

Naturaleza, diseño e innovación: propuesta metodológica

Los modelos biológicos y el estudio de la naturaleza

El estudio de la naturaleza ha tenido y sigue teniendo múltiples y diferentes implicaciones en el diseño y la innovación. Como forma de analizar los sistemas y para el establecimiento de modelos biológicos, Bertalanffy, desde la aproximación científica de la teoría general de los sistemas, ya apuntaba a la biónica como factor de innovación.¹ Otros, como Pearce y Stevens,² han planteado la naturaleza como estrategia de diseño y otros como estrategia docente.³ Es en estas líneas donde vamos a profundizar y plantear un modelo metodológico valedero en el campo didáctico, proyectual e investigador.

De hecho, podríamos encontrar antecedentes del estudio de la naturaleza y su directa relación con el diseño básico en los cursos iniciales de la Bauhaus y posteriormente en la Escuela de Ulm. Estas experiencias han sido recogidas y puestas en práctica en la Sección de Diseño de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia, de las que han derivado estudios metodológicos desarrollados en el Grupo de Investigación y Gestión del Diseño y su inclusión en las líneas de actuación de la investigación en diseño.⁴

Establecimiento de los niveles analógicos

En el presente apartado vamos a analizar los diferentes procesos proyectuales o métodos utilizados hasta la actualidad, fijándonos especialmente en cómo ha sido el trasvase de información desde el análisis del sujeto natural a su aplicación práctica o proyectual.

Si estudiamos todas las realizaciones que el hombre ha hecho tomando como referencia a la naturaleza, desde el mismo Leonardo hasta las últimas realizaciones del Centro de Investigaciones de Estructuras Naturales de Milán, podríamos agruparlas siguiendo el criterio de cuál ha sido la relación entre la referencia natural y su materialización en el mundo de lo artificial.

Esta relación está medida de alguna forma por el grado de analogía, patente o no, entre la naturaleza y el objeto, entre el referente y lo referenciado, estableciendo como consecuencia cuatro *niveles analógicos*:⁵

1. Inconsciencia
2. Inspiración
3. Transposición
4. Imitación

Antes de entrar a definir cada uno de los niveles convendría tener en cuenta algunas consideraciones. En primer lugar se ha pretendido abarcar todas aquellas obras que de una forma u otra tienen alguna relación con la naturaleza para así contribuir al esclarecimiento o determinación de qué se considera, o podría considerarse, biónica y qué no. Esta consideración se desprende de la afirmación lógica de que no todo lo que haya tomado como referencia a la naturaleza ha de ser necesariamente visto como biónica. Tal sería el ejemplo de cualquier período artístico que haya asumido repertorios formales de la naturaleza.

En segundo lugar, los niveles analógicos no se consideran ni como compartimentos estancos que clasifiquen las obras categóricamente, ni como vasos comunicantes en que todo se quede al mismo nivel. Habrá ejemplos en la historia del diseño que por sus condicionamientos particulares podrán enmarcarse entre un nivel y otro.

Por último, y reafirmando la consideración anterior, habrá casos en los que, partiendo de una intención clara y preconcebida de una total imitación de un sujeto natural, por las sucesivas evaluaciones del proyecto y posibles inviabilidades de las propuestas, a la

1. Von Bertalanffy, Ludwig, *Perspectivas en la teoría general de sistemas*, Alianza Universidad, Madrid, 1982, p. 95.

2. Pearce, Peter, *Structure in Nature is a Strategy for Design*, MIT Press, Cambridge, 1978. Stevens, Peter, *Patrones y pautas en la naturaleza*, Biblioteca Científica Salvat, Barcelona, 1986.

3. Di Bartolo, Carmelo, *Strutture Naturali e Modelli bionici*, Departamento of Industrial Design, Istituto Europeo di Design, Milán, 1981.

4. Lecuona, M., y Songel, G., *Design Research and Design Management*, Ponencia en el Fifth International Forum on Design Management, Research and Education, Sloan School of Management, MIT Boston, 1993.

5. Songel, Gabriel, *Estudio metodológico de la biónica aplicada al diseño industrial*, tesis doctoral, ETSI Industriales, Universidad Politécnica de Valencia, mayo de 1991.

vista de los resultados, o en el mismo proceso proyectual, se vaya descendiendo a niveles anteriores. También puede ocurrir en sentido contrario, es decir, que, pretendiendo una simple inspiración, a medida que surjan los subproblemas se encuentren las soluciones en el sujeto natural de referencia, y por lo tanto el resultado pueda ser incluido en niveles posteriores.

Con todo esto, el primer nivel, que denominamos de *inconsciencia*, agruparía a todas aquellas realizaciones que por métodos de diseño convencionales llegan, sin saberlo, a soluciones que se encuentran en la naturaleza. No queremos decir con ello que si se hubiera seguido un método biónico posiblemente se habría llegado antes a la solución, pues muchas de las resoluciones de la naturaleza son, constructivamente, elementales y con un proceso de pensamiento lógico se llegaría a soluciones similares. Éste es, de hecho, el objetivo del diseño básico.

Posiblemente el ejemplo más representativo, y anecdótico a la vez, de éste nivel sea el diseño de las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller de doble retícula espacial, cuyos resultados constructivos le resultaron «asombrosamente semejantes» a las diatomeas o a las geometrías de los cactus esféricos.⁶

De este nivel cabría añadir alguna cosa más, y es que contempla a un gran número de trabajos realizados hasta el presente, pero que no pueden considerarse enteramente dentro de la biónica, aunque los resultados sean muy similares a los aportados por la naturaleza, ya que no ha habido ni una intención previa, ni por lo tanto un método analógico específico para llegar a esas similitudes.

Coineau y Kresling⁷ incluirían en esta categoría a aquellos sistemas en los que las analogías han sido establecidas *a posteriori*, suponiendo los modelos naturales un recurso para el perfeccionamiento de las invenciones humanas.

