

Límites de la concepción correlacionista del diseño tecnológico: el caso de las nanomáquinas

Darío Sandrone¹

Recibido: 22 de agosto de 2017
Aceptado: 13 de octubre de 2017

Resumen. El presente trabajo aborda la ontología del diseño tecnológico propio de un tipo específico de correlacionismo técnico: el Programa de la Naturaleza Dual de los artefactos técnicos (PND). En primer lugar, examino una de sus principales fuentes, la teoría del diseño de Herbert Simon, desarrollada a finales de la década de 1960, la cual ha marcado fuertemente los desarrollos posteriores en las teorías del diseño industrial y en la ontología de los objetos artificiales. Luego, analizo algunas de las principales tesis del PND, en sus dos vertientes: el enfoque del diseño, centrado en las intenciones de los diseñadores, y la perspectiva del usuario, en la que se concibe al diseño tecnológico como la elaboración de un plan de uso. Por último, exploro algunos aspectos ontológicos y epistemológicos del diseño de nanomáquinas que, desde mi punto de vista, muestran los límites de las concepciones correlacionistas en relación con determinados fenómenos tecnológicos, en este caso, la génesis de nanomáquinas.

Palabras clave: diseño – tecnología – correlacionismo – nanomáquinas.

Title: The limits of the correlacionist approach to technological design: the case of the nanomachines

Abstract. The present article addresses the ontology of technological design of a specific type of technical correlationism: the Dual Nature of Technical Artefacts Program (DNP). First, I inspect one of its main sources, the design theory of Herbert Simon, developed at the end of the decade of 1960, which has strongly influenced later developments in the theories of industrial design and in the ontology of artificial objects. Then, I analyze some of the main thesis of the DNP, considering two positions: the design approach, focusing on the intentions of designers, and the user's perspective, in which technological design is conceived as the development of a plan of use. Finally, I will explore some of the epistemological and ontological aspects of the design of nanomachines that, from my point of view, show the limits of the correlacionist approach in relation to certain technological phenomena, in this case, the genesis of nanomachines.

Keywords: causality – design – technology – correlacionism – nanomachines.

¹ Universidad Nacional de Córdoba-CONICET

✉ dariosandrone@gmail.com

Sandrone, Darío (2017). Límites de la concepción correlacionista del diseño tecnológico: el caso de las nanomáquinas. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 24-47. ISSN: 2525-1198



La tecnología química no es diferente en estructura de la tecnología física de las máquinas; es un encadenamiento que vincula órdenes de magnitud que, sin ella, no tendrían comunicación

Gilbert Simondon, *El Nacimiento de la Tecnología*, 1970

1. La Ciencia del Diseño y el artefacto técnico

Existen al menos tres preguntas fundamentales para abordar la problemática del diseño tecnológico. La primera es la pregunta por la agencia: ¿quién o qué diseña? Una segunda pregunta corresponde al método de diseño: ¿cómo se diseña? Por último, una tercera pregunta es de carácter ontológico, ¿qué es un objeto diseñado? He llamado *filosofías del artefacto* a los enfoques que abordan estas tres preguntas de la siguiente manera. En primer lugar, el agente de diseño es un diseñador humano, racional, deliberativo y previsor. En segundo lugar, el método de diseño se basa en la intención del diseñador humano, que incluye la previsión de los usos prácticos de la entidad diseñada. Por último, el resultado de tales procesos es un cierto tipo de objeto artificial, el *artefacto*, que cumple una función de mediación entre el ser humano y su medio.

Por otro lado, las *filosofías del artefacto* asumen que la actividad de diseñar un artefacto implica un estudio de los vínculos entre la organización material del objeto y los rasgos subjetivos de diseñadores y usuarios. Niegan la posibilidad de conocer las clases de objetos artificiales en sí mismas, y sostienen que solo es posible hacerlo a partir del estudio de las capacidades cognitivas y estados mentales humanos (percepción, acción, creencias, propósitos, deseos, prácticas y mecanismos de comunicación) que, supuestamente, fundamentan su origen y permanencia. A las posiciones que asumen este compromiso ontológico y epistemológico las he denominado *posiciones correlacionistas*.² Para estas posiciones, el conocimiento de las ciencias naturales no puede explicar ni describir la naturaleza de los objetos técnicos.

Un antecedente de esta concepción puede encontrarse en la obra que Herbert Simon publicó en 1969, *The Sciences of the Artificial* (1996), con la que se propone establecer los fundamentos de una Ciencia del Diseño que abarque desde la ingeniería hasta la medicina, pasando por los negocios y la pintura (Simon, 1996, xii). A pesar de que llevaba treinta años realizando estudios en el terreno de las teorías de la organización y la administración (que en 1978 le valieron el Premio Nobel en Economía), Simon decidió embarcarse en lo que denominó “el problema de la artificialidad” (Simon, 1996, p. 3) a través de una investigación que combinó

² He tomado este término del filósofo francés Quentin Meillassoux, quien entiende por “correlación” a “la idea según la cual no tenemos acceso más que a la relación entre pensamiento y ser, y nunca a alguno de estos términos tomados aisladamente (...) De allí en más se hace posible decir que toda filosofía que no se pretenda un realismo ingenuo se ha convertido en una variante del correlacionismo” (Meillassoux, 2015, p. 29). Desde mi perspectiva, las filosofías del artefacto son correlacionistas porque afirman que no se puede acceder al objeto técnico sino a los vínculos entre ese objeto y las intenciones humanas.

conocimientos económicos, psicológicos y de diseño industrial. Su enfoque ha estimulado numerosos desarrollos en el terreno de la teoría del diseño industrial (Norman, 1990, p. 286) y la filosofía de la tecnología. Particularmente, en el ámbito de la ontología de los artefactos, toda una corriente de pensamiento que define a un objeto artificial a través de una dimensión material, por un lado, y de una intencional, por el otro, son deudoras de alguna u otra manera del concepto de artefacto de Simon, para quien comprender la naturaleza de un artefacto es comprender con claridad una tríada de elementos básicos que lo componen: un medio interno, un medio externo y un conjunto de propósitos del diseñador.

Desde este punto de vista, todo sistema artificial posee dos dimensiones. En primer lugar, una dimensión material que abarca el medio interno y el externo, regida por las leyes naturales y susceptibles de ser estudiada por las ciencias de la naturaleza: “[l]as peculiares propiedades del artefacto radican en la delgada capa de interface entre las leyes naturales dentro de él y las leyes naturales fuera de él” (Simon, 1996, p. 113). Por el otro, existe una dimensión intencional, conformada por el conjunto de propósitos de los diseñadores. A partir de esta ontología dual de lo artificial, Simon define el diseño de sistemas artificiales como la confección intencional de un sistema adaptativo, en el que el medio interno de alguna entidad logra operar en un medio externo para cumplir los objetivos estipulados previamente por el diseñador.

La tesis es que ciertos fenómenos son “artificiales” en un sentido muy específico: son como son solo porque el sistema se amolda, de acuerdo con objetivos o fines, al medio en que vive. Si los fenómenos naturales tienen un aire de “necesidad” por su sumisión a la ley natural, los fenómenos artificiales tienen un aire de “contingencia” por su maleabilidad con respecto al medio (Simon, 1996, xi).

El alcance de esta ontología abarca también a los sistemas adaptativos biológicos. Los fenotipos y comportamientos de organismos son artificiales en la medida en que son el resultado de una adaptación a las contingencias del medio; cada rasgo tiene su razón de ser en la función que cumple para esta adaptación. Si se acepta eso, es posible encontrar una teoría general del diseño que distinga lo natural de lo biológico. Desde este enfoque, es posible explicar los fenómenos de equivalencia funcional³, donde dos medios internos absolutamente distintos (uno biológico y otro técnico) pueden tener el mismo esquema de interface con un medio externo idéntico.

Una teoría del avión se basa en ciencias naturales para una explicación de su medio interno (la instalación eléctrica, por ejemplo), su ambiente externo (el tipo de atmósfera a diferentes altitudes), y la relación entre sus medios internos y externos (el movimiento de una capa de aire a través de un gas). Pero una teoría del ave puede ser dividida exactamente de la misma manera (Simon, 1996, p. 7).

³ Este fenómeno ha sido denominado también como realizabilidad múltiple. Un análisis detallado de esta cuestión puede verse en Lawler y Vega Encabo (2011).

Tanto una organización de materia inerte como un organismo biológico son sistemas artificiales, si es posible identificar en ellos un medio interno que les permite existir, un medio externo en el que existen y un conjunto de estrategias de resolución de incompatibilidades entre uno y el otro que justifican su existencia tal cual es. Sin embargo, el concepto de artefacto sea biológico o de materia inerte, no está referido a todos los sistemas artificiales, sino exclusivamente a aquellos que son lo que son porque responden a propósitos humanos: “precisamente las especies de las cuales dependemos para nuestra alimentación, nuestro maíz y nuestro ganado, son artefactos de nuestro ingenio. Los surcos del campo no son ni más ni menos parte de la naturaleza que una calle asfaltada” (Simon, 1996, p. 3)

Esta explicación funcional de los artefactos, como la denomina Simon, consiste en a) todo artefacto posee un medio interno susceptible de ser supeditado a regularidades no intencionales, es decir, leyes naturales; b) todo artefacto opera inmerso en un medio externo que también es susceptible de ser descrito en esos términos; c) todo artefacto existe para satisfacer los propósitos previos del diseñador, los cuales están supeditados a regularidades humanas, sean cognitivas o culturales.

