

## Biònica i disseny: testimoniats de l'evolució d'aquest acostament

Yves Coineau, Biruta Kresling

Yves Coineau

Zoòleg. Director del Laboratori de Zoologia del Museu Nacional d'Història Natural de París. Autor de *Les invencions de la Natura i la Biònica*. President de l'Associació per a la Promoció de la Biònica.

Zoólogo. Director del Laboratorio de Zoología del Museo Nacional de Historia Natural de París. Autor de *Las invenciones de la Naturaleza y la Biónica*. Presidente de la Asociación para la Promoción de la Biónica.

Zoologist. Head of Laboratory of the National Museum of Natural History of Paris. Author of *The inventions of Nature and the Bionic*. President of the Association for the Promotion of the Bionics.

Biruta Kresling

Arquitecte. Col·laboradora externa del «Working Group Nachtigall» de la Universitat de Saarbrücken i del Museu Nacional d'Història Natural de París. 1.º premi ex-aequo «Pantone-Colours» de Disseny Industrial, Londres, 1991.

Arquitecto. Colaboradora externa del «Working Group Nachtigall» de la Universidad de Saarbrücken i del Museo Nacional de Historia Natural de París. 1.º premio ex-aequo «Pantone-Colours» de Diseño Industrial, Londres, 1991.

Architect. External collaborator from «Working Group Nachtigall» of the University of Saarbrücken and National Museum of Natural History of Paris. First prize ex-aequo «Pantone-Colours» of Industrial Design, London, 1991.

Les recerques d'història natural, fins i tot les que no semblen més que fruit d'una pura i vana curiositat, poden tenir utilitats ben reals...

René-Antoine Ferchault de Réaumur  
*Història de les vespes* (1719)

La biònica és una ciència relativament recent que no va ser definida fins al 1960 per Jack E. Steele, de les forces aèries dels Estats Units, després del congrés celebrat a Dayton, Ohio:

La biònica és la ciència dels sistemes que tenen un funcionament copiat del dels sistemes naturals, o bé que presenten les característiques específiques dels sistemes naturals, o bé que els són anàlegs (citat a GÉRARDIN, 1968).

En unes altres paraules, la biònica és la ciència que cerca entre els éssers vius, animals i vegetals, uns models de sistemes en previsió de realitzacions tècniques. És una preocupació molt pròxima a la del dissenyador.

Tanmateix, la biònica ja va ésser practicada força abans de la seva definició oficial. Hom podria extreure tota una sèrie d'exemples de la història de l'art i de la tècnica que testimonien l'interès de l'home en els models naturals des de la més llunyana antiguitat. Alguns, com ara Dèdal i Ícar, a qui s'atribueixen la construcció de robots i la invenció de dispositius de vol inspirats en els ocells, no ens han arribat sinó a través dels mites.

### Disseny del Renaixement i renaixement del disseny

És incontestable que el testimoni més concret —i també el més colpidor— és el de Leonardo da Vinci, que considera alhora la biònica i el disseny.

L'exemple d'aquest geni del Renaixement pot semblar massa antic. Però, en realitat, és d'una gran actualitat perquè Leonardo va dur a terme l'elaboració de la seva obra des de la font d'inspiració —la natura— fins

a la realització material definitiva. Feia, alhora i successivament, de dibuixant, pintor, enginyer, arquitecte, escultor, anatomista i naturalista en el sentit ampli de la paraula. Era «dissenyador», és a dir, «dibuixant» en el sentit literal del mot, i feia tant els dibuixos d'anàlisi com els de síntesi dels seus projectes.

La biònica sembla haver estat per a Leonardo da Vinci una pràctica creativa evident. Analitzava i observava les estructures naturals i se n'emparava amb ull tècnic; en feia innumbrables dibuixos anatòmics i arribava a una transposició dels principis gràcies a realitzacions a escala diferent i amb uns altres materials. Les seves feines testimonien el pas natural que va de la comprensió a la creació, de l'anàlisi a la síntesi, de la hipòtesi a l'experimentació.

Hom constata que, durant el darrer decenni, l'ofici de dissenyador, considerablement augmentat, ha esdevingut una activitat generalista, globalitzant, més que mai «universal», semblant en aquest sentit al paper exercit per l'artista-tècnic del Renaixement.

Sembla evident, doncs, que la biònica hauria d'aportar al dissenyador d'avui dia aquest mètode de creativitat, de verificació de la validesa de noves construccions, una diversificació de les formes destinades a unes funcions precises.

## Desenvolupament dels conceptes de la biònica

Quan hom considera els diversos intents de copiar la natura d'ençà de la fi del segle passat, tindria la temptació de reconèixer una successió de força períodes afavoridors del pas de la inspiració artística a l'anàlisi tècnica per acabar conclouent-ne tot de desenvolupaments teòrics.

### «Kunstformen der Natur» (formes artístiques a la natura)

Aquest recull, publicat pel biòleg alemany E. Haeckel el 1893, va tenir una gran influència sobre els artistes i els enginyers de l'època. Al costat de les seves activitats com a zoòleg, sentia com li cridava l'atenció la remarkable diversitat de formes que ofereix la natura.

A l'època de les primeres expedicions oceanogràfiques, va iniciar, entre d'altres, el catàleg de les formes microscòpiques del plàncton fent ell mateix uns dibuixos d'una gran precisió i d'una estranya elegància.

### «On Growth and Form» (sobre la creixença i la forma)

L'obra de Sir D'Arcy Thompson *On Growth and Form* (1917) va ser, a la seva època, un veritable *best-seller* perquè resumia, ajuntava i feia accessibles els documents sobre el tema. Mostrava que la forma en les seves proporcions i el seu comportament mecànic no podien ser compresos si no se'n coneixia abans la gènesi.

### «Evolutionsstrategie» (estratègia de l'evolució)

A més de la imitació dels principis físics dels sistemes naturals, hom deu a Ingo Rechenberg l'inici dels estudis sobre un domini de reflexió original: l'aplicació del «mètode d'innovació» de la natura. L'augment de les mutacions duu a terme un veritable *brainstorming* en què el garbellament de la selecció natural representa l'«anàlisi de valor». Potser caldria recordar que el *brainstorming* procedeix de l'enunciat de totes les idees, sense censura prèvia ni jerarquització. Rechenberg modifica aleatòriament els paràmetres dels sistemes que experimenta i no reté sinó els que li aporten un millorament al sistema. Aquests principis estan consignats als seus treballs de 1973, el títol dels quals és ben explícit: *Estratègia de l'evolució. Optimització dels sistemes tècnics segons els principis de l'evolució biològica*. Rechenberg és el fundador d'un dels escassos instituts de biònica: Biònica i Tècnica de l'Evolució, que constitueix un departament de la Universitat Tècnica de Berlín.

## Forma i funció

La relació forma-funció és, sense cap dubte, l'aspecte de la biònica que toca més particularment el dissenyador. I ens volem referir al fet que uns altres aspectes com ara els principis psicoquímics del funcionament d'alguns òrgans sensorials no els toca tan de prop.

Contràriament, una multitud de treballs de biologia tracten del doble aspecte de la relació forma-funció. És el domini de la *morfologia funcional*.

A causa de les seves solucions, sovint inesperades, la natura amaga riqueses que els dissenyadors estarien ben temptats de pouar.

Els models poden oferir unes solucions semblants

amb vista a un problema concret ja que els éssers vius mantenen un parentiu estret. Els biòlegs parlen de *parallelisme*.

D'aquesta manera, els peixos presenten dues menes principals d'aletes caudals: les dels nedadors lents i les dels nedadors ràpids. Per a la nedada lenta, l'aleta és ampla i flexible (carpa xinesa). Al contrari, la que té forma de falç caracteritza els nedadors ràpids com ara la tonyina o el verat.

Succeeix igualment que éssers vius sense parentiu adopten una mateixa solució davant un problema important. Els biòlegs parlen en aquest cas de *convergència*.

L'adopció d'un mateix sistema d'aleta caudal per a la propulsió dins l'aigua pels mamífers (dofins, balenes) i pels peixos és una mostra de convergència.

#### L'aleta caudal: propulsió per baiona

Figura 1:

La natura no coneix el moviment de rotació entorn d'un eix. La propulsió per oscil·lació d'una aleta, tal com la practiquen els peixos i les balenes, presenta l'inconvenient de l'aturada del moviment en cada batuda. Tanmateix, la tècnica ha retingut alguna de les solucions dins el domini de la forma general de l'aleta i la seva flexibilitat igual que del principi de propulsió per oscil·lacions i en l'efecte de «bombar».