Un segundo nivel analógico sería el llamado de *inspiración*, por estar basado en una concepción parcial de la globalidad del sujeto natural referente que podría llevar al no respeto, o incluso a la contradicción, de los principios básicos que comporta esa globalidad. Es decir, este nivel estaría caracterizado por la toma anecdótica de algunos de los aspectos con que se manifiesta la naturaleza, sin tener en cuenta que éstos son consecuencia de un proceso evolutivo-funcional, y que están condicionados unos a otros, ya que, como sistema biológico, hay una interrelación entre el todo y las partes.

A este nivel pertenecerían todas aquellas obras que

gratuitamente se han basado en formas biológicas u orgánicas sin atender a las causas funcionales a que responden esas formas. No obstante, hay que reconocer que, tal y como afirma la psicología de la percepción, es precisamente por ese aspecto formal, sea razonado o no, por lo que puede empezar a reconocerse un objeto como basado en algo natural, y que, en caso de que fuese una forma razonada cercana a lo natural daría lugar a lo que podría llamarse una estética biónica.

De esta forma, y tal como considerábamos anteriormente, los movimientos artísticos que exaltaban a la naturaleza como fuente de inspiración para la generación de formas tanto bidimensionales como tridimensionales no pueden considerarse dentro de la biónica.

El tercer nivel analógico estaría caracterizado por la *trasposición* de los principios básicos observados en el sistema natural que se aplican sobre el objeto artificial y que, por lo general, definen el resultado. En este caso, a diferencia del anterior, la toma de aspectos del referente puede ser parcial, pero en ningún momento entrará en contradicción con la armonía aglutinadora del mismo, o al menos esa trasposición parcial tendrá una justificación funcional. Por este motivo, a partir de este nivel se puede hablar de biónica propiamente dicha dentro de las definiciones ampliamente aceptadas:

Es la ciencia de los sistemas, cuyo funcionamiento se basa en el de los sistemas naturales, o que presentan características específicas de sistemas naturales, o que tienen analogías con éstos (Steele, 1960).⁸

La biónica no trata solamente de *engineering*, sino de encontrar ideas que permitan construir los más variados mecanismos cuyos prototipos vivientes existen desde hace siglos al alcance del hombre. Su proceso básico sería preguntarse cómo funciona, y posteriormente cómo reproducir este principio.⁹

Es la utilización de prototipos biológicos en el diseño de sistemas sintéticos creados por el hombre. O sea, se

6. Otto, Frei, *Natürliche Konstruktionen*, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1982, p. 8.

7. Coineau, Yves, y Kresling, Biruta, *Les inventions de la Nature et la bionique*, Hachette, París, 1987, p. 7.

8. Nachtigall, Werner, *La Nature réinventée*, Plon, París (Allain Bougrain-Dubourg), 1987, p. 9.

9. Gerardin, Lucien, *La bionique*, Hachette, París, 1968. Mironov, Igor, *La bionique*, Mir, Moscú, 1970, p. 14.

trata de estudiar los principios fundamentales de la naturaleza y llegar a la aplicación de principios y procesos a las necesidades humanas.¹⁰

Es el estudio de sistemas vivientes para aplicar a las tecnologías sus principios técnicos y procedimientos. Es particularmente apta para estimular la capacidad de captar los detalles tridimensionales y los principios formales que los estructuran, así como para incrementar la capacidad de transformación, es decir, cuando se examina y analiza un objeto análogo.¹¹

Bajo el término de *biónica* se estudian generalmente dos tipos de trabajos científicos: uno, más relacionado con el diseño, que estudia la naturaleza en su equilibrio entre forma-materiales-funciones, tratando de encontrar soluciones utilizables por el hombre para su medio ambiente; el otro, que investiga principalmente los problemas neurofisiológicos de las formas vivientes con el objeto de reproducirlas artificialmente.¹²

La finalidad de la *biónica* es descubrir los secretos de la naturaleza, sea en las plantas como en los animales, y deducir sus principios constructivos sobre los que basar las creaciones técnicas.¹³

A este nivel pertenecerían los trabajos desarrollados por el Centro de Investigaciones de Estructuras Naturales del Istituto Europeo di Design de Milán y parte de las realizaciones del Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart, ya que éste es el criterio seguido en sus métodos de trabajo según veremos en apartados posteriores.

Para Coineau, un ejemplo de trasposición parcial sería el Palacio de Cristal de Paxton, en el que solamente el principio es tomado, y la realización técnica parece no tener nada que ver con su modelo viviente: la hoja circular flotante de la Victoria Amazónica, ya que es claramente muy diferente a las cristaleras rectangulares propuestas por el ingeniero.¹⁴

Por último, la *imitación* total de la naturaleza sería el cuarto nivel analógico que se propone. Éste supondría la trasposición de todos los aspectos más importantes de un sujeto natural; por ejemplo, la función, estructura y forma, al sujeto artificial.

Ejemplos de este nivel tendríamos a lo largo de la historia de la técnica, y más concretamente con las últimas investigaciones sobre el vuelo de los insectos, con vistas a su aplicación en hélices y turbinas, realizadas por Werner Nachtigall, del Instituto de Zoología de Saarbrücken.

Sin embargo, Coineau no distingue diferencia entre este nivel y el anterior al afirmar: «En un buen número de casos, se trata de una copia de la naturaleza según un proceso biónico típico: estudio de un sistema natural, interpretación del principio y, después, la trasposición a una realización de tipo industrial»; y pone como ejemplos clásicos la piel artificial del delfín, que pertenecería al cuarto nivel, y las construcciones de Le Ricolais inspiradas en los radiolarios, que corresponderían al segundo o tercer nivel.¹⁵

Posiblemente este nivel sea el más controvertido por diferentes razones que conviene considerar. Por una parte, la intención de imitar a la naturaleza con el convencimiento primero de que era posible, y segundo de que aportaba soluciones óptimas, ha quedado demostrado por la historia, desde Leonardo hasta la actualidad, que no siempre es factible o exitosa. Esta afirmación puede quedar ilustrada con la historia de la aviación, en la que el hombre ha podido volar cuando se ha olvidado de pretender elevarse por principios mecánicos, tal y como pensaba Leonardo, y ha experimentado a partir del vuelo a planeo.