Un artefacto puede ser pensado como un punto de «interface», en términos actuales, entre un medio «interno», la sustancia y la organización del propio artefacto, y un medio «externo», el entorno en el que opera. Si el medio interno es apropiado para el entorno exterior, o viceversa, el artefacto servirá a su propósito (Simon, 1996, p. 6).

Por otro lado, esta definición ontológica de los artefactos puede ser instanciada en un tipo particular, las máquinas⁴. Simon expone detalladamente el caso del diseño de un controlador para motor eléctrico⁵ (fig. 1). Esta innovación permite que el motor invierta periódicamente el sentido de su rotación. En lugar de girar permanentemente, supongamos, en sentido horario, da media vuelta en ese sentido y media vuelta en el sentido contrario. El análisis del texto de la patente de este objeto parece verificar la hipótesis de Simon. En los primeros párrafos se describe los elementos técnicos que componen el medio interno del controlador, tales como “medios inversores” y “medios reductores de campo” (Simon, 1996, p. 10). Para explicar el funcionamiento del medio interno no es necesario aludir a las intenciones del diseñador, sino a los fenómenos naturales que actúan sobre él y sobre los que él actúa. En este caso, se trata de fenómenos sujetos a las leyes del electromagnetismo. En base a ellas, las relaciones que se establecen entre los elementos técnicos y los fenómenos electromagnéticos, que configuran la identidad del medio interno, pueden ser estudiadas empíricamente: se pueden medir, pueden

⁴ Aunque Simon no hace la distinción entre objetos de uso y máquinas, considero que existe una diferencia sustancial entre ambas clases de objetos técnicos que amerita una revisión de la noción intencional de artefacto, y una crítica a la teoría unificada del diseño. Ver, Sandrone, D. (2017a; 2017b), y Parente y Sandrone (2015).

⁵ Un dato curioso es que el motor que Simon desarrolla en el ejemplo fue patentado por su padre, el 24 de junio de 1919. Arthur Simon era un ingeniero eléctrico con varias patentes en su haber.

ser explicadas sus causas físicas y se puede predecir su comportamiento. Todo esto sin hacer referencia a las intenciones del diseñador.

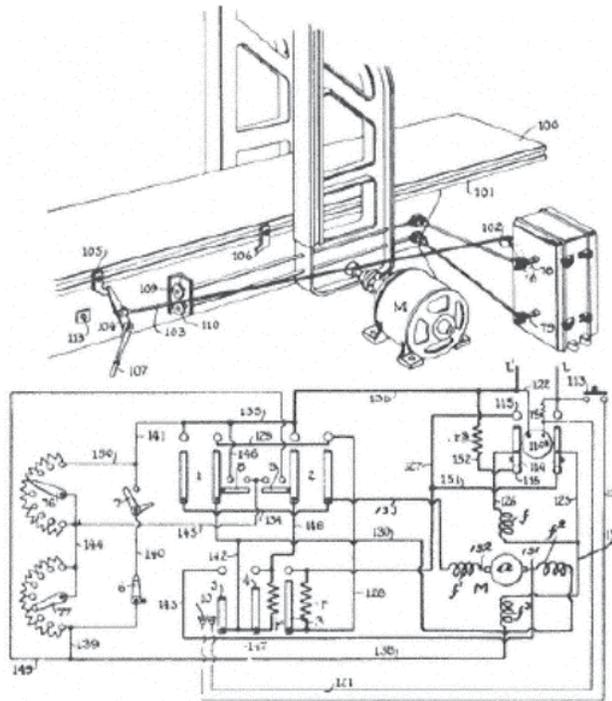


Figura 1. Ilustración tomada por Simon de la patente de un controlador de motor (Simon, 1996, p. 11).

Desde la perspectiva de Simon, la causalidad interna⁶ basada en las leyes naturales no permite comprender el artefacto, sino solo su medio interno. La existencia del artefacto, el controlador, solo cobra sentido como tal si en su explicación causal se incorpora el propósito del diseñador humano: ¿para qué colocó el inversor de campo electromagnético en el medio interno? La respuesta es dada en otro párrafo del texto de la patente: se pretende que el motor gire alternativamente *para* incorporar en su eje una leva y un tirante conectado a un cepillo mecánico. Así la “finalidad última queda aclarada” (Simon, 1996, p. 10) y da sentido a la adaptación del medio interno al entorno. Al definir a un artefacto como un sistema adaptativo intencional, la normatividad que permite distinguir un buen diseño artefactual de uno malo está basado en los objetivos del diseñador: “el ambiente externo determina las condiciones para el logro de dichos objetivos. Si el sistema interno está correctamente diseñado, se adaptará al entorno exterior (...) El funcionamiento adopta la forma del medio en que se mueve.” (Simon, 1996, p. 11).

Asumir este enfoque implica incorporar al debate ontológico alrededor de lo artificial una serie de cuestiones epistemológicas relativas al tipo de conocimiento específico válido para la actividad de diseñar artefactos,

⁶ Lo que Simondon llamaba también causalidad circular (Simondon, 2007, p. 78).

puntualmente, me interesa destacar que implica una mirada sobre el rol de las ciencias naturales en el diseño de artefactos. Si la explicación de un artefacto incluye la contingencia de los propósitos del diseñador y las características del medio en las que operará, ¿“cómo pueden formularse proposiciones empíricas en relación con sistemas que, en circunstancias totalmente distintas, serían totalmente diferente de cómo son?” (Simon, 1996, p. 11). En otras palabras, ¿cómo generar un conocimiento empírico de lo posible?

Una arista importante de esta cuestión es que el funcionamiento del medio interno no determina el funcionamiento del artefacto como totalidad. Eso, en términos de saberes y prácticas, señala que la tecnología debe estar supeditada al diseño de artefactos intencionales. De hecho, Simon manifiesta abiertamente que sus investigaciones deben servir para reelaborar los programas de las ingenierías que “se convirtieron gradualmente en escuelas de física y matemáticas” (Simon, 1996, p. 111). Simon plantea que la metodología del diseño no puede agotarse en la aplicación de los conocimientos obtenidos por las ciencias de la naturaleza, sino que es necesario generar un nuevo corpus de conocimiento específico que incluya teorías cognitivas de las decisiones humanas. Es en base a ellas, y a partir de las herramientas teóricas que proveen para el estudio de las estrategias de resolución de problemas, que deben abordarse las operaciones propias del diseño de artefactos, es decir, las que tienen como propósito adaptar artificialmente un medio interno a un entorno, de acuerdo con objetivos circunstanciales. En ese sentido, si las ciencias ingenieriles tienden a ocuparse del medio interno, es necesario, piensa Simon, inaugurar una ciencia del diseño que se ocupe de la interface: “esperamos que sea posible caracterizar las principales propiedades del sistema y su comportamiento, sin elaborar los detalles *ni* del medio exterior *ni* del interior. Podríamos mirar hacia una ciencia de lo artificial que dependa de la relativa sencillez de la interface como su fuente primaria de abstracción y generalidad.” (Simon, 1996, p. 9).

Es posible, entonces, desde su punto de vista, sentar las bases de una teoría unificada del diseño de artefactos, de la cual se derive un método general de solución de problemas emergentes en la elaboración de sistemas adaptativos intencionales, en cualquier ámbito.

Diseña quien elabora cursos de acción dirigidos a cambiar situaciones existentes en otras preferidas. La actividad intelectual de producir artefactos materiales no es fundamentalmente diferente de la de prescribir remedios para un paciente enfermo o de diseñar un nuevo plan de ventas para una compañía o una política de bienestar social para el Estado. El diseño, así interpretado, es el núcleo de toda formación profesional; es la principal marca que distingue a las profesiones de las ciencias (Simon, 1996, p. 111).

También

He llamado a mi tema «teoría del diseño» y a mi currículum «programa de diseño». He enfatizado su rol como complemento al currículum de las ciencias naturales en la formación de un ingeniero profesional o de

cualquier profesional cuya misión sea resolver problemas, elegir, a sintetizar, a decidir (Simon, 1996, pp. 135-136).

En definitiva, para Simon, el diseñador de artefactos es quien elige, sintetiza y decide, a diferencia del científico, quien descubre. Así, el diseño de artefactos técnicos materiales consiste en la elaboración de un sistema adaptativo en donde las intenciones humanas son parte constitutivas, a diferencia del medio interno y externo.

2. El Programa Dual y el artefacto técnico

La teoría de la Naturaleza Dual de los Artefactos Técnicos (NDAT)⁷ se presentó en sociedad a principios de este siglo como un programa de investigación a cargo de Peter Kroes y Anthonie Meijers (2002), el cual puede sintetizarse en la siguiente declaración de principios.

[...] Se puede decir que los artefactos técnicos poseen una naturaleza dual: son (i) estructuras físicas diseñadas, que realizan (ii) funciones que refieren a la intencionalidad humana. [...] En la medida en que los artefactos técnicos son estructuras físicas se adecuan a una concepción física del mundo; en la medida en que tienen funciones relacionadas con la intencionalidad, se adecuan a la concepción intencional (Kroes, 2006, p. 2).

Como los mismos autores afirman, la categoría de artefacto técnico ha sido, tradicionalmente, un tópico descuidado al interior de la filosofía, “con excepción de Dipert” (Kroes & Meijers, 2002). Esta mención no es casual, pues el enfoque dual se reconoce deudor de la concepción intencionalista de los artefactos⁸. Desde su punto de vista, esta concepción permite salir de la analogía entre artefactos y organismos para proponer una ontología específica, dentro de un marco teórico propio, basado en lo que, a sus ojos, verdaderamente distingue a los objetos técnicos: las intenciones humanas. Además de la concepción intencionalista de Dipert (1995), el PND está fuertemente influenciado por la noción de diseño de Herbert Simon, cuyo pensamiento es “un buen trampolín para la introducción del enfoque de la naturaleza dual” (Kroes, 2012, p. 38). En consonancia con su enfoque, el PND asume que las operaciones de diseño establecen cómo *deben ser* las cosas para conseguir objetivos y funcionar (Kroes, 2012, p. 135)⁹. Esa normatividad no proviene exclusivamente del medio interno, que indica *como son* los artefactos y su comportamiento, sino de la conjunción con los propósitos humanos. A Kroes le interesa particularmente la concepción de diseño de Simon porque “llama la

⁷ Este enfoque también suele ser conocido como DNTA, por sus siglas en inglés (The Dual Nature of Technical Artifacts) y como “La Escuela de Delf”, debido a pertenencia institucional de Peter Kroes a la universidad de esa ciudad holandesa.

⁸ Para ver los rasgos de la concepción intencionalista de Dipert en relación con los artefactos ver, Sandrone (2017a).

⁹ Nótese que, tanto para Simon como para Kroes, funcionar y conseguir objetivos prácticos son conceptos equivalentes en la definición de artefacto técnico.

atención sobre las tensiones entre el medio interno y el medio externo de los artefactos, la diferencia entre lo que el artefacto hace y lo que es capaz de hacer, y lo que se espera que haga en un contexto acción humana (el «rico» entorno externo que impone tantas restricciones)” (Kroes, 2012, p. 136). El programa de Simon corrige un defecto del enfoque intencionalista, pues no hace caso omiso a las constricciones físicas que la materialidad impone a las prácticas intencionales de diseño.

Desde este punto de vista, la naturaleza se concibe como una de las fuentes de restricciones con las que se topan las intenciones del diseñador. Tal idea ya había sido expuesta por Kroes años antes del lanzamiento del PND. Se refirió a ellas como “restricciones que no se pueden superar, no importa cómo intervengamos en nuestro entorno físico; trascienden el poder humano” (Kroes, 1994, p. 438)¹⁰. Por ejemplo, la ley de conservación de la energía es la formulación humana de una limitación natural: no es posible crear energía de la nada. No obstante, cabe aclarar, los límites que impone la naturaleza no siempre se reducen a leyes naturales y válidas, lo que solo sucede “en contextos muy específicos, idealizados (que hacen a esas restricciones susceptibles de tratamiento matemático)” (Kroes, 1994, p. 438). Más allá de eso, desde el enfoque de Kroes, es posible distinguir entre restricciones tecnológicas y naturales.

Las restricciones tecnológicas tienen un carácter contingente; cambian con el tiempo. Permítanme ilustrar este punto con el ejemplo del microscopio óptico tradicional. Los primeros tenían sólo un poder de resolución limitado. Eso no era debido a las limitaciones físicas, sino debido a las imperfecciones tecnológicas. Todavía había margen para

¹⁰ Es interesante contrastar esta noción de restricción natural que proviene de los inicios de la mecánica, con la que ha emergido en la modernidad. Uno de los primeros tratados que se conoce y que originalmente se atribuyó a Aristóteles –aunque hoy esa atribución forma parte de los debates contemporáneos sobre el corpus aristotélico (ver Ross, 1995; Winter, 2007)– se funda en una noción de restricción similar: “*Los Problemas de Mecánica* consisten esencialmente en treinta y cinco preguntas y sus respuestas; y casi todas siguen precisamente el mismo patrón argumental. Primero, se presenta un problema comenzando con una pregunta como: “Por qué es que...” seguido por la descripción de un mecanismo o técnica que le posibilita superar una gran fuerza por una más pequeña. Segundo, ciertos elementos de los arreglos mecánicos construidos a tal fin se identifican con las partes esenciales de la palanca, esto es, con la barra, el fulcro, la fuerza motriz, y el peso a mover. En tercer lugar, la aplicación siempre del mismo principio que se consideraba como característico tanto de la palanca como de la balanza (Renn, Damerow & McLaughlin, 2003, p. 64). Sobre este punto, Hans Blumenber ha señalado que esa concepción de la naturaleza como obstáculo para los procedimientos de diseño de artefactos, se invierte en la modernidad a partir de Galileo. A partir de esa inversión, las regularidades de la naturaleza nos allanan el camino al diseño de las técnicas en lugar de entorpecerlo: “Desde esta perspectiva teórica, el puesto asignado a este concepto de ley natural era el de indicar que el conocimiento es el único presupuesto para la solución de problemas, ofreciendo la propia naturaleza las soluciones, pero no mediante una mera imitación. La comprensión de la ley de la naturaleza no sólo hacía posible la técnica, sino que la apelación a la ley de la naturaleza legitimaba sus prestaciones. La representación de la ley de la naturaleza había sido concebida, desde sus orígenes, como una barrera a la actuación demiúrgica del hombre; ahora se convertía en su habilitadora, al revelarse la ley de la naturaleza como la quintaesencia de aquellos conocimientos que permitían al ser humano llevar a cabo *incluso, y justamente*, lo que la propia naturaleza en su existencia dada no ejecutaba ni propiciaba” (Blumenberg, 2013, p. 27).

una considerable mejora técnica mediante el uso de mejores lentes, etc. Hoy en día, sin embargo, el poder de resolución de estos microscopios ha alcanzado un cierto límite: dado su diseño y el comportamiento de la luz, una mejora del poder de resolución ya no es posible. Con respecto a este tipo de microscopio, podemos decir que la tecnología se ha encontrado con una restricción natural (...) Al parecer, la luz tiene ciertas propiedades que, en principio, hacen que sea imposible mejorar el poder de resolución de este tipo de microscopio y que es la razón por la que las llamamos propiedades naturales (Kroes, 1994, pp. 438-439).

En este sentido, el PND no se despega ni un ápice del planteo de Simon: el papel de las ciencias naturales consiste en descubrir las regularidades del mundo físico para establecer las condiciones de posibilidad de las resoluciones del diseñador. El diseño es *decisional* (Kroes, 2012, p. 131), por lo que, en relación con el artefacto, la ciencia natural funciona por la vía negativa: elimina lo que no es viable; mientras que las decisiones humanas son entendidas por la vía positiva: proponen las soluciones. Hay que notar, sin embargo, que tanto Simon como el PND, presentan una concepción superadora de aquella que presenta a la tecnología como “ciencia aplicada”, pues los conocimientos científicos señalan la posibilidad de la existencia del artefacto, pero no lo determinan. Existe un margen de arbitraje por parte del diseñador que interpreta, por un lado, las expectativas humanas en relación con la instrumentalidad deseada y, por el otro, las restricciones naturales.

Asimismo, las restricciones naturales no son las únicas que intervienen en el proceso de diseño del artefacto. En tanto éste posee fines instrumentales en un contexto humano con recursos disponibles finitos, no es posible que todas las especificaciones brindadas por las teorías científicas puedan ser atendidas (Kroes, 2012, p. 132)¹¹, por lo que, además de las constricciones de la naturaleza, debemos sumar aquellas que se basan en la economía, seguridad, confianza, estética, ética, etc. En ese sentido, la solución artefactual debe relacionar y satisfacer los requisitos físicos y sociales. Estos últimos no son externos al diseño tecnológico, sino que forman parte intrínseca del proceso: “esos factores co-definen el problema y entonces co-determinan la última forma del objeto de diseño” (Kroes, 2012, p. 133). Desde la perspectiva de Kroes, el proceso de diseño artefactual es una actividad deliberativa y decisional, que se asemeja al proceso de invención antes que al de descubrimiento: “[s]e trata de la *creación* de nuevos objetos, no sobre el

¹¹ Desde el constructivismo social de los artefactos también han llamado la atención sobre este punto, aunque lo han hecho desde el estudio de las prácticas de los diseñadores e inventores, los cuales suelen desconocer o desoír las restricciones naturales especificadas por los desarrollos teóricos de las ciencias naturales. Un caso ilustrativo es el de John Hyatt, quien encontró una forma viable de producir celuloide, solo después de exponer nitrocelulosa a altas temperaturas bajo mucha presión. Las teorías químicas aseguraban que el riesgo de producir una explosión era muy alto, incluso, unos días antes, un profesor de química le advirtió en persona que existían estas restricciones naturales en la manipulación del celuloide. Esto no detuvo a Hyatt, quien consiguió resultados exitosos y escribió más tarde que estaba “muy contento de no saber tanto como el profesor”, lo que le hubiera impedido realizar los experimentos necesarios (Bijker, 2008, p. 71).

descubrimiento de los que ya existen.” (Kroes, 2012, p. 133). Es, entonces, una actividad sintética antes que analítica.

Esa estructura física debe ser ensamblada, sintetizada, a partir de partes (componentes), algunas de las cuales pueden ya existir, otras de las cuales pueden tener que ser hechas a medida para determinado caso específico. Es por ello, que el diseño se caracteriza a menudo como una actividad *sintética*, o como una actividad que utiliza métodos de síntesis, en contraposición a la investigación científica que se caracteriza comúnmente como una actividad analítica, o como una actividad que utiliza métodos analíticos (Kroes, 2012, p. 137).¹²

El producto de esta síntesis, el artefacto, es una entidad “híbrida” (Kroes, 2012, p. 137) que combina dos tipos diferentes de características constitutivas. Por un lado, las características físicas, a través de las que un artefacto realiza su función y que “son intrínsecas, propiedades independientes de la mente” (Kroes, 2012, p. 196). Por otro lado, “sus características funcionales son dependientes de la mente; están relacionados con las intenciones humanas, ya que sólo en relación con las intenciones humanas (fines) los objetos físicos pueden tener funciones” (Kroes, 2012, p. 196).

3. Función y funcionamiento

Kroes ha puesto especial atención en lo que denomina el *enfoque orientado al objeto*, centrado en los procesos de elaboración y diseño de nuevos artefactos técnicos. Este enfoque, afirma, es característico de la ingeniería moderna y se centra en el “*plan de producción* y no una descripción de un objeto material real” (Kroes, 2012, p. 143). Esto implica que se soslaya la presencia de estructuras artificiales existentes en los procesos de diseño tecnológico, y se enfatiza el propósito humano que da forma a estructuras novedosas que cumplan con determinados fines prácticos. En este enfoque, el análisis de la configuración interna no es suficiente para definir la identidad de un tipo artefactual, por ello no es suficiente para caracterizar el objeto de diseño. Es necesario, en cambio, adosarle los fines prácticos identificados por el diseñador, y que están en la base de sus decisiones.

Sobre la base de un análisis de cómo los artefactos técnicos se conciben en la práctica ingenieril, los he caracterizado como construcciones

¹² En los comienzos de la ingeniería mecánica moderna, en el siglo XIX, los teóricos de las máquinas también emplearon la noción de análisis y síntesis para describir los procesos de diseño. Las restricciones relevantes en este caso, dada la incipiente matematización de la tecnología, eran sobre todo topológicas y geométricas. “En esta forma completa la máquina consiste en uno o más mecanismos, los cuales pueden, de la manera que hemos indicado, ser separados en cadenas cinemáticas, y ellas a su vez en pares de elementos. Esta separación es el análisis de la máquina, la investigación de su contenido cinemático, organizado en mecanismos, cadenas cinemáticas y pares de elementos. La inversa de esta operación es la síntesis, colocar juntos los elementos cinemáticos, cadenas y mecanismos, a partir de los cuales una máquina puede ser construida, así como cumplir su función requerida” (Reuleaux, 1876, pp. 51-52).

físicas hechas por el hombre con una “paraqueidad” [for-ness] o función práctica. Otra forma de expresar más o menos lo mismo, es mediante la caracterización de artefactos técnicos como construcciones físicas que incorporan un propósito de diseño. Como tales, no son ni objetos físicos ni los objetos sociales. Un objeto físico no incorpora o no es la realización de un propósito de diseño, y las construcciones físicas no juegan ningún papel significativo en la realización de funciones de los objetos sociales. Como objetos con características físicas y funcionales los artefactos técnicos son híbridos (Kroes, 2012, p. 195).

Desde ese punto de vista, las estructuras artificiales que “ya existen”, y que son supuestas por el diseñador cuando conforma un nuevo artefacto, no constituyen un objeto particular de interés y no poseen una especificidad ontológica. Son conceptualizadas como restricciones (tecnológicas) al igual que los fenómenos físicos y químicos de origen natural¹³. El PND las concibe como un medio (interno) a través del cual el diseñador consigue dar forma al “verdadero” objeto de diseño: el artefacto. Pero ¿estos objetos técnicos previos no poseen una identidad independiente de su uso artefactual? Parece que existe un “vacío lógico” frente a esta pregunta. Por un lado, para Herbert Simon y el PND, el medio interno no es un artefacto hasta que no incorpora un propósito humano. No obstante, cuando Artur Simon compró un motor para hacer su cepillo mecánico, no compró “un motor para hacer un cepillo mecánico” sino que compró un motor, que no tenía esa “paraqueidad” y, por lo tanto, no puede ser definido a partir de ella. Sin embargo, tampoco era un mero objeto físico, puesto que había sido elaborado intencionalmente, aunque no sea blandir un cepillo. ¿Es posible que las máquinas sean objetos intencionales que funcionan pero que no poseen una función práctica específica? Si esto es así, no se ajustan ni a la definición de sistema físico, ni a la de artefacto.

Una de las claves para salir de este “vacío lógico” radica en distinguir entre artefacto y máquina o, lo que es lo mismo, entre función y funcionamiento. Mientras la función práctica de un artefacto es una mediación entre el ser humano y su medio, el funcionamiento de una máquina es un sistema dinámico específico que le da unidad y le permite existir en el tiempo sin detenerse ni autodestruirse. Su identidad, en tanto clase artificial, radica en ese tipo de funcionamiento y no en su función práctica. Así, el motor eléctrico posee un esquema de funcionamiento particular que le da identidad a su clase, con independencia de las funciones prácticas que se le pueden asignar y de los artefactos que puede integrar.

Sin embargo, el PND no asume el peso ontológico específico que posee la máquina, ni la autonomía de su génesis con respecto al origen de los artefactos que compone. En lugar de distinguir entre, por un lado, el comportamiento de la

¹³ Esto se opone directamente al proyecto de una Mecanología, impulsada por Lafitte (1972) a principios del siglo XX y continuada por Simondon (2007), que se enfoca precisamente en los esquemas artificiales “que ya existen” y cuya génesis puede ser rastreada con independencia de los usos prácticos que se han hecho de ellos. Estas estructuras poseen una identidad que se evidencia en su permanencia en diferentes esquemas artefactuales. Son objetos artificiales reales, a diferencia de los artefactos, que son objetos intencionales.

máquina y, por el otro, la función intencional del artefacto, el PND los fusiona a ambos bajo el concepto de “comportamiento intencional” (Kroes, 2012, p. 137).

Desde el punto de vista del objeto del diseño, un proceso de diseño ingenieril, por lo tanto, comienza por tomar (una descripción de) su función, su comportamiento intencional, y finalmente con (la descripción de) una estructura física que realiza el comportamiento intencional. En otras palabras, es un proceso que se extiende desde uno de los elementos constitutivos que intervienen en la naturaleza dual de artefactos técnicos, desde (una descripción de) las intenciones humanas, al otro elemento involucrado, a una (descripción de) estructura física (Kroes, 2012, p. 137)

Así, para Kroes, el proceso de diseño ingenieril comienza en el ámbito subjetivo, el de la percepción de una posible función práctica, y se desplaza hasta conseguir un sistema físico susceptible de ser descrito en forma más o menos objetiva. El diseñador comienza por identificar y describir una función, entendida como mediación entre el humano y su medio (por ejemplo, cepillar una superficie); luego, es necesario que tenga en claro cómo debe comportarse una entidad que cumpla esa función (por ejemplo, debe realizar un movimiento rectilíneo uniforme en dos direcciones opuestas de manera alternativa), y, finalmente, se concibe la estructura física que lo hará (por ejemplo, un motor eléctrico cuyo eje gire en dos direcciones alternativamente y se conecte a una leva y a un tirante). En este esquema, la forma sigue a la función, y el fin último del diseño es generar “comportamientos intencionales”.

No obstante, la elección de una noción tan amplia como la de “artefacto” para postular el fin último y exclusivo del diseño tecnológico, lleva al enfoque dual a un problema ontológico difícil de resolver. Como el mismo Kroes señala, las características funcionales de los artefactos técnicos son dependientes de la mente: existen en la medida que son identificadas por seres humanos (Kroes, 2012, p. 150). Por el contrario “el comportamiento físico del artefacto técnico (lo que hace físicamente)” (2012, p. 152) es independiente de la mente humana (una máquina funciona, aunque nadie perciba su funcionamiento) pero eso no da cuenta de la totalidad del artefacto. Para dar una descripción total, es necesario describir su función, para qué sirve, o lo que debe hacer. Entonces, cabe preguntar ¿Qué sucede con los artefactos cuya función es meramente funcionar? ¿Qué sucede con las máquinas?

4. La noción de plan de uso

Una segunda línea generacional del PND, conformada por Pieter E. Vermaas y Wybo Hukes (2010), ha procurado abordar “la perspectiva del usuario” (Kroes, 2012, p. 144). Estos autores distinguen dos tipos de visión filosófica acerca de los artefactos: por un lado, existe una metafísica de la fabricación humana (man-made), en la que podríamos situar a Simon y a los desarrollos que hemos analizado

de Kroes¹⁴. Por otro lado, existe una metafísica del uso, a partir de la cual, estos autores pretenden fundamentar, en principio, una definición de artefacto técnico y, en segundo término, una teoría de su diseño. La ventaja explicativa que tendría este enfoque es que no sólo se circunscribe a las capacidades del diseñador para sintetizar las restricciones de la naturaleza y las necesidades prácticas del contexto, sino que, además, incorporaría las capacidades de prever las acciones del potencial usuario del artefacto. Desde este punto de vista, el diseño ingenieril está orientado a la acción del usuario y no al objeto, en una tarea que consiste en diseñar un *plan de uso*. De ello se sigue una caracterización de los artefactos en los siguientes términos.

Un objeto x es un artefacto a de tipo t si y sólo si: (1) ha sido producido intencionalmente por un agente m ; y (2) x es manipulado en el curso de la ejecución de un plan de uso específico p , que está diseñado, comunicado y evaluado de acuerdo con el análisis de plan de uso y diseño (Vermaas & Hukes, 2010, p. 158).

En términos de Kroes, desde este enfoque “cada una de estas actividades de diseño se reconstruye en términos de planes, y el plan para el diseño del artefacto está incrustado en el diseño del plan de uso” (Kroes, 2006, p. 144). Por ejemplo, podríamos decir que el plan de uso de una puerta es poder abrirla para entrar a una habitación y que para poder hacer eso es necesario realizar muchas acciones entre las que se encuentran aquellas que permiten construir una puerta. Ahora bien, al poner el diseño del artefacto como un elemento del diseño de un plan de uso, el artefacto queda reducido a su faceta instrumental. En este sentido, el diseño ingenieril implica supuestos acerca de un tipo de razonamiento del usuario, ligado a la racionalidad práctica; diseñar un artefacto es diseñar, antes que nada, un plan de acción para el usuario en el que el artefacto cumple un rol instrumental. La prioridad del plan de acción le da un rol fundamental al contexto de uso.

Por lo tanto, un chorro de agua fresca (x) es un agente de refrigeración (a) en el contexto de generación de electricidad nuclear (p), y es un agente de limpieza (a') en el contexto de lavado del cabello (p'); una pieza de acero y plástico es un destornillador en la construcción de un cobertizo de jardín, y un abridor al abrir botellas de gaseosa; una configuración complicada de diversos materiales es un avión durante el vuelo a través del Atlántico, y una pieza de museo una vez que ha salido de servicio y está en exhibición (Vermaas & Hukes, 2010, p. 158).

Para ello, retoman explícitamente la distinción de Dipert entre a) *instrumentos*, que son objetos utilizados para fines prácticos (Dipert, 1995, p. 121); b) *herramientas*, que son objetos modificados con fines prácticos (Dipert, 1995, p.122); y c) *artefactos*, que son un tipo de objetos comunicativos, que informan al usuario sobre su función propia (Dipert, 1995, p. 129). Sin embargo, la perspectiva

¹⁴ También se menciona a Hilpinen (1993) que relaciona fuertemente la definición de artefacto con la de autor.

del usuario del PND, no aborda las definiciones de herramientas y de artefacto, sino que se limitan fundamentalmente a la de instrumento.

Si nuestra teoría es comparada con la de Dipert, puede parecer que se discute principalmente instrumentos en lugar de los artefactos. Nuestro concepto de diseño, en particular, no contiene ninguna referencia a la modificación física; aunque este aspecto «poiético» es una parte integral del diseño del producto (...) En nuestro enfoque, tanto del diseño como del uso, la noción de plan de uso se sostiene en el centro de escenario. Y a pesar de que compartimos con Dipert un énfasis en la comunicación, el contenido de esta comunicación es el plan de uso y no el hecho de que el artefacto posee, de alguna manera, un cambio físico para permitir o facilitar el uso. Por lo tanto, la definición «materiales útiles» (...) hace explícito que, durante todo este libro, nos centramos en los instrumentos en lugar de artefactos o herramientas (Vermaas & Hukes, 2010, p. 155).

Desde luego, centrada en la faceta instrumental de las estructuras materiales no tiene sentido distinguir entre un objeto artificial y uno natural. Lo que hace que un objeto físico sea un artefacto técnico, es que cumpla un rol en un plan de acción del usuario previsto por el diseñador. Por otra parte, la noción “plan” limita el problema de los usos idiosincráticos o personales que se pueden dar en un contexto determinado.

Optamos por considerar a los planes como elementos complejos, ítems mentales que consisten en acciones consideradas, no en acciones reales. Si las acciones consideradas que constituyen el plan se llevan a cabo, se ejecuta el plan. Esta ejecución es un proceso físico que implica al cuerpo humano y, posiblemente, a otros objetos materiales. Si hay artefactos implicados, llamamos a eso el plan de un plan de uso. La ejecución de un plan de uso de este modo implica el uso de artefactos. Nos referimos al proceso mental de planificación como la construcción o el diseño de un plan de uso. Este proceso da lugar a un estado mental más o menos duradero, similar a una creencia o intención, y diferente de un deseo o una fantasía (Vermaas & Hukes, 2010, p. 18).

Lo importante de ello, para nuestros fines, es que la definición de un artefacto está dada por una relación externa a su estructura y comportamiento: lo que lo define son prácticas humanas en contexto. La expresión “manipulado” en la definición de artefacto, también expresa claramente la idea de que la relación entre el artefacto y el humano está mediada por el cuerpo, y que esa mediación es un requisito fundamental para entender qué tipo de objeto físico es un artefacto. El plan se ejecuta cuando las *acciones consideradas* son ejecutadas, pero esa ejecución constituye “un proceso físico que implica el cuerpo humano y posiblemente otros objetos materiales”. El término plan implica, además de acciones corporales, un proceso mental de construcción y diseño del plan de uso que, otra vez, implica el cuerpo humano. La pregunta debe hacerse nuevamente, ¿Qué sucede con los objetos que no se definen por las formas de manipulación humana? ¿Qué sucede con los objetos que se usan, sino que usan objetos? ¿Qué sucede con las máquinas?

5. El diseño de las nanomáquinas

El caso del diseño de nanomáquinas resulta particularmente interesante para indagar los límites de las posiciones correlacionistas. La génesis de este tipo de objetos diseñados debe situarse en el descubrimiento de los mecanismos que regulan los motores biológicos. Se trata de sistemas macromoleculares que cumplen un trabajo al interior de las células, para lo cual transforman la energía química de su entorno en trabajo mecánico (Wang, 2013, p. 13). El objetivo de estas primeras investigaciones alrededor de las máquinas moleculares no fue diseñar un nuevo objeto, sino regular o reproducir artificialmente los que ya existían. Posteriormente, se reportaron trabajos que apuntaban al diseño de máquinas “híbridas”, en las que se incorporaron biomotores en estructuras moleculares artificiales, intentando “maximizar la compatibilidad entre los componentes biológicos y sintéticos” (Hess, Bachand & Vogel, 2004). Finalmente, en octubre de 2016, la Real Academia Sueca de Ciencias le otorgó el Premio Nobel de Química a tres científicos por “el diseño y síntesis de máquinas moleculares” (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2016). Se trata de máquinas completamente sintéticas que suponen, según se especificó en el documento oficial de la premiación, dos grandes avances tecnológicos: “El primero de ellos implica el *entrelazamiento topológico* y los denominados *lazos-mecánicos*, mientras que el segundo se basa en los lazos isomerizables (insaturados)”¹⁵ (RSAS, 2016, p. 2).

A fin de construir una máquina compleja, es requerida, por lo general, una serie de bloques de construcción, y la función del dispositivo [device] está intendida para ser una consecuencia de su ensamblaje. El *diseño de los componentes*, y el control de su conectividad integral, están en el corazón del desarrollo de la máquina. Además, un alto grado de *movimiento relativo controlado* entre sus partes es esencial para que la máquina produzca la operación deseada. Mediante el control de los movimientos de rotación y traslación de los componentes de la máquina, junto a una entrada de energía externa, es posible obtener la función predeterminada. Una máquina también necesita para interactuar con su entorno y, cuando sus operaciones se producen a escala molecular, ser capaz de superar la fluctuación térmica (movimiento browniano) que influye en su acción mecánica. Este problema ha sido abordado por químicos y físicos (teóricos) con el objetivo de escapar de ruido aleatorio o aprovecharlo para movimiento controlado (RSAS, 2016, p. 2).

En principio, esta presentación parece ser hecha a la medida de las filosofías del artefacto, pues se habla de “dispositivo”, “operación deseada” y, sobre todo, se afirma que la “función intendida” es producto de un ensamblaje intencional. Por otra parte, es posible identificar un medio interno, el ensamblaje de moléculas, y un medio externo, el entorno del que el ensamblaje toma energía y realiza el trabajo mecánico. No obstante, un análisis de la bibliografía especializada en relación con

¹⁵ Los enlaces isomerizables son aquellos que permiten transformar una determinada molécula en otra que posee los mismos átomos, pero dispuestos de otra forma a través de un proceso químico.

el diseño de nanomáquinas nos ofrece una serie de núcleos problemáticos que desafían los supuestos correlacionistas.

En primer lugar, aunque el diseñador posea un propósito que rija las acciones de ensamblaje de componentes, es necesario establecer una distinción entre dos tipos de propósitos: el primero es el instrumental, es decir, la utilidad que pueda tener la nanomáquina para facilitar la interacción del ser humano con el mundo. Por ejemplo, se puede pretender que ciertos tipos de nanomáquinas trasladen componentes químicos de determinados medicamentos a sectores del organismo de difícil acceso. Este tipo de propósito es extrínseco al tipo de objeto, porque no intenta estabilizar su funcionamiento sino a adaptarlo a una determinada función práctica. Por otro lado, puede que el diseñador trabaje con el propósito de que ese ensamblaje de moléculas se comporte “como una máquina” [machinelike]. En ese caso, el objetivo del diseñador no es que la máquina cumpla una función, sino que logre un funcionamiento que identifica a algún tipo de máquina existente. Un rotaxano (fig. 2), por ejemplo, es una arquitectura molecular mecánicamente entrelazada. Esto significa que las moléculas que las componen no están unidas por los enlaces químicos o fuerzas intermoleculares, sino por su topología o forma. Como vemos en el siguiente pasaje, uno de los propósitos que guía el diseño de este tipo de objetos es que funcionen *como* un motor automático.

El rotaxano se comporta como un motor lineal autónomo y funciona con una eficiencia cuántica hasta $\approx 12\%$. El sistema investigado es un ejemplo único de un nanomotor lineal artificial porque reúne las siguientes características: (i) es alimentado por luz visible (por ejemplo, luz solar); (ii) exhibe un comportamiento autónomo, como proteínas motoras; (iii) no genera residuos; (iv) su funcionamiento sólo puede apoyarse en procesos intramoleculares, permitiendo que en principio la operación al nivel de una sola molécula; (v) puede conducirse a una frecuencia de 1 kHz; (vi) funciona en condiciones ambientales leve (es decir, líquido a temperatura ambiente); y (vii) es estable por lo menos 103 ciclos (Balzani, Clemente-León, Credi, Ferrer, Venturi, Flood, & Stoddart, 2006, p. 1178).

Como vemos, el propósito inicial del diseñador no es adaptar un medio interno a uno externo en función de un propósito práctico extrínseco, sino estabilizar un comportamiento. Pero, entonces, cabe la siguiente pregunta: ¿en que medida ese comportamiento es “intendido”? Si se reduce el concepto de “comportamiento intenido” a “comportamiento «para»”, como sugiere el enfoque intencionalista, tendríamos un problema para describir de esa forma al diseño del rotaxano, pues la intencionalidad del diseñador no contiene, en principio, la previsión de una función práctica o un uso específico de la entidad diseñada. Se sabe qué máquina se busca, pero su “para qué” es difuso. Antes bien, se trata de un “*comportamiento entendido*”, es decir, una máquina “como” otra máquina existente, cuyo comportamiento se conoce y se comprende. En este tipo de operaciones de diseño, los propósitos del diseñador no son extrínsecos, sino que apuntan a estabilizar elementos propios de la máquina: la eficiencia cuántica, la frecuencia, la cantidad de ciclos a partir de los cuales pierde su estabilidad, etc. Sólo

cuando eso se consigue se puede aceptar que se ha diseñado una máquina “como un motor lineal autónomo”, con independencia de su “para que”.

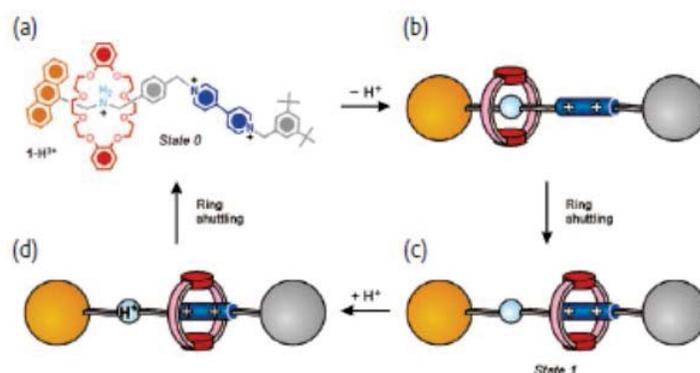


Figura 2. Primeras estructuras basadas en lazos mecánicos: En el caso del rotaxano, una molécula con forma de mancuerna se inserta en un anillo molecular llamado macrociclo, que le imprime un movimiento rotatorio. El diámetro del anillo es menor que el de los extremos de la “mancuerna”, los cuales operan como tapones y evitan que la entidad se desarme (Balzani, Credi, & Venturi, 2007, p. 21).

Por otra parte, dado que el propósito del diseñador es intrínseco al funcionamiento del sistema físico sobre el que opera, cuesta distinguir entre “dimensión física” y “dimensión funcional”, la cual está en la base de las filosofías correlacionistas, en general, y del PND, en particular. En ese sentido, al contrario de lo que propone esta corriente, la descripción de las intenciones con las que el diseñador opera sobre el sistema físico remiten a las características del propio sistema físico: opera sobre un motor molecular inestable “para” hacer un motor molecular estable. No parece que postular una “dimensión funcional” diferente del esquema de funcionamiento de un motor molecular aporte algo relevante para comprender el proceso de diseño.

Como consecuencia de esto, también se vuelve problemática la distinción entre “límites tecnológicos” y “límites naturales”, planteado por Kroes en su ejemplo del microscopio. De acuerdo con ese análisis, no se puede entender qué es un microscopio si no se entiende la intención del diseñador de ver objetos pequeños. El obstáculo para lograr ese objetivo son ciertas propiedades de los elementos artificiales (las lentes) y de los naturales (la luz). Para Kroes, las propiedades de los primeros pueden ser modificadas pero las de los segundos no. Sin embargo, en el mundo nano esta distinción se torna difusa, ya que algunas de las propiedades intrínsecas de las entidades moleculares son bastante diferentes de los de objetos macroscópicos. Por ejemplo,

- (i) las moléculas están en un estado de constante movimiento aleatorio y sometidas a continuos choques (movimiento browniano); (ii) en el nanomundo, las cosas son algo más flexibles y pegajosas debido a las interacciones electromagnéticas; y, (iii) las dimensiones de las moléculas son mucho más pequeñas que las longitudes de onda de la luz

utilizadas para suministrar energía u obtener información (Balzani, Credi, & Venturi, 2007, p. 20).

En ese sentido, ¿los fenómenos regidos por las leyes de la mecánica cuántica son un “límite natural” o un “límite tecnológico”? La distinción propuesta por Kroes parece no servir de mucho en el nivel nano, porque el comportamiento “natural” de las moléculas no está escindido de arquitectura del “artefacto”: las moléculas son el artefacto. Por eso mismo, tampoco es fácil establecer la distinción de Simon entre “medio interno”, regido por leyes naturales, y artefacto, entendido como punto de encuentro entre medio interno, medio externo y propósitos humanos, como en el controlador patentado por su padre. En el caso del diseño de rotaxanos, es difícil marcar los límites entre medio interno y artefacto intencional, ya que ambos se circunscriben al comportamiento del sistema físico de moléculas.

Por otro lado, la distinción entre operaciones “analíticas” y “sintéticas”, que Kroes atribuye a la ciencia y a la tecnología, respectivamente, también encuentra ciertos problemas en el diseño de nanomáquinas. Recordemos que para el enfoque del PND, el diseño es caracterizado como una actividad decisional, donde el diseñador sintetiza deliberadamente una serie de elementos físicos y sociales para dar forma al artefacto. Sin embargo, en los procesos de diseño de nanomáquinas, es frecuente que la síntesis de los elementos físicos no tenga su origen en la decisión del diseñador sino en la propia dinámica incontrolada del objeto sobre el que se está operando. A este fenómeno se lo conoce como *autoensamblaje*, y se lo define como “la organización espontánea de componentes desordenados para formar estructuras de patrones definidos” (Wang, 2013, p. 153). En este sentido, si un artefacto es un objeto intencional, es decir, es el resultado de un proceso controlado en el cual el diseñador toma una serie de decisiones que determinan su forma y comportamiento, una nanomáquina que se generó en un proceso espontáneo no calificaría como “artefacto”. Ni siquiera si tratáramos de caracterizar a estas operaciones como lo que Dipert llama “inacción deliberada” (Dipert, 1993, p. 25). Un ejemplo que brinda este autor es el de una persona que, al podar los arbustos de su casa con el propósito de que todas las ramas posean la misma longitud, deliberadamente corta las que están más largas, pero *decide* no cortar las que están del largo deseado; por lo tanto, aunque la rama creció espontáneamente, debe ser considerado, según Dipert, como el resultado de un diseño intencional. Ahora bien, la diferencia sustancial entre la “inacción deliberada” y el *autoensamblaje* de nanomáquinas, es que en el primer caso la persona posee un modelo mental previo del objeto deseado que guía sus acciones. Esto no sucede en los procesos de autoensamblaje.

En el autoensamblaje, la información necesaria para hacer una estructura tridimensional está contenida dentro de las moléculas, en lugar de tener que ser impuesta desde el exterior. No tenemos que colocar molécula por molécula, según nuestro plan. El modelo [blueprint], si es que tiene sentido hablar de uno, está contenido en las moléculas, y todo lo que tenemos que hacer es reunir las para que ellas mismas realicen la estructura (Jones, 2004, p. 89).

En el caso del diseñador de nanomáquinas, si bien es cierto que decide poner juntas algunas moléculas y dejarlas interactuar entre sí para obtener un comportamiento, no tiene un modelo certero del resultado final ni del proceso de conformación del objeto. En todo caso lo “extrae” analíticamente mediante la observación e identificación de patrones. Se puede pensar en ello, como la actividad de armar un rompecabezas sin tener la tapa de la caja con la foto de la figura terminada (Lee, 2012, p. 91); en ese caso, toda la información de la que disponemos quien desea armar el rompecabezas se encuentra en los rasgos de las piezas, y se irá ampliando a medida que las hagamos interactuar. Por ello, el fenómeno de autoensamblaje obliga a revisar la definición dual del diseño tecnológico como una actividad eminentemente proyectual, dado que no toda entidad que cobra existencia en el nivel nano estuvo previamente, si más no sea de forma esquemática, en la mente del diseñador.

Es una versión de lo que los científicos llaman la nanoingeniería, la naturaleza transforma estos ingredientes inexpresivos, abundantes e inanimados en creaturas de auto-generación, auto-perpetuación, auto-reparación, auto-conciencia, que caminan, nadan, huelen, ven, piensan e incluso sueñan” (Amato citado en Nordmann, 2008, p. 173).¹⁶

Antes bien, en lugar de partir del modelo mental e ir precisando las particularidades de los componentes, *top-down*, los nanoingenieros estudian con precisión el comportamiento de los componentes para generar un modelo de máquina, *bottom-up* (Balzani, Credi, & Venturi, 2007). Por ello, es necesario examinar la máxima del PND según la cual el diseño no estudia analíticamente objetos existentes, sino que inventa sintéticamente objetos nuevos. Como vemos, la inclusión del autoensamblaje como una instancia del diseño de nanomáquinas evidencia que buena parte del proceso consiste justamente en analizar y medir objetos existentes para *descubrir* patrones capaces de ser estabilizados y reproducidos. Como consecuencia, hay dos problemas con los que se enfrenta la posición correlacionista. El primero es que la actividad de diseño humano no incluye necesariamente un conocimiento del objeto diseñado: podemos crear cosas cuyo funcionamiento ignoramos.¹⁷ Esto tiene una consecuencia directa para el PND: no es posible apelar a las intenciones del diseñador para dar una descripción

¹⁶ Esta cita nos remonta sin dudas a las palabras que Aristóteles escribió en *La Física*, hace más de dos milenios y medio: “si una casa hubiese sido generada por la naturaleza, habría sido generada tal como lo está ahora por el arte. Y si las cosas por naturaleza fuesen generadas no sólo por la naturaleza sino también por el arte, serían generadas tales como lo están ahora por la naturaleza. Así, cada una espera la otra. En general, en algunos casos el arte completa lo que la naturaleza no puede llevar a término, en otros imita a la naturaleza.” (Física, 199a).

¹⁷ Desde mi punto de vista (Sandrone, 2016, p. 264 y ss.), esto ha sido planteado por Simondon a través de la distinción entre, por un lado, un objeto técnico abstracto (equivalente a un objeto práctico para cumplir una función) que “viene después del saber, y no puede enseñar nada; no puede ser examinado inductivamente como un objeto natural, precisamente porque es artificial” (2007, p. 66) y, por otro lado, un objeto técnico concreto (una máquina), que “es un sistema físico-químico en el cual las acciones mutuas se ejercen sobre todas las leyes de las ciencias” (2007, p. 56).

acabada del “artefacto” diseñado. La descripción del artefacto se agota, necesariamente, en la descripción de la dinámica de su sistema físico.

El segundo problema está relacionado con el rol que ocupa la ciencia básica para el PND. Según esta corriente, las ciencias naturales sirven para describir los límites del diseño de artefactos. Sin embargo, en el caso del diseño de nanomáquinas sirven para descubrir el propio proceso de diseño: ¿o qué otra cosa es identificar patrones de autoconstrucción de nanomáquinas para poder construir las posteriormente? Antes que una antropogénesis, como propone el PND, los procesos de diseño en el mundo nano se acercan a una tecnogénesis: en lugar de inventar, el nanotecnólogo exhuma¹⁸ la estructura y el comportamiento del objeto artificial que el mismo objeto artificial creó. Las reglas de su arquitectura y funcionamiento proporcionan las reglas para su propia construcción. No se trata, como plantea Bunge (2004), de convertir enunciados nomológicos, extraídos de la naturaleza por las ciencias básicas, en nomoprácticos, reglas para la construcción de artefactos. En el mundo nano, la distinción entre ambos tipos de enunciados se diluye, así como la diferencia entre ciencia básica y tecnología. En consecuencia, volviendo a la cuestión inicial de este párrafo, cabe preguntarnos ¿hasta que punto diseñar una máquina de la forma que hemos “descubierto” que lo hace la propia máquina es una actividad decisional?

Hasta aquí, hemos señalado algunos inconvenientes que posee la perspectiva del diseñador de las posiciones correlacionistas en relación con el diseño de nanomáquinas. Sin embargo, el defensor del PND aún podría sostener una perspectiva del usuario, ya que existe una intencionalidad a posteriori, en el contexto de uso: “¿qué utilidad posee esta entidad que hemos creado?”. Esta instrumentalización determina una utilidad práctica del objeto diseñado, aunque el comportamiento de éste no haya sido previsto plenamente y no pueda ser considerado “intendido”. Como hemos visto, esto es irrelevante para la perspectiva del usuario del PND: lo mismo da el carácter intenido o natural del objeto. No obstante, el caso particular de las nanomáquinas presenta dos obstáculos para este enfoque.

El primero consiste en que muchos de las nanomáquinas no presentan una utilidad claramente identificable. De hecho, una de las principales características de muchos de estos sistemas es que son “multipropósitos” (Peters, 2014), y que sus propiedades físicas y técnicas varían según los usos que se realicen, como es el caso de los materiales “con memoria” y los materiales “vivos”. Justamente, un rasgo de la tecnicidad de estos objetos es su indeterminación instrumental.

¹⁸ No por casualidad utilizo el término “exhumar”. Lo tomo de las afirmaciones que realiza Stiegler, acerca de la concepción simondoniana de la evolución de los objetos industriales: “el objeto técnico industrial, aunque es realizado por el hombre, resulta sin embargo de una inventiva que proviene del objeto técnico mismo” (2002, p. 104). La lógica de la génesis de un objeto industrial “no es el resultado de la actividad humana, ni una disposición del hombre, que no hace más que tomar nota de sus enseñanzas y ejecutarlas. Las enseñanzas de la máquina son invenciones en el sentido antiguo: exhumaciones” (2002, p. 105). Para profundizar en la concepción simondoniana de la invención en el caso de los objetos industriales ver (Parente y Sandrone, 2015).

Por otro lado, el segundo obstáculo radica en que la perspectiva del usuario supone que los objetos están dentro del rango de percepción y control del usuario. ¿Pero, qué sucede con las entidades artificiales que no entran en ese rango? Esto se produce, sobre todo, cuando la agencia técnica se vuelve demasiado pequeña o demasiado grande, o demasiado rápida para la experiencia humana (Nordmann, 2008, p. 175). Esta forma de “tecnología naturalizada” (Nordmann, 2008), representa varios problemas para las filosofías de los artefactos en lo que respecta al control y previsión humana en los procesos de uso.

Aunque a los fines de este artículo hemos circunscripto el problema a la escala nano, no necesariamente debemos llegar a ese punto para dar cuenta de la naturalización de la tecnología. La era industrial ha desarrollado múltiples tipos de objetos artificiales que escapan a la capacidad de uso e, incluso, de percepción humana, sin que esto implique un proceso de diseño a escala nano. Dado que, como vimos, la perspectiva del uso en las filosofías de los artefactos implica la mediación del cuerpo humano¹⁹, cabe preguntarse qué debemos entender por uso en determinados objetos tecnológicos contemporáneos.

Por el contrario, el sello distintivo de la tecnología naturalizada no es que su uso se ha convertido en rutina habitual o «natural» en el sentido de la normalidad. De hecho, no está claro hasta qué punto podemos ser «usuarios» de ella en absoluto. El sello distintivo de la tecnología naturalizada es que actúa por debajo o por encima de los umbrales de percepción y de control, que no podemos representarnos su agencia tal cual ocurre, no podemos iniciar o detener su funcionamiento, ni podemos conocer si está funcionando o está averiada (Nordmann, 2008, p. 177).

