

Creació de forma i biònica: disseny biològic

Werner Nachtigall

Doctor en Biologia. Director de l'Institut Zoològic de la Universitat de Saarland i de la Societat per a la Biologia Tècnica i Biònica de Saarbrücken.

Doctor en Biologia. Director del Instituto Zoológico de la Universidad de Saarland y de la Sociedad para la Biología Técnica y Biónica de Saarbrücken.

Doctor in Biology. Director of the Zoologist Institute of the University of Saarland and of the Society for the Technical Biology and Bionics at Saarbrücken.

Introducció

En aquesta primera exposició es mostrarà fins a quin punt el concepte de «disseny biològic» fa un paper important en la biologia i en la tècnica fixada pel disseny i, a més, intentarem d'establir les interrelacions existents entre el món de la biologia i el de la tècnica. Exposarem deu tesis amb exemples complementaris.

1. El concepte de disseny pot ser anàleg al concepte de disseny tècnic en biologia

El mot «disseny» prové del verb llatí *designare* (designar). Per disseny es poden entendre conceptes com ara projecte, mostra, pla, model, o la cooperació de l'artista en la creació d'una forma. Però potser la formulació més encertada és, segons el meu criteri, «la creació del producte en el camp d'una estètica pràctica», trobada per l'Escola Superior de Disseny d'Ulm.

D'acord amb això, el disseny es realitza amb la projecció i la creació d'un producte, i els aspectes pràctics i estètics hi tenen un paper molt important.

Quant als productes de la biologia, no tenim cap dissenyador conegut, però, tot i això, correspon a l'evolució (desenvolupament de la tribu o grup) i a l'ontogènesi (desenvolupament individual) donar forma als animals i a les plantes i donar-los un concepte de disseny. Per això podem parlar també de disseny biològic i dir que el seu concepte de disseny pot ser anàleg al concepte de disseny. Però l'aspecte estètic representaria una excepció: la biologia pot fer afirmacions envers conceptes de les ciències naturals com ara forma o funció, però no pot fer-ne quan es tracta de conceptes fora d'aquest camp, com podria ser l'estètica.

Feta la introducció, definirem què és la biologia en si. Per disseny biològic s'entén la creació orgànica de la forma en el camp d'acció de les diverses exigències funcionals en la filogènesi i l'ontogènesi.

És molt important que tots els processos de formació que marquen les formes orgàniques puguin ésser també influïts pels requisits funcionals, i que aquests

siguin a la vegada diferents i sovint contraposats o contraris. Per aquesta raó, una forma biològica sempre descriurà un «disseny de compromís» i no es pot permetre una finalitat en si o una autointerpretació «exuberant». Naturalment, sovint percebem el disseny biològic com a «maco». Aquesta qualitat estètica apareix en l'espectador com a conseqüència secundària del procés de reconeixement. Aquesta no pot, però, ésser més que un paràmetre aclaridor. Les ciències naturals poden intentar explicar la forma per mitjà de la coordinació d'uns requisits funcionals fàcilment reconeguts. D'això es poden establir les interrelacions entre el món de la tècnica i el món de les formes animades. De quin tipus són?

2. La biologia tècnica i la biònica es complementen com la imatge i el seu reflex

La biologia tècnica intenta entendre i descriure millor les construccions i els tipus de procediments del món animat mitjançant l'aportació del saber físic i tècnic. La biònica es basa en els criteris de la biologia tècnica. Intenta prendre-la com a suggeriment per a unes altres creacions tècniques pròpies. Les creacions pròpies hauran d'acomplir unes lleis, però, d'acord amb el tipus de procediment acreditat de l'enginyeria. Una còpia natural pura seria un engany no científic.

Exemple: la pell de serp i la capa per a l'esquí de fons.

Les escames abdominals del grup de serps sud-americanes *Leimadorphys* (els membres de les quals s'arrosseguen pel terra de boscs humits mitjançant el moviment peristàltic cap endavant i cap enrera de la seva pell d'escames) tenen una estructura d'escames en un dels seus costats peculiarment parabòlica. Mitjançant el saber bàsic tècnic i físic (biologia tècnica) dels efectes de la fricció, podem aclarir l'estructura de les escames i donar una funció a la seva morfologia: les escames són «generadors de fricció dependents de la direcció». La serp s'hi arrossega perfectament cap endavant, però no pas cap enrera. El trasllat d'aquest principi a la tècnica (biònica) ens ha fet pensar en la capa de l'esquí de fons, tot i que és tècnicament més senzilla. Aquesta no dificulta de lliscar cap endavant, però estalvia a l'esquiador de fons haver de retrocedir en els pendents (fig. 1).