Por otra parte, el conocimiento progresivo de los sistemas neurofisiológicos de los seres vivos y el desarrollo paralelo de la microelectrónica y la tecnología permiten multitud de puntos de encuentro entre unas ciencias y otras, adoptando los nombres de cibernética, robótica o biomecánica; siendo, por lo tanto, los límites entre unos y otros perfectamente permeables. Quizá por esta razón, este nivel sea el que se preste a una dualidad de reconocimiento; por un lado como el más asimilable con el término de *biónica*, ya que se da una equivalencia mayor entre el referente natural y lo artificial; y, por otro lado, como puerta abierta a otras áreas del conocimiento científico que pueden llevar a la confusión.

Con el establecimiento de los niveles analógicos, tenemos a nuestra disposición una herramienta de medida y de acceso a los modelos metodológicos que comporta la *biónica*.

10. Papanek, Viktor, *Diseñar para el mundo real*, Hermann Blume, Madrid, 1977, p. 191.

11. Bonsiepe, Gui, *Teoría y práctica del diseño industrial*, Gustavo Gili, Barcelona, 1975, p. 132.

12. Di Bartolo, Carmelo, conferencia en *Encuentros de Diseño*, Impjva, Alicante, julio de 1985.

13. Nachtigall, Werner, *op. cit.*, p. 48.

14. Coineau, Yves, y Kresling, Biruta, *op. cit.*, p. 7.

15. *Ibid.*

Esta herramienta nos ha servido, en un primer momento, para la clarificación de las realizaciones que se consideran dentro de la biónica y que se caracterizarían por los siguientes aspectos: primero, una intención previa de aproximación a la naturaleza; una metodología específica de transformación de la información, segundo; y, tercero, una materialización de los resultados dentro de los niveles contemplados.

Del mismo modo, en un segundo momento, nos va a ser útil para aislar aquellos niveles que merecen un estudio en profundidad de los métodos de análisis, síntesis, evaluación y aplicación que han requerido sus respectivas trasposiciones entre lo natural y lo artificial.

Siguiendo este criterio es obvio, pues, que el tercer nivel y gran parte de los casos incluíbles en el cuarto sean los que vamos a estudiar, porque coincide además que son los que más documentados están, o por lo menos han sido más divulgados o han permitido un mejor acceso a la información generada por los investigadores o proyectistas.

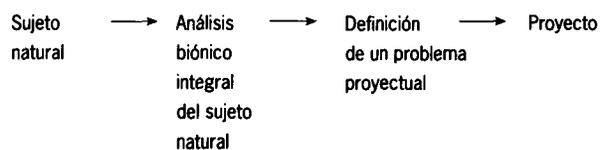
Centrémonos, pues, en el estudio y discusión de los métodos de aquellos centros más representativos de ambos niveles, es decir, del Centro de Investigaciones de Estructuras Naturales del Istituto Europeo di Design de Milán y del Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart.

Discusión del método seguido por el CRSN de Milán

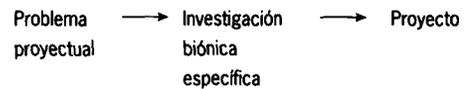
Las aportaciones realizadas por Bombardelli en el estudio de los métodos y casos aplicativos experimentados en el Centro de Investigaciones de Estructuras Naturales constituyen un primer paso valioso para la comprensión de las posibles formas de acceder a la biónica con relación al proyecto.

También muestra, aunque no en profundidad, en qué consisten la investigación y el análisis biónico.¹⁶

Método 1



Método 2



En los casos 1 y 2 incluye un análisis específico que constaría de:

- Diferenciación de los mecanismos del sujeto natural.
- Estudio de las relaciones formales entre ellos.
- Comprensión de la naturaleza y organización de los materiales.
- Estudio de la estructura funcional.

Este análisis podría aplicarse bien a un sujeto individual, es decir, a un caso aislado; o bien cabría observar cómo un mismo problema se soluciona de diferentes formas en diferentes sujetos naturales. Tales serían los ejemplos de la arquitectura animal y vegetal.

El paso siguiente en este proceso proyectual, y el interés de estos métodos, reside en el momento en que la síntesis de la información obtenida del sujeto natural por medio de esquemas, gráficos, fotografías y, sobre todo, por las maquetas (entendidas éstas como la materialización tridimensional de un análisis en una síntesis) empieza a arrojar información y sugerencias de trasposición analógica de aplicación a soluciones, materiales y procesos productivos concretos.

Una vez obtenida la información, pasamos al primer filtro selectivo que vendrá definido por las necesidades que en el caso concreto requiramos. Tanto en este paso como en el anterior conviene ser generosos con el aporte de ideas que nos puedan sugerir, sin ser excesivamente rigurosos en la selección, pues pueden configurar una información valiosa utilizable para otros casos si somos capaces de preservarla. Aun así, de una forma consciente o inconsciente clasificamos esta información en tres categorías:

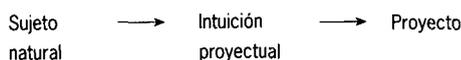
- Soluciones utópicas.
- Soluciones ya realizadas o ya existentes.
- Soluciones de inmediata aplicación.

16. CRSN n. 9, *Come nasce un prodotto bionico*, Departamento de Diseño Industrial, Milán 1985, pp. 4-9.

Según los esquemas de los métodos 1 y 2, con la elección de la o las soluciones pasamos a la definición de un problema proyectual y/o al desarrollo de un proyecto concreto.

El método 3 se inscribiría perfectamente en el segundo nivel analógico con todas las consideraciones que se han hecho anteriormente.

Método 3



Son, sin embargo, los métodos 4 y 5 los que más llaman la atención por ser representativos de cómo se ha entendido y considerado la biónica hasta la actualidad y de las posibilidades que puede desarrollar con el debido planteamiento.

