

jugada. Partint de la base d'una biònica i una tècnica ben enteses, la natura és una gran font d'inspiració. Aquesta orientació farà que la tècnica de la humanitat es converteixi en una tècnica per a la humanitat.

L'estudi de les «construccions de la vida» i de la «fantasia de la creació» pot ser, en termes generals, molt significatiu per a un exercici de creativitat biònica i conduir així a una actitud anímica que permeti, d'una banda, la contemplació de la vida i, de l'altra, reconduir l'actitud interna de la humanitat envers l'hàbitat, biològic o no.

Creación de forma y biónica: diseño biológico

Introducción

En esta primera exposición se mostrará hasta qué punto el concepto de «diseño biológico» juega un importante papel en la biología y en la técnica fijada por el diseño, y, además, intentaré establecer las interrelaciones que existen entre el mundo de la biología y de la técnica. Con este fin, serán expuestas diez tesis con sus ejemplos complementarios.

1. El concepto de diseño puede ser análogo al concepto de diseño técnico en la biología

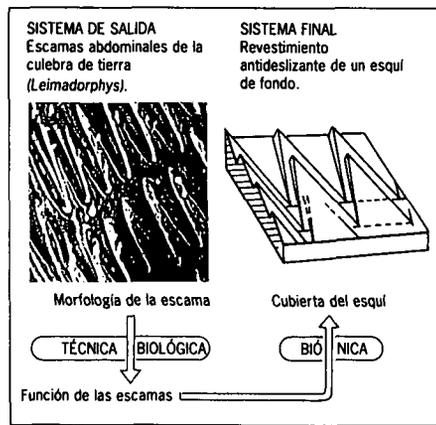
La palabra «diseño» viene del verbo latino *designare* (designar). Por diseño se pueden entender conceptos como proyecto, muestra, plano, modelo, o la cooperación del artista en la creación de una forma. Pero la formulación más acertada, según mi criterio, es: «la creación del producto en el campo de una estética práctica», esta última encontrada por la Escuela Superior de Diseño de Ulm.

Conforme con esto, tenemos que el diseño se realiza con el proyecto y creación de un producto, en tanto que los aspectos prácticos y estéticos juegan un papel muy importante.

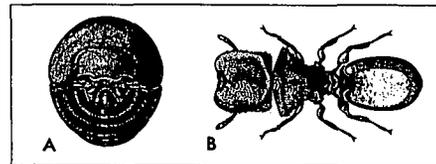
Para los productos de la biología no tenemos un diseñador conocido, pero, con todo, corresponde a la evolución (desarrollo de la tribu o grupo) y a la ontogénesis (desarrollo individual) dar una forma a los animales y plantas y darles un concepto de diseño. Por este motivo podemos también hablar de diseño biológico y decir que su concepto de diseño puede ser análogo al concepto de diseño. Una excepción supondría el aspecto estético: la biología puede hacer afirmaciones hacia los conceptos de las ciencias naturales como la forma o la función, pero no puede hacerlas cuando se trata de conceptos fuera de este campo, como podría ser la estética.

Hecha una introducción, podríamos ahora dar una definición de lo que es en sí la biología. Por diseño biológico se entiende la creación orgánica de la forma en el campo de acción de las diferentes exigencias funcionales en la filogénesis y la ontogénesis.

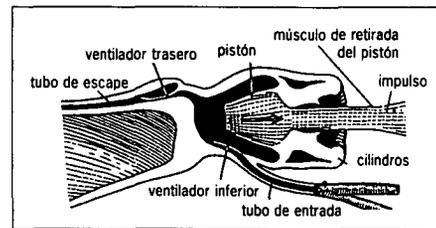
1. Ejemplo del procedimiento de trabajo de la técnica biológica y la biónica.
2. Cochinilla *Armadillium*, vista de frente. Soldado-termita *Paracryptocercus*.
3. Bomba segregadora de la chinche *Dolycoris baccarum*.
4. Una carga excéntrica después de un accidente en un árbol regresa a su orden normal.
5. Diferentes grados de masa del esqueleto en animales grandes y pequeños, dibujados a escala similar.
6. En números pequeños de Reynolds, encontramos alas perfiladas y torneadas (pájaros) y alas de cerda de seda (tipo de insecto, y otros insectos pequeños).
7. Cáscaras de huevo de la mosca azul *Calliphora spp.* muestran el «diseño de compromiso» con sus maravillosas estructuras de quitina, las cuales, a veces contradictorias, llegan a armonizar.
8. El macho de la araña *Pachygnatha clerckii* inmoviliza, antes de la cópula, las tenazas de la hembra, usando las suyas. Los diseños de ambas tenazas se detallan.
9. El principio de los tendones posibilita la acumulación de la masa de los músculos de impulso cerca del punto giratorio. Mediante el aminoramiento del momento de carga de peso, se ahorra energía para el impulso.