3. L'organisme forma un tot funcional

Forma i funció s'acoblen de manera inseparable en un organisme. L'un condiona l'altre. Poques vegades es pot dir quin és el que ha tingut més força a l'hora de donar la forma; si la forma s'ha creat com a resposta a uns requisits funcionals o si l'organisme és qui ha començat a utilitzar una forma ja donada per a una funció convenient.

Exemple: la panerola.

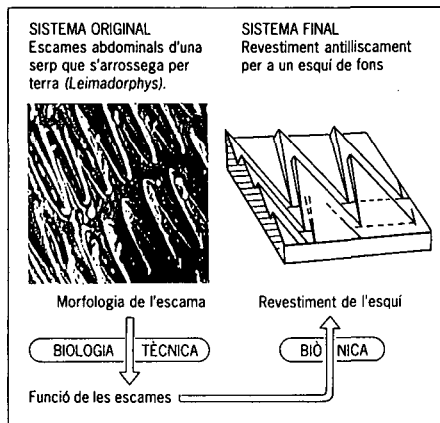
El crustaci *Armadillium vulgare* sembla una panerola normal quan s'arrossega. En cas de perill pot cargolar-se com una petita bola —de la mida d'un pèsol— impenetrable. L'adaptació és tan detallada i precisa que l'abdomen i les antenes de l'animal troben el lloc ja previst. D'aquesta manera l'animal és inabastable; davant un enemic sempre s'enrotlla. En situacions normals, però, les diverses parts que poden cargolar-se i transfigurar l'animal en una bola-closca tenen unes funcions «normals» i diverses (fig. 2). La part del cap del tèrmit *Paracryptocercus* actua d'una manera semblant. Amb els caps, els «soldats» d'aquesta família tanquen des de dins l'entrada construïda.

4. Les construccions biològiques segueixen el principi del tipus de construcció altament integradora

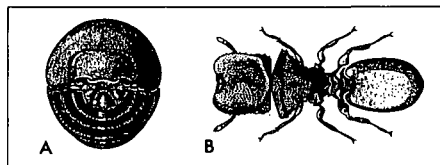
Contràriament a la tècnica, la biologia poques vegades construeix a partir de parts individuals, acabades individualment i combinades posteriorment. Molt sovint, gairebé com a regla, els elements constituents de la forma es creen per l'adaptació i l'ajustament i es fonen a poc a poc en un tot integrat. En trobem exemples molt interessants en el món dels insectes i també en l'ordre de les xinxes.

Exemple: bomba secretora de la xinxa Dolycoris.

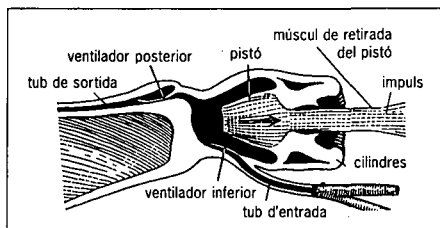
Les xinxes piquen les preses i els injecten una secreció amb la punxada. Aquesta substància impedeix la coagulació del líquid xuclat en la punxada i evita així l'obstrucció del canal d'absorció. Per a això fan servir una diminuta (2/10 mm) però eficaç bomba secretora, la qual disposa de tots els elements «tècnicament necessaris» per al seu funcionament com ara l'espàdix, el