El método 5 constituye de forma resumida la utilidad y la concepción vigente de la biónica dentro de la metodología del diseño. Es decir, entendida como elemento de apoyo en un proceso convencional, como parte del método creativo de la sinestesia en cuanto a analogías directas se refiere o como metodología específica dentro de la teoría de los niveles metodológicos. Veámoslas por separado:

La sinestesia propuesta por Gordon en 1965¹⁷ consiste en el examen de analogías como medio para relacionar los pensamientos espontáneos con el problema, utilizando cuatro tipos de analogías: la directa, en la que el proyectista intenta comparar el problema de diseño con otros conocidos de otras ramas del arte, de la tecnología, de la biología, etc., la personal, la simbólica o la fantástica. Según Jones,¹⁸ las analogías directas son las más fáciles de encontrar en la búsqueda de una solución biológica a un problema similar y las más realistas frente a las otras tres.

El metodólogo Woodson incluye entre los recursos de información la siguiente lista de analogías de problemas concretos con la naturaleza:¹⁹

Componentes estructurales tubulares	Cañas, bambú, huesos
Elevadores, fulcros	Ligamentos musculares al hueso
Puertas y bisagras	Trampa del nido de arañas
Pestillo	Aletas de pez ballesta

Articulación	Rodilla
Embalaje de seguridad	Cráneo
Gran resistencia al aire	Fibras radiales de vainas de semilla
Lubricación	Juntas entre huesos
Control de refrigeración	Evaporación superficial de la piel
Válvula de paso	Corazón
Válvula de rodillos	Peristalsis intestinal
Filtro / colador	Barba de ballena
Cremallera	Zarza y membrana de brezo
Dispositivo de abroche automático	Patatas y garras de pollo
Aerodinamicidad	Peces, aves
Sistema plegable de aterrizaje	Patatas de aves
Antihumedad	Plumas de pato
Camuflaje	Mimetismo
Sistemas buscadores por infrarrojos	Sensor nasal de la serpiente
Sonar-radar	Navegación del delfín y del murciélago
Generador de pulsos eléctricos	Marcapasos del corazón, anguila eléctrica
Comunicación ultrasónica	Oídos del perro y del murciélago. Iluminación
Aislamiento de calor	Pelo
Control de nivel	Canal auditivo interior
Propulsión a reacción	Sifón del calamar
Cañerías óptimas	Sistema de circulación por venas
Herramientas	Dientes de castor
Productos estruidos	Hilos de insectos
Movimiento sensible a la luz	Girasol

En la propuesta de teoría del proyecto de los niveles metodológicos presentada por Eliseo Gómez-Senent se contempla que cada proyecto exija la utilización de técnicas, métodos y metodologías adecuados a los fines que persigue:

Con el nombre de «metodologías específicas» se pretende expresar la gran diversidad de condiciones de di-

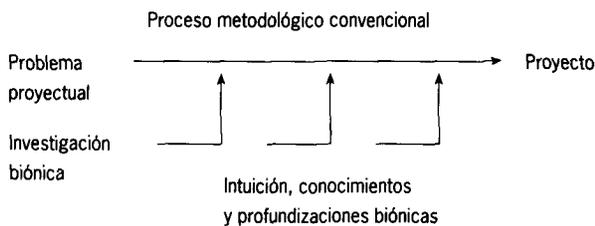
17. Gordon, William, *Sinectia: El desarrollo de la capacidad creadora*, Herreros Hnos. S. A., México, 1965.

18. Jones, Christopher, *Métodos de diseño*, Colección GG Diseño, Gustavo Gili, Barcelona, 1977, p. 254.

19. Woodson, Thomas, *Introduction to Engineering Design*, McGraw Hill, Inc., Nueva York, 1966, p. 81. Alger, J. R. H., y Hays, C. V., *Creative Synthesis in Design*, Prentice Hall, Inc., Nueva Jersey, 1964, p. 42.

seño que diferencian a unos proyectos de los otros. Los recursos, los límites y los fines del proyecto le confieren unas características propias que condicionan la conveniencia o no de utilizar determinados métodos y técnicas, el orden de aplicación y la exactitud con que han de ser empleados. La utilización adecuada de las técnicas y de los métodos proyectuales debe conducir a diseñar cada proyecto, es decir, a definir su propia metodología.²⁰

Método 5

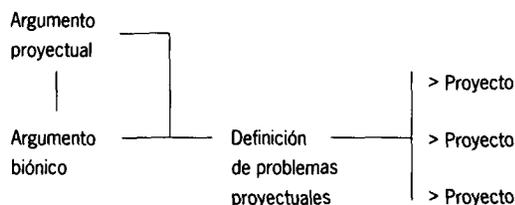


En este caso, la aportación de la biónica se convierte en la suma de casos del método 2; es decir, frente a subproblemas creados durante el proceso proyectual se recurre al estudio de sujetos naturales que solucionan esos planteamientos.

Sin duda es el método 4 el que sugiere la argumentación de considerar a la biónica como método global de diseño, al menos para cierto tipo de planteamientos y le da pie, además de seguir siendo válido como método específico para la resolución de problemáticas determinadas. La principal característica de este esquema es, en primer lugar, el establecimiento de una analogía desde el planteamiento de la necesidad que se convierte casi directamente en un argumento biónico. En segundo lugar, este hecho condiciona al resto del proceso, que se convierte en la suma de casos del método 1, requiriendo el estudio de varios sujetos naturales y multiplicando como resultado las propuestas proyectuales.

De momento, y como consecuencia de este nuevo

Método 4



planteamiento, se presenta una forma diferente de abordar las problemáticas proyectuales mediante la trasposición a lo que llamamos «argumento biónico». El cuadro de la página siguiente puede dar una idea de las enormes posibilidades que puede permitir el enfoque que se propone, partiendo de los sectores industriales comunes, contrastando las problemáticas de diseño que se pueden plantear con algunos argumentos biónicos. Obsérvese la multiplicidad de propuestas que se lanzan a partir de un número tan limitado de problemas y de argumentos, frente a la relación unívoca que presentaba Woodson, Alger y Hays.

Discusión del método seguido por el IL de Stuttgart

Conviene hacer algunas observaciones sobre el método desarrollado por este centro. En primer lugar, podríamos decir que se caracteriza por el reconocimiento de elementos básicos constructivos en la naturaleza. Este encuentro se produce de la siguiente forma: considerando que el Instituto está centrado en el estudio y aplicación de estructuras ligeras en los campos de la arquitectura y la ingeniería, tiene así delimitados sus campos de investigación y actuación, y muy presente la búsqueda del principio de ligereza.