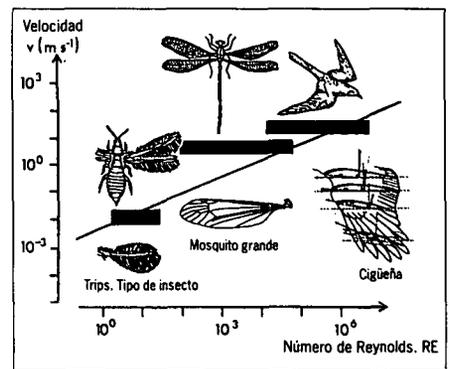
1



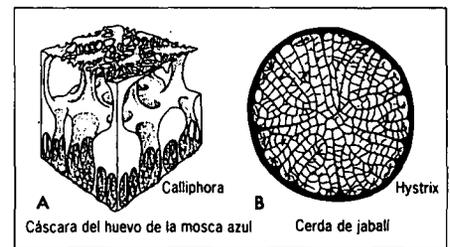
2



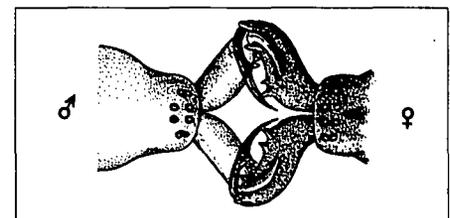
3



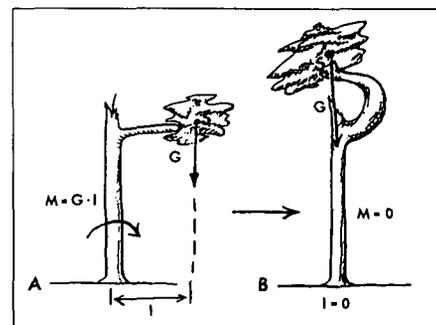
6



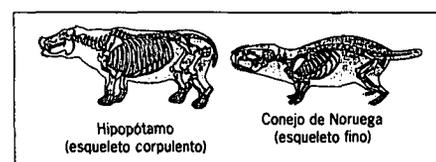
7



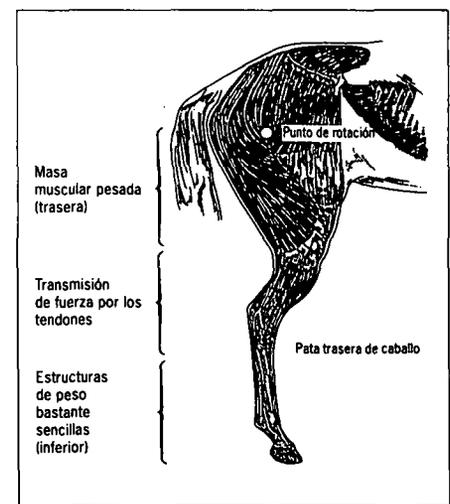
8



4



5



9

Es muy importante que todos los procesos de formación que marcan las formas orgánicas puedan estar también influidos por requisitos funcionales y que éstos sean, a su vez, diferentes y muchas veces contrapuestos o contrarios. Por esta razón, una forma biológica siempre describirá un «diseño de compromiso», y no se puede permitir un fin en sí o una autointerpretación «lujosa». Naturalmente, muchas veces percibimos el diseño biológico como «majo». Esta calidad estética aparece en el espectador como consecuencia secundaria del proceso de reconocimiento. Pero ésta no puede ser más que un parámetro clarificador. Las ciencias naturales pueden intentar explicar la forma a través de la coordinación de requisitos funcionales fácilmente reconocidos. De esto se pueden establecer las interrelaciones entre el mundo de la técnica y el mundo de las formas animadas. ¿De qué tipo son?

2. La biología técnica y la biónica se complementan como la imagen y su reflejo

La biología técnica intenta entender y describir mejor las construcciones y tipos de procedimientos del mundo animado a través de la aportación del saber físico y técnico. La biónica se basa en los criterios de la biología técnica. Intenta tomarlo como sugerencia para otras creaciones técnicas propias. Las creaciones propias deberán cumplir, sin embargo, unas leyes, de acuerdo con los tipos de procedimiento acreditado de la ingeniería. Una copia natural pura sería una charlatanería no-científica.

