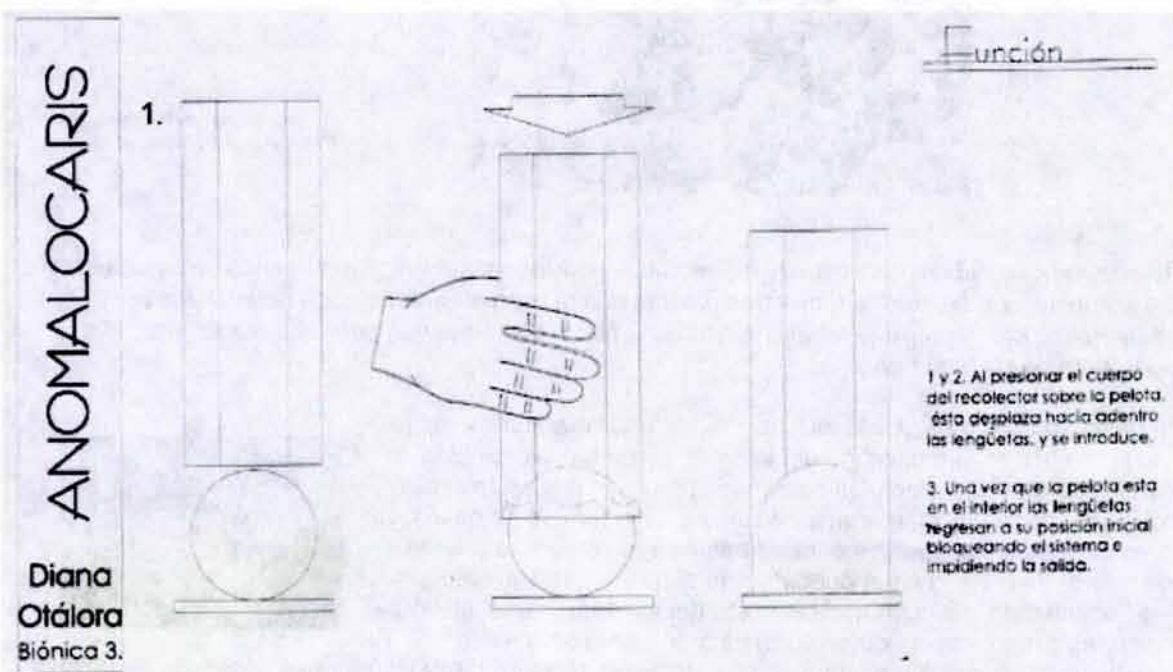
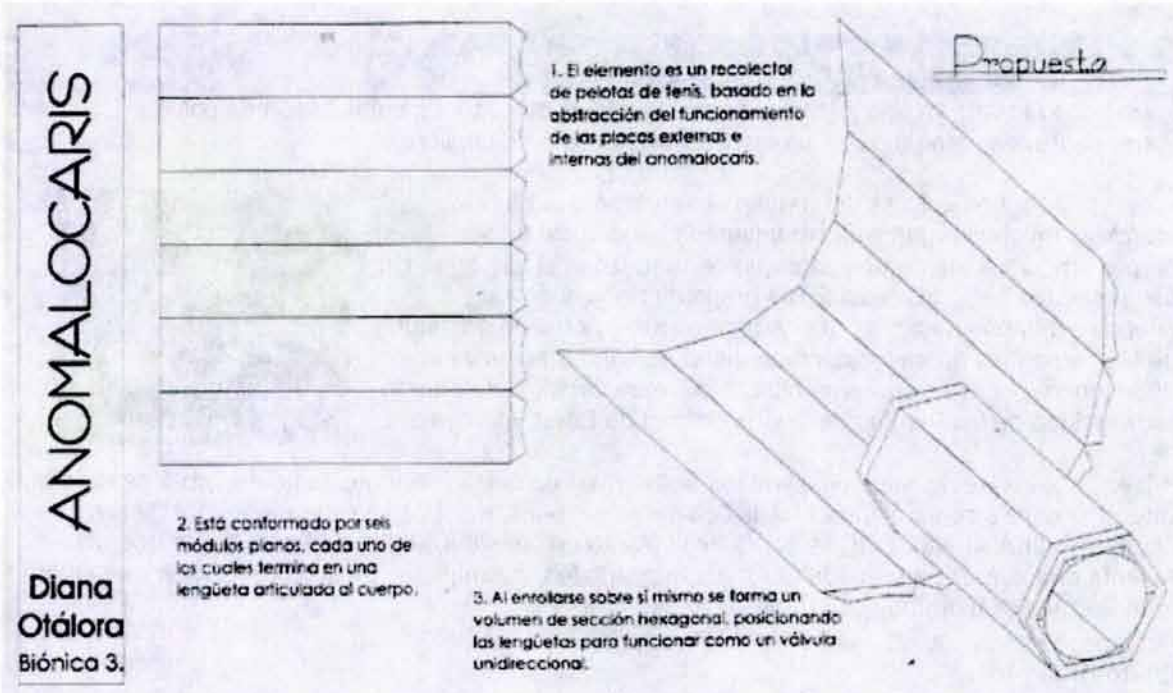


Figura 74. Colector de pelotas de tenis.

Ejemplo2. El Lirio acuático y la autolimpieza (Efecto Lotus)

En este caso existía ya una necesidad establecida, la de evitar la acumulación de polvo y microorganismos patógenos en productos que trabajan al aire libre.

Investigación. Los autores del trabajo observaron que en la naturaleza muchos organismos mantienen la superficie de sus cuerpos limpia y sana no obstante que permanezcan al aire libre. Un caso particular llamó la atención del grupo de trabajo: el lirio acuático (*Nelumbo nucifera*), que a decir de los autores no obstante que viva en aguas pantanosas mantiene unas hojas limpias y sin daño alguno, por ello decidieron buscar la ayuda del Instituto para la Biodiversidad de las Plantas de la Universidad de Bonn, Alemania.



Es bien sabido que las superficies de los seres vivos cumplen funciones tanto de impermeabilidad, protección contra contaminantes, reflexión de radiaciones, etc. Los investigadores decidieron estudiar la ultraestructura de las **hojas** de la planta en cuestión, llegando a determinar que esta presenta una superficie formada por microrugosidades, mismas que en su composición presentan algunos cristales hidrofóbicos.

Objeto Biológico.

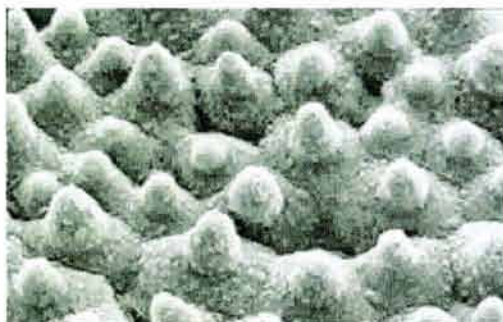
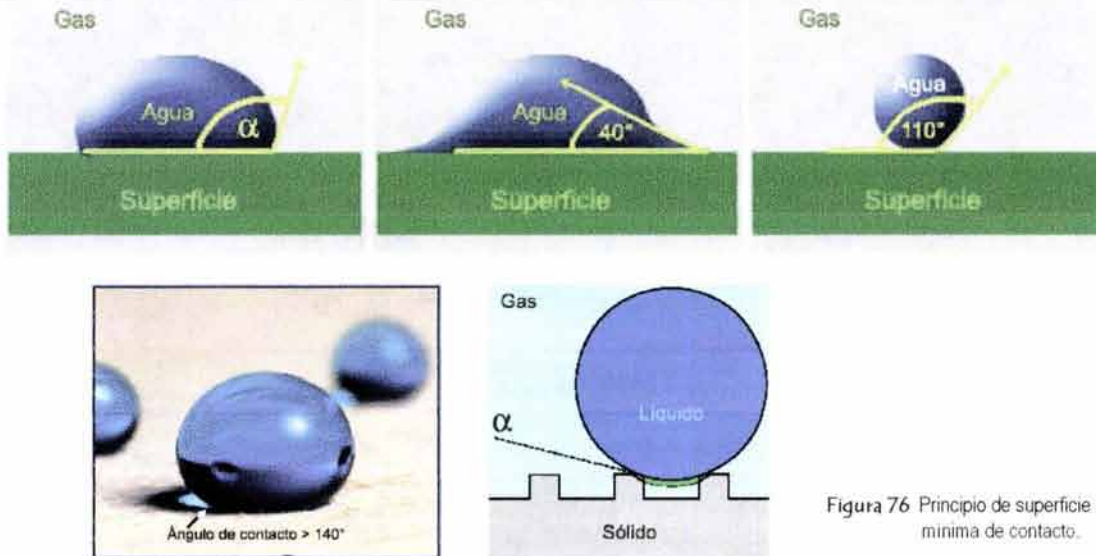


Figura 75 Microfotografía electrónica de barrido de la superficie de las hojas de lirio acuático (*Nelumbo nucifera*)

Interpretación. Si bien los cristales hidrofóbicos podrían estar cumpliendo con la tarea de permitir una autolimpieza, se notó que en otras plantas con la misma conformación de cristales la autolimpieza era menor que en el lirio acuático, por lo que se pensó que esta combinación es la facilitadora de tal fenómeno.

Un principio básico es que la interacción entre los materiales sólidos y su ambiente es una cuestión del interfaz, lo que aplica también para los seres vivos, pues ahí se dan los procesos de estabilización mecánica, permeabilidad, transpiración y el intercambio de gases. Si en esa interfase los agentes contaminantes y el polvo se adhieren con menor fuerza y el agua puede correr sin fricción, la autolimpieza está garantizada. Es claro que las hojas del lirio tienen una altísima impermeabilidad, misma cuya teoría ha sido sujeto de intensa investigación en los últimos años a decir del Nees Institute (2004). Una regla emanada de dichos trabajos establece que la permeabilidad de un material que tenga como medio circundante agua y aire depende de la relación de las tensiones superficiales entre agua/aire, material/agua y material/aire. Esta relación de las tensiones determina el ángulo de la gota de agua con la superficie (ángulo α en la Figura 76). Un ángulo de 0° significa una completa adherencia de la gota a la superficie (baja impermeabilidad), mientras que un ángulo de 180° significa una completa impermeabilidad, pues la gota de agua hace contacto con la superficie solamente en un punto.





Así, el comportamiento de una gota de agua en una superficie es en gran medida dependiente de la rugosidad de esta, pues la rugosidad brinda menores sitios de adhesión (solo las cúspides) para la gota de agua al mismo tiempo que la tensión superficial de las microburbujas del aire atrapadas entre las rugosidades empuja a la gota manteniéndola en ella un ángulo α que no permite que se adhiera el agua más que a las cúspides.

Esto nos conduce al hecho de que la impermeabilidad de una superficie lisa puede aumentarse a través de hacer rugosa su superficie. Ahora bien, si tenemos una superficie lisa hidrofóbica, al hacerla rugosa lograremos una superficie superhidrofóbica, por lo tanto extremadamente impermeable, que es lo que sucede con nuestro objeto biológico. Esta combinación antiadherente / rugosidad hace posible un rodamiento de las gotas de agua sin fricción aparente.

Si a lo anterior añadimos que las mismas rugosidades proporcionan muy pocas superficies de contacto para polvo, microorganismos y contaminantes (como se mencionó en el ejemplo de la piel del calderón en el subcapítulo 5.2) las gotas de agua desprenderán muy fácilmente estos objetos dejando la hoja completamente limpia después de una lluvia, llovizna o la brisa matutina.

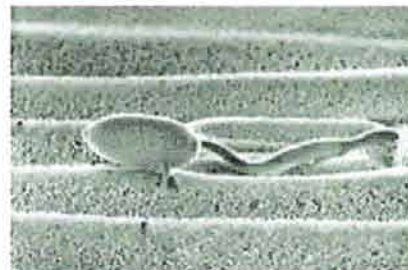


Figura 77 Microfotografía electrónica de barrido de una bacteria en una superficie rugosa. Nótese la superficie mínima de contacto.

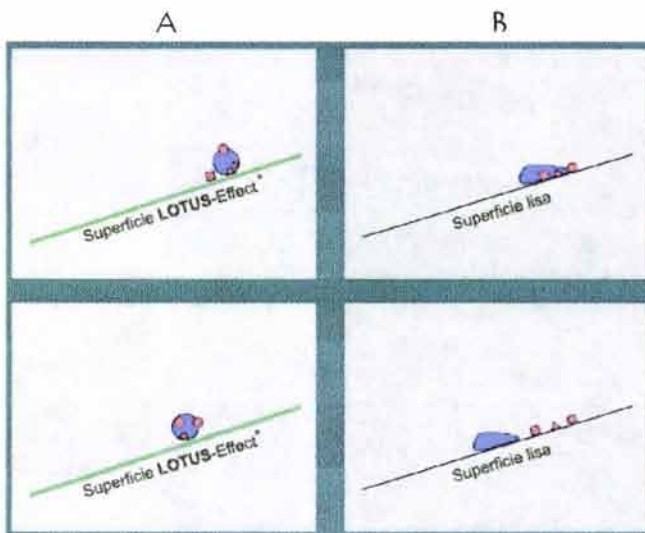


Figura 78 Comparación de arrastre de partículas en dos superficies: A) Superficie rugosa (Lotus-Effect) y B) superficie lisa.

Modelo Lógico.

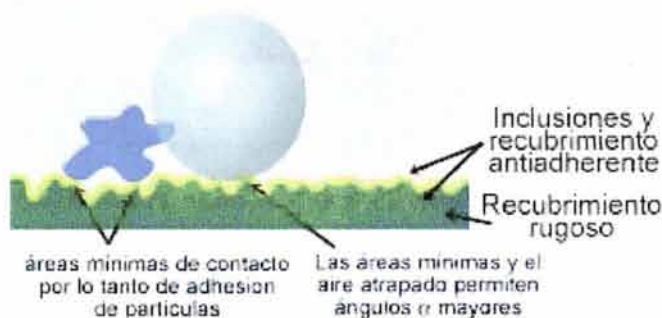


Figura 79 Modelo del funcionamiento de las superficie rugosa de las hojas del lirio.

Abstracción. La abstracción consiste en aplicar los principios de nanorugosidades al material mismo con el que esté fabricado un objeto (podríamos considerarlo una copia fiel), o aplicarlos a la elaboración de recubrimientos como pinturas, aerosoles, etc. (lo que podría tomarse como una aplicación de principios).

Objeto Técnico. La compañía BASF ha desarrollado ya varios prototipos con estos principios, y haremos referencia a dos que se relacionan con los ejemplos de la abstracción.

Por un lado está el plástico nanorugoso, con el que se han elaborado contenedores domésticos y los que han comprobado su utilidad inclusive con fluidos tan viscosos como la miel de abeja (Figura 80)



Figura 80 Recipiente doméstico fabricado bajo el principio de Lotus-Effect

El otro ejemplo es un spray de recubrimiento "Lotus".

BASF

Corporación BASF

Lotus-Spray

- Fácil de aplicar
- Estructuración por auto-ensamblado
- Sistema basado en solvente
- Mecánica no muy estable
- Reaplicable
- Opaco
- Entintable



Lata de Aerosol

Figura 81 Spray que forma un recubrimiento nanorugoso

Este es un ejemplo ya en el mercado, pues existe una patente del efecto Lotus, misma que puede ser revisada en su totalidad en el Anexo V. La aplicación de patente en Alemania es la No. 10118352.6, de la cual no se pudo conseguir una copia.

11. Un temario sugerido para la materia Biodiseño (Biología aplicada al Diseño Industrial).

La materia de Biodiseño proporcionaría a los alumnos tanto de Diseño Industrial, como de Biología las primeras bases para empezar a incursionar en la aplicación de los principios biológicos al diseño, así como para iniciar relaciones que permitirían un trabajo interdisciplinario firme y productivo con ese objetivo. Esto brindaría a la vez capacidad organizativa, de observación y de creatividad.