El primer paso del método viene dado, pues, por la premisa de trabajo del centro, que define los modelos constructivos que se vayan a aplicar en el proyecto. El paso siguiente sería la localización de esos principios de ligereza que se manifiestan en cualquier ámbito de la naturaleza, sea muerta o viviente, de la arquitectura animal, arquitectura popular o de la historia de la técnica. Es en este momento cuando se produce el reconocimiento del cumplimiento de esos principios de ligereza en los ámbitos de la naturaleza.

Es decir, se trata de un encuentro *a posteriori*, no intencionado o forzado desde el principio; pero no por ello debe considerarse del primer nivel analógico, el de la inconsciencia, pues precisamente el grupo de Frei Otto ha experimentado y comprobado en numerosas ocasiones que el principio de ligereza y economía de material es una premisa ampliamente manifestada en la naturaleza. Sería más bien, y en este primer momento, un proceso incluíble en el tercer nivel analógico

20. Gomez-Senent, Eliseo, *Introducción al proyecto*, SPUPV, Valencia, 1989, p. 105.

pero en sentido contrario, ya que la trasposición va de los principios constructivos detectados a su verificación no sólo en la naturaleza, sino en cualquier otro ámbito constructivo.

En segundo lugar, y una vez producido ese reconocimiento de los principios básicos constructivos, se procede a un exhaustivo análisis de las diferentes manifestaciones que cumplen aquellas premisas. En este punto coinciden con los estudios realizados por el centro italiano y los superan en rigurosidad: comprensión del todo, de las partes que lo componen, de sus relaciones y sus funciones, materializando además toda la información que se va produciendo a través de fotografías, maquetas y, sobre todo, publicaciones, lo que genera como consecuencia un archivo muy valioso para posteriores investigaciones.

En cierto modo sería interesante establecer un pa-

ralelismo entre el método seguido en el Instituto de Estructuras Ligeras y el método 4 del centro milanés, ya que el principio de ligereza seguido por unos es lo que los otros llaman «argumento biónico» y aplican directamente desde el principio del proceso proyectual.

Un ejemplo que ilustraría este proceso sería el seguido para el diseño y construcción del estadio olímpico de Múnich, donde el reconocimiento y la profundización en el estudio de las telas de araña no se produjo hasta que se consideró como solución óptima para el problema específico de cubrir grandes superficies recurrir a las tensoestructuras y se encontró en aquella arquitectura animal modelos constructivos equivalentes a los requeridos. A partir de este momento, a medida que se ampliaba la información sobre los tejidos de las arañas se fueron advirtiendo mayores posibilidades de trasposición de esos datos a las resoluciones construc-

SECTORES	ARGUMENTOS			
	<i>Construcciones ligeras</i>	<i>Articulaciones</i>	<i>Locomoción</i>	<i>Superficies estructuradas</i>
<i>Mobiliario</i>	Muebles ligeros Estructuras Estanterías	Elementos de cerrajería: Bisagras Manillas Tirantes	Rodamientos	Rigidez de materiales laminados
<i>Juguetes</i>	Juegos constructivos Arquitecturas	Móviles Muñecos	Juguetes mecánicos Robots	Juegos táctiles Puzzles
<i>Sistemas constructivos</i>	Sistemas estructurales: Stands Andamios	Uniones Rótulas Juntas	Ultraligeros Deltas Chasis Carrocerías	Planeles Perfiles Cubiertas
<i>Embalaje</i>	Envases mínimos Mallas Bolsas Composites	Plegados Enganches Broches	Sistemas de transporte de seguridad	Rigidez de materiales pobres: cartón, papel, plásticos
<i>Materiales de construcción</i>	Ladrillos Celosías Forjados Mallas	Uniones Colágenos	Materiales ligeros y de alta resistencia	Tejas Pavimentos Revestimientos
<i>Textil</i>	Fibras ligeras	Enganches Cierres Botones Broches	Tejidos transpirables	Mallas articuladas Composites Caracterización suave, áspero, blando

tivas, hasta tal punto que, a la vista de los resultados finales y conociendo el proceso, se podrían atribuir a un cuarto nivel analógico de mayor grado de similitud entre el referente natural y la construcción final.

Como resultado de la rigurosidad del método seguido y al centrarse en un campo horizontal, el de las construcciones ligeras, frente a la verticalidad de los campos tratados por el centro de Milán, habría que comentar las importantes aportaciones realizadas, que se convierten, a su vez, en parte del método de trabajo. Por una parte, la clasificación de las construcciones en cualquiera de los ámbitos posibles constituye un apartado valedero para la taxonomía de temas relacionados con la biónica. Por otra parte, ya se ha comentado la importante generación de información a través de publicaciones que no sería posible realizar si no fuera por una ingente labor de equipos multidisciplinares y la carismática dirección de su líder, Frei Otto.

Igualmente, con el paso del tiempo y de las experiencias, ese método proyectual se ha visto reforzado por el desarrollo de un *know-how* propio, que va desde el cálculo de estructuras, tanto a partir de modelos a escala como por ordenador, hasta el desarrollo de un equipo fotográfico adaptable a necesidades específicas de cualquier investigación, pasando por el desarrollo de un programa de cálculo de patrones para las tendoestructuras o de una tecnología específica para la construcción con mallas pretensadas aplicadas en la propia sede del Instituto.

La biónica como metodología de diseño

La proximidad entre los métodos de los institutos de Stuttgart y de Milán y el interés creativo e investigativo de sus resultados son los fenómenos que llevan a plantearse si se podría considerar a la biónica como método de diseño derivado y autóctono, al mismo tiempo que las metodologías convencionales.

Presentar a la biónica como método global de diseño sin ser una metodología extremadamente específica que sólo puede aplicarse a unos pocos proyectos, ni un método general que no llegue a definir aspectos concretos que lo hagan operativo, es uno de los objetivos y el corpus principal de esta tesis.