Ejemplo: la piel de culebra y la estructura-capa del esquí de fondo.

Las escamas abdominales del grupo de culebras sudamericanas *Leimadorphys* (cuyos representantes se arrastran por la tierra del bosque húmedo, por el movimiento peristáltico hacia delante y atrás de su piel de escamas) tienen en uno de sus costados una estructura de escamas particularmente parabólica. A través del saber técnico y físico básico (biología técnica) de los efectos de la fricción, se puede aclarar la estructura de las escamas y dar una función a la morfología de las mismas. Las escamas son «generadoras de fricción dependientes de la dirección». Con ellas la culebra se desliza perfectamente hacia delante, pero no hacia atrás. El traslado de este principio a la técnica (biónica) nos

ha hecho pensar en la capa del esquí de fondo, aunque ésta es técnicamente más sencilla. Ésta no dificulta el deslizamiento hacia delante, pero ahorra al esquiador de fondo tener que retroceder en una pendiente (fig. 1).

3. El organismo forma un todo funcional

Forma y función se unen de manera inseparable en un organismo. Uno condiciona al otro. Pocas veces se puede decir qué es lo que ha tenido más fuerza a la hora de dar la forma; si la forma se ha creado como respuesta de requisitos funcionales o si el organismo es el que ha comenzado a usar una forma ya dada en vista a una función conveniente.

Ejemplo: la cochinilla.

La cochinilla *Armadillium vulgare* parece un insecto normal cuando se arrastra. En caso de peligro puede enroscarse como una pequeña bola —del tamaño de un guisante— impenetrable. La adaptación es tan detallada y precisa que el abdomen y las antenas del animal encuentran el lugar ya previsto. De esta manera el animal es inabarcable, y delante de un enemigo se enrosca. En una situación normal, las diferentes partes que se pueden enroscar y que transfiguran al animal en una bola-concha tienen funciones «normales» y diversas (fig. 2). De una forma semejante funcionan las partes de la cabeza de la termita *Paracryptocercus*. Con las cabezas, los «soldados» de esta familia cierran desde dentro la entrada construida.

4. Las construcciones biológicas siguen el principio del tipo de construcción altamente integradora

Al contrario de la técnica, la biología pocas veces construye a partir de partes individuales, acabadas por separado y combinadas posteriormente. Muy a menudo, casi regularmente, los elementos constituyentes de la forma se crean por la adaptación y el ajuste y se funden lentamente en un todo integrado. Encontramos ejemplos muy interesantes al respecto en el mundo de los insectos y también las chinches.

Ejemplo: bomba segregadora de Dolycoris.

Las chinches pican a sus presas, inyectándoles una secreción mediante el piquete. Esta sustancia impide que el líquido chupado en la punción se coagule, evitando así la obstrucción del canal de absorción. Para esto usan una diminuta (2/10 mm) pero eficaz bomba segregadora. La bomba segregadora dispone de todos aquellos elementos «técnicamente necesarios» como el espádix, cilindros o ventiladores. Pero los elementos no se pueden delimitar totalmente entre sí. En una configuración en que los elementos estén totalmente integrados, la bomba segregadora crea un diseño funcional en un tipo de construcción altamente integradora (fig. 3).

5. El organismo compensa cargas perjudiciales

Las fuerzas interiores y exteriores influyen en cada organismo. Algunas fuerzas son «deseadas» y en consecuencia utilizadas. Como ejemplo tenemos el uso de las diferentes formas de fricción de la culebra *Leimadorphys* al arrastrarse. Otras fuerzas son «no deseadas». Éstas pueden, por ejemplo, sobrecargar las propiedades de soporte del organismo. En caso de que el organismo no se desprenda de estas fuerzas, lo que hace es intentar recompensar sus repercusiones negativas.

Ejemplo: rotura de la copa de un árbol y aminorción de la tensión del tronco mediante el crecimiento compensativo.

Imaginemos que un árbol pierde su copa por un rayo, y sólo le queda viva una rama lateral maciza. Mediante su centro de gravedad, la masa de gravedad (G) produce una importante fuerza de flexión $B = M \cdot I$ en la rama. Esta fuerza no se puede compensar mediante fuerzas contrarias del árbol (como era el caso antes de ser herido por el rayo) y supone una fuerte carga para el tronco. El árbol regula esta falta de compensación de fuerzas provocando que con el paso del tiempo la rama vaya creciendo torcida por encima del tronco. Si el centro de gravedad se sitúa por encima del tronco, entonces la distancia y , por lo tanto, la fuerza de flexión resultan igual a cero (fig. 4). La carga excéntrica y perjudicial ha desaparecido.