1. Biodiseño
2. Definición
3. Disciplinas involucradas
 - a. La Biología
 - i. Principios básicos
 - ii. Método Científico
 - b. El Diseño Industrial
 - i. Principios básicos
 - ii. Método científico
4. El trabajo interdisciplinario
 - a. Principios
5. Componentes del Biodiseño
 - a. Biónica
 - i. Definición
 - ii. Antecedentes
 - iii. Ejemplos
 - b. Biomimética
 - i. Definición
 - ii. Antecedentes
 - iii. Árbol Técnico de la Biomimética
 - iv. Ejemplos
 - c. Diseño Biomédico
 - i. Definición
 - ii. Antecedentes
 - iii. Métodos Biomédicos
 - iv. Ejemplos
6. El Método del Biodiseño
7. Presentación preliminar del método TRIZ y discusión sobre su intervención en el método de Biodiseño
8. Presentación del método y discusión de conceptos
 - a. Planteamiento del problema de diseño

- b. Observación y/o investigación
 - c. Objeto Biológico
 - d. Interpretación
 - e. Modelo técnico
 - f. Abstracción
 - i. Mapas Biomiméticos
 - g. Objeto técnico
 - h. Contrastación con soluciones no bioinspiradas (inclusión en los métodos de diseño)
 - i. El Mapa del Biodiseño
 - j. Definición de un problema de diseño a solucionar por parte del alumno*
9. Niveles de aplicación
10. Copia Fiel
11. Aplicación de Principios
12. Inspiración
13. Híbridos
14. Discusión sobre niveles de abstracción basados en los ejemplos presentados
15. Acervo Biológico
- a. Análisis morfológico
 - i. Forma y función
 - ii. Homologías / Analogías
 - iii. Geometría descriptiva
 - b. Formas en la naturaleza
 - i. Geometrías
 - ii. Geometría descriptiva
 - iii. Ramificaciones
 - iv. Películas delgadas y superficies mínimas
 - c. Estructuras
 - d. Materiales
 - e. Energía
 - f. Procesos
 - g. Conducta
 - h. Fibonacci
 - i. Escalamiento
 - j. Análisis Temático**
 - i. Soporte
 - ii. Conducción
 - iii. Aislamiento
 - iv. Desplazamiento
 - 1. Activo

2. Pasivo

- v. Articulaciones
- vi. Anclaje
- vii. Enfriamiento
- viii. Envase
- ix. Flotación
- x. Vuelo
- xi. Nado
- xii. Buceo
- xiii. Captación
 - 1. Energía
 - 2. Humedad
 - 3. Sonido

16. Caso de aplicación

- a. Problema de diseño (del inciso 8.j)
- b. Revisión del directorio de investigadores***
- c. Revisión de bibliografía/Observación / investigación
- d. Determinación de objeto(s) biológico(s)
- e. Interpretación
- f. Determinación de modelo(s) lógico(s), uno por objeto biológico
- g. Abstracción
- h. Determinación de objeto técnico
- i. Inclusión en el proceso de diseño
- j. Elaboración de prototipo(s)
- k. Elaboración de memoria técnica

* Es conveniente que los alumnos definan un problema de diseño antes de iniciar el trabajo con los conceptos de tipos de aplicación (inciso 8.j) y los demás conceptos subsecuentes, pues teniendo en mente un problema a solucionar la apropiación de los conceptos puede mejorar al tratar en cada nuevo paso de encontrar cabida a su problema.

**Los análisis temáticos están abiertos a nuevos temas, pues las fuentes de información son inagotables y cada vez surgen más y más temas y publicaciones. Aquí se presenta solo una breve lista de temas potenciales, pero no es, de ninguna manera, exhaustiva.

***También conviene que el profesor cuente con un directorio de investigadores en ciencias de la vida, a los cuales poder acudir en el transcurso del (los) curso(s), con quienes ya se hayan iniciado pláticas, con el fin de que el alumno se acerque en busca de apoyo, y con los cuales

Un temario sugerido para la materia Biodiseño (Biología aplicada al Diseño Industrial)

pueda trabajar de manera continua en caso de ser necesario, pudiendo llegar (idealmente) a la generación de patentes por un lado y publicaciones en revistas especializadas científicas y técnicas por otro lado.

12. Conclusiones

Como hemos visto, el Biodiseño es netamente una actividad interdisciplinaria que puede ofrecer gran cantidad de soluciones a problemas de diseño. Sus fuentes son tan amplias como la vida en la tierra y como los resultados de la investigación que sobre ésta se ha hecho hasta el momento.

En esta actividad el Diseñador puede encontrar soluciones a sus problemas de diseño particulares, o bien, puede hacer carrera en esta área desarrollando soluciones a la vez de generar conocimiento.

Por su parte, el Biólogo puede interpretar las necesidades del Diseñador y proporcionar rutas de búsqueda de soluciones, así como el análisis de los principios biológicos factibles de ser aplicados para la solución de esos problemas de diseño. Así mismo puede hacer carrera en el área generando conocimiento aplicado.

No obstante que el Biodiseño no proporciona soluciones a todos los problemas de diseño, su alcance crece día a día, pues los descubrimientos en biología, las técnicas de investigación, la tecnología de producción y los métodos de diseño avanzan a grandes pasos, lo que permite una mayor versatilidad a las dos áreas componentes del Biodiseño: la Biónica y la Biomimética.

A lo largo del documento podemos percibir que la información existente sobre estas áreas es muy diversa y debido a las múltiples escuelas y corrientes, los enfoques también lo son. Este trabajo tiene la intención de integrar dicha diversidad en conceptos globales a la vez de sintetizar una metodología del Biodiseño, esperando que tanto Diseñadores como Biólogos encuentren en él una herramienta para la innovación y un nuevo campo de acción.

13. Literatura Citada

- AYRE M. 2003. Biomimicry - A Review. European Space Agency / Agence Spatiale Européenne. Keplerlaan. 86 p.
- BAUM, C., W. MEYER, R. STELZER & L.G. FLEISHER. 2002. Average Nanorough skin surface of the Pilot Whale (*Globicephala melas*, Delphinidae): Considerations on the Self-cleaning Abilities Based on Nanoroughness. *Marine Biology*. 140: 653-657.
- BENYUS, J.M. 1997. Innovation Inspired by Nature. William Morrow & Company. New York. 308 pp.
- BIONIS. 2004. Biomimetics: Engineering learning from nature. The Biomimetics Network for Industrial Sustainability. <http://www.extra.rdg.ac.uk/eng/BIONIS/>
- BRITISH COLUMBIA INDUSTRIAL DESIGN ASOCIATION. 2003. Design Source. http://www.designsource.bc.ca/industrial_designers.php
- BRUNEL UNIVERSITY. 2004. Biomimetics in Design. <http://www.brunel.ac.uk/research/exploring/edp/printable/biomimetics.html>
- CAMPBELL, N.A., L.G. MITCHEL and J.B. REECE. 1994. Biology, Concepts and Connections. The Benjamin /Cumming Publishing Company Inc. Redwood City. 846 p.
- CHAPLIN, M. 2004. The Water Molecule. <http://www.lsbu.ac.uk/water/molecule.html>
- CHEOLHEUI, H. 2003. Biomimetics: Lesons from Nature for Engineering. Mechanical Engineering of Hanyang University. 8 p.
- CROSS, N. 1999. Métodos de Diseño, Estrategias para el Diseño de Productos. Limusa Wiley. México. 190 p.
- DESIGN MATRIX. 1999. Taxonomy of Bionic System. <http://www.designmatrix.com/bionics/taxonomy.html>
- DOMB, E. 1998. The 39 Features of Atshuller's Contradiction Matrix. TRIZ-Journal. <http://www.triz-journal.com/archives/1998/11/d/index.htm>
- DOMB, E. 1997. Contradictions: Air Bag Applications. TRIZ-Journal. <http://www.triz-journal.com/archives/1997/07/a/index.html>
- DRYDEN, R. 2004. Transition Rig. NESTA. <http://www.transitionrig.com/>

- EISNER, R. 2002. Biomimetics: Creating Materials from Nature's Blueprints. *The Scientist* [14]:14.
- FOUREZ, G. 1998. L'interdisciplinarité : Sa Fonction et la Methode des Îlots. "Pluri-interdisciplinarité. Actes séminaire national 1998", Enfa, Toulouse-Auzevielle, 1999, pp. 36-51.
- FRENCH, M. 1998. Conceptual Design for Engineers. Springer Verlag. New York. Pp. 1-4.
- GAMEZ, J. 1981. Información Básica sobre Cursos de Biónica. Sin Publicar.
- GERARDIN, L. 1968. La Biónica. Ediciones Guadarrama, S.A. Madrid. 251 p.
- GUTIERREZ, S.R. 1980. Introducción al Método Científico. Editorial Esfinge. Naucalpan. 272 p.
- HAN, CH.H. 2001. Biomimetics: Lessons from Nature to Engineering. Hanyang University. Seoul. 8 p.
- JONES, CH. 1974. The Need of New Methods. In: Man-made Future. The Open University Press. London. Pp. 269-271.
- JOHNSON, G.B. and P.H. RAVEN. 1996. Biology, Principles & Explorations. Holt, Reinhart and Winston. Austin. 1072 p.
- LOWER H.P. & P. LOWER. 1995. Seeds: The Definitive Guide to Growing, History, and Lore. John Wiley & Sons, Inc. New York. 230 p.
- MANSILLA, B.V. & G. HOWARD. 2004. Assesing Interdisciplinary Work at the Frontier. An Empirical Exploration of "Symptoms of Quality". *Interdisciplines*. <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity/papers/6>
- MEADOWS, R. 1999. Designs from Life. *ZooGoer* 28(4)
- MORRIS, A. 2001. Innovation by Analogy – An Introduction to biomimetics and its Application in the Design of New Materials and Machines. University of Bristol. http://www.dig.bris.ac.uk/teaching/oa_hf/amorris/amorris.htm
- MUNARI, B. 1983. ¿Cómo Nacen los Objetos? Gustavo Gili. Barcelona. Pp. 338-347
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1995. Cultural Issues and Barriers to Interdisciplinary Work. In: NRC Report: Mathematical Challenges from Theoretical/Computational Chemistry (Chapter 5). Academy Of Sciences. <http://www.nap.edu/readingroom/books/mctcc/chap5.html>

- NEES INSTITUTE. 2004. Lotus-Effect. Nees Institute for Plant Biodiversity. University of Bonn. http://www.botanik.uni-bonn.de/system/lotus/en/lotus_effect_multimedia.html
- OBITKO, M. 1999. Genetic Algorithms. Technical University in Prague. <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>
- OREGON COAST AQUARIUM. 2004. Central Shark. http://www.aquarium.org/education/spotlight/central_shark/skin.htm
- ORLANDINI, P. 1991. Catamarano Sperimentale. Libretto del Centro Ricerche. Istituto Europeo di Design. Milano. 45 p.
- PAPANEK, V. 1977. Diseñar para el Mundo Real. Ecología Humana y Cambio Social. H. Blume Ediciones. Madrid. Pp. 191.215.
- PELLEGRINO, S. (ed) Deployable Structures. Springer Verlag. Vienna. 360 p.
- PHAM, D.T. and H.H. ONDER. 1992. A Knowledge-based System for Optimizing Workspace Layouts Using a Genetic Algorithm. *Ergonomics*. 35(12): 1479-1488.
- POLONI, C. 1999. Hybridisation of a Multi Objective Genetic Algorithm, Neural Networks and Classical Optimisers for Complex Design Problems. *Symposium on Design Optimisation. Muenchen-Unterhaching*. 24 p.
- POPESCU, A.I. 1999. Bionics, Biological Systems and the Principle of Optimal Design. *Acta Biotheoretica*. 46: 299-310.
- RAEDER, P.H. 1992. La Geometría de la Forma. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México, D.F. 55 p.
- REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, 2003. Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Segunda Edición. <http://buscon.rae.es/diccionario/drae.htm>
- RECHENBERG, I. 2004. Bionics, Building on Bioevolution. *In: Bionik & Evolutionstechnik*. Technischen Universität Berlin. <http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/xtutor1.htm>
- RODRIGUEZ, M.L. 1989. Para una Teoría del Diseño. Tilde Editores, México, D.F. 125 p.
- SANDBERG, A. 2000. Bionics. Transhuman Page. http://www.aleph.se/Trans/Individual/Body/bion_page.html

- SARIKAYA, M. & I.A. AKSAY. 1995. Biomimetics. Design and Processing of Materials. American Institute of Physics. New York (woodbury). 285 p.
- SPEEDO. 2004. Dare to Compare.
<http://www.speedousa.com/IWCatSectionView.process?IWAction=Load&MerchantId=1&CatalogId=3&SectionId=13>
- STARR, C. 1997. Biology, Concepts and Applications. Wadsworth Publishing Company. Belmont. 743 p.
- STOLKINER A. 1999. La Interdisciplina: entre la Epistemología y las Prácticas. El Campo Psi. <http://www.campopsi.com.ar/interdisciplina.htm#octubre>
- TECKDES. 2002. Soluciones I+D.
<http://www.teckdes.com.ar/teckdes/Htmls%20Español/Casa.htm>
- THE UNIVERSITY OF BATH. 2004. The Centre for Biomimetic and Natural Technologies. <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/biomimetics/home.htm>
- UNIVERSIDAD DE PALERMO (ARGENTINA). 2003. Diseño Industrial.
http://www.palermo.edu.ar/facultades_escuelas/dyc/dind/index.html
- UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN. 2001. Digital Flowers.
<http://www.life.uiuc.edu/plantbio/digitalflowers/Papaveraceae/11.htm>
- VINCENT, J.F.V. 1995. Borrowing the Best from Nature. *In: Encyclopedia Britannica Yearbook*. P. 169.
- VINCENT, J. F. V. (1999). From cellulose to cell. *Journal of Experimental Biology* 202(23): 3263-8.
- VINCENT, J.F.V. 2001. Stealing Ideas from Nature. *In: Pellegrino, S. (ed) Deployable Structures*. Springer Verlag. Vienna. Pp. 51-58.
- VINCENT, J.F.V. and D.L. MANN. 2002. Systematic Technology Transfer from Biology to Engineering. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*. 360: 159-173.
- WAINWRIGHT, S.A. 1995. What Can We Learn from Soft Biomaterials and Structures. *In: SARIKAYA, M. & I.A.AKSAY. Biomimetics. Design and Processing of Materials*. American Institute of Physics. New York (Woodbury) 285 p.
- WALLI, R. 1997. Critters on a Chip. Oak Ridge National Laboratory.
http://www.ornl.gov/info/press_releases/archive/mr19970418-00.html
- WESTERN MICHIGAN UNIVERSITY. 2004. Michigan Flora.
http://homepages.wmich.edu/~tbarkman/michigan%20flora/plantfamilies-mich/Papaveraceae/pics2/pages/Papaver_orientalis_2_jpg.htm

WIRTH, H.J. 2004. Nature and Design. *Milwaukee Art Museum*.
<http://personalpages.tds.net/~hwirth/nd/artmuseum.html>

ZAMORA, J. 2004. Implante Coclear. *Asociación de Implantados Cocleares de España*. <http://zonan.org/ImplanteCoclear/infogeneprint.htm>

Anexo I

Marine Biology (2002) 140: 653–657
DOI 10.1007/s00227-001-0710-8

C. Baum · W. Meyer · R. Stetzer · L.-G. Fleischer
D. Siebers

Average nanorough skin surface of the pilot whale (*Globicephala melas*, Delphinidae): considerations on the self-cleaning abilities based on nanoroughness

Received: 29 May 2001 / Accepted: 27 August 2001 / Published online: 14 November 2001
© Springer-Verlag 2001

Abstract In aquatic environments, the biofouling process is assumed to initiate from the conditioning layer of absorbed organic carbon residues on wetted surfaces. Microfouling organisms attach to this conditioning layer, building up a biofilm on which further biofouling proceeds. In dolphins, biofouling reduces hydrodynamic efficiency and may negatively affect health if not managed. In the present study we examined the skin surface of the pilot whale (*Globicephala melas*). Employing cryo-scanning electron microscopic techniques combined with various sample preparations, the skin displayed an average nanorough surface characterized by a pattern of nonridge-enclosed pores; the average pore size (approximately $0.20 \mu\text{m}^2$) was below the size of most marine biofouling organisms. Further, the implications of this type of surface to the self-cleaning abilities of the skin of pilot whales are discussed, based on reduced available space for biofouler attachment, the lack of any particular microcavities as shelters for biofoulers, and the challenges of turbulent water flow and liquid-air interfaces during surfacing and jumping of the dolphin.