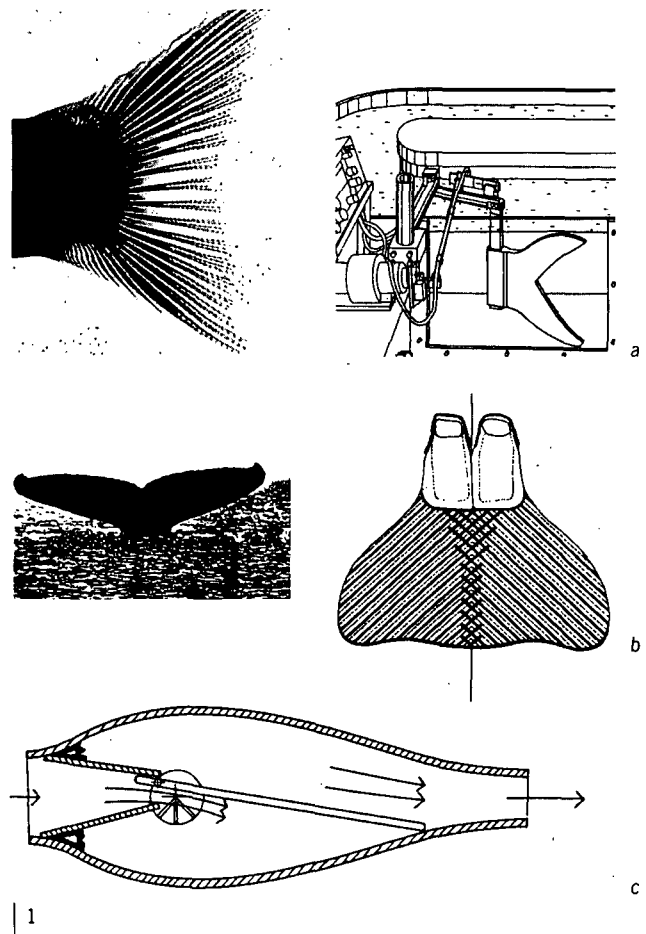
a) Radiografia d'una aleta de truita i, col·locada damunt del seu model, baiona flexible per a la propulsió d'un vaixell (Ingo Rechenberg i Werner Voss, 1982).

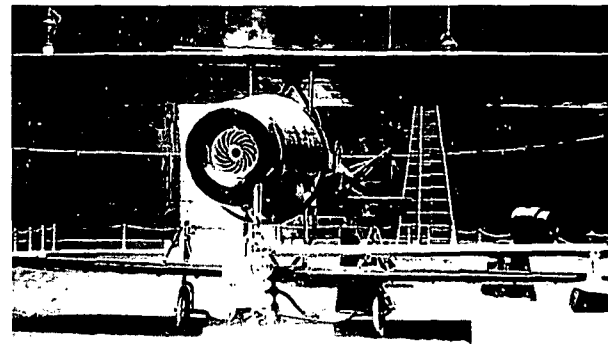
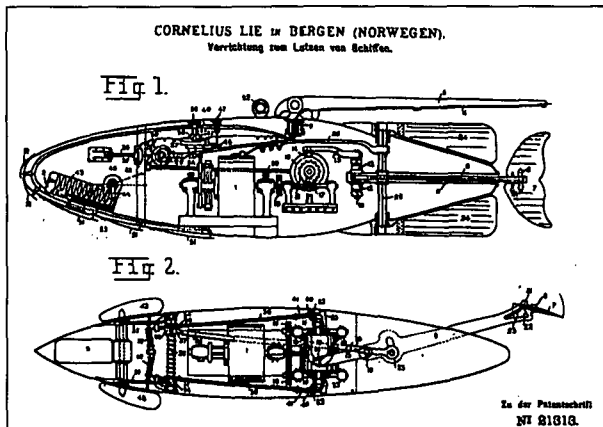
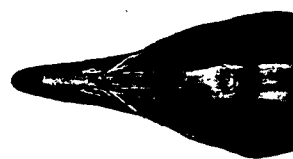
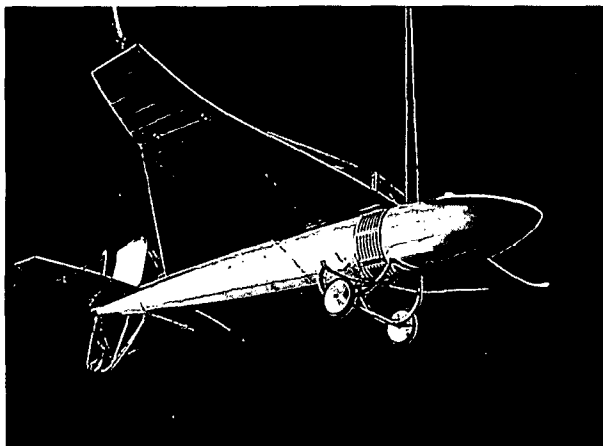
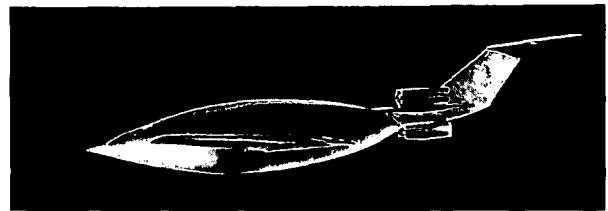
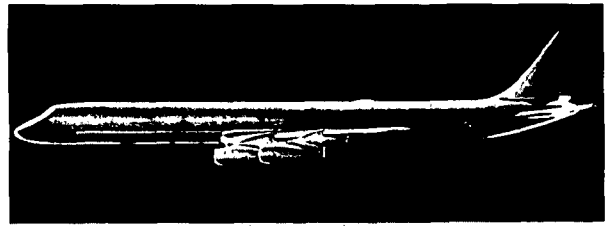
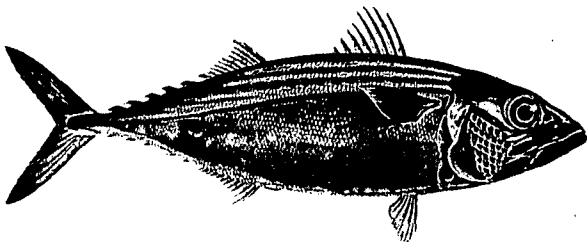
b) Aleta de rorqual blau (vista en escorç) i prototip de monopalma (FFNS, França, 1985).

c) Bomba amb superfície oscil·lant rígida (Klaus Affeld i Heinrich Hertel, 1973).

Sigui el que sigui —tant si es tracta d'un fenomen de parallelisme com de convergència—, la selecció d'una mateixa forma per a una mateixa funció subratlla l'interès del sistema retingut per la natura.

La forma en fus s'ha imposat en tots els nedadors ràpids. Però cal fer atenció al fet que la natura ha anat enllà dels simples avantatges de la forma: posseeix nombrosos sistemes que milloren el lliscament sota l'aigua, entre els quals n'hi ha tres que han donat lloc a tres aplicacions biòniques (figs. 2 i 3):





2

– La pell esmorteïdora visco-elàstica del dofí: revestiment *Laminflo* (per a cascos de vaixell i de submarins).

– El mucus dels peixos ràpids, com ara la barracuda: el *polyox* (òxid de polietilè) per a submarins, «lubrificant» afegit al líquid dels extintors.

– Les microestructures superficials de les escates dels taurons veloços: *revestiments de microsols de 3M/Minnesota* (per a vaixells i avions).

### Els límits de la relació forma/funció

Els biòlegs avisen del perill d'una interpretació massa reduïda que consisteix a atribuir una forma a una sola funció, perquè tothom sap que un organisme ha de satisfer múltiples funcions les exigències de les quals són, de vegades, contradictòries.

Agafem un exemple dels peixos: un nedador veloç com la truita no pot oferir una forma hidrodinàmica ideal que doni lloc a un flux quasi laminar que li permeti de lliscar sota l'aigua sense provocar turbulències. Per a assegurar aquesta propulsió, la truita ha de posseir en primer lloc unes aletes, però també ha de tenir la possibilitat d'alimentar-se, de respirar, de veure-hi... Les aletes, la boca, les ganyes, els ulls, aporten tants de relleus que dificulten el lliscament... I vet aquí que la truita s'aguanta aparentment immòbil, amb el corrent en contra i sense ni tan sols esbossar un moviment.