En principio, podría aceptarse como método de diseño por tratarse de un compendio de técnica de pensamiento creativo, técnica de diseño y proceso investigativo,²¹ tal y como se podría comprobar a lo largo de

todas las realizaciones conocidas. No se trata, por lo tanto, de contradecir las consideraciones actuales de la biónica como método de apoyo para la resolución de subproblemas durante el proceso proyectual. Este papel puede seguir desarrollándose igualmente en los casos que se requiera. Lo que se propone es que la biónica, con la adecuación de los métodos que hemos estudiado hasta ahora, puede abarcar desde el planteamiento del problema proyectual hasta su consecución productiva, contemplando desde el planteamiento la retirada y el reciclaje del producto desarrollado.

Para que este planteamiento fuese aceptado en su totalidad deberíamos revisar las consideraciones de los teóricos del proyecto y los metodólogos, que para este caso se convertirán en los requisitos imprescindibles para ser evaluado como método de diseño.

Con esta finalidad recurriremos a las dos autoridades mayormente reconocidas entre teóricos, metodólogos, historiadores y proyectistas y que han servido, a su vez, como referencia para todos estos investigadores. Éstas serían, por un lado, Morris Asimow, que desde 1962, con su obra *Introduction to Design* y el establecimiento de una filosofía del proyecto, la inclusión entre las fases metodológicas de una constante retroalimentación, separando además esas fases en etapas que él llama de viabilidad, diseño preliminar, diseño de detalle y planificación, ha constituido un modelo conceptual seguido por la mayoría de autores.

Por otro lado tendríamos a John Christopher Jones, quien años más tarde (1970) en *Design methods. Seeds of human futures* analiza la problemática de la evolución del diseño hacia nuevos parámetros provocados por la progresiva complejidad de los proyectos, incrementada por la introducción del concepto de sistema en las consideraciones de diseño.

Requerimientos metodológicos

Se ha afirmado desde el inicio que un método de diseño puede considerarse un compendio entre técnica de pensamiento creativo y técnica de diseño. Si esta segunda parte quedará corroborada con la aplicación de los requerimientos de Asimow, la primera parte se podrá verificar con el cumplimiento de los objetivos de todo proceso creativo,²² es decir:

21. *Ibid.*, p. 176.

22. *Ibid.*, p. 152. Marín, Ricardo, *La creatividad*, CEAC, Barcelona, 1980, pp. 21-24.

- Direccionar el pensamiento.
- Facilitar los procesos de análisis-síntesis.
- Buscar nuevas relaciones a nivel subconsciente.
- Potenciar el paso del subconsciente al consciente.
- Verificar y comprobar el valor de las soluciones.

Por lo que respecta a la técnica de diseño, según Asimow, todo método debe circunscribirse a los siguientes requerimientos:

- Debe existir una filosofía de proyecto basada en unos principios consistentes y unos derivados lógicos, una disciplina operativa que lleve a la acción, y en un aparato retroalimentador crítico.²³
- Debe responder a unos principios fácticos y éticos que se materialicen en una morfología del proyecto, y éste se desarrolle a lo largo de un proceso iterativo de resolución de problemas.²⁴

Para Jones, todo proceso de diseño está formado por tres etapas o categorías, que denomina de divergencia, transformación y convergencia. La divergencia sería el acto de ampliar los límites de la situación de diseño y la obtención de un espacio de investigación lo suficientemente amplio y fructífero para la búsqueda de una solución. La transformación sería la etapa en la que se define un modelo preciso que permita la convergencia hacia la obtención de un solo diseño.²⁵

Se trata a continuación de ir desmenuzando esos requisitos e ir comprobando razonadamente cómo, punto por punto, se van cumpliendo o materializando a través de uno o varios ejemplos ilustrativos. Al final de este proceso de rigurosas exigencias necesarias para la validación del objetivo de esta tesis, habremos conseguido clarificar la disposición de otro método de diseño perfectamente articulado en sus diferentes fases.

Parece interesante empezar este proceso para la comprobación de los objetivos como pensamiento creativo:

1. Direccionar el pensamiento. Con el establecimiento de una primera analogía en el planteamiento del problema que se traduce en un argumento biónico, ya se delimitan las áreas de interés para el proyecto.

2. Facilitar los procesos de análisis-síntesis. Éste es uno de los objetivos cuyo cumplimiento se ha demostrado cuando estudiábamos los métodos investigativos en que se basan los centros de Milán y de Stuttgart,

cuya finalidad no es otra que la de proporcionar información sintetizable y aplicable al proyecto.

3. Buscar nuevas relaciones a nivel subconsciente. El hecho de que el argumento biónico elegido se pueda manifestar en muy diversos ámbitos, tanto de la naturaleza como de la técnica, permite en un primer estadio una búsqueda libre, no condicionada, de analogías entre diferentes áreas del conocimiento y de la experiencia individual o colectiva.

4. Potenciar las condiciones que generen el paso de las nuevas soluciones del subconsciente al consciente. Este objetivo sería la consecución del anterior ya que, si hemos conseguido una buena situación analógica, basada en una interdisciplinariedad y en la permisibilidad de cualquier conexión, con la materialización de esas asimilaciones por medio de gráficos, esquemas, y por las maquetas principalmente, estamos creando unas herramientas que no son otras que las propias del diseño, que hacen despertar ese traspaso del subconsciente al mundo cognoscitivo.

5. Verificar y comprobar el valor de las soluciones. Queda cubierto este objetivo desde el momento que, aunque muchas de las ideas surgidas en este proceso analógico tengan que quedar en archivo, siempre hay alguna, o simbiosis entre algunas, que prospera y determina las características finales del proyecto.

Una vez validado este primer aspecto referido a las técnicas de pensamiento creativo, podríamos pasar a los aspectos meramente metodológicos o técnicos.

Empezaríamos, entonces, por la comprobación del contexto ideológico del proyecto en el que se enmarca la biónica y la verificación de la existencia o no de una filosofía propia. A este respecto pueden ser útiles todos los antecedentes ideológicos que han propiciado y configurado una línea de pensamiento clara y definida, comentada al principio de este artículo, con unos principios consistentes y sus correspondientes derivados lógicos, entre los que se podrían enumerar los principios constructivos de ligereza, de economía de material, de optimización de las formas, de respeto por el medio ambiente tanto por las tecnologías utilizadas como por la reciclabilidad de los materiales o la biodegradabilidad de las materias utilizadas.