Communicated by O. Kinze, Oldendorf-Lube

C. Baum, D. Siebers
Stiftung Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung,
Am Handelshafen 17, 27570 Bremerhaven, Germany

C. Baum, W. Meyer (✉)
Anatomisches Institut, Tierärztliche Hochschule Hannover,
Boschstraße 15, 30173 Hannover, Germany

E-mail: wilfried.meyer@iho.hannover.de
Tel.: +49-511-5867215
Fax: +49-511-5867232

R. Stetzer
Institut für Tierökologie und Zellbiologie,
Tierärztliche Hochschule Hannover,
Bünteweg 17d, 30559 Hannover, Germany

L.-G. Fleischer
Institut für Lebensmitteltechnologie,
Biotechnologie-Zentrum, Technische Universität Berlin,
Anusauer Straße 37, 13553 Berlin, Germany

Introduction

In the marine environment, adhesive polysaccharides within the pool of dissolved organic matter (DOM) can form colloids and gel particles spontaneously (Chun et al. 1998; Passow 2000). This process depends on the concentration and absorptive properties of the saccharide precursors, mainly consisting of sulfated acyl heteropolysaccharides (Aluwihare et al. 1997; Aluwihare and Repeta 1999). The transformation of small dissolved molecules ($<0.2 \mu\text{m}$) into sinking particles ($>0.2 \mu\text{m}$) is considered essential to the permanent cycling of marine organic matter (Passow 2000). Since the differentiation between dissolved and particulate organic matter originates from the usual filtration of sea water, bacteria and diatoms ($>0.2 \mu\text{m}$) exuding heteropolysaccharides belong to the particulate fraction.

Absorbed by the charged and hydrophobic surfaces of organisms or underwater structures, adhesive organic matter forms a conditioning organic layer. Microfouling organisms attaching to and growing on this layer initiate the formation of a mucilaginous and mainly polysaccharide-based biofilm (Wahl 1989; Cooksey and Wigglesworth-Cooksey 1995; Beveridge et al. 1997; Stoddley et al. 1999). Biofilms modified for adhesion, nutrition or defense by microfouling organisms may reduce hydrodynamic efficiency and create health problems for the aquatic plants or animals they cover.

However, taking advantage of cryo-scanning electron microscopic (C-SLM) techniques in combination with cryo-conservation, we were able to show that the skin surface of the pilot whale (*Globicephala melas*) exhibits remarkably low concentrations of epibiontic organisms and salt crystals. Most surprisingly, freeze-etching resulted in the partition of the skin surface into hydrophilic non-lipidic and hydrophobic lipidic sectors. These sectors varied in thickness and diameter (about 1–5 μm and 10–100 μm , respectively), indicating the presence of a skin-covering fluid; this is patchy and may be derived from the dolphin skin (Baum et al. 2000, 2001a,b). In

654

addition, at higher magnifications of this skin surface, plane, small tips could be demonstrated; these may evidence desmosomal junctions in the outermost stratum corneum cells.

The present study is aimed at establishing whether a biological structure is related to the morphology described above. In this connection, trypsin was applied to the skin surface of the pilot whale in order to digest non-desmosomal material. We compared the surface structure of the trypsinated skin samples to fresh-frozen, formal- and Bouin-fixed samples. The specific skin structure was also compared to the size classes of marine biofoulers, and options of attachment-detachment mechanisms during surfacing or jumping of whales are considered.

Materials and methods

A total of 50 skin samples from 30 pilot whales (*Globicephala melas*) obtained from the Faroe Islands in 1999 were cut into blocks (3×5×5 mm). These fresh blocks were used unaltered, but were stored and viewed deep frozen (liquid nitrogen at -196°C), in order to preserve the natural character of the samples. Alternatively, they were fixed in 4% formal for further enzymatic digestion or in Bouin's fixative, whereby the latter is recommended for the stabilization of glycoconjugates (Meyer 1986). After formal fixation, a batch of the blocks was rinsed in PBS (phosphate-buffered saline, pH 7.4) for 12 h, and then incubated with 0.25% trypsin (10,000 units, Sigma) in PBS (pH 7.4) for 2, 6 and 12 h at 4°C. The blocks were placed onto copper sampler holders and then stored deep frozen in liquid nitrogen (-196°C). Aliquots of the blocks were also formal fixed and dehydrated in ethanol and dried chemically using tetramethylsilane (Dev 1989). For structural comparison, we used cellulose-acetate filters (Sartorius, SM 11307, size exclusion 0.22 µm). C-SEM photographs were taken after freezing, after freeze-etching and freeze-drying of the samples under optical contrast in the cryo-electron microscope FEI/COASTAR (for details, see Baum et al. 2000). In brief, samples were viewed under high vacuum conditions (1×10⁻⁵ Pa) and low temperature (-196°C), with an accelerating voltage of the electron beam of 10 kV and an emission current of 175 pA. In order to determine the areas of the nanoridge-enclosed pores, size-calibrated images of the skin samples were converted to a monochrome gray level by erosion and contrasting routines with the morphometric software Analysis 2.1 (Soft Imaging System). The pore sizes measured were sorted into 0.1 µm² classes.

Results

Taking advantage of C-SEM techniques in combination with cryo-conservation, conventional pre-fixation and dehydration (or additional coating) of the sample was not necessary, and thus the dislocation of biofoulers and chemical denaturation of the samples was avoided. In agreement with previous studies, the freshly frozen skin samples of pilot whale collected in 1999 exhibited low concentrations of epibionts, similar to the freshly frozen samples from 1997 (Baum et al. 2000). The skin surface displayed small tips arising from the average smooth background (Fig. 1), no pores were present. Employing mid-freeze etching (sample dehydration developed along the gradient of the water content), material

between the tips dehydrated, leaving behind the pattern of pores enclosed by an entangled network of nanoridges, which were recovered as the underlying part of the tips (not shown). Since nanoridges are known from aldehyde-fixed samples as the derivatives of the desmosomal junctions of the outermost corneocytes (e.g. Pfeiffer and Jones 1993), we applied an enzymatic hydrolysis, commonly used to enhance epitope presentation in immunodetection of (desmosomal) keratins of formal-fixed skin samples. The trypsin digestion revealed the presence of a relief of nanoridges (approximately 100 nm deep) on both sides of the cell surface of the corneocytes (approximately 300 nm thick) (Fig. 2). It was remarkable that after the digestion procedure, in contrast to the non-digested aldehyde-fixed samples, the corneocytes (ca. 30×50 µm) were often seen partly detached from the underlying cells, not as single scales, but in larger assemblies (ca. 100×300 µm).

Nanoridges enclosing pores were demonstrated after trypsin digestion comparable to the above-mentioned structure in the freshly freeze-etched skin samples and Bouin-fixed samples (Fig. 3). The size of the nanoridges was only randomly affected by the digestion even under prolonged proteolysis (2–24 h). As with the freshly frozen, non-etched samples, the nanoridge-enclosed pores were partly obscured by a medium filling the pores of fixed skin samples (Bouin's fixative and formal). In comparison to the average nanorough surface of the cellulose-acetate filter membranes (pore size exclusion 0.22 µm, Fig. 4) prepared from nanoparticles, the surface structure of the corneocytes displayed a greater degree of smoothness and structural integrity (cf. Figs. 3 and 4).

Using C-SEM techniques and conventional SEM preparation methods, we determined the amount of shrinkage of the skin samples usually observed after fixation and chemical dehydration. Estimated from the size of non-dehydrated cryo-fixed samples, all other preparation methods reported above induced isometric size reduction of about 10–15% (freeze-etching, fixation using Bouin's fixative and formal in combination with cryo-scanning microscopy, and also fixation in formal followed by chemical dehydration in ethanol and tetramethylsilane). We therefore recalculated the pore sizes analyzed for the freshly freeze-etched and the aldehyde-fixed samples within a 10% variation. The pores measured occupied about 20% of the plane surface area. In general, the pore sizes ranged between 0.1 and 1.2 µm² and were dominated by the 0.10 and 0.20 µm² fractions (approximately 90% of all pore sizes measured) (Fig. 5).

Discussion and conclusions

It was obvious from the results of our previous C-SEM study (Baum et al. 2000), that the skin surface of this species displayed only occasional loads of contaminants. Such low concentrations of contaminants are clearly in

contrast to the marks of biofouling in long-term wetted surfaces such as ship-hulls or underwater structures. In this way, our results may indicate a high quality of self-cleaning abilities of the skin of pilot whales (*Globicephala melas*), potentially in balance with the marks of biofouling reported previously (Gol'din 1994, Denys 1997, Baum et al. 2000).

In the present study we found evidence that self-cleaning relies on the patchy distribution of epidermal desquamation and a cellular morphology that was considered to be the basis of skin surface smoothness. Considering the presence of proteolytic enzymes within the intercellular space of the stratum corneum conjunctum in pilot whale (Baum et al. 2001b), the enzymatic digestion applied shows that serine proteases, such as trypsin, known in other mammals (e.g. Suzuki et al. 1996) may be responsible for the time-dependent process of desquamation and its patchy distribution. In the present study, the enzymatic digestion applied introduced a

desquamation pattern not only in single squames ($30 \times 50 \mu\text{m}$), but also in cell clusters (of up to $100 \times 300 \mu\text{m}$). This pattern of desquamation, induced in vitro in formal-fixed samples, reflected the patchy distribution of the mucilaginous, skin-covering fluid seen in some cryo-scanned fresh skin samples (Baum et al. 2000). Although the efficiency of rate-dependent desquamation, contributing to the self-cleaning, versus rate-dependent adhesion of contaminants is a dynamic feature of the attachment-release process, it is assumed that the patchy distribution of desquamating cell assemblages is an adaptation to remove contaminants of the same size as that of these assemblages from the skin surface.

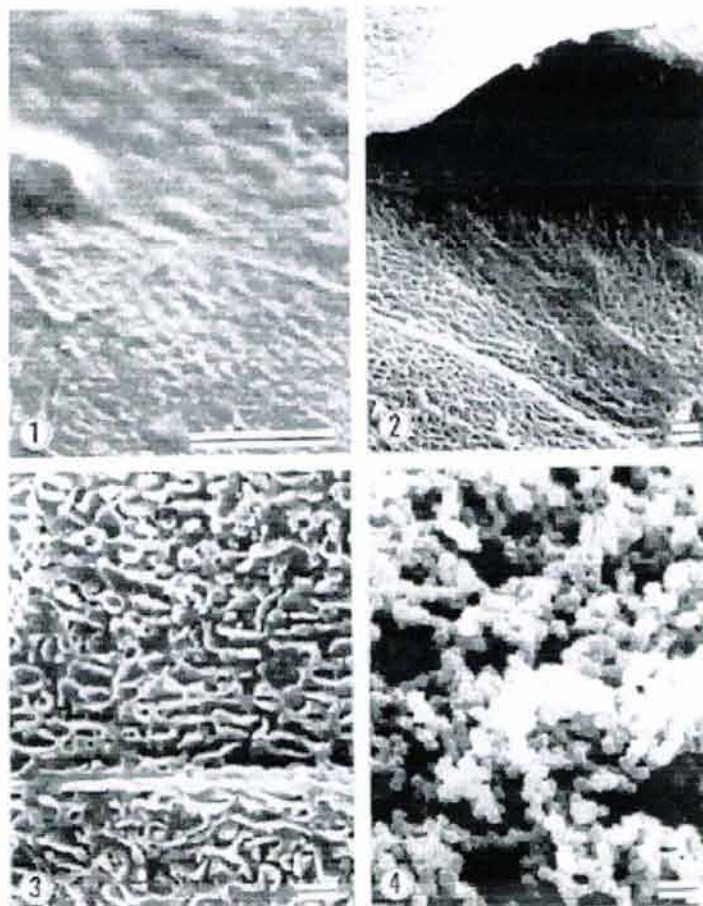
With respect to the cellular morphology and roughness of the skin – as the surface character of the hard cellular substrate on which contaminants and biofoulers attach – our results obtained from fresh-frozen samples showed that the skin surface of the pilot whale exhibited an even, smooth surface, formed by the tips of the

Fig. 1 *Globicephala melas*. Cryo-scanning electron microscopic images of the skin surface (non-fixed) of pilot whale displayed an even, smooth surface. Only the small tips of the nanoriges are seen compared to the fixed sample in Figs. 2 and 3. The method used ensured that the medium smoothing the surface can be identified. Scale bar: 10 μm .

Fig. 2 *Globicephala melas*. After trypsin hydrolysis of formal-fixed samples an entangled network of nanoriges was visible showing the derivatives of the desmosomal junctions of the corneocytes. These nanoriges enclosed small pores. It is remarkable that after the digestion procedure the desquamation was enhanced. Scale bar: 1 μm .

Fig. 3 *Globicephala melas*. Non-digested skin samples (fixed in Bouin's fixative) the pores enclosed by the nanoriges are displayed very clearly. Scale bar: 1 μm .

Fig. 4 Cellulose-acetate membrane filter (Sartorius, SM 11307, pore size exclusion: $0.20 \mu\text{m}$) made by nanoparticles exhibited a higher degree of roughness than the surface of the corneocytes of the pilot whale. Scale bar: 1 μm .



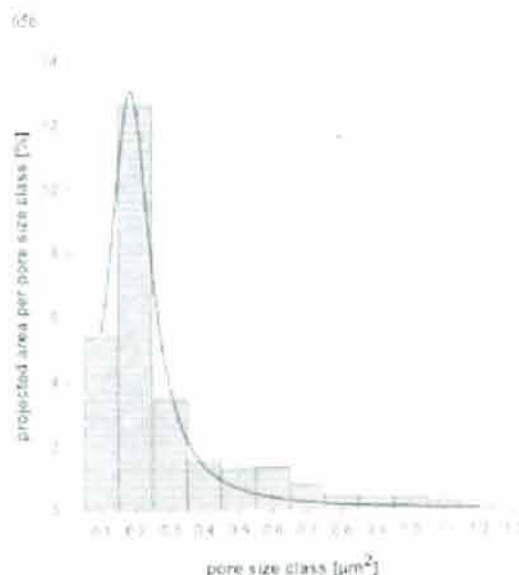


Fig. 5. *Globicephala melas*. Pore size distribution in the corneocytes of the pilot whale. Approximately 20% of the corneocyte surface was covered by pores. The distribution is dominated (nearly 90%) by the $0.10 \mu\text{m}^2$ fraction. Data fitted to the Lognormal density distribution ($R^2=0.99243$, $R^2=0.9857193$, standard error of estimate = 0.0749).

nanoridges obscured by a medium. Because these nanoridges resisted the proteolysis applied and the glycoconjugates protect desmosomal material against proteolysis (Wahl and Chapman 1991), we conclude that the nanoridges originated from desmosomal keratinaceous material. The nanoridges found were recovered in the freshly freeze-etched and aldehyde-fixed samples in this study. The morphology of these nanostructures was in agreement with previous reports on the skin of other delphinid species, in which the nanoridges were considered to be derivatives of intensely interdigitating desmosomal junctions (e.g. Pfeiffer and Jones 1993). Since the nanoridge-enclosed pores (diameter approximately 0.1 and $1.2 \mu\text{m}^2$) measured in our study were smaller than most marine biofouling organisms (diameter $< 0.2 \mu\text{m}$), we conclude that the biofoulers can attach to the skin surface only at the margins of the pores or the tips of the nanoridges. Focusing on the reduction of available space for attachment and anchorage on the dolphin skin as a hard substratum, we claim that the plane of attachment of biofoulers is restricted to the level of the margins of the pores or the tips of the nanoridges. Biofoulers cannot invade deeper into the pores without heavy enzymatic (keratinolytic) digestion. Although further investigations are needed to evaluate the surface chemistry of the skin and the attachment dynamics of contaminants, this size exclusion is extremely important in the reduction of microniches (see below).

For biological surfaces exposed to air, such a reduction of effective, attachable contact space for contami-

nants has been reported for insects and plants (Wagner et al. 1996; Barthlott and Neinhuis 1997). In these organisms, microrough, waxy surface projections of about $1-10 \mu\text{m}$, with low wettability, absorb contaminants less effectively than water droplets which run over the surface and ultimately remove the contaminants. The viscoelastic and glycoprotein-rich thin mucous layer covering the skin surface of fish prohibits direct contact of biofouling organisms with the body, whereby the mucus is retained in place by the microridges (approximately $10 \mu\text{m}$) of the keratinocytes (e.g. Bereiter-Hahn et al. 1979; Mittal et al. 1995; Wirth 1999). In dolphins, the height of the nanoridges may correlate with the presence of an enzyme-containing gel, which fills the aforementioned structures with a medium of high elasticity. Thus, comparable skin-surface conditions may have evolved more than once early in the evolutionary development of fish and of those mammals resettling in aquatic environments.