El físic d'origen romanès Henri Coanda, tot interrogant-se sobre aquest curiós fenomen, va formular la hipòtesi del famós «efecte Coanda»: l'aigua entra per la boca i surt per la clivella de les ganyes tot engendrant entorn del cos del peix un lliscament perfectament laminar que provoca un efecte d'aspiració que li assegura la nedada sense moure's. De fet, encara no coneixem cap verificació d'aquesta hipòtesi pels biòlegs, però Coanda va poder desenvolupar-ne unes aplicacions basades en l'anomenat «efecte Coanda» al seu primer avió turbopropulsat (1910) i en el control «fluídric» (fig. 4).

Els tubs d'escapament dels autobusos de Londres tenen, d'altra banda, un disseny amb «efecte Coanda» que assegura una combustió gairebé total i evita un augment de la contaminació d'aquesta ciutat (cf. P. J. GRILLO, 1960).

L'observació de la natura, doncs, amb un esperit despert pot plantejar qüestions i conduir a una innovació tècnica.

Si hem triat d'il·lustrar aquest capítol sobre les relacions forma-funció amb uns exemples manllevats als problemes de propulsió dins l'aigua, és perquè ens semblen fortament simbòlics de la competició, en el sentit que la competició condueix a la selecció de sistemes més competitius, els que ofereixen la millor relació «qualitat-preu».

### El peix veloç: fuselatge hidrodinàmic

Figura 2:

a) Els peixos veloços, com aquest verat Loo, presenten uns perfils biconvexos característics d'una bona penetració dins l'aigua.

b) La mateixa forma pot aplicar-se igualment a un altre «fluid» com l'aire. L'avió Aérotopille dels enginyers V. Tatin i L. Paulhan, de 1911, posseeix un fuselatge que recorda la forma d'un peix i és propulsat per una hèlix muntada «a la cua».

c) Peix pilot mecànic per a guiar els navilis, patentat el 1905 pel noruec Cornelius Lie.

### El dofí: un fuselatge hidrodinàmic

Figura 3:

a) Avió clàssic de fuselatge cilíndric, un DC8.

b) Maqueta de silicona d'un dofí per a estudis d'hidrodinàmica.

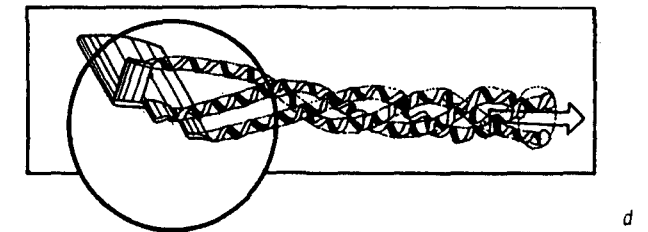
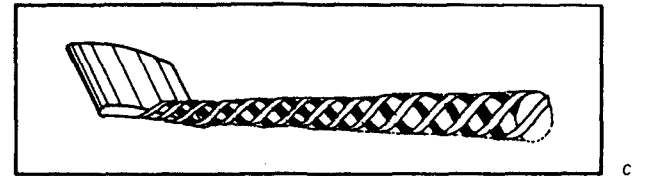
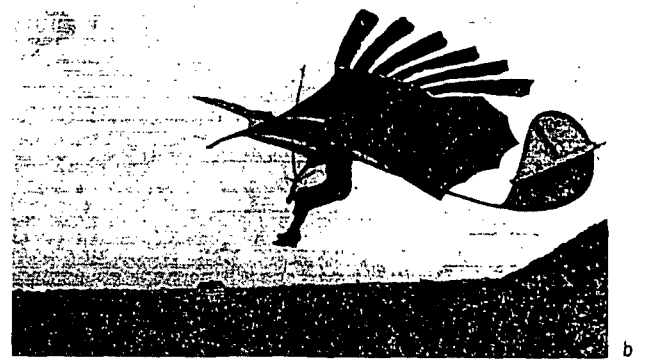
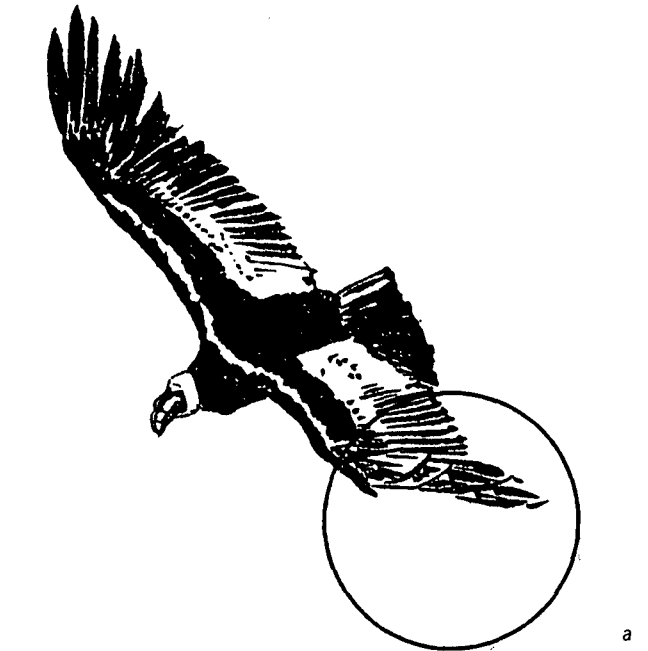
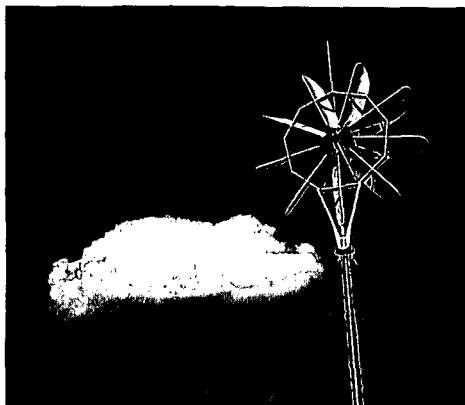
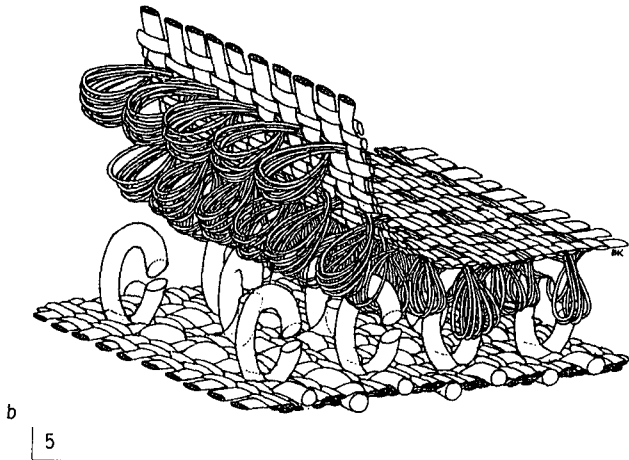
c) Projecte d'avió amb perfil anomenat *laminar*, inspirat en el del dofí (H. Hertel, P. Thiède, K. Affeld, G. Clauss, de l'Institut d'Aeronàutica de Berlín, IL-TUB, 1966-1969).

d) Una depressió sota la protuberància de la cabina de pilotatge d'un avió pot corregir la pertorbació del fregament causat per l'element sortint, en relleu. Projecte de Heinrich Hertel posterior a les seves observacions sobre la forma del meló i l'airejament del dofí (1969).

### La truita immòbil contra el corrent: un «efecte Coanda»?

Figura 4:

El primer avió turbopropulsat de la història de l'aviació, construït per Henri Coanda, exposat al Saló de l'Aeronàutica de París el 1910. Segons l'amic de



l'enginyer, el dissenyador Jacques-Paul Grillo, es tractaria d'una invenció biònica. Coanda hauria formulat la teoria de l'efecte que porta el seu nom tot observant peixos ràpids a alta mar i truites als rius i reflexionant el paper hidrodinàmic de la clivella de les ganyes.

Paral·lelament als nostres propòsits, no podem deixar d'aportar el testimoniatge d'autors que han donat anomenada al camp del disseny i de la biònica.

### De la utilitat de la recerca en història natural

[...] Les recerques d'història natural, fins i tot les que no semblen fruit d'una pura i vana curiositat, poden tenir utilitats ben reals que bastarien per a justificar-les davant els qui voldrien investigar tan sols coses útils. Abans de blasmar-les, caldria la paciència d'esperar que el temps ensenyi les utilitats que se'n puguin extreure [...] (René-Antoine Ferchault de Réaumur, *Història de les vespes* [1719]).

Devem a Réaumur la reinvençió del paper a base de fibra de fusta —tècnica practicada des de fa més de mil cinc-cents anys a la Xina, però desconeguda a Europa. L'observació de les vespes tot fabricant pasta de fusta per a la construcció dels seus nius va inspirar a Réaumur la idea de substituir les teles per unes matèries vegetals més barates. Tanmateix, tan sols 135 anys després de la seva proposició va ser fabricat el primer desfibrador de fusta (Gottlieb Keller, a Alemanya).

### El «disseny» del món viu

Des de temps immemorials, l'home ha acostumat a explicar els fenòmens del món viu mitjançant la «causa final», el concepte teleològic del fi, del propòsit o del «disseny», en alguna de les seves múltiples formes (perquè les seves disposicions són nombroses).

[...] el camí del físic és cercar no tan sols els fins, sinó més aviat els antecedents; troba les «causes» en allò que ha après a reconèixer com a propietats fonamentals o concomitants inseparables o lleis invariables de la matèria i l'energia (D'ARCY THOMPSON, 1917: I, 5-6).

### La bardana, un sistema d'enganxament

Figura 5:

La bardana, *Arctium lappa*, fotografiada a la tardor (a). El suís Georges de Mestral va patentar el 1951 la cinta *Velcro* (*velours* «vellut» + *crochets* «ganxets») després d'inspirar-se en el sistema d'enganxament de les fructificacions d'aquesta planta. Una part de la cinta porta uns rínxols seccionats que fan el paper dels ganxets, semblants als ganxets flexibles de la planta; l'altra part està dotada amb rínxols fins semblants als de la folradura de pell d'un animal, en la qual els ganxets poden enganxar-se. Adoptat en primer lloc per la NASA, aquesta invenció biònica ha conquerit a poc a poc tots els sectors de la nostra vida quotidiana: el sistema no necessita cap instal·lació especial (b).

### Rèmiges angulades: «reactor» a l'extrem de l'ala

Figura 6:

Molí de vent «Berwian», d'Ingo Rechenberg. Explota l'efecte de remolí compost. Els extrems de l'ala actius són girats cap al centre, on hi ha col·locada la turbina. El molí de vent va ser optimitzat pel mètode de l'«estratègia de l'evolució» a diferents nivells (nombre i posició de pales, perfils, etc.).

Figura 7:

Ingo Rechenberg, de l'Institut de Biònica de Berlín, ha demostrat que les rèmiges, plomes grans situades a l'extremitat de les ales d'ocells grossos com ara els rapaços, redueixen les pèrdues d'energia.

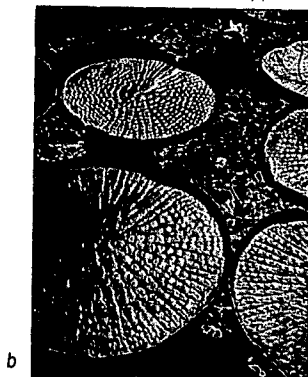
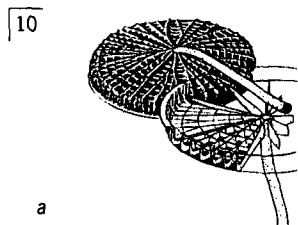
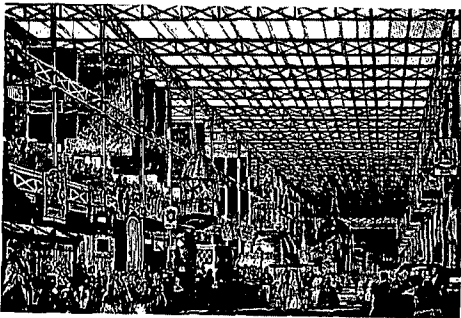
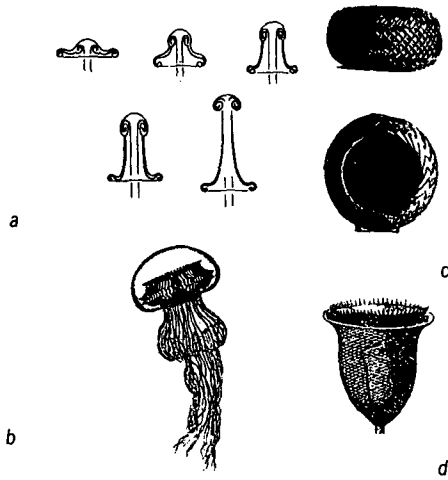
Llur disposició en cascada condueix a la formació de remolins marginals que s'organitzen tots sols fent una mena de trena helicoidal a l'interior de la qual la columna d'aire axial està accelerada. Se'n segueix un efecte de reactor a l'extrem de l'ala.

a) Còndor dels Andes.

b) «La Cigonya», planador experimental d'Otto Lilienthal (1894).

c) Remolí marginal simple en un extrem d'ala truncat que provoca una gran pèrdua d'energia.

d) Remolí compost que mostra el paper dels «winglets» múltiples, anàlegs a les plomes rèmiges dels ocells.



## Principis físics del vol

L'home ha fet milers de temptatives per a imitar els ocells. El gènere humà ha fabricat i ha posat a prova un nombre infinit d'ales i les ha rebutjades ràpidament. Tot, tot ha estat debades i sense utilitat a l'hora d'aconseguir aquesta fita tan ardorosament esperada.

El vol lliure de veritat ha estat, com fa milers d'anys i fins avui dia, tot un problema per a la humanitat.

No resta sinó renunciar del tot als mitjans de sustentació per mitjà de gasos lleugers: hem de renunciar a l'ús de globus i explotar aquests efectes grandiosos del vol del món animal. Només ens resta servir-nos d'un mètode de vol en què no es facin servir sinó ales poc gruixudes, que ofereixin molt poca resistència a l'hora de penetrar a l'aire en direcció horitzontal.

Els animals voladors són capaços d'enlairar-se i d'efectuar una propulsió ràpida a través de l'aire. Si volem, doncs, aprofitar també els avantatges d'aquest principi, convindrà trobar l'explicació correcta d'aquest efecte de vol. La reducció d'un efecte com aquest a la seva causa primera es fa mitjançant el coneixement just del seu procés mecànic. I la mecànica, la ciència dels efectes de les forces, és el que ens dona els mitjans d'explicació d'aquests mecanismes.

L'art del vol és, doncs, un problema el tractament científic del qual depèn essencialment dels coneixements de la mecànica. Les reflexions que hi calen són, tanmateix, de mena relativament simple, i només per això ja val la pena de donar un cop d'ull a les relacions entre l'art de volar i la mecànica (LILIENTHAL, 1889 : 6-7).

## Principis de morfologia

Quan sentim dir a un biòleg per primera vegada i en un llenguatge entenedor que, darrera la forma d'un animal, cal veure-hi sempre una funció; o fins quan insisteix d'una manera precisa en la relació que lliga la forma del cos i la seva activitat funcional, acostumem a sentir-nos desorientats per la multiplicat d'imatges que evoquem tot d'una.

Fixem-nos-hi: esquelets, moviments de rodament, ones líquides, gravetat, vent, tensió superficial, guerxa, dilatació o retractació paral·lela, creixements diversos, remolins, pressions, etc. Cadascuna de les formes que hem vist té associat, efectivament, quelcom que funciona, un *funcionament* [...].

Amb les *cadenetes* tenim la gravetat, és a dir, un règim de forces constants i paral·leles; i amb la vela inflada, que té també un perfil de cadeneta, tenim igualment



un règim de forces constants i paral·leles, el del vent regular [...].

Amb les *espirals logarítmiques* i les *superfícies espirals* tenim un fenomen que es renova, sempre semblant a ell mateix.

D'on surt aquest segon punt: quan dues o més formes són de la mateixa espècie, *pot* haver-hi *quelscom* de comú amb els funcionaments respectius corresponents [...].

En realitat, qualsevol pronòstic és impossible. I és indispensable, en presència de dos funcionaments que tenen alguna cosa en comú, precisar aquesta «alguna cosa», si existeix, i determinar-ne rigorosament els límits.

