



Biónica: eficacia versus eficiencia en la tecnología natural y artificial

Mónica MIRALLES & Gustavo GIULIANO



RESUMEN

En este trabajo se reflexiona sobre los conceptos de eficiencia y de eficacia en la naturaleza y en el ámbito de las producciones artificiales. Se adopta como marco teórico las definiciones del filósofo de la tecnología Quintanilla. A partir de un estudio diacrónico se trata de establecer una clara demarcación entre los conceptos mencionados ya que, frecuentemente, son utilizados como sinónimos en el campo proyectual. Esta reflexión conduce a problemáticas tales como la cada vez más desdibujada diferencia entre producciones artificiales y naturales, el concepto de complejidad, y la relación entre eficiencia y progreso tanto en el dominio natural como en el artificial.

PALABRAS-CLAVE • Biónica. Efectividad. Eficacia. Eficiencia. Progreso.

I LA CIENCIA BIÓNICA: DEFINICIONES

La biónica fue definida en los años 60 por J. E. Steele como: “la ciencia de los sistemas cuya función se basa en sistemas vivos o parecidos a éstos” (Voguel, 2000, p. 278).

Esta definición, clásica de la ciencia biónica, no nos acerca a los conceptos de eficiencia y eficacia, ejes de este trabajo. Es necesario partir de otra menos ligada a la bioemulación que la enunciada, tal como la siguiente: “La biónica es la asimilación de principios de ingeniería que se utilizan en sistemas naturales, y la aplicación de estos principios al diseño o mejora de sistemas tecnológicos o materiales” (Lodato, 2000, p. 47).

Esta definición subraya el reconocimiento de que, a partir del estudio de los sistemas naturales y mediante un proceso de abstracción, pueden enunciarse principios aplicables a la ingeniería, transferibles, a su vez, al ámbito de lo artificial. Se trata de una renovada versión de la ya conocida metáfora neoplatónica la cual concibe al universo como un conjunto encriptado de fórmulas matemáticas a la espera de ser descifrado.

Desde una mirada heurística, el accionar biónico puede verse como el acto de descubrir mecanismos o principios que aún no se han podido lograr en forma artificial

para implementarlos en producciones artificiales. A modo de ejemplo, el hecho de que el sistema de radar de un murciélago no sea afectado por la emisión simultánea de todas las ondas emitidas por los restantes murciélagos, o bien, por los rebotes de todos los ecos contra el suelo u otros planos, es algo que sigue siendo estudiado ya que no se ha podido eliminar el problema de estas interferencias en los radares actuales con la precisión que lo hacen estos mamíferos. También el mecanismo de navegación de las aves migratorias, el cual les permite no solamente orientarse (seguir una dirección determinada) sino encontrar sitios específicos es un tema actual de investigación (cf. Gerardin, 1968, p. 128-69).

Cuando se mira la naturaleza desde una mirada biónica, se lo hace desde la visión fuertemente condicionada, entre otros principios, por el de eficiencia. No es la contemplación del filósofo ni la actitud descriptiva del naturalista o del artista que se concentra en aspectos estéticos. El ojo biónico busca una armonía diferente guiada por una hermenéutica teñida de conceptos técnicos.

Comparar la tecnología natural y la artificial lleva a repensar conceptos centrales tales como los de eficiencia y eficacia. Comencemos por preguntarnos qué se entiende por eficiencia en estos campos. Algunos de los interrogantes más evidentes son: ¿se trata del mismo concepto? ¿son eficientes las producciones naturales?, ¿la evolución es un proceso que busca la constante mejora de la eficiencia?, ¿el hombre optimiza sus producciones artificiales de la misma manera que lo hace la naturaleza?, ¿el progreso de la ciencia y de la técnica se da en función de lograr estas optimizaciones?, ¿hay diferentes formas de optimización en la naturaleza o son todas manifestaciones diferentes del mismo principio?, ¿qué rol juega el azar en estas optimizaciones naturales?

Para poder abordar algunas de estas cuestiones se requiere partir de un marco teórico pertinente. Se toma para esta reflexión la postura de M. A. Quintanilla cuyas ideas centrales se desarrollan en el párrafo siguiente.

2 SOBRE EL CONCEPTO DE EFICIENCIA TÉCNICA

El concepto de eficiencia, al menos en su uso actual, se origina en el siglo XIX. En épocas anteriores, si bien el término se empleaba, se lo hacía en el sentido aristotélico de causalidad, para señalar una causa que produce un determinado efecto. Su uso se fue modificando progresivamente con los trabajos en economía y matemática de Jeremy Bentham, Charles Babbage y John Stuart Mill, entre otros, quienes comenzaron a emplearlo ya no sólo para señalar la causalidad de una acción, sino su acercamiento o alejamiento de un comportamiento ideal buscado, esto es como un indicador cualitativo.

En cuestiones técnicas, el concepto de eficiencia como ponderador del rendimiento del trabajo (*duty*) mecánico comenzó a ser utilizado durante la Revolución Industrial, en principio para evaluar experimentalmente las modificaciones introducidas en las máquinas de vapor. La elaboración teórica de este concepto llegó finalmente con los trabajos sobre máquinas térmicas de Léonard Sadi Carnot durante la primera mitad del siglo XIX. Tomó, a partir de allí, su forma cuantitativa definitiva como cociente de dos cantidades; en el caso de motores, como la razón entre el trabajo mecánico realizado y la cantidad de calor consumida. Tanto en su forma económica (como ponderador de costo-beneficio), como en su forma técnica (como ponderador de trabajo-energía), o en general como una relación entrada-salida, la eficiencia es un cociente que tiene la característica de que el numerador es siempre menor o, idealmente, igual al denominador, es decir, su valor está comprendido entre 0 y 1.

En el análisis actual de la tecnología, la más acabada formulación del concepto de eficiencia, y su cercano de eficacia, se debe a Miguel Ángel Quintanilla (Quintanilla & Lawler, 2000). Partiendo desde la definición de un sistema técnico como un dispositivo complejo compuesto por entidades físicas y agentes humanos – cuya función es transformar algún tipo de cosas para obtener determinados resultados característicos del sistema –, logra elaborar un esquema donde existen conjuntos de objetivos buscados y de resultados obtenidos. Dependiendo de la relación existente entre ambos conjuntos se obtienen diferentes valores de la eficiencia y la eficacia de la acción tecnológica. El primero de ellos – la eficiencia – pondera la adecuación de los medios a los objetivos propuestos, mientras que el segundo – la eficacia – cuantifica el grado en que se logran los objetivos que se pretenden alcanzar.

La eficiencia tecnológica se entiende entonces como la medida en la que coinciden los objetivos de un sistema con sus resultados efectivos. Un sistema es más eficiente que otro si obtiene más de las metas propuestas con menor derroche, es decir, con menos consecuencias no previstas o indeseables. Queda así estrechamente vinculada con la racionalidad instrumental de medios a fines.

Por otra parte la efectividad o eficacia se define como el grado en el que el conjunto de objetivos está incluido en el conjunto de resultados. Si se obtienen todos los fines buscados (aunque haya otros resultados no intencionales), el sistema es máximamente eficaz. En función de las definiciones adoptadas para los conceptos de eficiencia y eficacia se concluye que un sistema tecnológico puede ser eficaz pero no eficiente.

Una forma de ilustrar estas ideas se logra representando con un círculo al conjunto de objetivos y con otro al conjunto de resultados (diagramas de Euler-Venn). Las diferentes relaciones lógicas que pueden entablarse entre estos conjuntos son útiles para analizar las relaciones posibles entre los conceptos de eficacia y eficiencia (cf. Giuliano, 2007, p. 59-62).

Hay dos situaciones extremas poco frecuentes. La primera es la de tener un sistema que es totalmente ineficiente e ineficaz, es decir, no se cumplió ninguno de los objetivos, no se alcanzó ningún resultado pertinente. Su diagrama corresponde a aquél de dos conjuntos disjuntos (sin intersección alguna). La segunda se da cuando ambos conjuntos coinciden. Es decir, la intersección es completa. Esta situación corresponde al caso de un sistema que es a la vez máximamente eficiente y eficaz.

Dentro del quehacer proyectual, las situaciones de interés son las tres intermedias, a saber:

1. cuando los conjuntos se superponen parcialmente (caso poco eficiente y poco eficaz. Se han dado resultados no previstos, hay pocos objetivos y resultados cumplidos y muchos objetivos sin cumplir);
2. cuando los resultados están incluidos en el conjunto de los objetivos (caso poco eficiente ya que muchos objetivos quedan sin cumplir, pero también es poco eficaz, ya que se han alcanzado muy pocos resultados comparado con los objetivos propuestos);
3. cuando los objetivos están incluidos en el conjunto de los resultados, es decir, se trata de un sistema poco eficiente y máximamente eficaz: se cumplieron todos los objetivos y se obtuvieron más resultados de los esperados, éstos pueden ser favorables o adversos.

De este modo se puede simbolizar el concepto de eficiencia como:

$$Efcia = \frac{|O \cap R|}{|O \cup R|}$$

y el de eficacia como:

$$Ecia = \frac{|O \cap R|}{|O|}$$

Una definición del grado en que los objetivos conseguidos se ajustan a los resultados reales se define mediante el concepto de ajuste (*fitness*) de la acción técnica:

$$A = \frac{|O \cap R|}{|R|}$$

teniendo en cuenta que este concepto no discrimina entre el caso de igualdad entre conjuntos y aquél en el cual el conjunto de resultados está incluido en el de los objetivos, – valor máximo – en ambos casos.

3 EFICIENCIA, EFICACIA Y BIÓNICA

La biónica, precisamente por tomar a la naturaleza como referente proyectual, trabaja con los resultados del juego permanente de estos dos conceptos en el ámbito de lo natural, muchas veces sin advertirlo, y son, a su vez, traspuestos a las producciones artificiales en forma conciente o inconsciente, sin un adecuado análisis.

Una primera aproximación al uso de estos conceptos en el ámbito proyectual es estudiar la producción del Departamento Europeo de Diseño Industrial (DI) del Politécnico de Milán, una de las instituciones más reconocidas en el ámbito de la producción en biónica. Este Instituto cuenta con una trayectoria de treinta años en el campo de la biónica. Los dos primeros años fueron consagrados a establecer relaciones entre el diseño básico tridimensional y la morfología estructural de las formas de la naturaleza. Esta etapa, introductoria y preliminar, fue seguida por otra más específica en la que se avanzó en la comprensión de estructuras artificiales y naturales. La experiencia adquirida permitió fundar el Centro di Ricerche Strutture Naturali (CRSN) constituyendo un espacio de reflexión proyectual tanto en el ámbito del Diseño Industrial (DI), como en el de la arquitectura. En 1985 se inicia un curso de master en DI de dos años con orientación en biónica. El primer año estaba dedicado al estudio de las estructuras naturales, siendo el segundo de carácter proyectual con la colaboración de la comunidad (este hecho es fundamental), la industria, y centros académicos nacionales y extranjeros, que daban su apoyo financiero para llevar adelante las ideas conjuntas de estudiantes y profesores.

La formación teórica básica incluyó los clásicos estudios de formas de crecimiento (espirales logarítmicas, isomerismo, conos, etc.), el modelado de curvas irregulares (fractales), la sección áurea, la serie de Fibonacci, entre otros. Es decir, estuvo dedicado al estudio del número limitado de formas naturales que permite las restricciones del espacio físico. Los estudios de biónica básica tenían por objetivo la formulación de principios que se utilizaran como guía para el desarrollo de productos tanto en el campo del DI como en el del diseño arquitectónico. A modo de ejemplo, en el primer tramo de esta trayectoria pionera y fundacional, se avanzó en conceptos tales como el de “livianidad” a partir de varios proyectos basados en la llamada lógica de la proyección energética, es decir, siguiendo el principio máxima resistencia – mínimo material.

El estudio de la estructura de los huesos largos en animales y humanos y la relación con las sollicitaciones externas, permitieron elaborar conclusiones para el diseño de estructuras reticulares no rígidas, absorbentes de energía, gracias a los materiales, su disposición y capacidad flexora. El interrogante, de qué manera la naturaleza organiza el propio habitáculo o combina estructuras resistentes para formar sus propias estructuras, abrió el campo de investigación hacia el estudio de cáscaras y semillas, y más tarde, hacia los diferentes protectores óseos, para proyectar, por ejemplo, cascos para motociclistas.

Las estructuras tensadas y los materiales elásticos fueron otro núcleo de interés estructural (tema inspirado en el estudio de las telas de araña), como así también la caracterización de estructuras verticales en el reino vegetal para esclarecer principios estructurales en procesos de agregación (cf. Fuller, 1962; Burkhardt, 2004).

El estudio de estructuras y materiales fueron, sin duda, temas centrales de muchos proyectos agregando, según el caso, la valoración de las características táctiles y la reflexión sobre aspectos psicofísicos subjetivos como la sensación de ser agradable al tacto (cf. Srinivasan & McFarland, 2001).

El estudio del movimiento en la naturaleza también fue tenido en cuenta (semejanza cinematográfica). Se partió del estudio de la musculatura de la trompa de animales y espina vertebral de peces, de las garras y tentáculos, para poder concebir un brazo biónico robotizado con gran versatilidad de movimientos y proyectar manipuladores de tres dedos que, mediante módulos articulares, permitían agarrar diferentes morfologías de objetos (todo ello a partir del estudio de las formas prensiles presentes en la naturaleza). Por su parte, del estudio de las formas activas de locomoción animal y humana (vuelo, salto, carrera) y, en particular, de los animales marinos, surgieron proyectos de elementos modulares polifuncionales para inmersiones.

La disminución del gasto energético fue otro eje de reflexión, bajo el cual se bajaron principios de calefacción en sistemas interactivos, la reducción de la degradación, la innovación de la imagen urbana, entre otros aspectos, a partir del estudio de la piel y de arquitecturas animales con comportamiento térmico tales como los nidos de termitas. Es decir se trabajó en la eficiencia de los sistemas desde el punto de vista de minimizar la energía de transferencia, de lograr minimizar el trabajo.

Se concluye, a partir de este breve recorrido, que la formación profesional tuvo, como eje transversal subyacente, al principio natural de máxima eficiencia vulgarmente conocido como de máximo-mínimo en todas sus gradaciones, por ejemplo, en el ámbito de los materiales, máxima resistencia- mínimo material, o bien en el ámbito de las ramificaciones, mínima longitud - máxima área de drenaje, etc. No se ha encontrado ninguna reflexión específica sobre los conceptos de eficacia o eficiencia, o alguna producción teórica consagrada a la revisión de estos conceptos.

4 EFICIENCIA, EFICACIA Y NATURALEZA

Si bien existen notables diferencias entre la producción artificial y aquella asociada a la naturaleza, hay una restricción común de base que condiciona todas las invenciones por igual. Ambas producciones están sujetas a las mismas leyes físicas.

Desde el marco teórico adoptado la primera diferencia entre las producciones es preguntarse sobre qué o quién formula los objetivos, las metas a cumplir. La producción de los diseños naturales está gobernada por la selección natural. Es un mecanismo diferente al de la invención, descubrimiento, planificación en que se gestan los proyectos artificiales, librados de las dificultades funcionales de los ciclos vitales. Es un mecanismo de modificación perpetuo, individual, azaroso, que produce cambios incrementales pequeños (mutación-recombinación-selección) ya que, dada la dificultad funcional de la estructura biológica terminada, sólo puede actuar en el ladrillo básico, sobre los genes de la célula eucariota (cf. McMahon & Tyler, 1986, p. 9-23).

En el ámbito proyectual siempre hay un plan o proyecto preconcebido. Este surge de algún antecedente previo tal como la experiencia individual, una necesidad planteada, curiosidad, inspiración. En la naturaleza, y esta afirmación es ya un lugar común, hay diseño pero no diseñadores con propósitos previos. Otras diferencias son el factor de escala tanto en lo espacial como en lo temporal, la adecuación de cada tecnología a cada situación (diseño, materiales y dispositivos nuevos), el uso de patrones y pautas propias.

Desde lo ya analizado, podríamos decir que, en el campo del diseño, cuando se piensa en el concepto de eficiencia, se está más cerca de los procesos, de lo metodológico, y por lo tanto de los resultados, mientras que la eficacia, al poner la atención en los objetivos, se focaliza en el producto final: ¿sirve o no sirve?, es decir, es más un concepto de tipo umbral que el de eficiencia en el que se dan todos los grises. Por otra parte, la mirada en el primer caso está puesta en la materialización de principios (plano abstracto) y, en consecuencia, en aquellos que minimizan la energía cualquiera sea su manifestación. En cambio, podría verse la eficacia como algo más cercano a la praxis, al objeto terminado ya funcionando en el espacio real. En efecto, surgen nuevos interrogantes: ¿podemos decir que el concepto de eficiencia es más biónico que el de eficacia?, ¿predomina una forma sobre otra en la naturaleza?, ¿es la eficacia un estadio previo o preliminar a partir del cual se irán poniendo en juego distintos mecanismos para mejorar las funciones?

Si se parte de los supuestos clásicos de que todo organismo tiene el imperativo de reducir la incertidumbre del entorno y que la interacción con éste se logra mediante el intercambio de masa, energía e información, la eficacia se percibe más cercana a la primera hipótesis, mientras que la eficiencia lo estaría en la regulación de estos procesos, en el grado de complejidad del sistema viviente.