Since the microrough projections described in insects and plants would – if present in dolphins – increase hydrodynamic drag, we assume that in dolphins the smooth plane (biofilm-filled nanorough surface system) evolved as an adaptation to the specific hydrodynamic demands of this mammalian group. As reported by Nachtigall (2000), small aquatic organisms survive in the laminar boundary of underwater surfaces, taking advantage of the microniches of their substrates. With respect to the nanoridges of the pilot whale forming an average nanorough plane surface, we established that

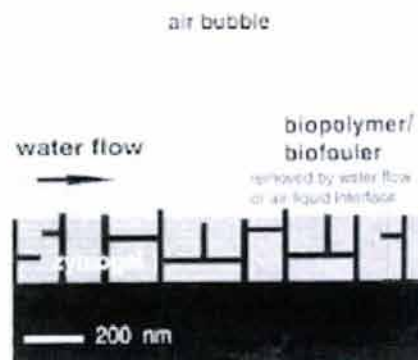


Fig. 6. Preliminary model of the self-cleaning abilities of pilot whale (*Globicephala melas*) skin, based on the relief of nanoridges filled with a medium. Larger biofoulers settling in the laminar boundary layer are excluded from the surface by the relief and can be flushed away by turbulent water flow or are removed by detachment forces of an air-liquid interface during breathing intervals or jumps of the dolphin. Smaller adhesive molecules are excluded from the surface by the properties of the gel.

the skin surface in dolphins exhibits no particular micro-roughness for settling organisms and particulates ($\leq 0.2 \mu\text{m}$). This seems important, since the detachment forces in the laminar boundary layer are considered to be small (Schlichting and Gersten 1997; Nachtigall 2000), and contaminants penetrating into this water layer are not challenged by detachment forces.

From the results obtained with the above-reported experimental approach, we suggest a new model for the short-term self-cleaning abilities of dolphins based on the nanoroughness of their skin surface (Fig. 6). According to the hydrodynamically favorable low-shear, laminar drag-reducing flows around the dolphin's body, a load of small contaminants can be avoided, but also the laminar boundary layer is not destabilized by epidermal emergences reaching the boundary layer flows (Schlichting and Gersten 1997). Therefore, the self-cleaning abilities based on the specific and hydrodynamic nanorough surface structure in dolphins can be directly coupled with the hydrodynamic demands and swimming behavior of the dolphins, including forced motion, surfacing and especially jumping of whales.

During jumping, attached particles not protected from air bubbles within microniches contact air-liquid interfaces or high-speed water flow, which reduce the height of laminar boundary layers, detaching forces are thus increased and the retention of such particles is considerably reduced.

Acknowledgements We thank Dr. D. Bloch, Museum of Natural History, Faroe Islands, Dr. H.-P. Eriksen, University of the Faroe Islands, and co-workers for their kind help in specimen collecting from legal harvest. The authors also thank Dr. U. Passow and Dr. R. Crawford, Foundation Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, for discussing the manuscript. This work was supported by a grant from the Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG (ME 1253/1-1/1-2).

References

- Aluwihare LI, Repeta DJ (1999) A comparison of the chemical characteristics of oceanic DOM and extracellular DOM produced by marine algae. *Mar Ecol Prog Ser* 186: 105-117
- Aluwihare LI, Repeta DJ, Chen KF (1997) A major biopolymeric component to dissolved organic carbon in surface sea water. *Nature* 387: 166-169
- Bortholot W, Neuhuis C (1997) Parity of the sacred lotus, or escape from contamination: a biological surface. *Planta* 202: 1-8
- Baum C, Stelzer R, Meyer W, Fleischer L-G, Siebers D (2000) A cryo-scanning electron microscopic study of the skin surface of the pilot whale *Globicephala melas*. *Aquat Mamm* 26: 7-16
- Baum C, Fleischer L-G, Meyer W, Siebers D, Stelzer R (2001a) Gelation kinetics of the gel collected from the corneocytes of the pilot whale, *Globicephala melas*. *Zoology (Jena)* 104(Suppl [5]): 5
- Baum C, Meyer W, Roesner D, Fleischer L-G, Siebers D (2001b) A rymogel enhances the self-cleaning abilities of the pilot whale (*Globicephala melas*). *Comp Biochem Physiol A* 130: 835-847
- Besster-Hahn J, Osborn M, Weber K, Voith M (1979) Filament organization and formation of microridges at the surface of fish epidermis. *J Ultrastruct Res* 69: 316-330
- Beveridge TJ, Makin SA, Kadurugamaya JL, Li Z (1997) Interactions between biotins and the environment. *FEMS Microbiol Rev* 20: 291-303
- Chiu W-C, Orellana MV, Verdugo P (1998) Spontaneous assembly of marine dissolved organic matter into polymer gels. *Nature* 391: 568-572
- Cooksey KE, Wigglesworth Cooksey B (1995) Adhesion of bacteria and diatoms to surfaces in the sea: a review. *Aquat Microb Ecol* 9: 87-96
- Denys L (1997) Morphology and taxonomy of epizoa diatoms (*Ergasilina* and *Taxosella*) on the sperm whale (*Physeter macrocephalus*) stranded on the coast of Belgium. *Diatom Res* 1: 1-18
- Dey S, Basu B, Das TS, Roy B, Dey D (1989) A new and method of staining for scanning microscopy using tetramethylsilane. *J Microsc (Oxf)* 156: 259-261
- Goeller PR (1994) The Black Sea bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and overgrowing microalgae: some aspects of interrelations. In: Proceedings of the 1st international symposium on the marine mammals of the Black Sea. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Istanbul, pp 24-27
- Meyer W (1986) Die Haut des Schwemmes (The Porcine Integument). Vergleichende histologische und histohemische Untersuchungen an der Haut von Wildschweinen, Haus- und Klemmschweinen. Sillbersche, Hannover
- Mittal AK, Garg TK, Verma M (1985) Surface architecture of the Indian catfish, *Bogus lugens* (Hamilton) (Sisoridae, Siluriformes). *Jpn J Ichthyol* 42: 187-191
- Nachtigall W (2000) Leben in der Grenzschicht. *Intol Unserer Zeit* 30: 148-157
- Passow U (2000) Formation of transparent exopolymer particles (TEP) from dissolved precursor material. *Mar Ecol Prog Ser* 192: 1-11
- Pfeifer CJ, Jones PM (1993) Epidermal lipid in several cetacean species: ultrastructural observations. *Anat Embryol* 188: 209-218
- Schlichting H, Gersten K (1997) Grenzschicht-Theorie, 9th edn. Springer, Heidelberg Berlin New York
- Steadley P, Lewandowski Z, Boyle JD, Lippin-Scott JM (1999) Structural deformation of bacterial biofilms caused by short-term fluctuations in fluid shear: an in situ investigation of biofilm rheology. *Biotechnol Bioeng* 65: 83-92
- Suzuki Y, Nomura I, Koyama I, Hom I (1992) The role of proteases in stratum corneum: involvement in stratum corneum desquamation. *Arch Dermatol Res* 286:249-253
- Wagner T, Neuhuis C, Bortholot W (1996) Wettability and contaminability of insect wings as a function of their surface sculpture. *Acta Zool* 77: 213-225
- Wall M (1989) Marine epibiosis. 1. Feeding and attachment: some basic aspects. *Mar Ecol Prog Ser* 58:175-189
- Walsh A, Chapman SJ (1994) Sugar-protein deosome and cornosome glycoproteins from protocysts. *Arch Dermatol Res* 287: 174-179
- Wirth U (1999) Vergleichende Untersuchungen zur Struktur und Funktion der Hautschichten bei Fischen unter besonderer Berücksichtigung von Hautsekreten. Dissertation thesis, University of Hannover

Anexo II

Tomemos como producto un equipamiento para el Museo de las Ciencias (Universum) el cual a decir del cliente es un display interactivo sobre la formación de algunas moléculas y el despliegue de información sobre sus propiedades fisicoquímicas.

Problema General

En la Sala de Química del Museo de las Ciencias (Universum) se requiere un "centro" interactivo que proporcione información en una pantalla de gran tamaño sobre las propiedades de ciertas moléculas al formarlas el usuario mediante esferas que correspondan a diferentes elementos químicos y que funcione como área de descanso llegando la información también a las personas que solo la usen para descansar.

Clarificación de Objetivos

Para esta fase se empleará el método de **Árbol de Objetivos**, en donde se identificarán y mostrarán los mismos jerarquizándolos y determinando las interconexiones entre ellos. Inicialmente hay que elaborar una lista de objetivos generales.

Interactividad
Seguridad
Comodidad
Coherencia

A continuación se colocan los objetivos jerárquicamente, generando los posibles objetivos particulares.

Interactivo

Generar información al unir esferas

Seguro

Para el Usuario

Evitar lesiones

Para el equipamiento

Evitar daños al equipamiento

Para la función del equipamiento

Evitar ambigüedades

Permitir acceso a la información a todo el público

Cómodo

Para el participante

Brindar un "área local" de juego

Para el no participante

Brindar un área de descanso con posibilidad de visualizar la información

Coherente

Conservar el estilo de la sala de Química

Esta jerarquización puede entonces convertirse en un árbol de objetivos que quedaría como se muestra en la figura 1

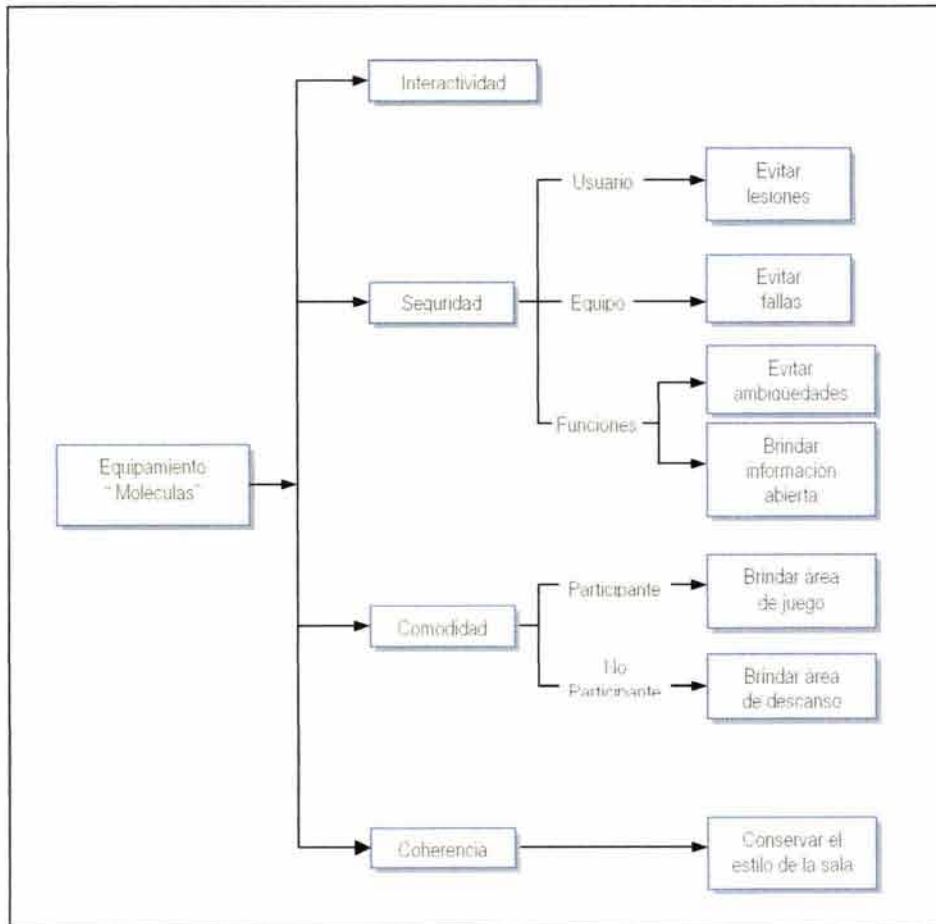


Figura 1. Árbol de objetivos del método del mismo nombre.

Cabe preguntarnos como se van a lograr estos objetivos, y estas respuestas convierten a nuestro árbol de objetivos en un árbol de medios, siguiendo un formato de Marco Lógico, lo que nos lleva al esquema de la figura 2.

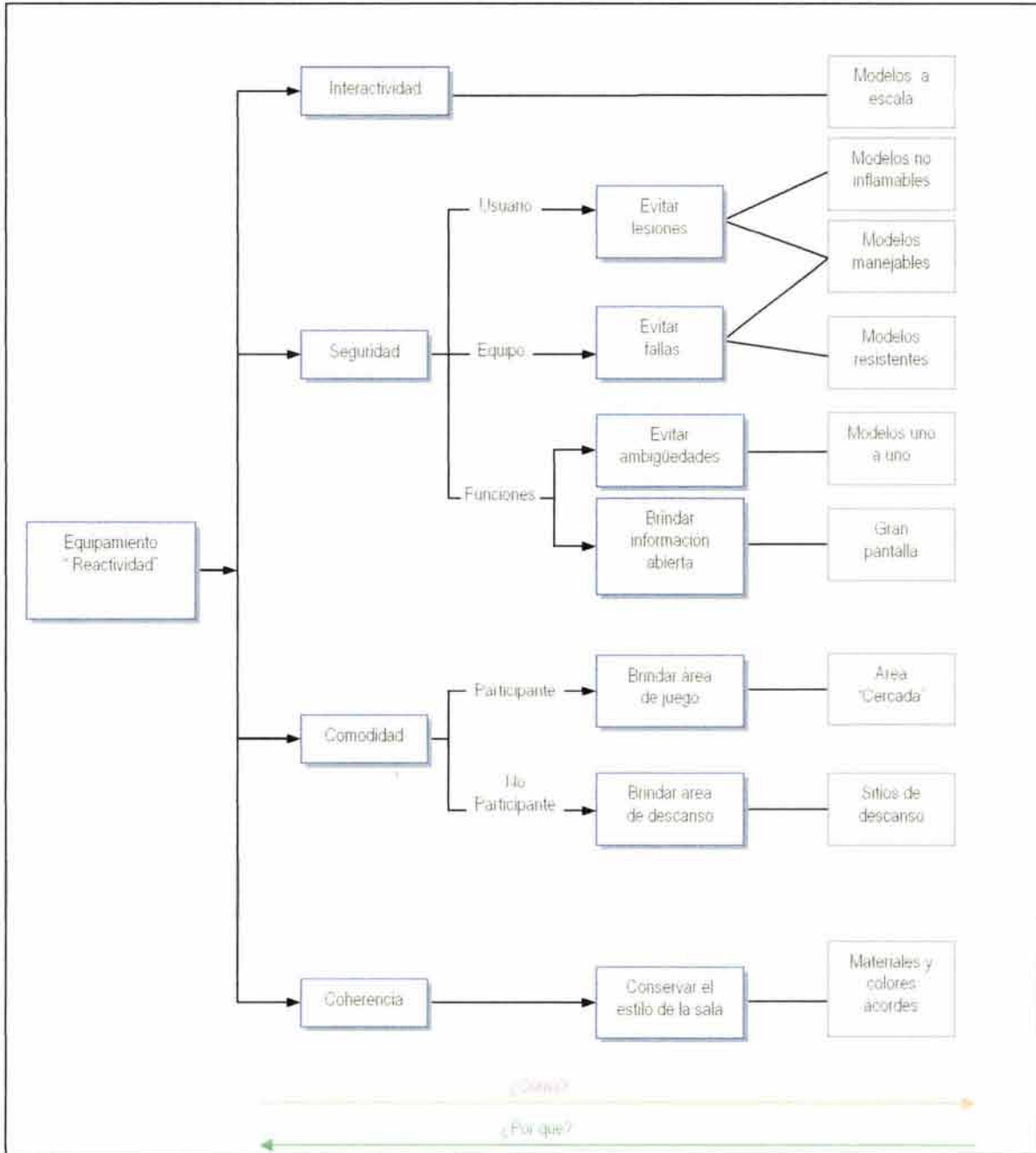


Figura 2. Árbol de medios proveniente del árbol de objetivos, generado empleando el enfoque "¿cómo?" y "¿por qué?" del "Marco Lógico".

Establecimiento de las Funciones

A continuación se utiliza el método de **Análisis de las Funciones** del producto a diseñar elaborando un modelo de "caja negra" como un inicio, la que después se convertirá en una "caja transparente" al descomponer la función global en funciones secundarias y sus interacciones estableciendo los límites alrededor de dichas funciones.