Segons el que acabem de dir, dubtem de fins a quin punt la simple «semblança» pot ser encara més perillosa (MONOD-HERZEN, 1956 : 144-145. Vegeu fig. 8, que il·lustra alguns exemples citats).

## Analogies entre fenòmens físics o realitzacions tècniques i organismes

Figura 8:

(a-b) Hidromedusa, *Polycanna germanica* (Haeckel) i evolució d'un remolí en un líquid (K. Mack). (c-d) Sistema de geodèsiques encreuades sobre les parets d'una vorticel·la, animal aquàtic unicel·lular microscòpic (Shaefer), i sobre una cistelleria japonesa.

Figures extretes de l'obra d'É. Monod-Herzen (1956).

## De la riquesa de les formes naturals

L'observació de les formes naturals ofereix un suport meravellós: hi distingim una font inexhaurible de combinacions al servei de la vida. A l'admirable obra *Growth and Form*, de D'Arcy Thompson, hom descobreix una riquesa extraordinària de formes naturals i l'estudi de llur creixement. Com no hem d'esmentar també els treballs de Monod-Herzen, que va ser el primer d'assenyalar els problemes plantejats per aquests delicats i estranys organismes anomenats radiolaris?

Cap arquitecte no pot ignorar el treball del zoòleg Ernst Haeckel, un repertori prodigiós de formes i de temes constructius, des de les arborescències múltiples fins als reticles més complicats. Tinc la convicció que el futur de les estructures es troba reclòs en aquestes misterioses propostes.

La natura ens ofereix un ventall de secrets que no

seran revelats si no és amb molta paciència i estimació [...] (LE RICOLAIS, 1935-1969).

## La fulla d'un nenúfar gegant: arquitectura de nervadura

Figura 9:

Vista interior del Crystal Palace de Londres, construït per Paxton el 1851 per a albergar-hi l'Exposició Universal. Remarquem-ne els suports múltiples, que es corresponen igualment amb el principi estàtic de la fulla flotant de la *Victòria amazònica*, en què aquesta construcció s'inspira: la fulla no és pas una estructura voladissa sobre la seva tija, sinó que tota la nervadura de la superfície es repenja sobre l'aigua.

Figura 10:

a) La fulla flotant del nenúfar gegant *Victòria amazònica* pot assolir un diàmetre de dos metres. La seva rigidesa és deguda a les nervadures radials i a les nervadures concèntriques de la cara inferior, com també a la vora cargolada cap amunt.

b) Nenúfar fotografiat en un hivernacle del cèlebre jardí botànic de Kew, prop de Londres.

c) Hivernacle de teulada fent plecs, tot vidriat, construït pel jardiner i arquitecte aficionat Sir Joseph Paxton a Chatsworth, el 1849. Aquest hivernacle, els principis de construcció del qual s'inspiren en la fulla de la *Victòria amazònica*, obria la via a la industrialització en matèria de construccions lleugeres i va constituir el precedent del Crystal Palace de Londres.

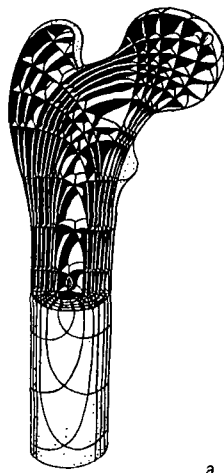
## Carcassa ossosa: ordenament òptim de la matèria

Figura 11:

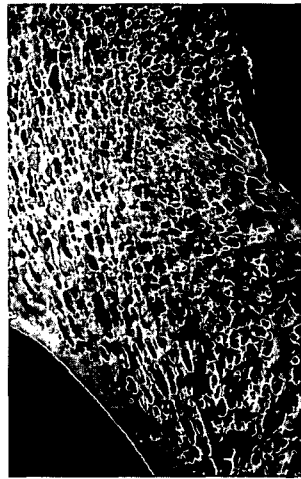
a) Representació esquemàtica de la distribució de la matèria ossosa a l'interior d'un fèmur humà.

b) Secció d'un fèmur. S'hi fan aparèixer les fines fibres o làmines denominades *trabècules*, de l'os *esporífer*.

c) Capaç de reaccionar a les contraccions mecàniques reals (pes del cos que hi incideix obliquament, tracció dels músculs, etc.), aquesta matèria es distribueix constantment orientant els elements de la seva carcassa tot al llarg de les línies mitjanes de les forces (per dipòsit, per reducció de matèria...).



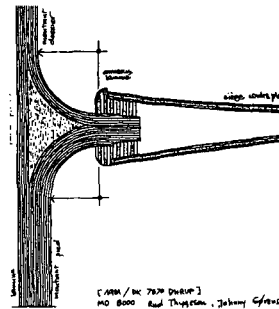
a



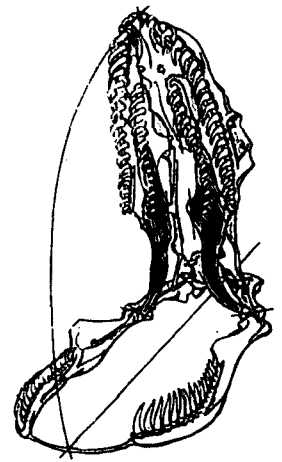
b



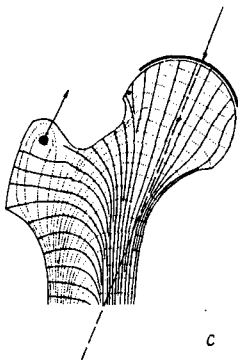
a



b



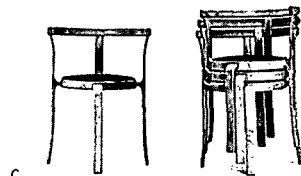
d



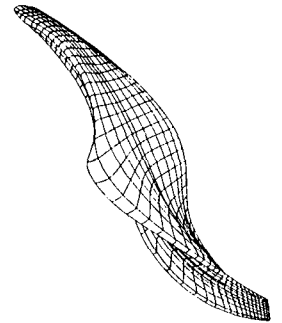
c



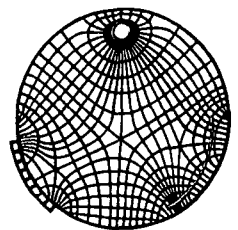
e



c



e



d

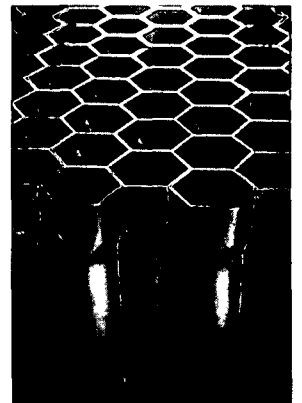
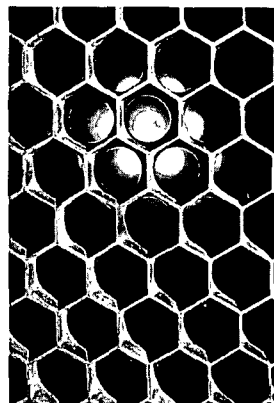


f

11

12

13



d) Traçat de les nervadures dites *isostàtiques* d'un plafó de ciment armat, a l'Auditori de Biologia de la Universitat de Freiburg im Breisgau, a Alemanya. El principi estàtic reprèn una tècnica que aplica aquest principi de la distribució «natural» de la matèria que va ser patentat per l'arquitecte italià Pier Luigi Nervi el 1950.

e) La torre Eiffel (1889) de París deu el seu «diseny» a un alumne de Culmann, l'enginyer alsacià Maurice Koechlin. Una distribució ideal de la matèria garanteix l'eficàcia de la mecànica de la torre, de 300 metres d'alçària: les seves 7.000 tones d'acer es podrien entaforar dins un cub que mesurés tan sols  $10 \times 10 \times 10$  metres!

### Mínim i màxim, òptim

La noció «estructura» envaeix el camp dels nostres coneixements. De fet, més que l'estructura en si mateixa, importa molt més, si em permeteu el pleonasme, l'Estructura de les Estructures. Veiem dibuixar-se una mena d'evolució intel·lectual en què la *qualitat* preval damunt la *quantitat*, amb el sorgiment de la *noció matemàtica de la variació*.

Ha estat justament remarcat que la naturalesa mateixa dels objectes que prenem en consideració importa menys que llurs arranjaments. I, més enllà de qualsevol analogia poètica, les formes, les substàncies, la vida mateixa, no són més que els resultats d'aquests arranjaments...

Els canvis són una constant del nostre univers. L'única esperança de comprendre-la és estudiar el que roman invariable en el decurs d'aquests canvis. A través de les èpoques, el desig del constructor és sempre el mateix: *franquejar llums immenses amb materials imponderables, és a dir, de poc pes* (LE RICOLAIS, 1935-1969. En unes altres ocasions —«El desig del constructor»— s'ha expressat d'una manera encara més punyent: *espais infinits, pes nul*).

[...] els autors Stefan Hildebrandt i Anthony Tromba ens donen una reflexió sobre la simetria i la regularitat de les formes de la natura. Encara que sovint es veuen amb facilitat, aquestes formes i aquests models no sempre es poden explicar fàcilment. Hi ha lleis universals simples que ens permetin comprendre'ls? [...]

És la història del desenvolupament de la branca de les matemàtiques que s'anomena càlcul de variacions, que tracta de qüestions d'optimització —trobar formes o models que maximitzen o minimitzen una quantitat particular. És l'ígü la forma òptima de casa que dona

el mínim de pèrdua d'escalfor cap a l'exterior? És veritat que les abelles empen la quantitat mínima possible per a la construcció de les seves cèl·lules hexagonals? Encara més: existeix un principi subjacent que descriu la varietat infinita de les formes del nostre món?

Aquestes preguntes no tenen respostes finals, però els científics continuen explorant la idea que la natura es regeix pel principi de l'economia de mitjans —que la natura va fent de la manera més senzilla, més eficaç [...] (HILDEBRANDT & TROMBA, 1985. Text introductor de la coberta).

### Os helicoidal de la serp pitó i juntura tronc-branca d'un arbre: perfils elàstics molt resistents

Figura 12:

a-c) Els dissenyadors danesos Rud Thygesen i Johnny Sørensen van saber donar a aquest seient de fusta lleugeresa, solidesa i sobrietat econòmiques tot tenint cura particularment del punt d'inserció del peumascle del respatllet a l'anell horitzontal del seient. Van imitar la juntura d'una branca i un tronc d'arbre, on «la natura resol aquest problema gràcies a l'astuta disposició de les fibres i unes proposicions justes» (1981, dins J. BERNSÉN, 1983).

d) L'os del pterigoide, al darrere de la mandíbula superior de la pitó, constitueix, amb el seu os quadrat, una articulació doble molt particular que permet a la serp d'ingerir preses d'un volum considerable en un sol tros.

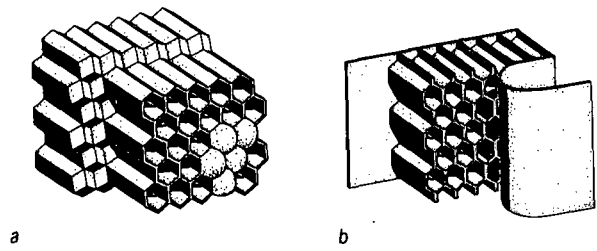
e) Pla geomètric del perfil helicoidal de tres branques.

f) Projecte de cadires de fibra de vidre i poliester, per Fabrice Vanden Broeck (1984). Alguns detalls, sobretot pel que fa referència a les juntures peu-seient i peu-seient-respatller, s'inspiren en l'os del pterigoide, on s'exerceixen unes contraccions semblants.

### El niu d'abelles: mínim de matèria, òptima resistència mecànica

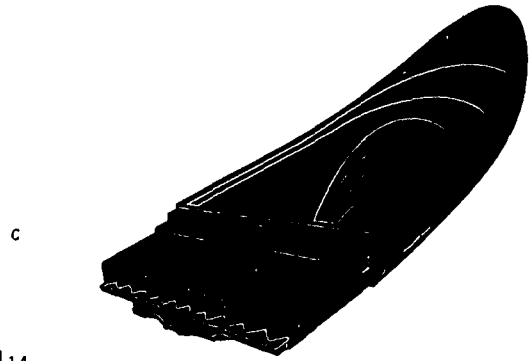
Figura 13:

Prototip de feix alveolar per al sistema de refrigeració d'una central tèrmica (1989). El dissenyador Norbert Linke, de General Electric Plastics, dels Països Baixos, acabava d'assistir a una conferència on un de nosaltres (B. Kresling) havia fet la demostració de



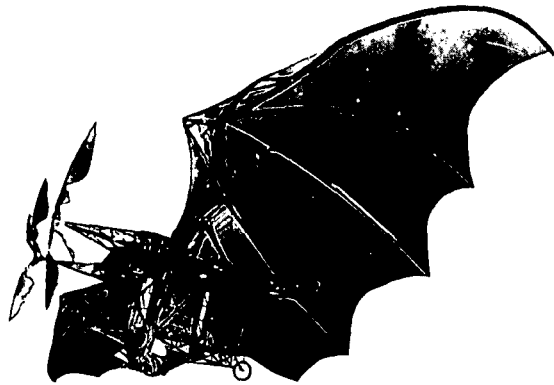
a

b



c

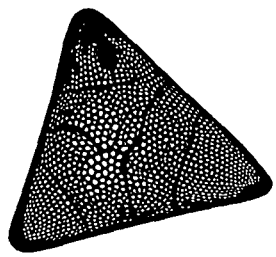
14



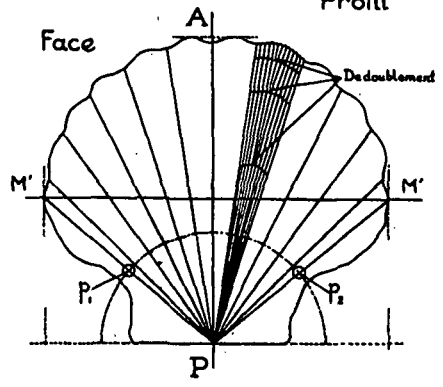
15



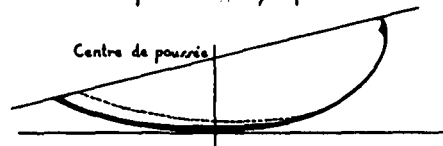
16



Profil

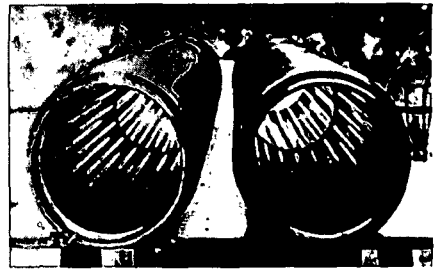


Courbe d'épaisseur lytique



Centre de poussée

a



b



c

17

l'evolució soferta per l'art de construir de les abelles, des de les cel·les juxtaposades de les abelles solitàries fins a les cel·les agrupades de les abelles socials.

Figura 14:

a) Principi d'agrupament dels alvèols de les abelles socials. El fons comú és gofrat. Aquesta solució garanteix una excel·lent relació «economia de matèria - estabilitat del conjunt».

b) Estructura sàndvitx tècnica amb paraments plans.

c) Estructura sàndvitx d'un esquí nàutic amb intercalacions en niu d'abella (*Reflex*, Grup Zodiac, França).

L'ala del rat-penat: vol batut o vol planat?

Figura 15:

Malgrat els problemes d'estabilitat de vol que plantejava aquest enginy, el «rat-penat» (avió núm. 3) de Clément Ader (1893-1897) és una obra mestra d'enginyositat. Construït amb uns «ossos» buits, fusta i suro, l'avió no pesava sinó 450 kg tot i la seva envergadura imponent de 15 metres.

La perfecció de les closques

Figura 16:

Les closques més antigues de l'univers són les crostes dels estels que es refreden [...]. Poden ser comparades a la closca d'un ou: es formen a la superfície de gotes líquides en moviment. En la més llunyana prehistòria, fa uns 400 milions d'anys, la natura viva va aprofitar el fet que una estructura corba és de 50 a 100 vegades més resistent que una estructura plana del mateix gruix. Això significa que l'embolcall protector dels microorganismes fràgils tant pot reduir la despesa de material i de pes com obtenir un grau superior de protecció. Això ha comportat una veritable explosió de la difusió de les estructures en closca [...]. En concret, estructures així constitueixen força cadenes muntanyoses de la Terra. Els llits sedimentaris poden assolir 1.000 metres de gruix i estendre's al llarg de centenars de quilòmetres.