6. El tamaño absoluto de un organismo determina su diseño estático

Para la configuración externa —y aún más para la interna (esqueleto, peso)— es importante el tamaño del animal. Los animales grandes, observados estadísticamente, tienen más problemas que los pequeños. La gran medida de su exterior ha de aumentar mucho más que su largo. De esta manera el esqueleto del animal es más duro y resistente. En el caso de los animales de grandes dimensiones, su aspecto repercute visiblemente en su forma externa y en la impresión que tendrá el observador. Debido a las fuerzas de gravedad de la tierra, los animales más grandes que los dinosaurios conocidos no podrían sobrevivir nunca. A pesar de sus esqueletos enormes, su sistema desaparecería bajo la influencia de su propio peso.

Ejemplo: las proporciones del esqueleto.

En un clásico de la literatura biológica de Hesse y Doflein, publicado por primera vez en 1919, encontramos el dibujo de un hipopótamo y un conejo de Noruega del mismo tamaño (fig. 5). A primera vista, podemos ver que el hipopótamo es más pesado que el conejo de Noruega. Esto es así porque el diámetro (D) del hueso no aumenta según el largo (L) del cuerpo o con el mismo largo del hueso (D L). Lo hace según la relación entre $D \propto L^{1,50}$. Después de muchas pruebas se ha llegado a esta conclusión. Dentro de la familia de los antílopes el exponente encontrado empíricamente para el hueso del antebrazo llega al 1,52.

7. El organismo entra en contacto con el medio ambiente

El medio ambiente marca el diseño del organismo, diseño de lo más importante. Esto no sucede de manera directa. Las propiedades del organismo ganadas al ambiente no se transmiten (lamarckismo). La evolución depende más de amplias paletas de cambios pequeños y espontáneos, de modo que, ante los cambios en las condiciones del medio ambiente, siempre habrá seres que por sus óptimas condiciones físicas tendrán más posibilidades de sobrevivir y de reproducirse. De esta manera, se llenan los «nichos ecológicos».

Los nichos ecológicos son también físicos. Las condiciones del entorno también son determinadas por le-

yes físicas. Se tiene también la sensación de que la configuración usara los «nichos físicos»: la forma física adecuada respectivamente se confunde.

Ejemplo: formas de las alas de los insectos.

Ya hemos explicado que los animales pequeños están, en comparación con los grandes, sometidos a otros condicionantes estáticos. Del mismo modo podemos decir que el aire ofrece otras condiciones de firmeza a los animales pequeños. Cuanto más pequeño sea un insecto y más lentamente vuela, más resistente le resulta el aire. Los insectos más pequeños «reman» por el aire como «pulgas de agua» de diferentes resistencias.

La forma de las alas se adapta de acuerdo con las propiedades del estado del aire. Se habla de su dependencia con el número de Reynolds (RE) de la forma biológica. El número de Reynolds corresponde al largo (L) del cuerpo y velocidad (V) de las alas del animal observado, así como la capacidad del aire, su capacidad cinética. La relación es: $RE = VL$. El número más pequeño de Reynolds caracterizará a los animales voladores más pequeños, más lentos.

En números altos de RE, las alas perfiladas y torneadas son físicamente más apropiadas (alas de pájaros). En números medianos de RE, son más apropiadas las alas no tan torneadas, sino las formadas por capas más planas y alargadas (alas de libélulas y moscas). Los insectos más pequeños, con alas de un largo de tan sólo unos cuantos milímetros (escarabajos o mosquitos inofensivos, con un largo de alas no superior a unas décimas de milímetro) que no disponen de los dos tipos de alas mencionadas, tienen alas de cerda de seda.

La naturaleza se adapta perfectamente y con mucha precisión a las condiciones ambientales, en que se desarrollará el diseño del ala (en el caso que estudiamos dentro del ámbito de medición de Reynolds) (fig. 6).

8. Una forma ha de satisfacer múltiples exigencias

Hemos definido el diseño biológico como la configuración orgánica que se ajusta en el campo de la fuerza de los diferentes requisitos funcionales. Hay muchos y diversos requisitos, y éstos pueden actuar tanto de ma-

nera negativa como positiva. Muchas veces son contrapuestos. Así, la cerda de un jabalí ha de ser larga, como «aparato de lucha», y a la vez flexible. Una cerda larga es más fuerte para la lucha, pero es más flexible una corta. En alguna parte encontraremos un compromiso que provocará la configuración de la imagen. Cada uno de los diseños biológicos es, finalmente, una forma de compromiso en el terreno de fuerza de docenas de estas condiciones del entorno.