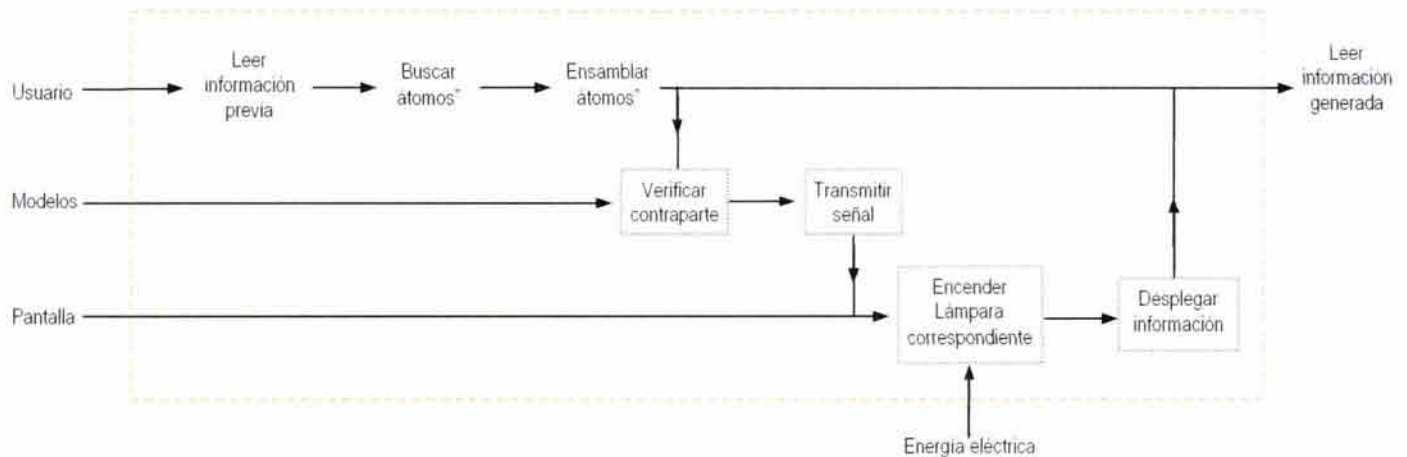


Figura 3. Modelo de "caja transparente" del método Análisis de las Funciones.

Cabe mencionar que en esta parte solamente se está tomando en cuenta el objetivo *Interactividad*.

Fijación de Requerimientos

Una vez definidas las funciones principales y secundarias del objeto a diseñar, podemos hacer uso del método de **Especificación del Rendimiento**, en el cual, como paso inicial, se determina en que nivel de generalidad se generará el mismo, es decir ¿es una innovación completa, donde se pueda generar un concepto completamente nuevo?, ¿es más bien un objeto que encaja ya dentro de un cierto tipo de producto?, o más particularmente: ¿es un objeto ya existente al que solamente hay que hacerle modificaciones?. De esto dependerá mucho la libertad de acción para presentar alternativas de diseño. Esto es, existen tres niveles de generalidad que Cross denomina como el nivel de **Alternativas** (libertad de generar conceptos completamente nuevos, por ejemplo un nuevo tipo de transporte), el de **Tipos** (libertad para generar ideas dentro de ciertos parámetros, por ejemplo automóviles con diferentes tipos de combustible) y el de **Características** (con un mínimo de libertad, como el modificar solamente elementos de un modelo de automóvil ya existente).

En nuestro ejemplo, nos encontramos en el primer caso, pues se solicitó un equipamiento totalmente nuevo, dando gran libertad de creación.

Ya determinado el nivel de generalidad del trabajo, se definen los atributos de rendimiento, mismos que están muy relacionados con las funciones del árbol de

las funciones construido anteriormente, cuidando que los atributos sean independientes de cualquier solución particular, es decir, podemos definir un atributo como "no resbaladizo", sin llegar a definirlo como "plastificado o ahulado", que ya serían soluciones definidas.

Los atributos de rendimiento, por lo general tienen unos requerimientos cuantificables, que conviene definir evitando, al máximo, ambigüedades, por ejemplo, "los textos de la pantalla deben poder ser vistos a una distancia de 6 metros" y no solo definirlos como "textos visibles a distancia". Cabe destacar que algunos de los requerimientos podemos definirlos como indispensables (I) y otros como deseables (D).

Concentrémonos en el modelo del átomo de Oxígeno a utilizar en el equipamiento, el cual se unirá a dos modelos de átomos de Hidrógeno (Figuras 4 y 5).

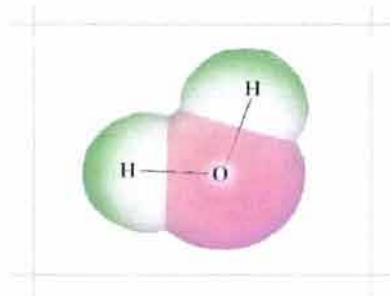


Figura 4. Modelo bidimensional de la molécula de agua. Modificado de Chaplin (2004).

Prioridad	Requerimientos
I	Esfera Ø 30 cm
I	Color Rojo
D	Acabado brillante
I	Peso máximo de 800 g
I	No resbaladiza
I	Movimiento libre, Independiente del resto del equipamiento*
I	Con dos superficies de unión para dos esferas de Ø 24.9 cm
I	Superficies de unión con 104.45 °∠ de separación desde sus centros
I	Anti inflamable
I	Con cavidad para alojar transmisor, de frente menor a las superficies de unión
I	Con orificio para el alojamiento de una conexión de recarga de baterías
D	De fácil mantenimiento
D	De fácil acceso a componentes internos
I	Resistente a caídas
I	Resistente a compresión
I	Con sistema de fijación temporal a las otras dos esferas
I	Codificación uno a uno en unión de esferas

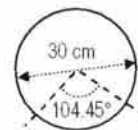


Figura 5. Matriz de requerimientos del método Especificaciones del Rendimiento.

*Este requerimiento es un claro ejemplo de la iteración en el proceso de diseño, pues solo hasta que se desarrollaron las alternativas se hizo evidente la necesidad de libertad de movimiento de los modelos de los átomos (ver el apartado de "Generación de Alternativas", más adelante).

Generación de Alternativas

La siguiente fase corresponde a la búsqueda de alternativas de diseño, utilizando el método de **Diagrama Morfológico**, con base en las características o funciones esenciales del producto, elaborando una lista de estas y generando un diagrama que contenga la mayor cantidad posible de soluciones a ellas (Figura 7).










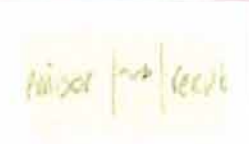






Funciones Parciales		1	2	3	4
1	Transmitir señal	 Por cable	 Por aire		
2	Recibir energía	 Por cable	 Interna	 Ambiental	
3	Permitir acoplamiento	 Oxígeno concavo	 Hidrógeno	 Superficies planas	
4	Permitir especificidad	 Física tipo macho/hembra	 Codificación electrónica		
5	Alojar componentes	 Estructura interna	 Componentes embebidos		
6	Permitir "agarre"	 Recubrimiento	 Ranurado	 Acabado rugoso	 Material modelo
7					
8					

Figura 7. Diagrama Morfológico del modelo del átomo de oxígeno, en el cual se han marcado con rojo las soluciones elegidas (ver texto).

En nuestro ejemplo se eligieron las celdas marcadas con rojo, generando la combinación de un modelo que transmita señal por aire, con fuente de energía interna, con un tipo de acoplamiento de caras planas con los otros dos modelos de átomos, con una codificación electrónica, con los componentes electrónicos embebidos en el material del modelo y con la característica “antiderrapante” proferida por el material mismo del que esté compuesto el cuerpo del modelo en su totalidad.

Cabe mencionar que se pueden generar varias combinaciones, de las cuales a decir de Cross (1999), algunas serán factibles y otras imposibles por razones de aplicación práctica o por incompatibilidad de algunos pares de soluciones. De las soluciones factibles se elegirá la adecuada en términos de costo, rendimiento, novedad o cualquier otro criterio.

Es claro que cada una de estas soluciones a los requerimientos parciales debe lograrse de alguna manera, lo que nos conduce a la formación de un cuadro de medios (Tabla 1) con base en las alternativas elegidas en el diagrama morfológico.

Característica		Medios		
1	Transmisor	Radio	Infrarojo	Laser
2	Almacenamiento de energía	Baterías normales	Baterías recargables	
3	Superficies de acoplamiento	Mismo material	Placas de aluminio	
4	Codificador	Lector óptico	Lector de presión	
5	Contención de componentes	Libres en material	Racks modulares	Caja
6	Material	Madera	PVC espumado	Poliuretano espumado de alta densidad

Tabla 1. Cuadro de medios basado en el cuadro morfológico para el átomo de oxígeno (Ver Figura 23).

Así, nuestro modelo del átomo de Oxígeno para formar la molécula del agua transmitiría su señal a la pantalla (cuando el usuario formara la molécula) mediante ondas de radio, utilizando energía almacenada en baterías recargables, y acoplándose con los otros modelos de átomos mediante caras planas, en las que se encontraría un transmisor óptico en un átomo y un lector óptico en el otro con una codificación unívoca. Los componentes electrónicos en los modelos estarían adheridos a una caja la cual iría embebida en el material del modelo, el cual estaría hecho de poliuretano de mediana a alta densidad, que proferiría ligereza y buena fricción.

Evaluación de Alternativas

La evaluación de las alternativas se realiza mediante el método de **Objetivos Ponderados** y se elabora con respecto a la satisfacción de los objetivos planteados al principio del proceso de diseño, pudiendo ser modificados estos en el transcurso del mismo proceso, como se mencionó al principio de este capítulo. En nuestro ejemplo nos centramos en el modelo del átomo de oxígeno y los objetivos con los que se relaciona este son: interactividad, evitar lesiones, evitar fallas, evitar ambigüedades, pero podemos ser más específicos y llegar a un listado de **objetivos o requerimientos de diseño** que, como hemos visto están muy relacionados con el diagrama morfológico de la Figura 7, resultando el listado siguiente:

1. Interactividad
 - a. Independencia
 - i. Transmitir señal libremente (Movilidad)
 - ii. Recibir energía duradera (Independencia energética)
 - b. Permitir acoplamiento
2. Evitar lesiones
 - a. Permitir "agarre" (evitar caídas)
 - b. Ligereza (Evitar caídas y daños personales)
3. Evitar fallas
 - a. Protección de componentes (evitar daño por manipulación ruda)
 - b. Permitir "agarre" (evitar daño por caídas)
4. Evitar ambigüedades
 - a. Permitir especificidad

Con esto podemos crear una matriz cuyo resultado permitirá ordenar los objetivos por orden de importancia (Tabla 2).

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	Total
A	-	2	2	2	2	2	1	11
B	0	-	1	0	0	1	0	2
C	0	1	-	1	0	1	0	3
D	0	2	1	-	1	1	0	5
E	0	2	2	1	-	1	0	6
F	0	1	1	1	1	-	0	4
G	1	2	2	2	2	2	-	11
Total de valores								42

Tabla 2. Matriz de valoración de objetivos o requerimientos de diseño.

Donde:

- A. Transmitir libremente (Movilidad)
- B. Recibir energía duradera (Independencia energética)
- C. Permitir acoplamiento
- D. Permitir "agarre" (evitar caídas con daños personales y al equipo)
- E. Ligereza (comodidad, evitar caídas con daños personales y al equipo)
- F. Protección de componentes (Evitar daño por manipulación ruda)
- G. Permitir especificidad

Una vez definidos estos valores se pondera el peso de cada uno con relación a los demás valores, distribuyendo una unidad entre estos. Así, por ejemplo, tendríamos que $A = 11/42$, por lo tanto, $A \approx 0.26$, que para los efectos de esta ponderación en la cual la exactitud no es determinante podemos igualarlo a 0.26, y así sucesivamente (Tabla 3).

A = 0.26
B = 0.05
C = 0.07
D = 0.12
E = 0.14
F = 0.09
G = 0.26

Tabla 3. Ponderación de valores de objetivos o requerimientos de diseño.

La siguiente fase es establecer una calificación de utilidad a cada uno de los objetivos o requerimientos de diseño, con base en una escala de cinco (0-5), ocho (0-7) u once (0-10) puntos (Ver Tabla 4)

Escala de once puntos	Significado	Escala de cinco puntos	Significado
0	Solución totalmente inútil	0	Inadecuada
1	Solución inadecuada		
2	Solución muy mala	1	Débil
3	Solución mala		
4	Solución tolerable	2	Satisfactoria
5	Solución adecuada		
6	Solución satisfactoria	3	Buena
7	Solución buena		
8	Solución muy buena	4	Excelente
9	Solución excelente		
10	Solución perfecta o ideal		

Tabla 4. Comparación de dos escalas de calificación de grados de rendimiento de 11 puntos y cinco puntos (Tomada de Cross 1999).

Cross (1999) señala que es importante contar con valores numéricos en los parámetros que así lo permitan, lo que permite definir calificaciones con mayor facilidad y objetividad, aunque en nuestro ejemplo no tenemos valores fácilmente cuantificables pues, por ejemplo, el grado de libertad del modelo en este caso se califica como *No libre* (en caso de comunicarse el modelo con la pantalla mediante un cable) y *Libre* (en caso de hacerlo mediante ondas de radio), obsérvese que los demás parámetros siguen la misma línea, excepto el de "ligereza", el cual si puede ser medido como masa.

Tomando la combinación de soluciones elegida en la Tabla 1, nuestro ejemplo quedaría:

Objetivo o requerimiento de diseño	Peso	Magnitud	Calificación	Valor
Transmitir libremente (1)	0.26	Libertad total, con poca interferencia	9	2.34
Recibir energía duradera (2)	0.05	Buena duración y menor generación de desechos	7	0.35
Permitir acoplamiento (3)	0.07	Buen acoplamiento aunque se pierde espacio en modelos	7	0.49
Permitir "agarre" (6)	0.12	Buen agarre	8	0.96
Ligereza (6)	0.14	1.6 Kg	6	0.84
Protección de componentes (5)	0.09	Buena amortiguación de impactos	8	0.72
Permitir especificidad (4)	0.26	Excelente, no hay posibilidad de ambigüedad	10	2.60
Valor general de utilidad				8.30

Tabla 5. Tabla de evaluación de objetivos ponderados para el modelo de la molécula de Oxígeno.

Lo que procede es realizar una comparación entre las diferentes combinaciones elegidas como posibles soluciones y para efecto de ampliar un poco este ejemplo, supongamos que también se eligió otra opción (columna 1 en su totalidad de la Tabla 1).

Objetivo o requerimiento de diseño	Peso	Combinación A			Combinación B		
		Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor
Transmitir libremente (1)	0.26	Libertad total, con poca interferencia	9	2.34	Libertad total, con poca interferencia	9	2.34
Recibir energía duradera (2)	0.05	Mayor duración y menor generación de desechos	7	0.35	Poca duración y generación de muchos desechos	1	0.05
Permitir acoplamiento (3)	0.07	Buen acoplamiento aunque se pierde espacio en modelos	7	0.49	Dificultad de ensamblado por debilidad el material	3	0.21
Permitir "agarre" (6)	0.12	Buen agarre	8	0.96	Necesita tratamiento constante para conservar fricción	4	0.48
Ligereza (6)	0.14	1.6 Kg	6	0.84	3 Kg	2	0.28
Protección de componentes (5)	0.09	Buena amortiguación de impactos	8	0.72	Mala amortiguación de impactos	1	0.09
Permitir especificidad (4)	0.26	Excelente, no hay posibilidad de ambigüedad	10	2.60	Excelente, no hay posibilidad de ambigüedad	10	2.6
Valor general de utilidad				8.30	6.05		

Tabla 6. Comparación de evaluación de objetivos ponderados para el modelo de la molécula de Oxígeno.

Podemos observar que la primera combinación elegida obtiene un valor general de utilidad más elevado que la segunda combinación, por lo que fue la elegida en este caso. Lo mismo hubiéramos podido hacer con las alternativas más generales de la Figura 26.

Mejora de Detalles

El último paso en este proceso es buscar aumentar el valor del producto diseñado, ya sea reduciendo los costos para el productor, aumentando el valor para el consumidor, o usuario, o ambas cosas, es decir, aumentando la diferencia entre el costo y el valor del producto (Cross 1999), centrándose en los valores funcionales mediante el método de *Ingeniería del Valor*. Este método se aplica tanto a diseños nuevos, como al rediseño sustancial de diseños existentes.

Las mejoras de los detalles del diseño se realizan mediante el despiece físico del producto o del prototipo, o bien mediante un diagrama explosivo, con tal de mostrar los componentes de manera tridimensional y sus ubicaciones y ensambles lo más fielmente posible.

En términos generales, este método se utiliza contrastando el nuevo diseño con un producto ya existente, con un arquetipo, o con una hipotética versión típica del nuevo producto propuesto. En nuestro caso no existía algo parecido, por lo que haremos el análisis del modelo mismo, terminado y armado.

El método sugiere la identificación funcional de los distintos componentes del producto (mismos que, para nuestro ejemplo, ya tenemos de incisos anteriores) y a continuación se determinan los valores de las funciones, entendiendo esta vez como valores a los que percibe el cliente, no el diseñador. Esto nos permite, entre otras cosas, discernir si al disminuir los costos del producto, no se reduce el valor para el cliente.

A continuación se determinan los costos de los componentes, incluyendo no solo el costo del material del componente o la compra de este, sino su costo en términos de mano de obra y maquinaria de los procesos de ensamble del mismo. Lo anterior se hace tanto de manera individual o absoluta, como de manera relativa, es decir como porcentaje del costo total del producto, lo que permite enfocar mayor atención en los grupos de elementos o ensambles con mayor porción del costo total.

Una vez teniendo identificados los valores y los costos, se puede proceder a buscar incrementar los primeros sin elevar los segundos y viceversa a disminuir los segundos sin disminuir los primeros. La disminución de costos puede seguir cinco criterios, como vemos en la Tabla 7 que se muestra a continuación:

Eliminar	¿Puede eliminarse completamente una función y, en consecuencia, sus componentes? ¿Son redundantes algunos componentes?
Reducir	¿Puede reducirse el número de componentes? ¿Pueden combinarse varios componentes en uno solo?
Simplificar	¿Existe alguna alternativa más simple? ¿Existe una secuencia de ensamble más fácil? ¿Existe una forma más sencilla?
Modificar	¿Existe un material satisfactorio más barato? ¿Puede mejorarse el método de fabricación?
Estandarizar	¿Pueden estandarizarse las partes en vez de que sean partes especiales? ¿Pueden estandarizarse o modularizarse las dimensiones? ¿Pueden duplicarse los componentes?

Tabla 7. Posibles puntos de acción para la reducción de costos. Tabla tomada de Cross (1999).

Por otro lado, el incremento de los valores se puede dar siguiendo los criterios mostrados en la siguiente Tabla:

<u>Ergonomía</u>	Relación física y psicológica amigable usuario-producto, funcionamiento comprensible para el usuario y uso cómodo.
<u>Utilidad</u>	Rendimiento en aspectos como capacidad, potencia, velocidad, exactitud o versatilidad
<u>Confiabilidad</u>	Ausencia de descomposturas o mal funcionamiento; funcionamiento bajo diversas condiciones ambientales.
<u>Seguridad</u>	Operación segura y libre de peligros, tanto para el usuario como para el producto
<u>Mantenimiento</u>	Ausencia de requerimientos de mantenimiento, o requerimientos sencillos y no frecuentes
<u>Estética</u>	Color, forma, estilo, sensación al tacto, acabados, atractivo al usuario.
<u>Tiempo de vida</u>	Con excepción de los productos desechables un tiempo largo de vida que ofrezca un buen valor a cambio del precio inicial de compra
<u>Contaminación</u>	Pocos subproductos desagradables o indeseables, o ausencia total de ellos, incluyendo ruido y calor

Tabla 8. Posibles puntos de acción para la mejora de valores del producto. Tabla modificada de Cross (1999).

En nuestro ejemplo tal vez podríamos seguir el primer elemento de la tabla 7 eliminando dos de los elementos de ensamble de esferas, dejando solo uno y colocando imanes por detrás de las tapas, lo que mejoraría el aspecto número 6 de la tabla 8: la estética de la esfera.

Por otro lado, podemos seguir el elemento número 4 de la tabla 7 modificando el espacio que aloja a la caja de componentes electrónicos, pues al albergar la caja sin protección alguna, la espuma del interior se va dañando al sacar y meter dicha caja para dar mantenimiento a los componentes, lo que satisface el punto número 7 de la tabla 8: se alarga el tiempo de vida.

Este equipamiento fue diseñado por el autor y está en uso en la Sala de Química del Museo de las Ciencias UNIVERSUM de la UNAM, desde 1991.

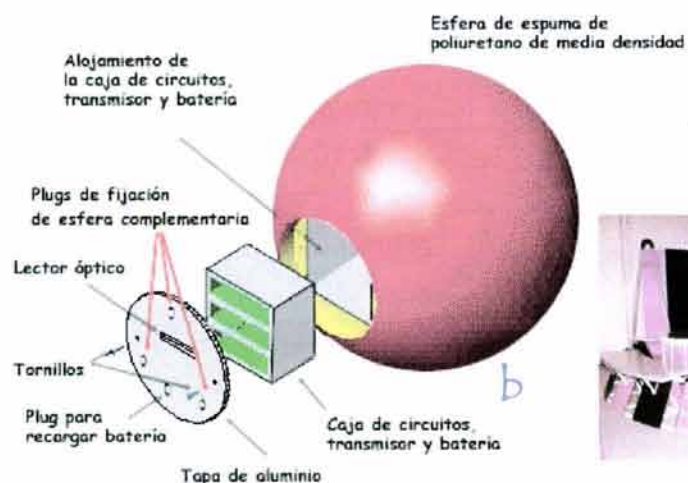


Figura 8 bis. Equipamiento Construcción de Modelos Moleculares, a) Equipamiento completo y b) modelo del átomo de Oxígeno.

Anexo III

Marco Lógico

El Marco Lógico es una herramienta de planeación de proyectos, que pueden ir desde proyectos de diseño, hasta proyectos de manejo de recursos naturales. En si, es un método cuya finalidad principal es conservar una buena organización del proyecto desde el inicio hasta el final, desde el planteamiento de los objetivos, hasta la evaluación de los resultados de la implementación del mismo. Como su nombre lo indica, se basa en aspectos lógicos, muchas veces dejados "para después" por obvios y que finalmente son ignorados debido al ritmo acelerado que los proyectos suelen alcanzar, dejando los "pequeños" detalles olvidados. Como todo método, puede existir cierta flexibilidad dependiendo del criterio de los participantes en la dinámica del método.

El Marco Lógico es una metodología que tiene el poder de comunicar los objetivos de un proyecto clara y comprensiblemente (inclusive coadyuva a definir estos) en un solo marco o matriz. Su poder reside en que puede incorporar todas las necesidades y puntos de vista de los actores involucrados en el proyecto y su entorno. En nuestro caso el proyecto es un diseño, o bien una parte del diseño.

Este método es una herramienta que resume las características principales de un proyecto, desde el planteamiento del problema de diseño (¿Cuál es el problema?), la definición de la respuesta (¿Qué debemos hacer?), La valoración (¿Cómo debemos hacerlo?), la ejecución y la supervisión (¿lo estamos haciendo bien?), así como la evaluación (¿lo hemos logrado?).

Ahora bien, los proyectos en general se identifican por dos tipos principales: Proyectos Duros y Proyectos Suaves. Los primeros incluyen aquellos que buscan producir resultados tangibles, como la construcción de una presa, un edificio, una cafetera o un bolígrafo. Mientras que los proyectos suaves son aquellos que buscan obtener intangibles, cuyo impacto suele distinguirse después de cierto tiempo de concluidos, como la planeación estratégica de una organización, proyectos de desarrollo comunitario, proyectos de conservación de la biodiversidad, etc.

Es muy claro que proyectos de diseño industrial pertenecen al primer tipo de proyectos (duros) y en adelante haremos referencia a este tipo de proyectos en este anexo, en donde sea necesario.

Como se mencionó, el método consiste de una matriz, la cual consta de 4 columnas y cinco renglones, estos últimos conteniendo:

- Objetivo General
- Objetivos inmediatos o particulares
- Productos o resultados
- Actividades
- Insumos

Mientras que las columnas presentan:

- Objetivos jerárquicos
- Indicadores Objetivamente verificables
- Medios de verificación
- Suposiciones y riesgos (factores externos)

El Marco Lógico			
Objetivos jerárquicos	Indicadores	Medios de verificación	Suposiciones, riesgos y condiciones
Objetivo amplio	Tasas de cambio de la situación final comparada con la inicial	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores que pueden afectar la permanencia del cambio logrado
Obj. Específicos Efectos inmediatos esperados	Medida de los cambios logrados contra lo esperado	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan el logro de objetivos inmediatos
Productos Resultados de las actividades	Eficacia Cantidad y calidad de los productos	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan a los productos
Actividades	Eficiencia Ejecución VS planeación	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan a las actividades
Insumos Recursos necesarios	Medición de eficiencia administ en uso de recursos	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Condiciones iniciales

Objetivo Amplio

Es la meta final hacia donde se dirige el proyecto. Puede ser una condición o problema a ser resuelto. Generalmente es el objetivo global a cuya resolución colabora nuestro proyecto. En el caso de un problema de diseño podría tratarse del objetivo del producto en su totalidad, digamos de una cafetera: **Preparar café a partir de café de grano molido**. Este se lograría mediante varios objetivos particulares.

Objetivos Específicos

Son derivados directamente del proyecto y su consecución contribuye al logro del objetivo amplio general. En nuestro ejemplo de la cafetera, estos objetivos comprenderían al receptáculo, la fuente de calor para calentar el agua, el filtro, etc., mismos que podrían considerarse como pequeños proyectos (o subproyectos del proyecto **Cafetera**), dependiendo principalmente de la complejidad y por lo tanto del grado de dedicación requeridos.

Productos

Los productos son el resultado directo de las actividades y pueden ser cuantitativos como resistencia calefactora de 120 °C máximo, contenedor de 2 litros, etc., o bien cualitativos como los colores del producto, las formas, etc.

Actividades

Estas son todo aquello que se realiza para conseguir los productos y pueden ser, el determinar las dimensiones máximas de la cafetera, realizar un estudio de mercado, definir los colores, realizar pruebas de resistencia de los materiales a utilizar, etc.

Insumos

Son los recursos materiales, humanos y de información necesarios para iniciar el proyecto, generar las actividades y obtener los productos. Incluyen el estudio de patentes, información de diseños previos, información sobre los usuarios (antropometría, gustos, necesidades, etc.) estudios de materiales, etc.

Respecto a las columnas tenemos:

Indicadores

Son signos o índices que expresan el grado de cambio logrado a partir de un proyecto, en nuestro caso el grado de mejoría de acuerdo a las comparaciones con productos similares en el mercado, en cada uno de los niveles del proyecto (objetivo amplio, objetivos específicos, productos, actividades e insumos) contenidos en la matriz del marco lógico. Estos indicadores se expresan en unidades mensurables lo que facilita la supervisión y evaluación del proyecto.

Medios de Verificación

Son las fuentes de información de donde se obtienen los datos de los indicadores. Estos deben de estar directamente relacionados con los indicadores que serán medidos, siendo capaces de proporcionar información coherente e independiente de la persona que toma las mediciones. En nuestro caso podrían ser encuestas con los diseñadores sobre las mejoras logradas, o bien con los usuarios en caso de probar prototipos directamente con estos.

Supuestos y Riesgos

Son los factores externos identificados que pueden afectar el desempeño del proyecto o que son esenciales para la ejecución exitosa del mismo. Las suposiciones son condiciones o restricciones sobre las cuales el personal (en este caso los diseñadores) no tienen control, sin embargo el identificarlas les permite prever respuestas en caso de que esas condiciones cambien, o bien que den alternativas en caso de que surjan otras condiciones adversas.

Normalmente existen diferentes supuestos y riesgos para distintos niveles del marco lógico. Por ejemplo, las suposiciones relacionadas con el objetivo general pueden incluir condiciones de mercado, o de la situación económica de la región de distribución del producto, mientras que las suposiciones de los insumos y actividades pueden incluir la disponibilidad de información sobre productos similares, la disponibilidad de los materiales sugeridos, o bien, contar con proveedores de las piezas necesarias para un elemento particular del producto.

Pero ¿Cómo se inicia el trabajo con el marco lógico? En términos generales, se inicia con un árbol de problemas y sus causas formandose una ruta ascendente de causa-efecto (Figura X), convirtiendo después este en un árbol de objetivos a resolver con una ruta ascendente de medios-fin (Figura Z), mediante la conversión a una enfoque positivo de los problemas y sus causas, es decir, si el problema es "reducción del número de jaguares", el objetivo sería "conservar la población de jaguares a su nivel óptimo".

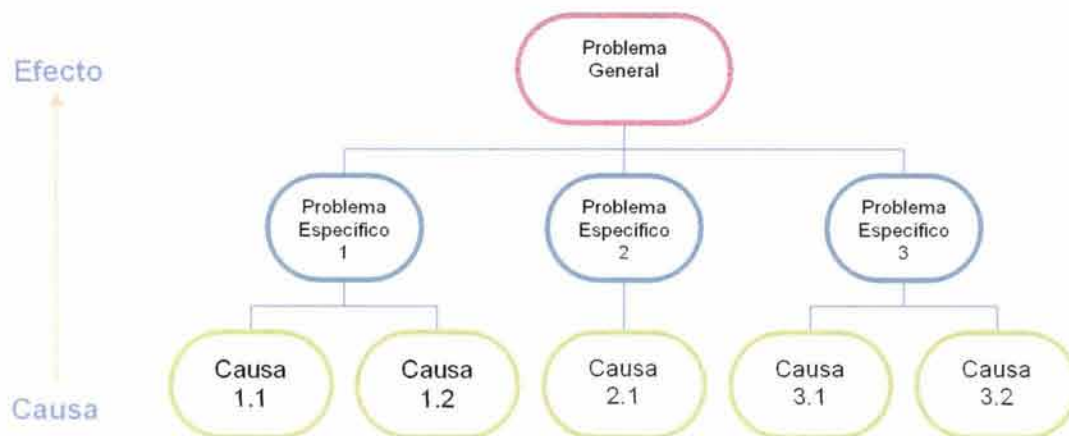


Figura 1. Árbol de problemas previo a la aplicación del Marco Lógico.

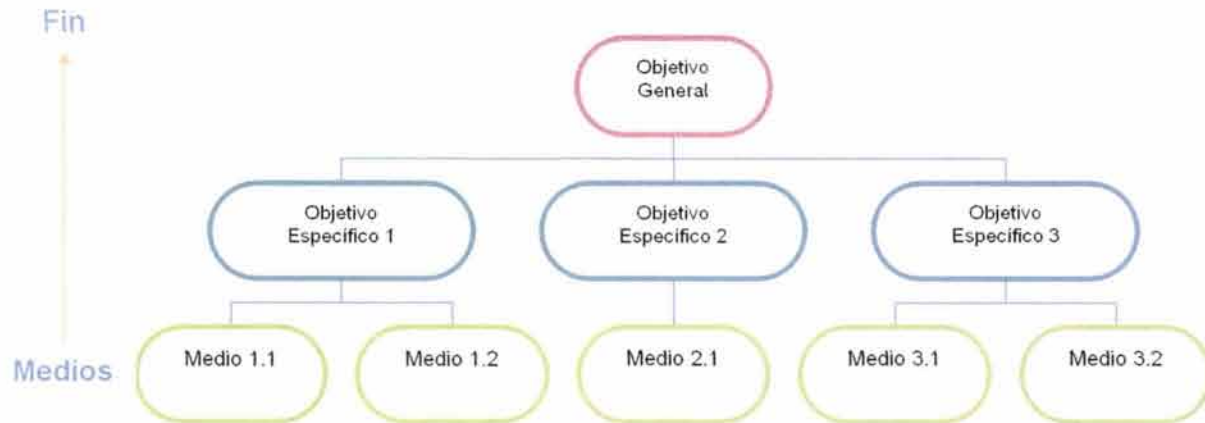


Figura 2. Árbol de medios.

Podemos decir que los medios para lograr los objetivos son el producto de diversas actividades realizadas con ese fin, y las cuales requieren de ciertos insumos básicos para poder llevarse a cabo. Así, ya contamos con los elementos básicos de la primera columna de la matriz del Marco Lógico (Figura A), la cual inicia con insumos, que sirven para realizar actividades, que a su vez logran productos que satisfacen un objetivo particular, mismo que está circunscrito a un objetivo general.

En el caso del Diseño Industrial, se cuenta con el método del Árbol de Objetivos que se revisó en el subcapítulo 6.2 y del cual hay ejemplos más amplios en Cross (1999), a partir del cual se puede iniciar ya una aplicación del Marco Lógico.

De estos árboles previos se percibe que la construcción de la matriz del Marco Lógico puede darse en dos sentidos respondiendo a dos preguntas complementarias ¿Por qué? y ¿Cómo?, esto es más claro en el siguiente esquema.



Es importante resaltar que también se puede dar una ruta diagonal basada en una estructura tipo hipótesis, es decir, si se dan ciertas condiciones... entonces se logra..., Ambas formas quedarían de la siguiente manera pasando esto a nuestra matriz básica:

		El Marco Lógico			
		Objetivos jerárquicos	Indicadores	Medios de verificación	Suposiciones, riesgos y condiciones
¿Como? ¿Por qué?	Objetivo amplio	Tasa de cambio de la situación final comparada con la inicial	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores que pueden afectar la permanencia del cambio logrado	
	Obj. Específicos Efectos inmediatos esperados	Medida de los cambios logrados contra lo esperado	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan el logro de objetivos inmediatos	
	Productos Resultados de las actividades	Eficacia Cantidad y calidad de los productos	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan a los productos	
	Actividades	Eficiencia Ejecución vs. planeación	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Factores externos que afectan a las actividades	
	Insumos Recursos necesarios	Medición de eficiencia administr en uso de recursos	Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	Condiciones iniciales	

Cabe destacar también que conviene construir las casillas de la matriz en un orden definido, mismo que se presenta en la Figura B.



El Marco Lógico			
Objetivos jerárquicos	Indicadores	Medios de verificación	Suposiciones, riesgos y condiciones
1 Objetivo amplio	15 Tasa de cambio de la situación final comparada con la inicial	16 Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	10 Factores que pueden afectar la permanencia del cambio logrado
2 Obj. Específicos Efectos inmediatos esperados	14 Medida de los cambios logrados contra lo esperado	17 Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	9 Factores externos que afectan el logro de objetivos inmediatos
3 Productos Resultados de las actividades	13 Eficacia Cantidad y calidad de los productos	18 Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	8 Factores externos que afectan a los productos
4 Actividades	12 Eficiencia Ejecución vs. planeación	19 Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	7 Factores externos que afectan a las actividades
5 Insumos Recursos necesarios	11 Medición de eficiencia administr en uso de recursos	20 Modos, unidades, momentos, responsables de la medición	6 Condiciones iniciales

Esta secuencia es lógica si tomamos en cuenta que primero determinamos los objetivos, los productos, actividades e insumos y después pensamos en los posibles factores externos que podrían influir en cada uno de ellos, hecho lo cual se puede iniciar la determinación de los indicadores y su forma de verificarlos. En algunos casos es conveniente hacer alguna pequeña modificación a los objetivos, productos, actividades o insumos, si las condiciones iniciales o los riesgos son determinantes y no se espera cambio en estos en el plazo de duración del proyecto. En otros casos estos son tan determinantes e inamovibles que el cambio no es ligero, sino que se toma entonces una ruta alternativa, es decir se modifican por completo los rubros mencionados.

Por último mencionaremos que el tema de los indicadores y sus medios de verificación es todo un conjunto de teorías y técnicas que quedan fuera del alcance de este anexo por su extensión.

Texto modificado y condensado del material del Seminario-Taller "El Marco Lógico", impartido por Noriega y Asociados (CEDEC) en enero del 2001.

Anexo IV

	Característica Negativa  Característica Positiva 	Peso de objeto en movimiento	Peso de objeto estático	Longitud de objeto en movimiento	Longitud de objeto en movimiento	Área de objeto en movimiento	Área de objeto estacionario	Volumen de objeto en movimiento	Volumen de objeto estacionario	Velocidad	Fuerza (Intensidad)	Estrés o presión	Forma	Estabilidad de la composición del objeto	Fortaleza
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Peso de objeto en movimiento	+	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40
2	Peso de objeto estático	-	-	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27
3	Longitud de objeto en movimiento	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34
4	Longitud de objeto estático		35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26
5	Area de objeto en movimiento	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14
6	Area de objeto estático	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-		-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38	40
7	Volumen de objeto en movimiento	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7
8	Volumen de objeto estático	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-		-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15
9	Velocidad	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14
10	Fuerza (Intensidad)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27
11	Estrés o presión	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40

12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40
13	Estabilidad de la composición del objeto	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15
14	Fortaleza	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+
15	Duración de la acción del objeto en movimiento	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10
16	Duración de la acción del objeto estacionario	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-
17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40
18	Intensidad de la iluminación	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27	35, 19
19	Uso de energía por el objeto en movimiento	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35
20	Uso de energía por el objeto estacionario	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	-	36, 37			27, 4, 29, 18	35
21	Poder	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28
22	Pérdida de energía	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38			14, 2, 39, 6	26
23	Pérdida de sustancia	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40
24	Pérdida de información	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32					
25	Pérdida de tiempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18
26	Cantidad de sustancia/ materia	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10
27	Reliability	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11		11, 28
28	Medición de exactitud	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32
29	Precisión de manufactura	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27
30	Factores de peligro que afectan al objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1

31	Factores de peligro generados por el objeto	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2
32	Facilidad de manufactura	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32
33	Facilidad de operación	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28
34	Facilidad de reparación	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9
35	Adaptabilidad o versatilidad	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6
36	Complejidad del aparato	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28
37	Dificultad de detección y medición	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28
38	Cantidad de automatización	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13
39	Productividad	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18

Duración de la acción del objeto en movimiento	Duración de la acción del objeto estacionario	Temperatura	Intensidad de la iluminación	Uso de energía por el objeto en movimiento	Uso de energía por el objeto estacionario	Poder	Pérdida de energía	Pérdida de sustancia	Pérdida de información	Pérdida de tiempo	Cantidad de sustancia / materia	Reliability	Medición de exactitud	Precisión de manufactura	Factores de peligro que afectan al objeto	Factores de peligro generados por el objeto	Facilidad de manufactura	Facilidad de operación	Facilidad de reparación
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11
-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11
19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10
-	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26,	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	-	15, 17, 27	2, 25	3
6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1
-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-	-	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16
6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10
-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35	-	1
3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27
19, 2	-	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11
19, 3, 27	-	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37	-	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2

14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1
13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16
27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 25, 2	27, 11, 3
+	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27
-	+	19, 18, 36, 40		-		16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1
19, 13, 39	19, 18, 36, 40	-	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16
2, 19, 6		32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16
28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28
			19, 2, 35, 32	-	+			28, 27, 18, 31			3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4		
19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37		+	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34
		19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19
28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	+		15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27
10	10		19			10, 19	19, 10		+	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32	27, 22	
20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	+	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10
3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	+	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25
2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	+	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11
28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	+		28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11
3, 27, 40		19, 26	3, 32	32, 2		32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10
22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	+		24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2

15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+			
27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2		+	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9
29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12	-	12, 26, 1, 32
11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	+
13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4
10, 4, 28, 15		2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13
19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26
6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13
35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25

Adaptabilidad o versatilidad	Complejidad del aparato	Dificultad de detección y medición	Cantidad de automatización	Productividad
35	36	37	38	39
29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35 18, 19	35, 3, 24, 37
19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
	1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37

1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
		19, 35, 16, 25		1, 6
19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
		35, 33	35	13, 23, 15
35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	
15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
	26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24

	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
+	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
29, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
1, 15	15, 10, 37, 28	+	34, 21	35, 18
27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	+	5, 12, 35, 26
1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	+

Anexo V

This format for the 40 Inventive Principles and the accompanying examples was developed by Karen Tate and Ellen Domb for their class, "Practical Innovation," which was the subject of the article "How to Help TRIZ Beginners Succeed" in the April, 1997 issue of the TRIZ Journal. Readers have permission to download single copies for personal study.

40 Inventive Principles with Examples

Principle 1. Segmentation

- A. Divide an object into independent parts.
 - *Replace mainframe computer by personal computers.*
 - *Replace a large truck by a truck and trailer.*
 - *Use a work breakdown structure for a large project.*
- B. Make an object easy to disassemble.
 - *Modular furniture*
 - *Quick disconnect joints in plumbing*
- C. Increase the degree of fragmentation or segmentation.
 - *Replace solid shades with Venetian blinds.*
 - *Use powdered welding metal instead of foil or rod to get better penetration of the joint.*

Principle 2. Taking out

- A. Separate an interfering part or property from an object, or single out the only necessary part (or property) of an object.
 - *Locate a noisy compressor outside the building where compressed air is used.*
 - *Use fiber optics or a light pipe to separate the hot light source from the location where light is needed.*
 - *Use the sound of a barking dog, without the dog, as a burglar alarm.*

Principle 3. Local quality

- A. Change an object's structure from uniform to non-uniform, change an external environment (or external influence) from uniform to non-uniform.
 - *Use a temperature, density, or pressure gradient instead of constant temperature, density or pressure.*
- B. Make each part of an object function in conditions most suitable for its operation.
 - *Lunch box with special compartments for hot and cold solid foods and for liquids (Part C continued on the next page.)*
- C. Make each part of an object fulfill a different and useful function.
 - *Pencil with eraser*
 - *Hammer with nail puller*
 - *Multi-function tool that scales fish, acts as a pliers, a wire stripper, a flat-blade screwdriver, a Phillips screwdriver, manicure set, etc.*

Principle 4. Asymmetry

- A. Change the shape of an object from symmetrical to asymmetrical.
 - *Asymmetrical mixing vessels or asymmetrical vanes in symmetrical vessels improve mixing (cement trucks, cake mixers, blenders).*
 - *Put a flat spot on a cylindrical shaft to attach a knob securely.*
- B. If an object is asymmetrical, increase its degree of asymmetry.
 - *Change from circular O-rings to oval cross-section to specialized shapes to improve sealing.*
 - *Use astigmatic optics to merge colors.*

Principle 5. Merging

- A. Bring closer together (or merge) identical or similar objects, assemble identical or similar parts to perform parallel operations.
- *Personal computers in a network*
 - *Thousands of microprocessors in a parallel processor computer*
 - *Vanes in a ventilation system*
 - *Electronic chips mounted on both sides of a circuit board or subassembly*
- B. Make operations contiguous or parallel; bring the together in time.
- *Link slats together in Venetian or vertical blinds.*
 - *Medical diagnostic instruments that analyze multiple blood parameters simultaneously*
 - *Mulching lawnmower*

Principle 6. Universality

- A. Make a part or object perform multiple functions; eliminate the need for other parts.
- *Handle of a toothbrush contains toothpaste*
 - *Child's car safety seat converts to a stroller*
 - *Mulching lawnmower (Yes, it demonstrates both Principles 5 and 6, Merging and Universality.)*
 - *Tea leader acts as recorder and timekeeper.*
 - *CCD (Charge coupled device) with micro-lenses formed on the surface*

Principle 7. "Nested doll"

- A. Place one object inside another; place each object, in turn, inside the other.
- *Measuring cups or spoons*
 - *Russian dolls*
 - *Portable audio system (microphone fits inside transmitter, which fits inside amplifier case)*
- B. Make one part pass through a cavity in the other.
- *Extending radio antenna*
 - *Extending pointer*
 - *Zoo lens*
 - *Seat belt retraction mechanism*
 - *Retractable aircraft landing gear stow inside the fuselage (also demonstrates Principle 15, Dynamism).*

Principle 8. Anti-weight

- A. To compensate for the weight of an object, merge it with other objects that provide lift.
- *Inject foaming agent into a bundle of logs, to make it float better.*
 - *Use helium balloon to support advertising signs.*
- B. To compensate for the weight of an object, make it interact with the environment (e.g. use aerodynamic,
- *Hydrodynamic, buoyancy and other forces).*
 - *Aircraft wing shape reduces air density above the wing, increases density below wing, to create lift. (This also demonstrates Principle 4, Asymmetry.)*
 - *Vortex strips improve lift of aircraft wings.*
 - *Hydrofoils lift ship out of the water to reduce drag.*

Principle 9. Preliminary anti-action

- A. If it will be necessary to do an action with both harmful and useful effects, this action should be replaced with anti-actions to control harmful effects.
- *Buffer a solution to prevent harm from extremes of pH.*
- B. Create beforehand stresses in an object that will oppose known undesirable working stresses later on.
- *Pre-stress rebar before pouring concrete.*
 - *Masking anything before harmful exposure: Use a lead apron on parts of the body not being exposed to X-rays. Use masking tape to protect the part of an object not being painted*

Principle 10. Preliminary action

- A. Perform, before it is needed, the required change of an object (either fully or partially).
- *Pre-pasted wall paper*
 - *Sterilize all instruments needed for a surgical procedure on a sealed tray.*
- B. Pre-arrange objects such that they can come into action from the most convenient place and without losing time for their delivery.
- *Kanban arrangements in a Just-In-Time factory*
 - *Flexible manufacturing cell*

Principle 11. Beforehand cushioning

- A. Prepare emergency means beforehand to compensate for the relatively low reliability of an object.
- *Magnetic strip on photographic film that directs the developer to compensate for poor exposure*
 - *Back-up parachute*
 - *Alternate air system for aircraft instruments*

Principle 12. Equipotentiality

- A. In a potential field, limit position changes (e.g. change operating conditions to eliminate the need to raise or lower objects in a gravity field).
- *Spring loaded parts delivery system in a factory*
 - *Locks in a channel between 2 bodies of water (Panama Canal)*
 - *"Skilllets" in an automobile plant that bring all tools to the right position (also demonstrates Principle 10, Preliminary Action)*

Principle 13. 'The other way round'

- A. Invert the action(s) used to solve the problem (e.g. instead of cooling an object, heat it).
- *To loosen stuck parts, cool the inner part instead of heating the outer part.*
 - *Bring the mountain to Mohammed, instead of bringing Mohammed to the mountain.*
- B. Make movable parts (or the external environment) fixed, and fixed parts movable).
- *Rotate the part instead of the tool.*
 - *Moving sidewalk with standing people*
 - *treadmill (for walking or running in place)*
- C. Turn the object (or process) 'upside down'.
- *Turn an assembly upside down to insert fasteners (especially screws).*
 - *Empty grain from containers (ship or railroad) by inverting them.*

Principle 14. Spheroidality - Curvature

- A. Instead of using rectilinear parts, surfaces, or forms, use curvilinear ones; move from flat surfaces to spherical ones; from parts shaped as a cube (parallelepiped) to ball-shaped structures.
 - *Use arches and domes for strength in architecture.*
- B. Use rollers, balls, spirals, domes.
 - *Spiral gear (Nautilus) produces continuous resistance for weight lifting.*
 - *Ball point and roller point pens for smooth ink distribution*
- C. Go from linear to rotary motion, use centrifugal forces.
 - *Produce linear motion of the cursor on the computer screen using a mouse or a trackball.*
 - *Replace wringing clothes to remove water with spinning clothes in a washing machine.*
 - *Use spherical casters instead of cylindrical wheels to move furniture.*

Principle 15. Dynamics

- A. Allow (or design) the characteristics of an object, external environment, or process to change to be optimal or to find an optimal operating condition.
 - *Adjustable steering wheel (or seat, or back support, or mirror position...)*
- B. Divide an object into parts capable of movement relative to each other.
 - *The "butterfly" computer keyboard, (also demonstrates Principle 7, "Nested doll".)*
- C. If an object (or process) is rigid or inflexible, make it movable or adaptive.
 - *The flexible boroscope for examining engines*
 - *The flexible sigmoidoscope, for medical examination*

Principle 16. Partial or excessive actions

- A. If 100 percent of an object is hard to achieve using a given solution method then, by using 'slightly less' or 'slightly more' of the same method, the problem may be considerably easier to solve.
 - *Over spray when painting, then remove excess. (Or, use a stencil--this is an application of Principle 3, Local Quality and Principle 9, Preliminary anti-action).*
 - *Fill, then "top off" when filling the gas tank of your car.*

Principle 17. Another dimension

- A. To move an object in two- or three-dimensional space.
 - *Infrared computer mouse moves in space, instead of on a surface, for presentations.*
 - *Five-axis cutting tool can be positioned where needed.*
- B. Use a multi-story arrangement of objects instead of a single-story arrangement.
 - *Cassette with 6 CD's to increase music time and variety*
 - *Electronic chips on both sides of a printed circuit board*
 - *Employees "disappear" from the customers in a theme park, descend into a tunnel, and walk to their next assignment, where they return to the surface and magically reappear.*
- C. Tilt or re-orient the object, lay it on its side.
 - *Dump truck*
- D. Use 'another side' of a given area.
 - *Stack microelectronic hybrid circuits to improve density.*

Principle 18. Mechanical vibration

- A. Cause an object to oscillate or vibrate.
 - *Electric carving knife with vibrating blades*
- B. Increase its frequency (even up to the ultrasonic).
 - *Distribute powder with vibration.*
- C. Use an object's resonant frequency.
 - *Destroy gall stones or kidney stones using ultrasonic resonance.*
- D. Use piezoelectric vibrators instead of mechanical ones.
 - *Quartz crystal oscillations drive high accuracy clocks.*
- E. Use combined ultrasonic and electromagnetic field oscillations.

- *Mixing alloys in an induction furnace*

Principle 19. Periodic action

- A. Instead of continuous action, use periodic or pulsating actions.
- *Hitting something repeatedly with a hammer*
 - *Replace a continuous siren with a pulsed sound.*
- B. If an action is already periodic, change the periodic magnitude or frequency.
- *Use Frequency Modulation to convey information, instead of Morse code.*
 - *Replace a continuous siren with sound that changes amplitude and frequency.*
- C. Use pauses between impulses to perform a different action.
- *In cardio-pulmonary respiration (CPR) breathe after every 5 chest compressions.*

Principle 20. Continuity of useful action

- A. Carry on work continuously; make all parts of an object work at full load, all the time.
- *Flywheel (or hydraulic system) stores energy when a vehicle stops, so the motor can keep running at optimum power.*
 - *Run the bottleneck operations in a factory continuously, to reach the optimum pace. (From theory of constraints, or takt time operations)*
- B. Eliminate all idle or intermittent actions or work.
- *Print during the return of a printer carriage--dot matrix printer, daisy wheel printers, inkjet printers.*

Principle 21. Skipping

- A. Conduct a process, or certain stages (e.g. destructive, harmful or hazardous operations) at high speed.
- *Use a high speed dentist's drill to avoid heating tissue.*
 - *Cut plastic faster than heat can propagate in the material, to avoid deforming the shape.*

Principle 22. "Blessing in disguise" or "Turn Lemons into Lemonade"

- A. Use harmful factors (particularly, harmful effects of the environment or surroundings) to achieve a positive effect.
- *Use waste heat to generate electric power.*
 - *Recycle waste (scrap) material from one process as raw materials for another.*
- B. Eliminate the primary harmful action by adding it to another harmful action to resolve the problem.
- *Add a buffering material to a corrosive solution.*
 - *Use a helium-oxygen mix for diving, to eliminate both nitrogen narcosis and oxygen poisoning from air and other nitrox mixes.*
 - *Amplify a harmful factor to such a degree that it is no longer harmful.*
 - *Use a backfire to eliminate the fuel from a forest fire.*

Principle 23. Feedback

- A. Introduce feedback (referring back, cross-checking) to improve a process or action.
- *Automatic volume control in audio circuits*
 - *Signal from gyrocompass is used to control simple aircraft autopilots.*
 - *Statistical Process Control (SPC) -- Measurements are used to decide when to modify a process. (Not all feedback systems are automated!)*
 - *Budgets -- Measurements are used to decide when to modify a process.*
- B. If feedback is already used, change its magnitude or influence.
- *Change sensitivity of an autopilot when within 5 miles of an airport.*
 - *Change sensitivity of a thermostat when cooling vs. heating, since it uses energy less efficiently when cooling.*
 - *Change a management measure from budget variance to customer satisfaction.*

Principle 24. 'Intermediary'

- A. Use an intermediary carrier article or intermediary process.
- *Carpenter's nailset, used between the hammer and the nail*
- B. Merge one object temporarily with another (which can be easily removed).
- *Pot holder to carry hot dishes to the table*

Principle 25. Self-service

- A. Make an object serve itself by performing auxiliary helpful functions
- *A soda fountain pump that runs on the pressure of the carbon dioxide that is used to "fizz" the drinks. This assures that drinks will not be flat, and eliminates the need for sensors.*
 - *Halogen lamps regenerate the filament during use--evaporated material is redeposited.*
 - *To weld steel to aluminum, create an interface from alternating thin strips of the 2 materials. Cold weld the surface into a single unit with steel on one face and copper on the other, then use normal welding techniques to attach the steel object to the interface, and the interface to the aluminum. (This concept also has elements of Principle 24, Intermediary, and Principle 4, Asymmetry.)*
- B. Use waste resources, energy, or substances.
- *Use heat from a process to generate electricity: "Co-generation".*
 - *Use animal waste as fertilizer.*
 - *Use food and lawn waste to create compost.*

Principle 26. Copying

- A. Instead of an unavailable, expensive, fragile object, use simpler and inexpensive copies.
- *Virtual reality via computer instead of an expensive vacation*
 - *Listen to an audio tape instead of attending a seminar.*
- B. Replace an object, or process with optical copies.
- *Do surveying from space photographs instead of on the ground.*
 - *Measure an object by measuring the photograph.*
- Make sonograms to evaluate the health of a fetus, instead of risking damage by direct testing.*
- C. If visible optical copies are already used, move to infrared or ultraviolet copies.
- *Make images in infrared to detect heat sources, such as diseases in crops, or intruders in a security system.*

Principle 27. Cheap short-living objects

- A. Replace an inexpensive object with a multiple of inexpensive objects, comprising certain qualities (such as service life, for instance).
- *Use disposable paper objects to avoid the cost of cleaning and storing durable objects. Plastic cups in motels, disposable diapers, many kinds of medical supplies.*

Principle 28 Mechanics substitution

- A. Replace a mechanical means with a sensory (optical, acoustic, taste or smell) means.
- *Replace a physical fence to confine a dog or cat with an acoustic "fence" (signal audible to the animal).*
 - *Use a bad smelling compound in natural gas to alert users to leakage, instead of a mechanical or electrical sensor.*
- B. Use electric, magnetic and electromagnetic fields to interact with the object.
- *To mix 2 powders, electrostatically charge one positive and the other negative. Either use fields to direct them, or mix them mechanically and let their acquired fields cause the grains of powder to pair up.*
- C. Change from static to movable fields, from unstructured fields to those having structure.
- *Early communications used omnidirectional broadcasting. We now use antennas with very detailed structure of the pattern of radiation.*
- D. Use fields in conjunction with field-activated (e.g. ferromagnetic) particles.
- *Heat a substance containing ferromagnetic material by using varying magnetic field. When*

the temperature exceeds the Curie point, the material becomes paramagnetic, and no longer absorbs heat.

Principle 29. Pneumatics and hydraulics

- A. Use gas and liquid parts of an object instead of solid parts (e.g. inflatable, filled with liquids, air cushion, hydrostatic, hydro-reactive).
- *Comfortable shoe sole inserts filled with gel*
 - *Store energy from decelerating a vehicle in a hydraulic system, then use the stored energy to accelerate later.*

Principle 30. Flexible shells and thin films

- A. Use flexible shells and thin films instead of three dimensional structures
- *Use inflatable (thin film) structures as winter covers on tennis courts.*
- B. Isolate the object from the external environment using flexible shells and thin films.
- *Float a film of bipolar material (one end hydrophilic, one end hydrophobic) on a reservoir to limit evaporation.*

Principle 31. Porous materials

- A. Make an object porous or add porous elements (inserts, coatings, etc.).
- *Drill holes in a structure to reduce the weight.*
- B. If an object is already porous, use the pores to introduce a useful substance or function.
- *Use a porous metal mesh to wick excess solder away from a joint.*
 - *Store hydrogen in the pores of a palladium sponge. (Fuel "tank" for the hydrogen car—much safer than storing hydrogen gas)*

Principle 32. Color changes

- A. Change the color of an object or its external environment.
- *Use safe lights in a photographic darkroom.*
- B. Change the transparency of an object or its external environment.
- *Use photolithography to change transparent material to a solid mask for semiconductor processing. Similarly, change mask material from transparent to opaque for silk screen processing.*

Principle 33. Homogeneity

- A. Make objects interacting with a given object of the same material (or material with identical properties).
- *Make the container out of the same material as the contents, to reduce chemical reactions.*
 - *Make a diamond cutting tool out of diamonds.*

Principle 34. Discarding and recovering

- A. Make portions of an object that have fulfilled their functions go away (discard by dissolving, evaporating, etc.) or modify these directly during operation.
- *Use a dissolving capsule for medicine.*
 - *Sprinkle water on cornstarch-based packaging and watch it reduce its volume by more than 1000X!*
 - *Ice structures: use water ice or carbon dioxide (dry ice) to make a template for a rammed earth structure, such as a temporary dam. Fill with earth, then, let the ice melt or sublime to leave the final structure.*
- B. Conversely, restore consumable parts of an object directly in operation.
- *Self-sharpening lawn mower blades*
 - *Automobile engines that give themselves a "tune up" while running (the ones that say "100,000 miles between tune ups")*

Principle 35. Parameter changes

- A. Change an object's physical state (e.g. to a gas, liquid, or solid).
- *Freeze the liquid centers of filled candies, then dip in melted chocolate, instead of handling the messy, gooey, hot liquid.*
 - *Transport oxygen or nitrogen or petroleum gas as a liquid, instead of a gas, to reduce volume.*
- B. Change the concentration or consistency.
- *Liquid hand soap is concentrated and more viscous than bar soap at the point of use, making it easier to dispense in the correct amount and more sanitary when shared by several people.*
- C. Change the degree of flexibility.
- *Use adjustable dampers to reduce the noise of parts falling into a container by restricting the motion of the walls of the container.*
 - *Vulcanize rubber to change its flexibility and durability.*
- D. Change the temperature.
- *Raise the temperature above the Curie point to change a ferromagnetic substance to a paramagnetic substance.*
 - *Raise the temperature of food to cook it. (Changes taste, aroma, texture, chemical properties, etc.)*
 - *Lower the temperature of medical specimens to preserve them for later analysis.*

Principle 36. Phase transitions

- A. Use phenomena occurring during phase transitions (e.g. volume changes, loss or absorption of heat, etc.).
- *Water expands when frozen, unlike most other liquids. Hannibal is reputed to have used this when marching on Rome a few thousand years ago. Large rocks blocked passages in the Alps. He poured water on them at night. The overnight cold froze the water, and the expansion split the rocks into small pieces which could be pushed aside.*
 - *Heat pumps use the heat of vaporization and heat of condensation of a closed thermodynamic cycle to do useful work.*

Principle 37. Thermal expansion

- A. Use thermal expansion (or contraction) of materials.
- *Fit a tight joint together by cooling the inner part to contract, heating the outer part to expand, putting the joint together, and returning to equilibrium.*
- B. If thermal expansion is being used, use multiple materials with different coefficients of thermal expansion.
- *The basic leaf spring thermostat: (2 metals with different coefficients of expansion are linked so that it bends one way when warmer than nominal and the opposite way when cooler.)*

Principle 38. Strong oxidants

- A. Replace common air with oxygen-enriched air.
- *Scuba diving with Nitrox or other non-air mixtures for extended endurance*
- B. Replace enriched air with pure oxygen.
- *Cut at a higher temperature using an oxy-acetylene torch.*
 - *Treat wounds in a high pressure oxygen environment to kill anaerobic bacteria and aid healing.*
- C. Expose air or oxygen to ionizing radiation.
- D. Use ionized oxygen.
- *Ionize air to trap pollutants in an air cleaner.*
- E. Replace ozonized (or ionized) oxygen with ozone.
- *Speed up chemical reactions by ionizing the gas before use.*

Principle 39. Inert atmosphere

- A. Replace a normal environment with an inert one.
- *Prevent degradation of a hot metal filament by using an argon atmosphere.*
- B. Add neutral parts, or inert additives to an object.
- *Increase the volume of powdered detergent by adding inert ingredients. This makes it easier to measure with conventional tools.*

Principle 40. Composite materials

- A. Change from uniform to composite (multiple) materials.
- *Composite epoxy resin/carbon fiber golf club shafts are lighter, stronger, and more flexible than metal. Same for airplane parts.*
 - *Fiberglass surfboards are lighter and more controllable and easier to form into a variety of shapes than wooden ones.*

Copyright 1996. Ellen Domb. All rights reserved.

Anexo VI

United States Patent Application

20020150724

Kind Code

A1

Nun, Edwin ; et al.

October 17, 2002

Surfaces rendered self-cleaning by hydrophobic structures, and process for their production

Abstract

A self-cleaning surface which has an artificial, at least partially hydrophobic, surface structure of elevations and depressions, where the elevations and depressions are formed by particles secured by a carrier on the surface, wherein the particles have a fissured structure with elevations and/or depressions in the nanometer range; and a process for making such a surface.

Inventors: Nun, Edwin; (Billerbeck, DE) ; Oles, Markus; (Hattingen, DE) ; Schleich, Bernhard; (Recklinghausen, DE)

Correspondence Name and Address: OBLON SPIVAK MCCLELLAND MAIER & NEUSTADT PC
FOURTH FLOOR
1755 JEFFERSON DAVIS HIGHWAY
ARLINGTON
VA
22202
US

Assignee Name and Address: CREAVIS GESELLSCHAFT F. TECHN. U. INNOVATION MBH
Marl
DE

Serial No.: 118258
Series Code: 10
Filed: April 9, 2002

U.S. Current Class: 428/143; 264/232; 264/340

U.S. Class at Publication: 428/143; 264/232; 264/340

Intern'l Class: B32B 001/00

Foreign Application Data

Date	Code	Application Number
Apr 12, 2001	DE	101 18 352.6

Claims

1. A self-cleaning surface which has an artificial, at least partially hydrophobic, surface structure of elevations and depressions, where the elevations and depressions are formed by particles secured by a carrier on the surface, wherein the particles have a fissured structure with elevations and/or depressions in the nanometer range.

2. The self-cleaning surface as claimed in claim 1, wherein the carrier is a surface coating cured by thermal or chemical energy or by the energy in light.

3. The self-cleaning surface as claimed in claim 1, wherein the cured surface coating comprises at least one polymer or copolymer selected from the group consisting of polyurethanes, and polymers or copolymers obtained from at least one material selected from the group consisting of singly and multiply, unsaturated acrylates and methacrylates, silicone acrylates, and urethane acrylates.
4. The self-cleaning surface as claimed in claim 1, wherein the particles have an average size of less than 50 .mu.m.
5. The self-cleaning surface as claimed in claim 4, wherein the particles have an average size of less than 30 .mu.m.
6. The self-cleaning surface as claimed in claim 1, wherein the particles comprise at least one material selected from the group consisting of silicates, doped silicates, minerals, metal oxides, silicas, polymers and metal powders.
7. The self-cleaning surface as claimed in claim 6, wherein the particles have hydrophobic properties.
8. A process for producing self-cleaning surfaces by producing an at least partially hydrophobic, surface structure by securing particles on a surface, which comprises securing particles which have fissured structures with elevations and/or depressions in the nanometer range.
9. The process as claimed in claim 8, wherein the particles comprise at least one material selected from the group consisting of silicates, doped silicates, minerals, metal oxides, silicas, metal powders, and polymers.
10. The process as claimed in claim 8, wherein the steps of the process are a) applying a curable substance as a carrier to a surface, b) applying, to the carrier, particles which have fissured structures, and c) curing the carrier to secure the particles.
11. The process as claimed in claim 10, wherein curing of the carrier is carried out by applying at least one of thermal energy, chemical energy and the energy in light.
12. The process as claimed in claim 10, wherein the curable substance comprises at least one material selected from the group consisting of singly and multiply, unsaturated acrylates and methacrylates, polyurethanes, silicone acrylates, and urethane acrylates.
13. The process as claimed in claim 12, wherein the curable substance produces a surface coating which has hydrophobic properties when the particles have hydrophobic properties, and the curable substance produces a surface coating which has hydrophilic properties when the particles have hydrophilic properties.
14. The process as claimed in claim 8, wherein the particles comprise particles having hydrophobic properties.
15. The process as claimed in claim 14, wherein the hydrophobic properties have been obtained by treatment of the particles with at least one compound selected from the group consisting of alkylsilanes, perfluoroalkylsilanes, and alkyldisilazanes.
16. The process as claimed in claim 8, wherein hydrophobic properties are imparted to the particles after securing the particles to the carrier.
17. The process as claimed in claim 16, wherein the particles comprise particles which have hydrophobic properties and which have been obtained by treatment with at least one compound selected from the group consisting of alkylsilanes, perfluoroalkylsilanes, and alkyldisilazanes.
18. The process as claimed in claim 8, wherein the self-cleaning surfaces are on planar or non-