23. Asimow, Morris, *Introducción al proyecto*, Herreros Hnos. S. A., México 1968, p. 16.

24. *Ibid.*, p. 17.

25. Jones, Christopher, *op. cit.*, p. 55.

Pero estos principios, según Asimow, no tendrían ningún valor si no llevasen a la acción por medio de una disciplina operativa. En este sentido, hay que recordar que los antecedentes de la biónica, antes de ser entendida como método de diseño, eran científico-investigativos, o, cuando menos, estaban inmersos en metodologías proyectuales, y que, por lo tanto, esa disciplina le viene heredada o prestada de los métodos convencionales de diseño. También habría que recordar, por una parte, los antecedentes proyectuales conocidos por la relación naturaleza-artificio; y la cantidad de ejemplos de realizaciones de unos centros y otros que de alguna forma ya han experimentado sobre estos métodos.

Por último, volviendo a remitirnos a la inclusión en procesos proyectuales de la biónica que le han aportado un criterio evaluador, podremos reconocer una constante retroalimentación en sus fases, tal como se desprende de los casos en que se han paralizado los trabajos por una evidente inviabilidad o por otros imperativos, o aquellas investigaciones que han tenido que ir reconduciéndose hasta llegar a una solución de éxito.

Por lo que respecta a los principios fácticos y éticos del segundo grupo de requerimientos según Asimow, se afirmaba que se debían materializar en una morfología del proyecto, y que éste se desarrollase a lo largo de un proceso iterativo de resolución de problemas.

Con la finalidad de no reiterar las afirmaciones y comprobaciones, estudiaremos en un primer momento la morfología y proceso del proyecto para ir reconociendo posterior y paulatinamente el cumplimiento de cada uno de esos principios, que, no obstante, vamos a enumerar: entre los principios éticos estarían los de satisfacer necesidades, la viabilidad física, económica y financiera, optimización de las alternativas; criterio del proyecto, valor económico de la evidencia y un compromiso mínimo. Entre los principios fácticos se encontrarían la existencia de una morfología y un proceso del proyecto, subproblemas, reducción de la incertidumbre, bases para la decisión y una comunicación.²⁶

Propuesta del método

De acuerdo con lo analizado en los capítulos anteriores, podríamos deducir un método genérico de aplicación de los principios básicos de la biónica.

Este método correspondería a un esquema como el de la página siguiente.

En cada una de esas etapas se deberían desarrollar una serie de tareas y cumplimentar unos objetivos para pasar a las etapas posteriores.

Las tareas y los objetivos serían los siguientes:

Etapas 1. Planteamiento y análisis de las necesidades.

Se presentará la necesidad en forma de enunciado lo suficientemente genérico como para ser trasladado a un argumento biónico. Debe demostrarse una necesidad económica y una disponibilidad de satisfacerla.

Etapas 2. Identificación del problema.

Con los datos precedentes y con la información técnica, se identifica el problema y se establece el argumento biónico que en el mundo natural puede presentar soluciones a ese mismo problema. El planteamiento del argumento biónico tendrá un equilibrio entre lo genérico y lo específico, permitiendo centrar el tema a investigar pero sin llegar a dar o sugerir soluciones concretas.

Etapas 3. Concepto del proyecto.

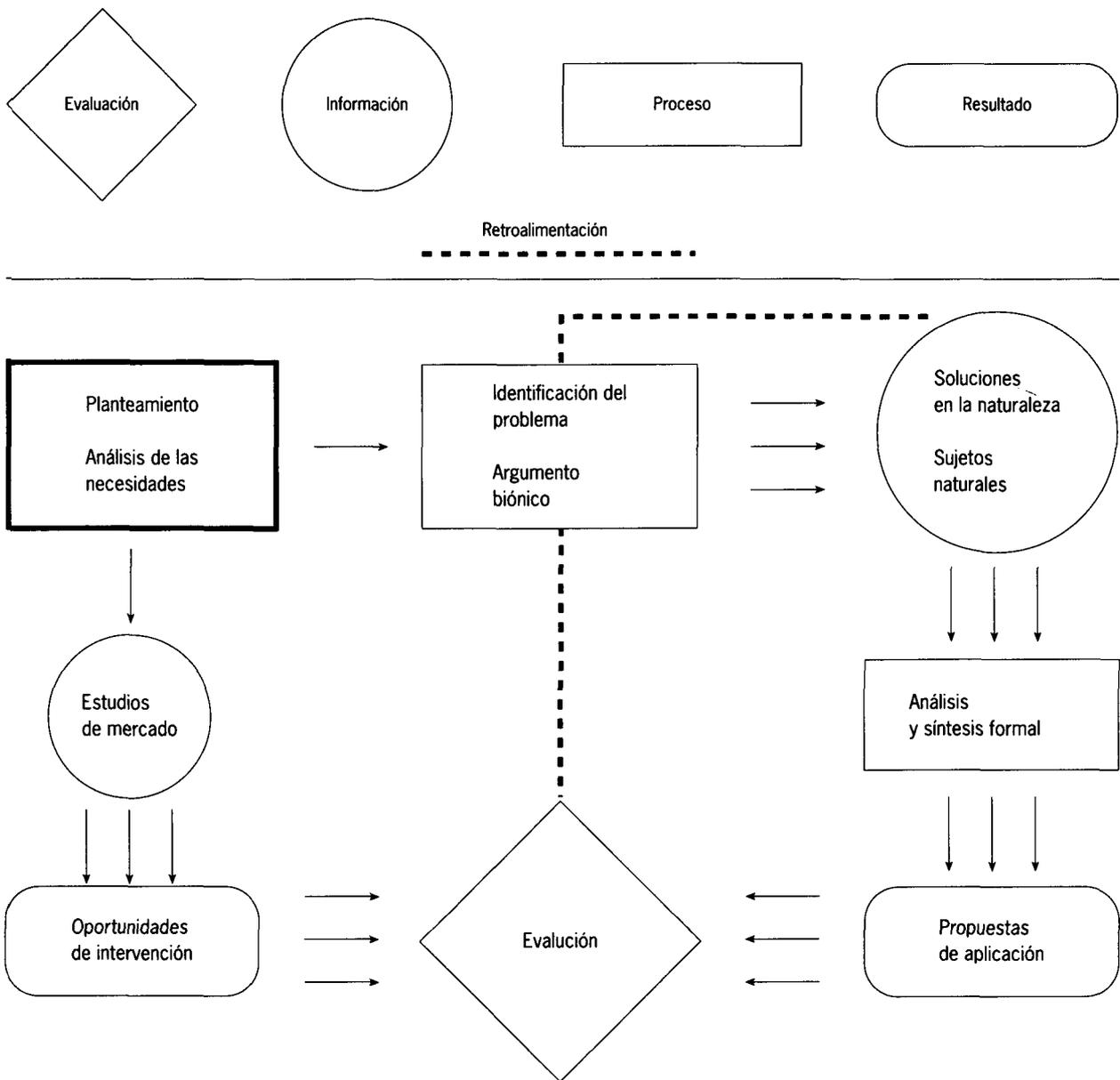
Consiste en la búsqueda de posibles soluciones manifestadas en la naturaleza. Es una etapa que requiere capacidad de sintetizar el enunciado, capacidad de observación y reconocimiento de ese enunciado en diferentes realidades del mundo natural. En definitiva, capacidad analógica, que puede suplirse en algunos casos por la disposición de mucha información visual de diferentes ámbitos de la naturaleza. Se elegirán aquellos sujetos naturales que mejor representen al argumento enunciado. Conduce a más de una concepción del proyecto.