Ejemplo: cáscaras de los huevos de la mosca azul.

Las cáscaras de los huevos de las crías de mosca han de ser ligeras para que en un mismo uso de material puedan ser producidos muchos huevos. Han de ser elásticas para así soportar diferentes formas. También han de hacer posible el intercambio de gases, de la misma manera como lo hace cualquier otra textura, para dejar pasar el oxígeno del aire exterior y el bióxido de carbono producido en el interior. Y, finalmente, han de ser impermeables a las gotas de agua, y hacer posible el intercambio de vapor de agua. Se podrían formular muchos otros condicionantes de la cáscara del huevo de una mosca.

En el campo de acción de estas diversas y a veces contradictorias condiciones (ligereza de construcción, estabilidad, resistencia al gas e impermeabilidad, etc.), la naturaleza ha dado apoyo mediante una sustancia de quitina formada por unos tentáculos múltiples y una cáscara que, a través de sus estructuras, hace que se desvíe el agua hacia las esquinas (fig. 7a). De la misma manera tan compleja, el jabalí combina la ligereza y la estabilidad (fig. 7b).

9. El organismo entra en contacto con otros organismos

Aquí topa diseño contra diseño, dado que las formaciones constructivas participan perfectamente en el conjunto por lo que hace a su tarea funcional, aunque este contacto sólo aparezca una vez en la vida de dos organismos. Los ejemplos más representativos se dan en el terreno de los órganos genitales o de otros órganos similares, los cuales juegan un papel muy importante en el campo de la actitud de fecundación. De este último caso hemos extraído el ejemplo.

Ejemplo: impedimento del movimiento de las tenazas en la cópula de las arañas.

Las arañas macho corren mucho peligro en la cópula. Las arañas hembra (normalmente mucho más grandes) frecuentemente los ven como objeto de ataque y los embisten con sus tenazas. En este caso, los machos han de evitar el ataque de las hembras hasta que la pareja de la cópula sea dócil gracias a las diferentes técnicas empleadas. Una posibilidad de defensa muy útil es la de inmovilizar las armas de ataque de las hembras.

En las arañas del tipo *Pachygnatha clerckii* los machos cuentan con un diseño especializado de tenazas. Éstas encajan en una configuración geométrica, y tienen garras en la parte inferior de la pata, muy largas y articuladas en las terminaciones. En la aproximación, el macho ataca las tenazas de la hembra, atrapándolas entre sus miembros e inmovilizando así las terminaciones, usando sus propias tenazas para atraparla.

Existe un gran número de mecanismos de cópula dentro del reino animal.

10. El organismo vive sometido al dilema energético.

Por todos lados hay que ahorrar energía

Se puede decir que cuando un organismo no cuida la energía que lo rodea, no es capaz tampoco de vivir o de sobrevivir. La energía disponible es limitada. También podemos decir que el rendimiento a aportar (energía por tiempo, medida en joules por segundo = vatio) es limitado. Si una hembra de pájaro tiene que invertir un gran rendimiento de vuelo para alimentarse en un día normal de primavera (puede ser porque sus alas no tienen una forma aerodinámicamente óptima), resulta que en este intervalo de tiempo dispone de menos energía para la síntesis de sus huevos, y eso repercute negativamente en su reproducción.

Todos los procesos biológicos están optimizados energéticamente hasta el último detalle. (De la estrategia natural de cada proceso biológico, ahorrar tanta energía como sea posible, las civilizaciones humanas podrían tomar ejemplo.) Y con esto todas las adaptaciones discutidas hasta ahora supondrían la suma de un balance positivo de energía. Un diseño biológico también participaría en el uso de la energía partiendo de la base del hecho de ahorrar.

Ejemplo: una configuración ideal ahorra energía de movimiento.

Los caballos y otros mamíferos rápidos como las gacelas tienen la zona pélvica muy desarrollada y, por el contrario, la configuración de sus patas es tan delicada que a veces tenemos la sensación de que son hechas de tan sólo hueso y piel.

La mayoría de los músculos de movimiento se hallan situados en la parte superior, cerca del punto de rotación, y trasladan así los puntos de fijación del movimiento de fuerza (ataque) a sus tendones, que son más largos en la parte inferior, aumentando así su potencia.