Les closques són omnipresents a totes les natures viues: la closca d'ou, les cuirasses quitinoses dels coleòpters i d'uns altres insectes, la cavitat craniana en volta,

les cuirasses protectores de les tortugues, els becs dels ocells i la major part dels ossos són estructures tubulars; per tant, doncs, de closca igual que les canyes del blat, del blat de moro o del bambú. Els grans de les llavors es protegeixen amb càpsules de parets menudes, les nous són embolcallades per closques coriàcies i, com diu el proverbi, «té la closca dura com la nou».

L'observació més sorprenent que vaig poder fer era que pràcticament tots els pètals o calzes de flors eren unes closques. Sigui el simple pètal d'una flor de cirerer, la campana d'una didalera, el calze d'un lliri, d'una tulipa o d'un jonquill de bosc, la forma complexa d'unes sabates de Venus o d'uns botons de gos o totes les variants de les meravelloses orquídiades, totes aquestes flors són closques de parets menudes amb doble curvatura. Des d'un punt de vista de l'estàtica, són molt refinades i capaces d'aguantar vents molts forts amb una despesa mínima de matèria. A més, no tenen més que un sol punt de suport, cosa que encara no sap imitar la tècnica dels nostres enginyers. L'ur disseny mostra un aixecament o un abaixament del límit de la closca, el mitjà més simple de reforçar-ne la vora (i d'evitar posar-hi una biga pesant).

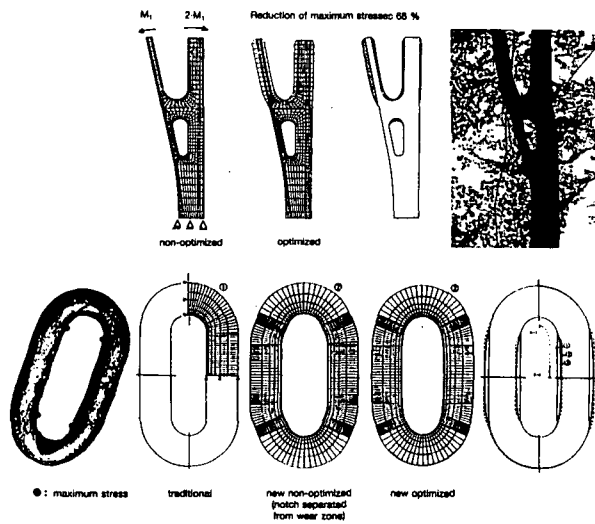
Em penso que les flors —les plantes vivaces o llenyoses— no presenten solament la mena de closca més habitual, sinó que són també les de bellesa més gran. Ofereixen una perfecció suplementària: Són *estructures cinètiques*. Segons la necessitat, poden variar llur forma a fi d'obrir o de tancar la flor, o a fi d'ajudar el procés de pol·linització. D'aquesta manera podem observar que, quan un insecte penetra dins una flor com ara la boca de conill, hi desencadena tot un mecanisme pel simple fet del canvi de curvatura de la profunditat de la corol·la. Aquesta idea tampoc no ha trobat cap aplicació en el camp de la construcció. Però la possibilitat és ben real i la transformació de la forma podria fer-se sense danys o pèrdues: només caldria desplaçar els punts de suport. Força innovacions interessants ens esperen [...] (ISLER, 1989 : 135-136).

La petxina pelegrina: ondulacions superposades

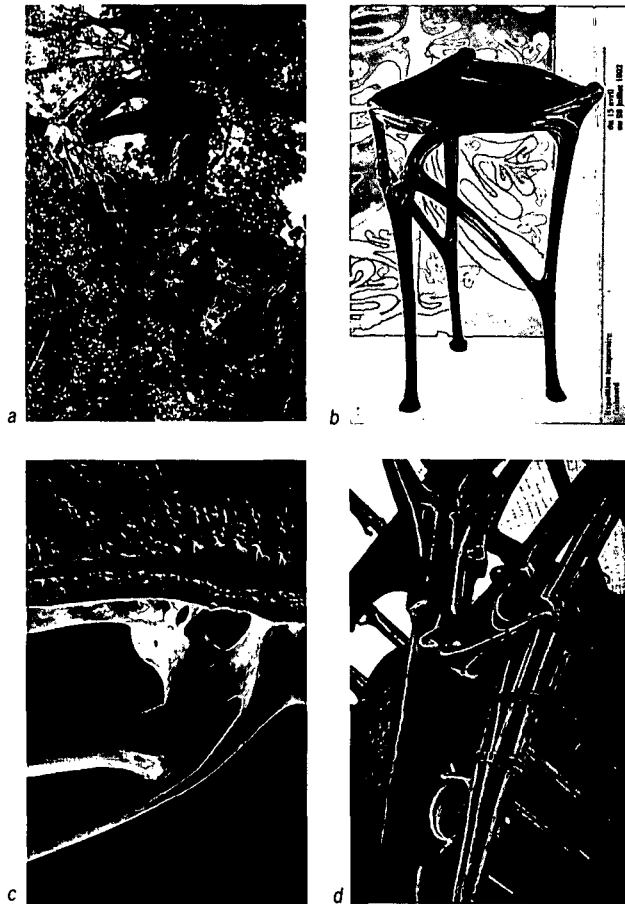
Figura 17:

a) Dibuix de l'enginyer francès Robert Le Ricolais de la petxina pelegrina, *Pecten jacobaeus*. A les ondulacions de la valva, corba, s'hi superposen unes canaletes fines que van augmentant amb el creixement de la petxina.

b-c) Le Ricolais va aplicar el principi estàtic d'aquesta petxina —corbes oposades i ondulacions encruades— a unes formes cilíndriques com els arbres



18



19

de les naus o els plafons compostos (1935). El plafó Isoflex, un sistema de xapes ondulades encreuades i ajuntades per soldadura, és set vegades més resistent a la torsió que una xapa ondulada plana.

### L'ordinador a l'escola de la natura

Avui dia, qui vol desenvolupar un nou model d'automòbil no intenta penetrar d'antuvi tots els secrets del disseny de les calesses de correus per tal de refer tot seguit dins el seu cap tots els models essencials de la història de l'automòbil i trobar, a la fi, que arriba amb un retard considerable al problema pròpiament dit. Haurà d'examinar, més aviat, els models millors oferts pel mercat i treballarà per trobar-hi on pot millorar-los; millora que introduirà en el seu propi model, portador de l'esperança. Partirà, doncs, del més bon disseny conegut i en compararà les prestacions amb el seu projecte.

És encara més sorprenent que s'hagi invertit —fins no fa gaires anys— amb tant de dubte el *money and man-power* en l'estudi del disseny de la natura, al qual no es pot aportar gairebé cap millorament. Evidentment, qui desitja obtenir, per exemple, un filaberquí òptim, ultralleuger, durador, pot escorcollar força estona piles d'ossos o elements arboris abans d'obtenir —si mai arriba a trobar-la— alguna cosa vàlida per a emportar-se a casa.

Ara bé, el dubte sobre si les funcions a les quals està adaptat actualment l'element biològic es corresponen amb les condicions a què serà sotmès el filaberquí en el seu ús habitual, tal com està previst, enfosquirà els pensaments de l'optimista més notable i el posarà neguitós. El problema és, doncs, que un element constructiu singular (biològic) no pot ser copiat ni és cap mena de *prêt-à-porter*. Partint d'aquí, el problema es planteja de tota una altra manera: es tracta de crear un mètode susceptible de furnir uns components de lleugeresa i durabilitat comparables als del disseny biològic. Amb el mètode esmentat no cal anar a parar per força al fèmur d'un gos, a les grapes d'un tigre o a l'ala d'un ocell, però ens ajudarà a dissenyar un filaberquí que ofereixi totes les qualitats característiques d'un disseny biològic. Aquest problema va ser resolt al KfK (Centre de Recerques Nuclears de Karlsruhe) amb el desenvolupament del mètode CAO (Computer Aided Optimization). Per tal d'oferir la prova que aquest mètode estableix realment el punt òptim d'una configuració biològica per mitjà d'una construcció per ordinador, va ser verificat aplicant-lo a nombrosos exemples biològics. Hom va demostrar que, mitjançant el CAO, es podien

simular perfectament tant la cicatriu deixada per una branca al tronc d'un arbre com la configuració d'unes arrels determinades o la de les insercions de les branques en un arbre. S'hi poden simular també perfectament la forma d'una urpa de tigre o d'ós, les formes de les espines d'una planta i el procés de guariment de fractures d'ós, etc. Per això podem afirmar que el mètode CAO és apte per a fer desenvolupar uns components determinats de les màquines vers una optimització biològica (MATTHECK, 1992 : 14).

## Arbres: models per a la indústria

### Figura 18:

a) Formació accidental d'un encanyissat en un castanyer per mitjà d'una branca que en posa en contacte les dues branques principals.

b-d) El físic Claus Mattheck ha imposat com a «deure» al mètode CAO d'optimitzar un detall semblant en què dos cilindres són ajuntats per un travesser i als quals es demanen les mateixes prestacions mecàniques que l'arbre en la natura. Les zones d'expansió dels anells de creixement corresponen a un dispositiu que impedeix l'aparició de contraccions excessives. L'acumulació de matèria al cap dels anys no és sensible sinó a les zones lliures dels troncs i a la mateixa juntura. El sistema CAO, havent après dels arbres a optimitzar estructures, pot preveure, doncs, els fenòmens en uns altres casos: l'eficàcia del mètode CAO es demostra i l'esguard del dissenyador s'afina...

e-i) Optimització d'una anella de cadena pel mètode CAO (C. MATTHECK, 1992, FEM: Susanne BURKHARDT, Juergen SHAEFER).

### Figura 19:

El «biodisseny» de l'*Art Nouveau* introdueix formes «vegetals» en la producció industrial a partir de la preocupació per voler donar elegància i aparença de lleugeresa. Des del punt de vista tècnic, les construccions com ara els edicles de les estacions del metro de París (1900) o els mobles d'Hector Guimard són de la mena «pal i nus». Gràcies a les juntures acurades i a una triangulació sistemàtica dels elements, aquestes estructures són millors que les dissenyades amb el compàs. Però les formes no tradueixen exactament les de les plantes, que no coneixen una triangulació si no és per atzar o accident (la foto mostra la branca d'un gran plataner, a l'avinguda de Foch de París). Sens dubte, el

detall de la palangana de l'emú s'acosta encara més a les estructures metàl·liques de Guinard. La imitació d'aquestes formes biològiques no es justifica, tanmateix, sinó en la mesura que s'hagi tingut en compte l'entorn mecànic de l'estructura natural (músculs, punts de suport...). El mètode CAO pot intervenir en aquestes aproximacions.

## Bibliografia

- D'ARCY WENTWORTH THOMPSON (1917), *On Growth and Form*. Segona edició 1942, reimpressió 1979. Cambridge University Press, Cambridge.
- BERNSEN, Jens (1983), *Design - The Problem comes First*, Danish Design Council, Copenhagen.
- BOUGRAIN-DUBOURG, Allain; i KRESLING, Biruta (1987), «Présentation de la Bionique», dins NACHTIGALL, W., *La nature réinventée*, Plon, París, pp. 7-37.
- COINEAU, Yves; i KRESLING, Biruta (1987), *Les inventions de la nature et la Bionique*, Hachette, París.
- GÉRARDIN, Louis (1968), *La bionique*, Hachette, París.
- GRILLO, Paul-Jacques (1960), *What is Design?*, Theobald, Chicago (republicat 1975: *Form, Function and Design*, Dover, Nova York).
- GUINET, Pascal (1984), *Contribution de l'anatomie à l'architecture*, tesi de doctorat en medicina, Cochin, Port-Royal, París.
- HAECKEL, Ernst (1899-1904), *Kunstformen der Natur*, Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig (reimpressió 1975: *Artforms in Nature*, Dover, Nova York).
- HERTEL, Heinrich (1963), *Struktur, Form, Bewegung*, Krausskopf, Mainz (edició en anglès 1966: *Structure, Form and Movement*, Reinhold, Nova York).
- HILDEBRANDT, Stefan; i TROMBA, Anthony (1985), *Mathematics and Optimal Form*, Scientific American Books, Inc.
- ISLER, Heinz (1989), «Geschichte und Entwicklung der Schälen Konstruktionen», dins *Natürliche Konstruktionen*, Universitäten Stuttgart, Tübingen, SFB 230, 3, pp. 133-153, Procediments del simposi internacional 26/9 - 29/9 1988, 2a. part.
- JOEDICKE, Jürgen (1962), *Schalenbau, Konstruktion und Gestaltung*, Krämer, Stuttgart.
- LE RICOLAIS, Robert (1935), «Les tôles composées et leurs applications aux constructions légères», dins *Bulletin des Ingénieurs Civils de France*, París (maig-juny).
- (1935-1969), «Études et recherches», dins *Edizioni di Comunità*, Milà, 1973.

- (1940-1941), «Essai sur les systèmes réticulés à trois dimensions», dins *Annales des Ponts et Chaussées*, París (juliol-agost 1940 - setembre-octubre 1941).
- LILIENTHAL, Otto (1889), *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst* (reimpressió Sändig, Walluf, Nendeln, 1977).
- MATTHECK, Claus (1990), «Engineering Components grow Like Trees», dins *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 21, pp. 143-168.
- (1992), *Design in der Natur - Der Baum als Lehrmeister*, Rombach, Friburg.
- (1993), «Biomechanics», dins *Bionics, Nature's Model, Pro Futura*, Munic, WWF, pp. 178-199.
- MONOD-HERZEN, Édouard (1956), *Principes de morphologie générale*, Gauthier-Villars, París.
- NACHTIGALL, Werner; i KRESLING, Biruta (1992), «Bauformen der Natur, Teil I: Technische Biologie und Bionik von Knoten-Stabträgerwerken», dins *Naturwissenschaften*, 79, pp. 193-201; «Bauformen der Natur, Teil II: Technische Biologie und Bionik von Platten- und Faltkonstruktionen», dins *Naturwissenschaften*, 79, pp. 251-259, Springer, Heidelberg.
- NERVI, P. L., et al. (1950), «Perfezionamento nella costruzione di solai, volte, cupole, traviparete e strutture portanti in genere a due o tre dimensioni, con disposizione delle nervature resistenti lunge di linee isostatiche dei momenti o degli sforzi normali», *Brevet Italien*, núm. 455, p. 678.
- RAMM, Ekkehard; i SCHUNK, Eberhard (1986), *Heinz Isler, Schaler*, Katalog zur Ausstellung, Karl Kramer, Stuttgart.
- RAMM, Ekkehard, et al. (1988), «Strukturoptimierung», dins *SFB 230, Natürliche Konstruktionen*, 2, pp. 27-42, Universitäten Stuttgart, Tübingen.
- RECHENBERG, Ingo (1973), *Evolutionsstrategie. Optimierung Technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Fromann-Holzboog, Stuttgart, Bad Ganstatt.
- THIEBAUD, Philippe (1992), *Guimard, catalogue de l'exposition*, Musée d'Orsay, París.
- VANDEN BROECK, Fabrice (1981), *Fonction, matériaux, forme: Le ptéridoïde du python molure*, École Cantonale des Beaux Arts et d'Art Appliquée, Lausanna.

## Biónica y diseño: testimonios de la evolución de esta aproximación

Las investigaciones de historia natural, hasta las que no parecen ser más que pura y vana curiosidad, pueden tener utilidades muy reales...

René-Antoine Ferchault de Réaumur  
*Historia de las Avispas* (1719)

La biónica es una ciencia relativamente reciente, definida tan sólo en 1960 por Jack E. Steele de la fuerza aérea de los Estados Unidos, después del congreso de Dayton, Ohio:

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 hasta que son análogos a ellos (citado en GÉRARDIN, 1968).

En otras palabras, la biónica es la ciencia que busca entre los seres vivos, animales y vegetales, modelos de sistemas en vista a realizaciones técnicas. Esta preocupación está muy cercana a la del diseñador.

La biónica, sin embargo, fue practicada mucho antes de su definición oficial. Se podrían sacar de la historia del arte y de las técnicas una serie de ejemplos que atestigüen el interés del hombre por los modelos naturales desde la más remota antigüedad. Algunos, como Dédalo e Ícaro, a quien se atribuye la invención de dispositivos de vuelo inspirados en los pájaros y la construcción de robots, nos han llegado tan sólo a través de los mitos.

### Diseño del Renacimiento y renacimiento del diseño

No se puede dudar de que el testimonio más concreto —y el más perturbador— es Leonardo da Vinci, quien contempla al mismo tiempo el marco estricto de la biónica y del diseño.

El ejemplo de este genio del Renacimiento puede parecer demasiado antiguo. Pero realmente es de una gran actualidad, ya que Leonardo llevó la elaboración