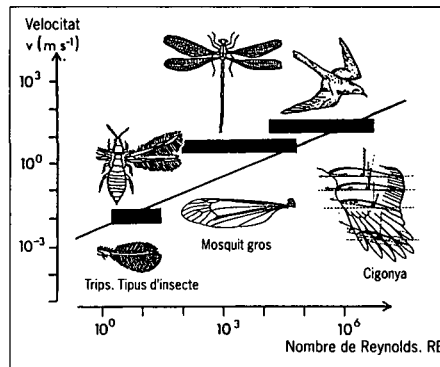
1



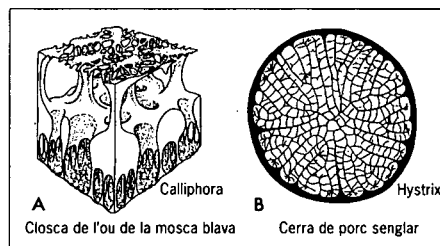
2



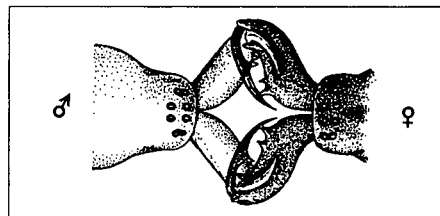
3



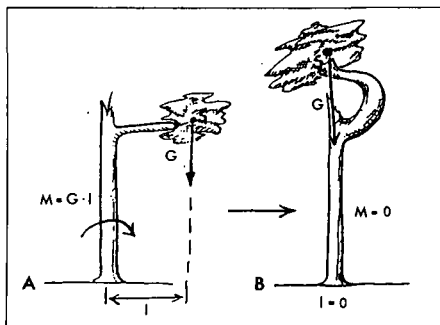
6



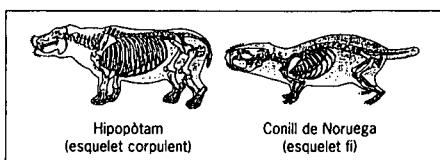
7



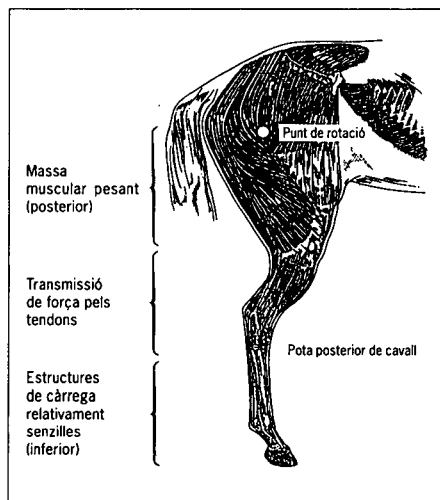
8



4



5



9

1. Exemple del procediment de treball de la tècnica biològica i la biònica.

2. *Panerola rodona*, *Armadillium*, vista de davant. Soldat tèrmit *Paracryptocercus*.

3. Bomba de secreció de la xinxa *Dolycoris baccarum*.

4. Una càrrega excèntrica després d'un «accident» en un arbre torna al seu ordre normal.

5. Diversos graus de massa de l'esquelet en animals grossos i petits, dibuixats a una escala similar.

6. En valors petits de nombres de Reynolds, trobem ales perfilades i tornejades (ocells) i ales de cerra (i altres insectes petits). Cada disseny d'ala treballa en el seu camp de valor de Reynolds (quadre negre) segons el que sigui més convenient.

7. Closques d'ous de la mosca blava *Calliphora spp.* mostren el «disseny de compromís» amb les meravelloses estructures de quitina, les quals, sovint contradictòries, arriben a harmonitzar.

8. Abans de la copulació, el mascle de l'aranya *Pachygnata clerckii* immobilitza les tenalles de la femella fent servir les seves. Aquí detallem els dissenys d'ambdues tenalles.

9. El principi dels tendons possibilita l'acumulació de massa dels músculs d'impuls prop del punt giratori. Mitjançant la minva del moment de càrrega de pes, s'estalvia energia per a l'impuls.

cilindre o els ventiladors. Però els elements no es poden delimitar entre ells totalment. En una configuració en què els elements estiguin totalment integrats, la bomba secretora crea un disseny funcional en un tipus de construcció altament integradora (fig. 3).

5. L'organisme compensa les càrregues perjudicials

Les forces interiors i exteriors influeixen en cada organisme. Algunes forces són «desitjades» i, en conseqüència, emprades. Com a exemple tenim l'ús de les diverses forces de fricció de la serp *Leimadorphys* quan s'arrossega. Unes altres forces són «no desitjades» i poden sobrecarregar les propietats de suport de l'organisme. En cas que l'organisme no se'n desprengui, intenta recompensar-ne les repercussions negatives.

Exemple: trencament de la copa d'un arbre i minva de la tensió del tronc mitjançant el creixement compensador.

Imaginem que un arbre perd la copa a causa d'un llamp i tan sols hi resta viva una branca lateral massissa. Mitjançant el centre de gravetat de la branca, la massa de gravetat G produeix una important força de flexió $B = M \cdot I$ a la branca. Aquesta força no pot ser compensada mitjançant les forces contràries de l'arbre (com ho era abans de ser ferit pel llamp) i significa una forta càrrega per al tronc. L'arbre regula aquesta manca de compensació de forces i provoca que, amb el pas del temps, la branca creixi torta per damunt de les restes del tronc. Si el centre de gravetat està situat per damunt del tronc, llavors la distància I i, per tant, la força de flexió resulten iguals a zero (fig. 4); la càrrega excèntrica i perjudicial desapareix.

6. La mida absoluta d'un organisme en determina el disseny estàtic

La mida de l'animal és important per a la configuració exterior —i encara més per a la interior (pes, esquelet). Els animals grossos, observats estadísticament, tenen més problemes que no els petits. La gran mida de la seva closca ha d'augmentar molt més que la seva llargària. D'aquesta manera l'esquelet de l'animal és més dur i resistent. En el cas dels animals de grans dimen-

sions, el seu aspecte repercuteix visiblement en la seva forma exterior i en la impressió que en tindrà l'observador. Per les forces de gravetat de la Terra, no hi podrien sobreviure mai animals més grossos que els coneguts dinosaures. Tot i els seus grans esquelets, el seu sistema desapareixeria sota la influència del propi pes.

Exemple: les proporcions de l'esquelet.

En un clàssic de la literatura biològica de Hesse i Doflein, publicat per primera vegada l'any 1919, trobem el dibuix d'un hipopòtam i d'un conill de Noruega de la mateixa mida (fig. 5). A primer cop d'ull hi podem veure que l'hipopòtam és molt més pesant que el conill de Noruega. Això és així perquè el diàmetre (D) d'un ós no augmenta segons la longitud del cos (L) o amb la mateixa longitud de l'ós ($D L$). Ho fa segons la relació entre $D L L^{1,50}$. S'ha pogut arribar a aquesta conclusió després de moltes proves. Dins la família dels antílops, l'exponent trobat empíricament per a l'ós de l'avantbraç assoleix l'1,52.

7. L'organisme entra en contacte amb el medi ambient

El medi ambient marca el disseny de l'organisme, i el disseny és d'allò més important encara que no s'esdevé d'una manera directa. Les propietats de l'organisme guanyades a l'hàbitat no es transmeten (*lamarckisme*). L'evolució depèn més d'amplies paletes de canvis petits i espontanis, i per això davant canvis en les condicions del medi ambient sempre hi haurà éssers que, per les seves òptimes condicions físiques, tindran més possibilitats de sobreviure i de reproduir-se. D'aquesta manera s'omplen els «nínxols ecològics».

Els nínxols ecològics són també físics. Les condicions de l'entorn també són determinades per les lleis físiques. Es té la sensació igualment que la configuració utilitzaria els «nínxols físics»: la forma física adequada respectivament es confon.

Exemple: formes de les ales dels insectes.

Ja hem explicat abans que els animals petits, en comparació dels grossos, són sotmesos a uns altres condicionants estàtics. De la mateixa manera podem dir que l'aire ofereix unes altres condicions de fermesa en els animals petits. Com més petit és un insecte i més

lentament vola, troba més resistència de l'aire. Els insectes més petits «remen» per l'aire com «puces d'aigua» de resistències diferents.

La forma de les ales s'adapta a les propietats de l'estat de l'aire. Es parla de la seva dependència amb el nombre de Reynolds (RE) de la forma biològica. El nombre de Reynolds correspon a la longitud del cos (L) i la velocitat (V), com també la capacitat de l'aire i la seva resistència cinètica. La relació és: $RE = VL$. El nombre més petit de Reynolds serà característic dels animals més petits i més lents.

En nombres elevats de RE, les ales perfilades i tornejades són físicament apropiades (ales d'ocells). En nombres mitjans de RE són més apropiades les ales no tan tornejades, sinó més aviat les formades per capes més planes i allargades: les ales de libèl·lules i mosques. Els insectes més petits, d'ales d'una llargària tan sols d'uns quants mil·límetres (escarabats o mosquits grossos i inofensius, amb una llargària d'ales no superior a dècimes de mil·límetre), que no disposen dels dos tipus d'ales mencionats anteriorment, fan ús de les ales de cerra.

La natura s'adapta perfectament i amb molta precisió a les condicions ambientals, en les quals es desenvoluparà el disseny de l'ala (en el cas que estudiem, dins l'àmbit de mesurament de Reynolds) (fig. 6).

8. La forma ha de satisfer unes exigències múltiples

Ja hem definit el disseny biològic com una configuració orgànica que s'ajusta al camp de força dels diversos requisits funcionals. Hi ha requisits múltiples i diversos, i poden actuar tant d'una manera negativa com positiva. Sovint són contraposats. Així, en un porc senglar la cerra ha de ser llarga, com a «aparell de lluita», i alhora flexible. Una cerra llarga és més forta per a la lluita, però una de curta és més flexible. En algun lloc trobarem un compromís que provocarà la configuració de la imatge. Cadascun dels dissenys biològics és, finalment, una mena de compromís en el terreny de força de dotzenes d'aquestes condicions de l'hàbitat.

Exemple: les closques dels ous de la mosca blava.

Les closques dels ous de les cries de mosca han de ser lleugeres perquè en un mateix ús de material molts ous puguin ser produïts. Han de ser elàstiques i, així,

suportar formes diferents. També han de fer possible l'intercanvi de gasos, de la mateixa manera que ho fa qualsevol altra textura, per a deixar passar l'oxigen de l'aire exterior i el diòxid de carboni produït a l'interior. I, finalment, han de ser impermeables a les gotes d'aigua i fer possible l'intercanvi de vapor d'aigua. Podríem formular molts més condicionants de la closca de l'ou d'una mosca.

En el camp d'acció d'aquestes condicions, diverses i de vegades contradictòries (lleugeresa de construcció, estabilitat, resistència als gasos, impermeabilitat, etc.), l'evolució hi ha donat suport mitjançant una substància de quitina formada per uns tentacles múltiples i una closca que, per mitjà dels efectes de les seves estructures, fa desviar l'aigua cap a les cantonades (fig. 7a). D'aquesta manera tan complexa el porc senglar combina la lleugeresa i l'estabilitat (fig. 7b).

9. L'organisme entra en contacte amb uns altres organismes

Aquí disseny xoca amb disseny, ja que les formacions constructives participen perfectament en el conjunt pel que fa a la seva tasca funcional, i també quan aquest contacte apareix tan sols una vegada en la vida de dos organismes. Els exemples més representatius es troben als òrgans de fecundació o en uns altres òrgans similars, els quals fan un paper molt important en el camp de l'actitud de fecundació. N'hem tret l'exemple d'aquest darrer cas.

Exemple: l'impediment del moviment de les tenalles en la copulació de les aranyes.

Les aranyes mascles perillen molt en la copulació. Les aranyes femelles (normalment molt més grosses) sovint els veuen com un objecte d'atac i els envesteixen amb les tenalles. En aquest cas, els mascles han d'evitar l'atac de les femelles fins que la parella de la copulació esdevingui dòcil gràcies a unes quantes tècniques emprades. Una possibilitat de defensa molt útil és la immobilització de les eines d'atac de la femella.

Les aranyes mascles del tipus *Pachygnatha clerckii* tenen un disseny especialitzat de les tenalles, les quals encaixen en una configuració geomètrica i posseeixen grapes a la part inferior de la pota que són molt allargades i articulables en les terminacions. En l'aproximació, el mascle ataca greument les tenalles de la femella,

les agafa entremig dels seus membres fent-ne servir les terminacions i així la immobilitza i l'atrapa (fig. 8).

Hi ha una gran quantitat de mecanismes de copulació dins el regne animal.