En cuanto a la eficacia es conveniente hacer una distinción ya que ese entorno puede presentar cambios previstos para el organismo (adaptación) o ser absolutamente nuevos, imprevistos (adaptabilidad). En el primer caso podemos hablar de la puesta en juego de mecanismos – usualmente de origen genético – pero, para el caso de la adaptabilidad se requiere de la puesta en juego de cambios evolutivos y con ello desplazar el centro de atención puesto en el individuo a aquél puesto en la población. Todos estos temas son espacios abiertos de estudio en las áreas vinculadas a los campos biológicos, ya que no se trata de otra cosa que de adentrarse en la comprensión del concepto de complejidad.

En referencia a la complejidad, dice J. Wagensberg: “Las preocupaciones fundamentales son dos: el cambio y la relación entre los todos y sus partes. La primera se refiere a la estabilidad y la evolución, la segunda a la estructura y la función” (Wagensberg, 2003, p. 9). Es decir, es una invitación a repensar, desde este lugar, los conceptos de forma-función, tan discutidos desde el “form follows function” [la forma sigue a la función] de la Bauhaus, donde el acento está puesto en el proceso de cambio y no en el objeto en sí, vs. “forma-función es uno” del arquitecto Frank Lloyd Wright, pasando por visiones intermedias como las presentadas por Williams (cf. 1981, p. 76-90). Quien piensa el objeto como aquél destinado a lograr una transformación entre la entrada y la salida (*input-output*), cambio cruzado o modelos de cambio transferido.

5 EFICIENCIA Y EFICACIA *versus* PROGRESO

Desde disciplinas externas a la tecnología, el endiosamiento del principio de eficiencia se presenta a la crítica, con la connotación relativa de ser riesgoso e incontrolable. Hay una racionalidad hegemónica teñida por estos conceptos y en esa racionalidad instrumental hay problemas. M. A. Quintanilla defiende la tesis de que el progreso tecnológico es una consecuencia del empleo del criterio de eficiencia en la evaluación de tecnologías y es, por tanto, un fenómeno que se puede comprender en términos de factores internos a la propia tecnología, aunque también reconoce que es necesaria una valoración externa basada en consideraciones acerca de su idoneidad y el análisis de sus consecuencias tanto buscadas como no deseadas (cf. Quintanilla, 1991, p. 102-9). Este hecho lo lleva a sostener la importancia del control de la innovación como parte integrante de la racionalidad tecnológica. Siguiendo esta línea, si bien reconoce que no es posible evaluar los fines de acuerdo a indicadores de eficiencia y eficacia, sí es posible juzgarlos teniendo en cuenta su mayor o menor compatibilidad con las tecnologías ya disponibles u otras posibles y su mayor o menor potencialidad

para promover desarrollos tecnológicos valiosos. A través de incorporar el control de la innovación dentro del proceso tecnológico se tornaría difusa la delimitación entre racionalidad instrumental y racionalidad de los fines ya que en la capacidad de control también están incorporados elementos objetivos técnicos.

La posición de Quintanilla es criticada, entre otros, por el sociólogo de la ciencia León Olivé, para quien la estimación del progreso en base al concepto de eficiencia enfrenta una seria dificultad relacionada con la imposibilidad de demarcar inequívocamente el conjunto de los resultados alcanzados (cf. Olivé, 2000, p. 97-106). Según él, la identificación de este conjunto depende de la manera en que los diferentes actores sociales valoran el sistema técnico en cuestión y esto varía de acuerdo a los intereses y cosmovisiones de los diferentes grupos y sus diversos puntos de vista. De este modo, concluye que el concepto de eficiencia deviene relativo al contexto social, perdiendo así su pretendida objetividad y universalidad, hecho que le imposibilitaría ser empleado como criterio de progreso neutral. Siguiendo la línea de la relatividad del concepto de eficiencia, pero ahora desde el campo de las disciplinas proyectuales, es lícito interrogarse lo siguiente: ¿si cambiase la racionalidad técnica o tecnológica dejando de lado el bien conocido papel hegemónico, es decir, si cambiara este paradigma y se abriera, desde la biónica, un lugar diferente al concepto de eficiencia, se podría lograr una racionalidad alternativa con la riqueza aportada por la diversidad y complejidad de lo natural?

CONCLUSIONES

A partir de lo analizado, y desde un punto de vista biónico, se requiere una profunda reflexión de los conceptos de eficiencia y de eficacia, originados, como vimos, en el campo de la producción artificial de la era industrial desde la actual comprensión del comportamiento de los sistemas biológicos.

El concepto central en la naturaleza que interesa, entonces, es el de cambio, sin olvidar que también en la naturaleza hay constancias. Desde la teoría termodinámica moderna (sistemas abiertos que intercambian masa y energía) como desde la teoría de la información (sistemas abiertos que intercambian información), el concepto de cambio adquiere nuevas dimensiones semánticas. Surge una nueva mirada de los procesos naturales, extensible a los fenómenos sociales y, en particular, a sus producciones tecnológicas.

No se puede pensar el cambio sin asociarlo a conceptos tales como el de complejidad de un sistema, incertidumbre del entorno, capacidad de anticipación, o bien, sensibilidad del entorno. Recientes leyes vinculan a estos cuatro conceptos. La con-

servación de estas leyes da lugar a los procesos de adaptación (para sistemas cercanos al equilibrio), o bien, su violación a procesos de autoorganización o catástrofe (sistemas fuera del equilibrio), procesos en los cuales el azar juega un rol creativo.

¿Cómo impactará la complejidad en las áreas proyectuales?, ¿cómo se traducirá en los conceptos de eficiencia y eficacia?

Afirma J. Wagensberg: “todos tenemos un mínimo conocimiento de la complejidad del mundo que nos rodea registrado en la memoria” (Wagensberg, 2003, p. 41), debemos, entonces, comenzar a ser conscientes de ello y aceptar el desafío de pensar y crear desde estas nuevas categorías.☞

Mónica MIRALLES

Centro de Investigación en Diseño Industrial,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad de Buenos Aires, Argentina.
mmiralles@gmail.com

Gustavo GIULIANO

Facultad de Ingeniería y Ciencias Físico-matemáticas,
Universidad Católica Argentina, Buenos Aires.
Instituto de Estudios y Formación,
Central de los Trabajadores Argentinos, Argentina.
gustavo_giuliano@yahoo.com.ar

ABSTRACT

This paper reflects on the concepts of efficiency and efficacy in nature and in the field of artificial productions. It takes as a theoretical framework Quintanilla's definitions on the philosophy of technology. From a diachronic study try to establish a clear demarcation between these concepts, often used as synonyms in the design field. This discussion involves problems such as the increasingly blurred distinction between natural and artificial productions, the notion of complexity, and the relationship between efficiency and progress both in natural and artificial domains.

KEYWORDS • Bionics. Effectiveness. Efficacy. Efficiency. Progress.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURKHARDT, R. W. *A practical guide to tensegrity design*. Cambridge: The MIT Press, 2004.
- DENEGRI, G. M. & MARTÍNEZ, G. E. (Ed.). *Tópicos actuales en filosofía de la ciencia. Homenaje a Mario Bunge en su 80º aniversario*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2000.
- FULLER, R. B. *Tensile-integrity structures*. US. Patent 3.063.521. 1962.
- GERARDIN, L. *La biónica*. Madrid: Guadarrama, 1968.
- GIULIANO, G. *Interrogar la tecnología: algunos fundamentos para un análisis crítico*. Buenos Aires: Nueva Librería, 2007.
- LODATO, F. Biónica: la naturaleza como herramienta de innovación. *Experimenta*, 31, 2000.
- McMAHON, T. & TYLER, B. J. *Tamaño y vida*. Barcelona: Labor, 1986.
- OLIVÉ, L. *El bien, el mal y la razón*. México: Paidós, 2000.
- QUINTANILLA, M. *Tecnología: un enfoque filosófico*. Buenos Aires: Eudeba, 1991.
- QUINTANILLA, M. & LAWLER, D. El concepto de eficiencia técnica. In: DENEGRI, G. M. & MARTÍNEZ, G. E. (Ed.). *Tópicos actuales en filosofía de la ciencia. Homenaje a Mario Bunge en su 80º aniversario*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2000. p. 203-24
- SRINIVASAN, V. & MCFARLAND, D. M. *Smart structures. Analysis and design*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- VOGEL, S. *Anclas y palancas: mecánica natural y mecánica humana*. Barcelona: Tusquets, 2000.
- WAGENSBERG, J. *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Tusquets, 2003.
- WILLIAMS, C. *Los orígenes de la forma*. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