Las nanomáquinas solo actualizan una serie de problemas que ya podemos observar en nuestra interacción con automóviles, computadoras, circuitos eléctricos, teléfonos celulares, y demás objetos tecnológicos cuyos sistemas de funcionamiento interno son imperceptibles para nosotros e inaccesibles para nuestra experiencia, por lo que podemos hablar también de la emergencia de una dimensión *nouménica* de la tecnología (Nordman, 2005).

6. Consideraciones finales

A finales del siglo XIX, Marx atribuía a Adam Smith la confusión entre los procesos de diferenciación de los instrumentos, signado por las intenciones del diseñador/obrero, y los procesos de invención de la maquinaria, caracterizado, entre otras cosas, por el conocimiento científico (Marx, 2013, p. 424). Mucha agua ha corrido bajo el puente desde entonces, pero aquella diferencia que señaló Marx puede actualizarse distinguiendo, por un lado, el diseño de artefactos y, por el otro, el diseño de nanomáquinas. Para realizar un aporte a dicha elucidación hemos realizado la siguiente caracterización diferencial.

¹⁹ También afirma que el uso puede realizarse a través de “otros materiales” y no sólo del cuerpo humano.

Las posiciones correlacionistas, entre las que se encuentra el PND, se fundan en los siguientes supuestos ontológicos y epistemológicos: a) el producto de un proceso de diseño es un objeto que posee un comportamiento intencional; b) el propósito del diseño es la creación de nuevos objetos artificiales, no el descubrimiento de los que ya existen; c) el diseño consiste en una síntesis de elementos físicos e intencionales; d) un artefacto es materia con un propósito incrustado (perspectiva del diseñador) o con utilidad (perspectiva del usuario); e) la función de un artefacto se concibe como un tipo de mediación artificial entre el humano y su medio.

Por otra parte, en los procesos de diseño de nanomáquinas se presentan frecuentemente los siguientes fenómenos, incompatibles con los supuestos mencionados anteriormente: a) el producto de un proceso de diseño es un objeto que posee un comportamiento ignorado por el diseñador; b) el propósito del diseño es la reproducción o imitación de objetos que existen; c) el diseño se basa en el análisis de la interacción de los componentes físicos del objeto; d) la función de una nanomáquina es funcionar en su medio sin perder estabilidad ni autodestruirse.

De acuerdo con lo que hemos expuesto hasta aquí sobre la filosofía de los artefactos, surgen algunos interrogantes. ¿Pueden estas filosofías basadas en posiciones correlacionistas dar cuenta de los procesos de diseño de *todas* las clases de objetos artificiales contemporáneos? Desde mi punto de vista, esta concepción no da lugar a una teoría de los objetos artificiales cuya agencia técnica principal sean los procesos naturales que ocurren en ellas mismas. En las nanotecnologías, la naturaleza no es una restricción al diseño intencional humano sino la fuente de las operaciones productoras de objetos artificiales. ¿En qué sentido artificiales? En el sentido de que el hombre intervino para propiciar su existencia, que no es equivalente a que el hombre las diseñó con vistas a un fin.

Frente a esto, hay dos lecturas posibles que quiero dejar planteada para próximos trabajos. La primera es que las posiciones correlacionistas son útiles para la comprensión del diseño de artefactos y máquinas a escala humana, pero que, dada las particularidades del mundo molecular, no tienen alcance para el fenómeno de las nanomáquinas. Frente a esta lectura, propongo otra que me parece más atractiva para indagar en próximos trabajos. Las filosofías correlacionistas poseen una concepción antropocéntrica del diseño tecnológico que obstaculiza la comprensión de la generación de nuevos objetos técnicos, no solo a escala nano, sino también a escala humana. Los fenómenos de tecnogénesis se producen en todas las escalas, pero son imperceptibles si se analiza la tecnología en términos de "artefactos". Antes bien, la noción de "máquina" es mucho más fértil, aunque no sea tomada en cuenta, en su justa medida, en muchos de los debates actuales sobre la ontología de los objetos técnicos.

7. Bibliografía

Balzani, V.; Credi, A.; Raymo, F.; Stoddart J. (2000), Artificial Molecular Machines. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 39 (19), 3348–3391.

- Balzani, V., Clemente-León, M., Credi, A., Ferrer, B., Venturi, M., Flood, A. H., & Stoddart, J. F. (2006), Autonomous artificial nanomotor powered by sunlight. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(5), 1178-1183.
- Balzani, V., Credi, A., Venturi, M. (2007), Molecular devices and machines *Nanotoday*2(2), 18-25.
- Bijker, W., (2008) La Construcción Social de la baquelita: hacia una teoría de la invención. En *Actos, actores y artefactos* (pp. 63-100). H. Thomas comp., Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Blumenberg, H. (2013) *Historia del espíritu de la técnica*. Valencia: Pre-textos.
- Bunge, M. (2004) Acción. En C. Mitcham y R. Mackey. *Filosofía y Tecnología* (pp. 63-92), Madrid: Encuentro.
- Dipert, R., (1995) Some Issues in the Theory of Artifacts: Defining 'Artifact' and Related Notions. *The Monist*, 78, (2), 119-135.
- Hess, H., Bachand, G., and Vogel, V. (2004) Powering nanodevices with biomolecular motors. *Chem. Eur. J.*, 10, 2110-2116.
- Hilpinen, R., (1993) Authors and Artifacts. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 93, 155-178.
- Houkes, W. & P.E. Vermaas (2010) *Technical Functions: On the Use and Design of Artefacts*, Dordrecht: Springer.
- Jones, R. (2004) *Soft Machines*, New York: Oxford University Press
- Kroes, P. (1994) Science, Technology and Experiments; The Natural versus the Artificial. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1994(2), 431-440.
- Kroes P. & Meijers, A. (2002), The dual nature of technical artifacts: presentation of a new research programme. *Techné*, 6 (2), 4-8.
- Kroes, P. (2006), The dual nature of technical artefacts. *Studies In History and Philosophy of Science*. 37 (1), 1-4.
- (2012), *Technical artifacts. Creations of mind and matter*. New York: Springer.
- Lafitte, J. (1972) *Réflexions sur la science des machines*. Paris: Vrin.
- Lawler D. & Vega Encabo, J. (2011), Realizabilidad múltiple y clases de artefactos. *Revista CTS*, 7(19), 167-178.
- Lee, Y. (2012) *Self-Assembly and Nanotechnology Systems: Design, Characterization, and Applications*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Meillassoux, Q. (2015) *Después de la finitud: Ensayo sobre la necesidad de la contingencia*, Caja Negra editora: Buenos Aires.
- Norman, D. (1990), *La Psicología de los Objetos Cotidianos*, Donostia-San Sebastián: Ed. Nerea.

- Parente, D. y Sandrone, D. (2015) Invención y creatividad en la evolución de los objetos industriales: exploración de algunos problemas simondonianos. En Blanco, J. Parente, D. Rodríguez, P. y Vaccari, A. (Coords.) *Amar a las máquinas: Cultura y técnica en Gilbert Simondon* (pp. 277-300), Buenos Aires: Prometeo.
- Renn, J., Damerow, P., McLaughlin, P. (2003). Aristotle, Archimedes, Euclid, and the Origin of Mechanics: The Perspective of Historical Epistemology. En *Symposium Arquímedes Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia Congreso de la Real Sociedad Matemática Española*, 43-71. Recuperado de <http://www.mpiwgberlin.mpg.de/Preprints/P239.PDF>
- Reuleaux, F. (1875) *Theoretische Kinematik: Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens*. Braunschweig: Verlag Vieweg & Sohn.
- Ross, D. (1995) *Aristotle*. Nueva York: Routledge.
- Sandrone, D. (2016), *Aportes para una nueva concepción del diseño tecnológico: un estudio filosófico de su naturaleza y su rol en el cambio tecnológico* (Tesis doctoral), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Sandrone, D. (2017a), Hacia un programa realista débil en la ontología de los objetos tecnológicos: aportes del realismo especulativo, *Revista Dianoia* (En prensa)
- Sandrone, D. (2017b), La especificidad del objeto industrial y la ontología de los objetos técnicos: acerca de los enfoques semánticos y sintácticos de la tecnología", *Revista Quadranti*, (en prensa)
- Simon, H (1996). *The Sciences of the Artificial [Third edition]*. Cambridge: MIT Press.
- Simondon, G. (2007) *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Buenos Aires: Prometeo.
- The Royal Swedish Academy of Sciences (2016), *Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016: MOLECULAR MACHINES*. Recuperado http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/advanced-chemistryprize2016.pdf
- Wang, J. (2013), *Nanomachines*, Weinheim: Wiley-VCH
- Willis, R. (1870) *Principles of mechanism*, London: Cambridge University Press.
- Winter, T. (2007). The Mechanical Problems in the Corpus of Aristotle. *Faculty Publications. Classics and Religious Studies Department*, 68.