10. L'organisme viu sotmès al dilema energètic. Pertot arreu ha d'estalviar energia

Podem dir que, quan un organisme no té cura de l'energia que hi ha al seu voltant, tampoc no és capaç de viure o sobreviure. L'energia disponible és limitada. També podem dir que el rendiment a aportar (energia per temps, mesurada en joules per segon = vat) és limitat. Si un ocell femella ha d'invertir un gran rendiment de vol per a alimentar-se en un dia normal de primavera (potser perquè les seves ales no tenen una forma aerodinàmica òptima), aleshores resulta que en aquest interval de temps disposa de menys energia per a la síntesi dels ous, i això repercuteix negativament en llur reproducció.

Tots els processos biològics són optimitzats energèticament fins al mínim detall. (Les civilitzacions humanes podrien prendre exemple de l'estratègia natural en cada procés biològic: estalviar tanta energia com sigui possible.)

Amb això, totes les adaptacions discutides fins ara significarien la suma d'un balanç positiu d'energia. També un disseny biològic participa en l'ús de l'energia partint de la base del fet d'estalviar.

Exemple: una configuració ideal estalvia energia de moviment.

Els cavalls i uns altres mamífers ràpids com ara la gasela tenen la zona pèlvica molt desenvolupada i, contràriament, la configuració de les seves cames és tan delicada que de vegades tenim la sensació que les potes són fetes d'ós i de pell.

La majoria dels músculs de moviment estan situats a la part de dalt, propers al punt de rotació, i traslladen els punts de fixació del moviment de força (atac) als seus tendons, els quals són més llargs a la part inferior per augmentar així la seva potència.

Com més desenvolupada és la massa muscular de la cama, s'ha d'emprar més energia en cada pas quan, des de la postura de descans, s'ha de tornar a accelerar. Un equivalent d'aquest ús de l'energia seria el moment de trasllat del pes de la cama respecte a l'eix del gir (es

calcula com la suma de tots els productes de les unitats de massa $[M_1]$ i de les potències de les distàncies de rotació $[r_1^2]$). Si els músculs estiguessin repartits per tota la cama, el moment de pes de la cama seria molt gran ja que els valors de r_1^2 són molt elevats. Però així el moment de massa de la cama es manté baix, ja que la disposició dels músculs propers a l'eix de gir manté baixos els valors de r_1^2 . Aleshores la capacitat d'acceleració disminueix, i, amb això, la capacitat de moviment en general. D'aquesta manera, per cada unitat de temps, hi haurà un major excedent d'energia, disponible per a uns altres processos biològics.

Els elements de construcció necessaris per a dur a terme aquesta tàctica, és a dir, el tendó allargat, lleuger i resistent, han estat desenvolupats per la natura d'una manera ideal. Per a la configuració de la pota del cavall també s'aplica el principi, ja esmentat, del tendó. Així, doncs, es disposa d'un altre avantatge: es pot emmagatzemar energia en tendons estirats. D'aquesta manera, una bona part de l'energia aplicada a la pota del cavall en moviment pot ser emmagatzemada al tendó i restar disponible per a la fase següent del moviment. Aquest «truc» també estalvia energia (fig. 9).

Conclusions

Hem intentat desenvolupar, a partir de la redacció de deu tesis i la seva complementació per mitjà d'exemples, la definició del concepte de disseny en un àmbit empíric tenint en compte les formes biològiques.

El «disseny» és un concepte definit tècnicament i artísticament; és a dir, no és un concepte biològic. Per a la descripció de les formes des del punt de vista filogenètic i ontogenètic, els biòlegs s'ajuden de disciplines clàssiques com ara la morfologia o la morfologia funcional.

Des d'aquesta perspectiva, l'aplicació del concepte de disseny al món animat de la biologia no hi aporta un valor especialment innovador.

El concepte de disseny es pot aplicar anàlogament al món de la tècnica. D'aquesta manera s'intentarà que les disciplines tècniques, artístiques i artesanes segueixin l'exemple i vagin més enllà del seu propi camp.

Així s'hi poden distingir punts en comú. Definitivament, podem aprendre cada dia molt més encara del cànon de formes de la natura, sobretot en el món pràctic del disseny.

Ningú no copiarà mai la natura d'una manera sub-

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.