Cuanto más desarrollada sea la masa muscular de la pierna, más energía se ha de utilizar en cada paso, cuando de la postura de descanso se ha de acelerar de nuevo. Un equivalente a este uso de la energía sería el momento del peso de la pierna (se calcula como la suma de todos los productos de las unidades de masa $[M_i]$ y de las potencias de las distancias de rotación $[r_i^2]$) con respecto al eje de giro. Si los músculos estuvieran repartidos por toda la pierna, el momento del peso de la pierna sería muy grande, dado que los valores de r_i^2 son muy elevados. Pero así el momento de masa de la pierna se mantiene bajo, dado que la disposición de los músculos cerca del eje de giro mantiene bajos los valores de r_i^2 . Luego la capacidad de aceleración disminuye, y con esto, la capacidad de movimiento en general. De esta manera, por unidad de tiempo, habrá un mayor excedente de energía, disponible para otros procesos biológicos.

Los elementos de construcción necesarios para llevar a cabo esta táctica, eso es, el tendón alargado, ligero y resistente, se han desarrollado de una manera ideal por la naturaleza. Para la configuración de la pata del caballo, también se aplica el principio ya mencionado del tendón. Así, pues, se dispone de otra ventaja: en los tendones estirados, se puede almacenar energía. De esta manera una buena parte de la energía aplicada a la pata del caballo en movimiento puede ser almacenada en el tendón, y así estará disponible para la siguiente fase de movimiento. Este «truco» también ahorra energía (fig. 9).

Conclusiones

Se ha intentado, a partir de la redacción de diez tesis y su complementación a través de ejemplos, desarrollar la definición del concepto de diseño en un ambiente empírico, teniendo en cuenta las formas biológicas.

El «diseño» es un concepto definido técnica y artísticamente: esto es, no es un concepto biológico. Para la descripción de las formas desde el punto de vista filogenético y ontogenético, los biólogos se ayudan de las disciplinas clásicas, como la morfología o la morfología funcional.

Bajo esta perspectiva, la aplicación del concepto de diseño al mundo animado de la biología no aporta un valor especialmente innovador.

El concepto de diseño se puede aplicar análogamente al mundo de la técnica. De esta manera se intentará que las disciplinas técnicas, artísticas y artesanales sigan el ejemplo y vayan más allá de su propio campo.

Así, se pueden distinguir puntos en común. Definitivamente, del canon de formas de la naturaleza podemos aprender todavía mucho más, sobre todo en el mundo práctico del diseño.

Nadie jamás copiará la naturaleza de manera subyugada. Partiendo de la base de una biónica y una técnica bien entendidas, la naturaleza es una gran fuente de inspiración. Esta orientación hará que la técnica de la humanidad se convierta en una técnica para la humanidad.

El estudio de las «construcciones de la vida» y de la «fantasía de la creación» puede ser, en términos generales, muy significativa para un ejercicio de creatividad biónica, y conducir así a una actitud anímica que permita, por un lado, la contemplación de la vida y, por otro lado, reconducir la actitud interna de la humanidad frente al ambiente, sea biológico o no.

Form creation and bionics: biologic design

Introduction

In this first exposition, I will show to what point the concept of «biologic design» plays an important part in biology and in design-fixed techniques, and also, I will try to establish the interrelationships that exist between the world of biology and the technical world. Toward this end, I will expose ten theses with their complementary examples.

1. The concept of design can be analogous to the concept of technical design in biology

The word «design» comes from the latin verb *designare* (to design). By design we can understand concepts like project, sample, plan, model, or the cooperation of the artist in the creation of a form. But perhaps the most exact formula is, according to my criterium: «creation of the product in the field of a practical esthetic»; this was found by the Ulm Superior School of Design.

Accordingly, we see design as a realization of the projection and creation of a product, inasmuch as the practical and esthetic aspects play a very important role.

We have no recognized designer for the products of biology, but even so, evolution is responsible for evolution (development of the tribe or group) and onthogenesis (individual development), giving a form to animals and plants and giving them a concept of design. For this reason, we can also speak of biologic design and say that its concept of design can be analogous to the concept of design. The esthetic aspect would mean an exception, though: biology can make affirmations toward concepts of natural science such as form or function, but it cannot do so outside this field, as would be the case in esthetics.

Once we have made the introduction, we can now give a definition of what biology is in itself. By biologic design we understand the organic creation of form in the field of action of the diverse functional demands in phylogenesis and onthogenesis.