Etapas 4. Análisis de sujetos naturales.

Se analiza cada uno de los sujetos naturales seleccionados en la etapa anterior. El análisis específico constará de:

- Diferenciación de los mecanismos del sujeto natural.
- Estudio de las relaciones formales entre ellos.
- Comprensión de la naturaleza y organización de los materiales.
- Estudio de la estructura funcional.

26. Asimow, Morris, *op. cit.*, pp. 17-18.



Se preservará la información a través de fotografías, gráficos, esquemas y maquetas que sinteticen las propuestas formales observadas.

Etapa 5. Propuestas de aplicación.

Según los análisis anteriores se irá realizando una exhaustiva relación de posibles aplicaciones, sin descartar aquellas que parezcan disparatadas, utópicas o inalcanzables.

Etapa 6. Estudios de mercado y viabilidad económica.

Se procederá al estudio de lo existente en el mercado tanto en lo referente al problema proyectual como en lo concerniente a las manifestaciones del argumento biónico en productos ya realizados. Se realizará una exhaustiva relación de posibles áreas de intervención, bien en cuanto a nuevos productos o bien en cuanto a mejoras competitivas con lo existente. Tras la compa-

ración entre esta relación y la obtenida en la etapa anterior se podrán detectar las áreas de interés, o incluso productos concretos a desarrollar.

Etapa 7. Evaluación económica.

En esta etapa se debe producir una primera evaluación por parte del promotor de las ofertas innovativas que se le proponen, y, en consecuencia, bien la selección de una o varias de ellas que vayan de acuerdo con su disponibilidad económica o interés estratégico, o bien el rechazo de todas ellas, suponiendo en este caso una retroalimentación hacia etapas anteriores.

Como características más significativas de este método serían:

a) Es especialmente importante la elección del argumento biónico, ya que es el que va a condicionarnos el desarrollo de las investigaciones posteriores. En líneas generales, se trata de globalizar el problema al principio (divergencia) para particularizarlo al final (convergencia).

b) No se concentra la creatividad en una sola etapa. Hasta la búsqueda de información, tanto de mercado como de los sujetos naturales, requerirá capacidad analógica y sintética.

c) La evaluación de las ideas generadas no se produce hasta el último momento, de forma que el filtro seleccionador sea el propio mercado o los intereses estratégicos del industrial y las propuestas puedan alcanzar objetivos comerciales y productivos a corto, medio y largo plazo.

d) El estudio de mercado y de las oportunidades de intervención se puede desarrollar paralelamente a la generación de ideas. Ambos procesos requieren amplitud de criterio que propicien varias áreas de intersección entre los intereses de desarrollo y las propuestas de aplicación. Cuanto mayor sea el proceso de transformación, se podrá generar una multiconvergencia.

e) Como estrategia de diseño permite apoyarse en cualquier otra estrategia creativa o de prospección de mercado.

f) En la etapa de análisis y síntesis formales se pueden adelantar o sugerir soluciones para los subproblemas que irán surgiendo a lo largo de todo el proceso proyectual.

Nature, design and innovation: a methodological proposal

Biological models and the study of nature

The study of nature has had and still has many and varied implications for design and innovation. As a way of analysing systems and establishing biological models, Bertalanffy, from the scientific proximity of the general theory of systems, was already pointing to bionics as a factor in innovation. Others such as Pearce and Stevens have presented nature as a design strategy and others as a teaching strategy. In these pages we aim to examine in depth and propose a methodological model that will be equally valid in the didactic, projective and research fields.

In fact, we can find antecedents in the study of nature and its direct relation to basic design in the initial courses at the Bauhaus and later in the School of Ulm. These experiences have been collected and put into practice in the Department of Design of the Faculty of Fine Arts of the Polytechnic University of Valencia, and have given rise to methodological studies in the Group for Design Research and Design Management and their inclusion in the lines of action for research into design.

Establishment of analogic levels

In this section it is our intention to analyse the different project processes or methods that have been used to date, giving special attention to the transfer of information from the analysis of the natural subject to its practical or projected application.

If we study everything that man has achieved by taking nature as a point of reference, from Leonardo himself to the latest work of the Centre for Research into Natural Structures in Milan, we can group them according to the criterion of what has been the relationship between the natural reference and its materialization in the world of the artificial.

This relation is governed in some way by the grade of analogy, evident or not, between nature and the object, between the reference and the referent, establishing as a consequence four *analogic levels*: