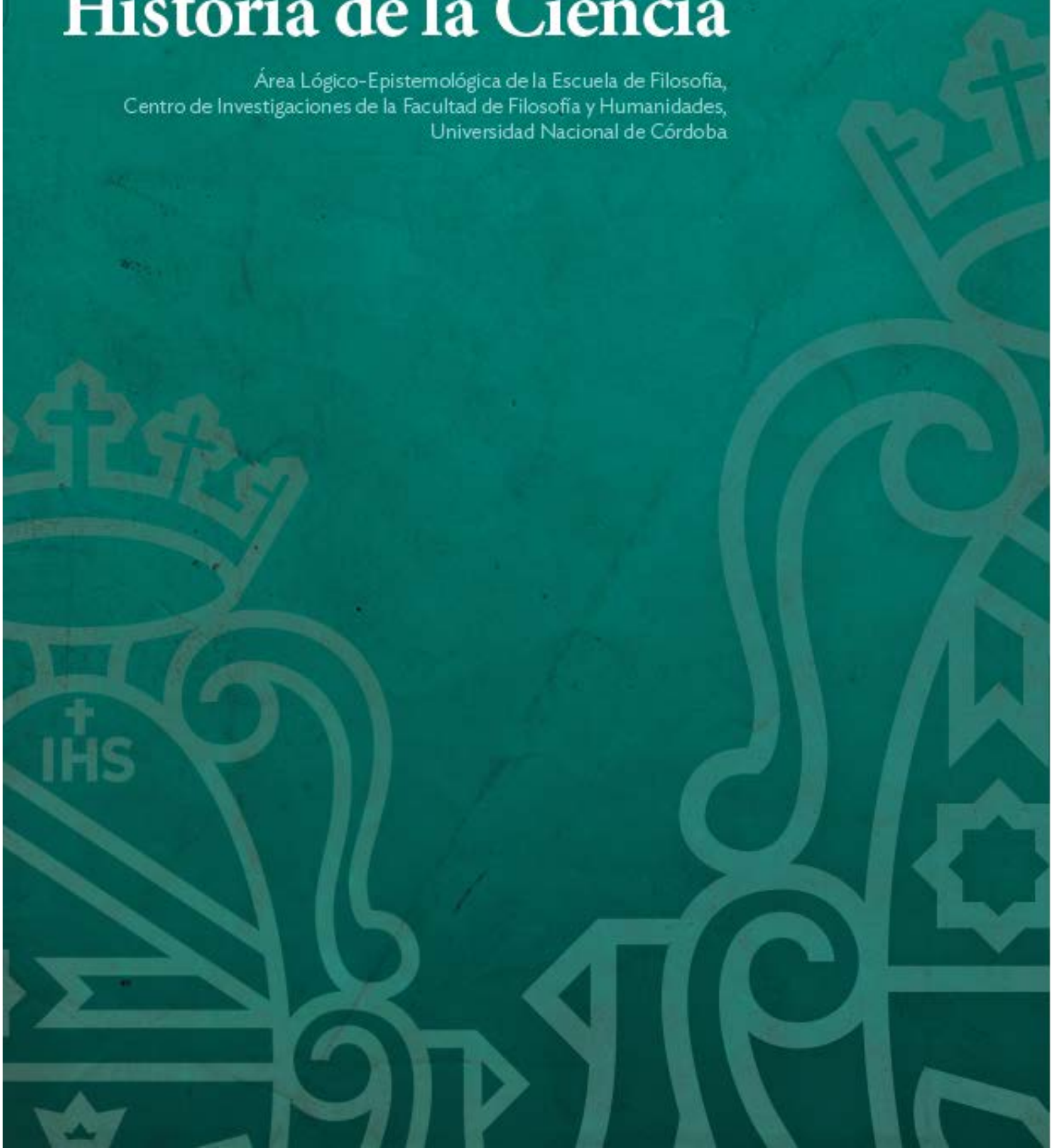


ISSN 2525-1198

Volumen 2
Nº 1
Octubre 2017

Epistemología e Historia de la Ciencia

Área Lógico-Epistemológica de la Escuela de Filosofía,
Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades,
Universidad Nacional de Córdoba



Comité Editorial

Editor Responsable

Pío García, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Editores

Marisa Velasco, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Luis Salvático, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

A. Nicolás Venturelli, Universidad Nacional de Córdoba, CONICET (Argentina)

Hernán Severgnini, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Comité Académico

Mario Casanueva, Universidad Autónoma Metropolitana (México)

Silvio Seno Chibeni, Departamento de Filosofía, Unicamp (Brasil)

Miguel Angel Fuentes, Instituto de Sistemas Complejos (Chile), Santa Fe Institute (Estados Unidos)

Lucía Lewowicz, Universidad de la Republica (Uruguay), Max Planck Institute for the History of Science (Alemania)

Oswaldo Pessoa Jr., Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo (Brasil)

Anna Carolina K.P. Regner, Instituto Latino Americano de Estudos Avançados Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

Víctor Rodríguez, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

Secretaria

María Gabriela Rho

Organismo Responsable

Área de Filosofía del Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades y Escuela de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba.

Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital.

Indexación

Directory of Open Access Journals

ISSN: 2525-1198

Epistemología e Historia de la Ciencia

Epistemología e Historia de la Ciencia es una revista digital, de aparición semestral, dedicada a la publicación de artículos originales de filosofía general de la ciencia y filosofías de las ciencias particulares, así como artículos de historia de la ciencia con orientación filosófica. Las áreas de interés son entendidas en un sentido amplio y teóricamente plural.

Editorial y correspondencia

Revista Epistemología e Historia de la Ciencia

Centro de Investigaciones Facultad de Filosofía y Humanidades (CIFYH), Pabellón Agustín Tosco, Ciudad Universitaria, Córdoba (5000), Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.

Información adicional y envío de artículos

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/index>

Correo electrónico

revistaepistemologia@ffyh.unc.edu.ar

Índice

Gonzalo Luis Recio

Arquímedes bajo la lupa: la pequeña balanza de Galileo 5

Darío Sandrone

Límites de la concepción correlacionista del diseño tecnológico: el caso de las nanomáquinas.....24

Diego Hurtado, Matías Bianchi y Diego Lawler

Tecnología, políticas de Estado y modelo de país: el caso ARSAT, los satélites geostacionarios versus “los cielos abiertos”48

Doina Cristina Rusu

Abolviendo las fronteras entre la historia natural y la magia natural. El *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis* de Francis Bacon.....72

Juan Carlos Patoco

Reseña: *Un cuento de siete científicos y una nueva filosofía de la ciencia*.....94

Arquímedes bajo la lupa: la pequeña balanza de Galileo

Gonzalo Luis Recio¹

Recibido: 26 de enero de 2017
Versión revisada: 22 de junio de 2017
Aceptado: 1 de agosto de 2017

Resumen. El arquitecto romano Vitruvio relata, en su *De Architectura Libri Decem*, la famosa historia del *eureka* de Arquímedes. Según esta obra, el rey de Siracusa había encargado una corona a un orfebre y, ante la posibilidad de que el artesano le hubiese robado parte del oro entregado para ese fin, le pidió al gran matemático que descubra la verdad. Vitruvio indica, además, el modo según el cual Arquímedes lo habría logrado. Más de un milenio y medio después, un joven Galileo propuso una alternativa al método indicado por Vitruvio, y explicó el modo según el cual, según él, Arquímedes habría podido solucionar el misterio. En este artículo analizo la factibilidad de ambos métodos y pongo la propuesta galileana en el contexto de la posición del gran pisano respecto de la relación entre ciencia y experimentación.

Palabras clave: Arquímedes – Galileo – balanza hidrostática – experimentación.

Title: Archimedes under the magnifying glass: Galileo's little balance

Abstract. The Roman architect Vitruvius tells, in his *De Architectura Libri Decem*, the famous story about Archimedes' *eureka*. According to this work, the king of Syracuse had commissioned a golden crown to a goldsmith and, when told about the possibility that the artisan had stolen part of the gold he had been given to that end, he asked the great mathematician to uncover the truth. Vitruvius also tells us which was the method that Archimedes supposedly followed to achieve that goal. More than one and a half millennium later, a young Galileo proposed an alternative to the method indicated by Vitruvius, and explained how, according to him, Archimedes could have solved the mystery. In this paper I analyze the factibility of both methods, and put the Galilean proposal in the context of his position regarding the relation between science and experimentation.

Keywords: Archimedes – Galileo – hydrostatic balance – experimentation.

¹ Universidad Nacional de Quilmes-CONICET

✉ gonzalorecio@hotmail.com

Recio, Gonzalo Luis (2017). Arquímedes bajo la lupa: la pequeña balanza de Galileo. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 5-23. ISSN: 2525-1198



1. Introducción

En el año de 1589 la Universidad de Pisa decidió nombrar para la cátedra de Matemáticas a un joven profesor de 25 años, Galileo Galilei. Poco después de comenzar las tareas propias de su puesto, Galileo enfocó sus esfuerzos en el estudio de la obra del príncipe de las matemáticas de la Antigüedad, Arquímedes. Uno de los frutos de estos estudios es una pequeña obra titulada *La Bilancetta*, donde Galileo discute acerca del famoso relato del Eureka de Arquímedes y su paseo desnudo por las calles de la ciudad siciliana. Como es sabido, el episodio nudista del matemático siracusano tuvo su origen en un encargo del rey de Siracusa, Hierón. El gobernante, que había accedido al poder a causa de sus dotes militares, decidió honrar a los dioses que le habían sido propicios entregando una corona votiva de oro a uno de los templos de la ciudad. Con ese fin había dado una cantidad apropiada de ese metal a un orfebre, quien después de un tiempo le devolvió una magnífica corona. Enseguida, sin embargo, comenzaron a correr rumores de que para realizar la corona en cuestión el orfebre no había utilizado todo el oro que Hierón le había entregado, y que en cambio había sustraído parte del mismo, reemplazándolo por un peso equivalente en plata. El honor del rey estaba en juego. El crimen, no obstante, no era fácil de probar: el metal que constituía la corona era –si el orfebre era efectivamente un ladrón– una aleación entre los dos metales, por lo que un simple examen de la corona no necesariamente permitiría dar un veredicto definitivo. El rey se volvió entonces hacia el sabio más famoso de su ciudad, Arquímedes, y le pidió que hiciera las veces de detective, y encontrara el modo de resolver la cuestión y salvar su orgullo. Luego de pensar mucho acerca de la cuestión, Arquímedes decidió, cansado, ir a tomar un baño. Mientras entraba en la bañera llena de agua sucedió uno de esos eventos que son tan comunes en la historia de las matemáticas y, súbitamente, apareció frente a sus ojos la solución al problema. Eufórico, Arquímedes –según dicen los relatos– salió corriendo de la bañera olvidando sus ropas, mientras gritaba *jeureka, eureka!* –¡(lo) encontré, (lo) encontré!– por las calles de la ciudad.

Esta historia es conocida, fundamentalmente, gracias al relato que de ella hizo el arquitecto romano Marco Vitruvio unos doscientos años después en su *De Architectura Libri Decem* (Vitrubio, 1914). En el libro IX de la obra el escritor romano, mientras hace una alabanza del ingenio de los filósofos y matemáticos griegos, nos dice que Arquímedes realizó “numerosos y admirables descubrimientos” (Vitruvio, 1914, p. 253), pero que el que de modo más claro muestra su genialidad, fue aquél que le permitió resolver el problema de la corona. A continuación, Vitruvio cuenta la historia que referí anteriormente, y describe el método que Arquímedes habría utilizado para solucionar la cuestión propuesta por el rey.

Unos dieciséis siglos después, el joven Galileo se encontraba, como dije, enfrascado en sus estudios relativos a la cátedra que recientemente le habían otorgado en Pisa. Meditando acerca de la historia de Vitruvio sobre Arquímedes, llegó a la conclusión de que la misma, tal y como la transmitió el arquitecto romano,

no era correcta. Y no sólo eso: escribió la pequeña obra que señalé, *La Bilancetta*, para indicar cómo debió de haber sucedido realmente el episodio siracusano.

En este artículo busco, a través del estudio de este episodio, mostrar que el interés de Galileo en las cuestiones relativas al diseño experimental y al valor de la observación controlada se encontraban ya, al menos germinalmente, desde el inicio de la vida académica del pisano. Desarrollo el argumento a través de tres secciones. Primero, voy a describir el método que expone Vitruvio en su obra, analizando el alcance y precisión del mismo. En segundo lugar voy a exponer el método alternativo propuesto por Galileo. Para ello voy a explicar algunos principios físicos de origen arquimedeano sobre los cuales Galileo se apoya, y voy a realizar un análisis comparativo² con el método de Vitruvio, para lograr evaluar las ventajas de cada uno. Por último, y en tercer lugar, voy a mostrar la posible relación entre los argumentos galileanos contra el método de Vitruvio y sus ideas acerca del método científico, y pondré esta discusión en el contexto del debate historiográfico acerca de la relación entre Galileo y la experimentación.

2. ¡Eureka!

El método descrito por Vitruvio (1914, pp. 253-255) se hizo famoso no sólo por el contexto en el cual Arquímedes –pretendidamente– lo descubrió, sino también por la simplicidad que encierra. Según Vitruvio, al introducirse en la bañera con agua Arquímedes notó el hecho de que el volumen de agua desplazada por esa acción era proporcional al volumen de su propio cuerpo. Siguiendo esa sencilla observación, Arquímedes ideó el procedimiento para determinar si su rey había sido estafado.



Figura 1. Diagrama del método de Vitruvio.

Tomando una gran vasija (fig. 1), la llenó con agua hasta el borde, en el punto A. Luego sumergió en ella un cuerpo de plata del mismo peso que la corona sobre la cual recaía la disputa. Como era de esperar, esa acción causó que una cierta

² Agradezco al Dr. Cristián Carman por su ayuda en el repaso detallado de los cálculos involucrados en la comparación.

cantidad de agua rebalse. Luego retiró el cuerpo de plata, y pudo determinar que el nivel del agua ahora llegaba hasta *B*. Luego volvió a llenar la vasija, y sumergió en el agua un cuerpo de oro que también tenía el mismo peso que la corona. Luego de retirar el cuerpo de oro, determinó que había rebalsado una cantidad de agua tal, que ahora el agua llegaba hasta el punto *C*. Esto indicaba que, a igual peso, el oro desplaza menos agua que la plata, lo que muestra que es más denso. Este procedimiento incluso le permitió a Arquímedes –siempre según Vitruvio– determinar la relación exacta entre las densidades de uno y otro metal. Por último Arquímedes sumergió la corona misma, descubriendo que desplazaba más agua que el cuerpo de oro, esto es, que el nivel del agua, luego de retirada la corona, se encontraba por debajo de *C*, en un punto *D*. Esto significaba, por supuesto, que la corona no era de oro puro, tal y como el orfebre aseguraba, sino que contenía algún otro metal menos denso. Todo apuntaba a que el rumor sobre el reemplazo de oro por plata estaba bien fundado. Vitruvio sugiere que Arquímedes fue incluso capaz de determinar qué cantidad de oro había sido reemplazado.

Hasta aquí el breve relato de Vitruvio. En *La Bilancetta*, sin embargo, Galileo comienza diciendo que esta manera de resolver el problema es “[...] muy grosera y falta de exquisitez [...]” (Galilei, 1890, v. 1, p. 215)³. Por otro lado, es claro que Galileo, al igual que Vitruvio, era un gran admirador de Arquímedes. Esto queda atestiguado por las palabras que siguen: para Galileo “[...] todos los demás ingenios son inferiores al de Arquímedes, y [...] poca esperanza puede quedar a cualquiera de poder descubrir alguna vez cosas semejantes [...]” (Galilei, 1890, v. 1, pp. 215-216). De ningún modo, entonces, sus críticas van dirigidas a Arquímedes: es el relato de Vitruvio el que le inspira desconfianza. Dado que los fundamentos teóricos sobre los cuales se apoya el método descrito por Vitruvio son indisputables, al parecer Galileo pensaba que tal procedimiento indicado era incapaz de arrojar resultados con la exactitud pretendida por el relato del romano. Esta cuestión es el primer tema sobre el cual voy a enfocarme.

Para evaluar esta cuestión es central tomar en cuenta un dato indicado explícitamente por Vitruvio. Según el arquitecto, al retirar al cuerpo de plata pura que sumergió en la vasija con agua en primer lugar, encontró que había desplazado un volumen igual a un sextario. El valor de esta unidad de medida romana no es conocido con exactitud, aunque una aproximación razonable es 0,58 lt (cfr. voz *Amphora* en Encyclopaedia Britannica). Dada la densidad de la plata, 10,49 gr/cm³, ese volumen equivale a 6,08 kg de ese metal precioso. Puesto que el cuerpo de plata sumergido tenía el mismo peso que la corona, llegamos a la conclusión de que ese era el peso de la corona, según Vitruvio. A esta altura, es necesario considerar que, si el orfebre tenía la pretensión de reemplazar parte del oro sin ser descubierto, era necesario que reemplace una cantidad tal que las características de la aleación resultante fueran suficientemente parecidas a las del oro puro. Considero que es razonable asumir que el reemplazo podía tener una cota máxima

³ Agradezco la ayuda de Luis A. Recio en la traducción de los textos en italiano.

de aproximadamente 8,33% del oro.⁴ Por lo tanto podía reemplazar, como máximo, 506,464 gr de metal. Por cada gramo de oro⁵ que es reemplazado por plata, se agregan unos 43,515 mm³ a la corona. Por lo tanto, si hubiera reemplazado el máximo posible, el volumen de la misma habría aumentado en 22038,78 mm³. Una vez que conocemos ese valor, la cuestión relevante es si Arquímedes pudo haber detectado una variación de volumen tal, utilizando el procedimiento descrito por Vitruvio.

Vitruvio indica, expresamente, que Arquímedes usó un *vas amplum* para llevar adelante el procedimiento. El término latino *vas,-is* puede referirse tanto a un recipiente de gran tamaño como a un vaso. Asumamos, en principio, que utilizó una vasija de tamaño considerable.

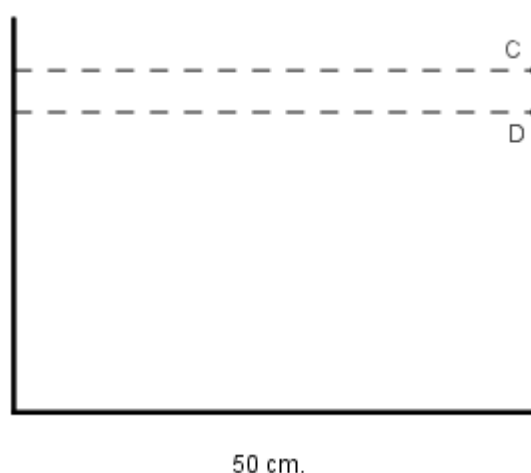


Figura 2. Diagrama para una vasija cilíndrica de 50 cm de diámetro.

Para simplificar los cálculos voy a suponer que ésta era de forma cilíndrica. Supongamos una vasija grande, de 50 cm de diámetro en la boca (fig. 2), y de una profundidad cualquiera, la necesaria para poder contener con comodidad a los cuerpos metálicos. Dado un diámetro tal, cada mm de profundidad implica 196349,54 mm³ de volumen. La diferencia en volumen producida por un reemplazo de 506,464 gr de metal precioso, implica, por tanto, una diferencia *CD* en la altura del agua de tan sólo 0,112 mm. Esa diferencia era, por supuesto, completamente imperceptible. Es posible, sin embargo, que Arquímedes haya utilizado un recipiente de menor diámetro. Supongamos que el recipiente utilizado, en lugar de tener 50 cm de diámetro, tenía sólo 15 cm. Sin ser una vasija grande, continúa siendo un gran vaso, por lo que se ajusta a una posible traducción de la expresión *vas amplum* usada por Vitruvio. En ese caso, cada mm de profundidad del recipiente implica 17671,458 mm³ de volumen. Un reemplazo del 8,33%

⁴ Esta es la diferencia entre oro 24K –24 partes de 24 son oro– y el nivel de pureza que le sigue en la graduación de pureza moderna, 22K –22 partes de 24 son oro–, siendo las restantes 2 partes de algún metal menos maleable. Esto permite obtener un material más duro, y por lo tanto más apto para la fabricación de joyas duraderas (cfr. Smith, 1978). Esta diferencia en la maleabilidad hace que un orfebre entrenado pueda distinguir ambos niveles de pureza sin mucha dificultad.

⁵ La densidad del oro es 19,3 gr/cm³.

hubiera producido una diferencia en la altura del agua igual a 1,247 mm. Hay, sin embargo, un modo a través del cual el matemático griego pudo haber mejorado notablemente la precisión del procedimiento, e incluso el texto mismo de Vitruvio parece sugerir que este fue el caso (cfr. Vitruvio, 1914, p. 254). Vitruvio relata que Arquímedes primero sumergió la plata en el recipiente, luego la retiró, y luego volvió a llenarlo hasta el borde. Sólo entonces, nos dice el arquitecto romano, Arquímedes midió cuánta agua había sido desplazada. No lo hizo antes de rellenar el recipiente, sino después. Sospecho que esto delata un detalle no menor, que vuelve al relato de Vitruvio mucho más plausible. Creo que Arquímedes no midió el agua desplazada directamente en el recipiente usado para sumergir los metales – como en la fig. 1–, sino que utilizó para ello un segundo recipiente medidor translúcido.

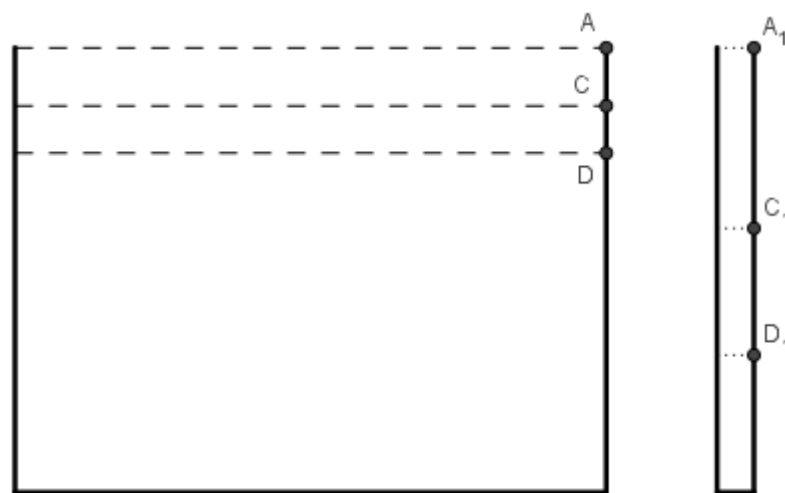


Figura 3. Diagrama del método de Vitruvio con recipiente medidor independiente.

En la fig. 3 vemos dos recipientes. El grande, a la izquierda, es aquél que debe ser llenado inicialmente hasta el borde, y en el que se sumergen los diversos cuerpos metálicos. A la derecha se ve el recipiente medidor, más angosto. Arquímedes sumergiría, entonces, el cuerpo en el recipiente grande, para retirarlo luego del rebalse del agua correspondiente. Luego tomaría un segundo recipiente cuidadosamente graduado, y lo llenaría de agua. Por último, comenzaría a volcar el agua desde el recipiente medidor hacia la vasija, hasta lograr que esta última estuviera llena hasta el borde, como al inicio. Cuanta más agua hubiere rebalsado a causa de la inmersión del cuerpo, más agua haría falta para volver a llenar la vasija hasta el borde. Por lo tanto, más vacío quedaría el recipiente medidor al finalizar el procedimiento. Por ejemplo, si al sumergir el oro y retirarlo el nivel del agua bajó desde *A* hasta *C* en la vasija, será necesario volcar el agua contenida entre *A*₁ y *C*₁ en el recipiente medidor. Si después se sumerge la corona en la vasija y el agua baja desde *A* hasta *D*, será necesario entonces volcar el agua contenida entre *A*₁ y *D*₁. La gran ventaja de esta modificación es que dado que el recipiente medidor no es el que recibe en su interior a los cuerpos metálicos, puede ser confeccionado con un diámetro mucho menor. Ahora bien, en un recipiente cilíndrico se da que

$$v = \pi r^2 h$$

donde v es el volumen del recipiente, r es su radio, y h su altura. Si mantenemos constante a v , y reducimos el r , entonces necesariamente h debe crecer. Esto significa que a medida que se reduce el diámetro del recipiente medidor, cualquier modificación en los volúmenes medidos causará mayores diferencias en altura. Y esas diferencias en altura son las que, justamente, se miden como signo del reemplazo entre metales. Además, dado que r , uno de los factores utilizados para calcular el volumen, es elevado al cuadrado, v decrece exponencialmente a medida que r decrece. Esto significa que, si v permanece constante a medida que r decrece, entonces h crece en la misma proporción. Como veremos, esta característica de la relación entre radio y altura en un recipiente cilíndrico tiene grandes ventajas para el método planteado por Vitruvio.

Supongamos que, efectivamente, Arquímedes utilizó un segundo recipiente medidor. Para el caso, podía utilizar un recipiente cilíndrico de tan sólo 5 cm de diámetro. Así, cada mm de altura representa tan sólo 1963,495 mm³ de volumen, por lo que la diferencia de volumen producida por el reemplazo de metal indicado más arriba implica una diferencia en la altura del agua de unos notables 11,224 mm. Esta diferencia vuelve al método mucho más plausible. Los dos factores clave en este método son, primero, el límite que tenía Arquímedes para percibir cambios de altura en la columna de agua. Cuanto más pequeña sea esta magnitud, más preciso el método. Segundo, el diámetro del recipiente medidor. Como dije, cuanto más angosto, el cambio de volumen producido por el reemplazo de metal resultaría en mayores cambios en la altura de la columna de agua en el recipiente.

Respecto de lo primero, pienso que es razonable suponer que la precisión máxima de Arquímedes al observar diferencias de altura en la columna de agua no podía ser superior a 1 mm. El motivo fundamental de esto es el hecho de que, por efecto de capilaridad, la superficie del agua tiende a curvarse, sobre todo al encontrarse dentro de recipientes tan angostos. Por ello es muy difícil indicar, en estos casos, cuál es el nivel exacto de la superficie del agua.

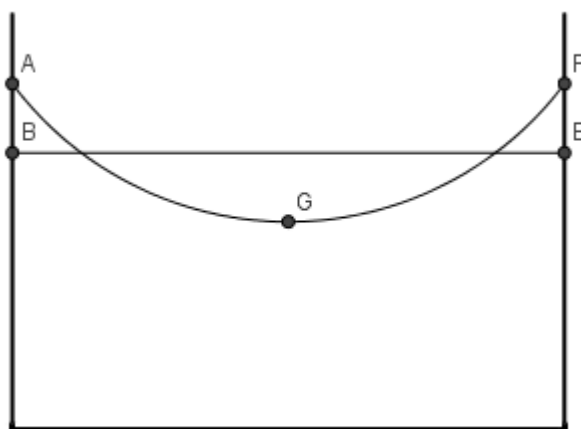


Figura 4. Diagrama de la curvatura causada por el ascenso por capilaridad.

La línea BE en la fig. 4 representa la forma de la superficie del agua sin capilaridad, mientras que la curva AGF indica la forma que tiene a causa del ascenso del agua por capilaridad en las paredes del recipiente. Es difícil determinar si la altura del agua está en A y F , en G o, como es de hecho el caso, en B y E .

Este es, no obstante, el único problema producido por el ascenso por capilaridad. Si bien, sin dudas, en recipientes tan pequeños el efecto de ascenso por capilaridad es notorio (cfr. Batchelor, 2000, pp. 60-68), es el mismo para todas las mediciones, por lo que puede ser desestimado sin mayores problemas.

Como vimos más arriba, la diferencia entre ambos volúmenes no pudo haber sido mayor a $22038,78 \text{ mm}^3$. Dada una precisión de 1 mm, para detectar el robo es necesario que el recipiente posea un radio tal que el volumen mencionado se corresponda con una altura igual a 1 mm. Así, para conocer ese radio sólo hay que tomar la fórmula para el volumen de un cilindro, $v = \pi r^2 h$, y reemplazar v por la diferencia de $22038,78 \text{ mm}^3$, y h por el límite de precisión 1 mm. Si se despeja r , se obtiene entonces el diámetro necesario para un recipiente medidor capaz de detectar el robo. Al hacer estos cálculos encontramos que cuando el recipiente medidor tiene un diámetro igual o menor a 167 mm, el robo se vuelve detectable. A partir de los 118 mm, además, la diferencia produce un cambio de altura en el agua mayor a 2 mm, por lo que es posible, al menos de modo grosero, conocer la magnitud del reemplazo. El siguiente salto de precisión se produce con diámetro de 96 mm para el recipiente medidor, con una diferencia de altura mayor a 3 mm. Y el siguiente es en 83 mm. El límite para la precisión del método está sujeto a la capacidad de Arquímedes de confeccionar un recipiente medidor lo suficientemente angosto como para que la mínima diferencia observable –en nuestro caso, 1 mm– represente el mayor volumen posible. Es difícil determinar cuál era exactamente el límite técnico de Arquímedes. Pienso, sin embargo, que un recipiente de 5 mm de diámetro se encontraba, sin dudas, dentro de las posibilidades técnicas de la época.⁶ Un reemplazo de 506,464 gr de metal implicaría, en un recipiente semejante, una diferencia de altura en la columna de agua de 1122,436 mm. Arquímedes no sólo hubiera sido capaz de detectar un robo minúsculo de 0,451 gr, sino, como sugiere Vitruvio, de decirle al rey cuánto oro había sido reemplazado con un margen de error de aprox. $\pm 0,198$ gr.

Estos datos muestran que, sin lugar a dudas, el método descrito por Vitruvio hubiera sido capaz de resolver el problema presentado por Hierón a

⁶ Se han hallado numerosos restos arqueológicos que atestiguan el gran nivel técnico que los artesanos del vidrio habían alcanzado entre los siglos II a.C. y II d.C. en el Mediterráneo. Los *unguentaria*, pequeños recipientes que contenían desde mezclas con fines médicos hasta perfumes, son un ejemplo del tipo de recipientes que Arquímedes hubiera necesitado. Sus largos cuellos de pequeño diámetro hubieran podido convertirse con facilidad en el recipiente medidor que menciono. Pueden verse algunos magníficos ejemplares en el Museo Arqueológico del Cerámico de Atenas. Por otro lado, como ejemplo de la artesanía de precisión de la época, en un mecanismo astronómico descubierto en los alrededores de la isla griega de Anticitera a comienzos del s. XX, y que fue datado a una fecha cercana a Arquímedes (Carman & Evans, 2014; Freeth, 2014), hay partes que muestran un nivel de precisión incluso inferior a 0,5 mm (Carman & Di Cocco, 2016).

Arquímedes. Si bien es necesario contar con gran destreza técnica para confeccionar los instrumentos de medición a utilizar, ese grado de exactitud buscado se encontraba dentro de las posibilidades de los clásicos en general, y de Arquímedes en particular. Es verdad que hay numerosas variables que restan precisión al procedimiento: las minúsculas irregularidades en la forma del recipiente medidor, la absorción del agua por los materiales de los cuales se hacían los recipientes, la variación de capacidad de los recipientes producto de la dilatación térmica⁷, la dificultad para determinar cuándo un recipiente se encontraba lleno hasta el borde, e incluso la posibilidad de que parte del agua salga de los recipientes no por el desplazamiento producido por la inmersión del cuerpo, sino meramente por quedar adherido al mismo al ser retirado.

No obstante estas dificultades, los amantes de la justicia pueden quedarse en paz: si Arquímedes declaró culpable al orfebre utilizando este método, es porque con toda probabilidad lo era. Galileo Galilei, sin embargo, no lo consideró suficiente. En la próxima sección investigaremos sus motivos para ello.

3. La balanza de Arquímedes

En su comentario respecto del método que describe Vitruvio, Galileo no sólo afirma que éste no fue el utilizado por Arquímedes, sino que ofrece una explicación a la confusión de Vitruvio. Según Galileo (1890, p. 216), el descubrimiento de Arquímedes debió haberse hecho conocido entre los habitantes de la ciudad. Enterado de que el método involucraba la inmersión de cuerpos en recipientes con agua, algún autor contemporáneo habría dejado noticia del hecho por escrito. No conociendo nada más, el desconocido autor probablemente completó el relato con los demás detalles del procedimiento. Este fue el relato que llegó a Vitruvio, a través de quien nos llega a nosotros. Como vimos, Galileo lo considera indigno del genio de Arquímedes. Según nos dice en el mismo lugar, luego de investigar y reflexionar acerca de dos obras del matemático siracusano, *Sobre los cuerpos flotantes* y *Sobre el equilibrio de los planos*—ambas llegaron hasta nosotros—, llegó a la conclusión de que existía otro método más preciso y más afín a los intereses teóricos de Arquímedes.

Galileo propone que probablemente el método utilizado por Arquímedes fue similar al siguiente: en primer lugar, hay que confeccionar una balanza que tenga,

⁷ Es interesante notar que Arquímedes pasó, durante su juventud, varios años en Alejandría. Allí debió de haber conocido, directa o indirectamente, los trabajos de Filón de Bizancio, contemporáneo suyo que vivió casi toda su vida en esa ciudad. Una de las obras más interesantes de Filón es su *Pneumática*, donde describe las propiedades del aire y del agua, indicando algunas aplicaciones técnicas posibles a través de la variación de la presión de esos elementos por cambios en la temperatura de los mismos. La obra es el primer tratado que conozcamos donde se señalan fenómenos que luego serían unificados teóricamente bajo ley de dilatación térmica, que indica que la longitud, área y volumen de un cuerpo aumentan al aplicarse sobre el mismo un aumento de temperatura.

“[...] al menos dos *braccia*⁸ de largo [...]”. El uso de esta balanza para solucionar el problema de la corona supone el conocimiento de algunos descubrimientos arquimedeanos. Como explica el genio griego (Cfr. las últimas seis proposiciones del libro I de *Sobre los cuerpos flotantes*, y la primera del libro II (Arquímedes, 2009, pp. 198-209), todo cuerpo al ser sumergido en agua disminuye su peso en una cantidad igual al peso del agua correspondiente al volumen del cuerpo. Por ejemplo, al sumergir en agua un cuerpo de 2 kg de peso y 1 lt de volumen, ese cuerpo perderá el peso correspondiente a 1 lt de agua, es decir, 1 kg. Éste es el famoso Principio de Arquímedes (de ahora en más, PA). El matemático también explica (Cfr. las proposiciones seis y siete del libro I de *Sobre el equilibrio de los planos* (Arquímedes, 2009, pp. 86-89) que si tenemos una palanca sobre un punto de apoyo y dos objetos sobre los extremos de la misma, la palanca se hallará en equilibrio sólo si las distancias entre sus centros de gravedad y el punto de apoyo son inversamente proporcionales a sus respectivos pesos. Por ejemplo, si uno de los dos extremos tiene un objeto de 2 kg y el otro uno de 4 kg, entonces para alcanzar el equilibrio la distancia desde el punto de apoyo al centro de gravedad del objeto más pesado deberá ser la mitad que al centro de gravedad del objeto más liviano. Esta es la llamada Ley de la Palanca (de ahora en más, LP).

Supongamos ahora la siguiente configuración (fig. 5), donde la longitud AB es la balanza, y C es su centro exacto. Si se apoya la balanza en C sin que haya nada en sus extremos, deberá estar perfectamente equilibrada.

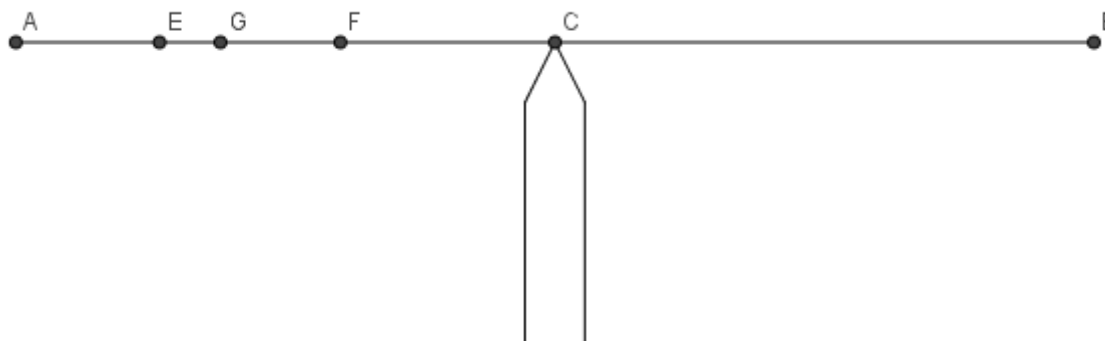


Figura 5. Diagrama de la balanza propuesta por Galileo.

Ahora coloquemos en A un cuerpo cualquiera, con la condición de que tenga el mismo peso que la corona. Luego coloquemos en B un cuerpo de oro que también tenga el mismo peso que la corona. Dado que ambos cuerpos pesan lo mismo y se encuentran a la misma distancia del punto de apoyo, por LP sabemos que la balanza permanecerá equilibrada. Ahora sumerjamos el cuerpo de oro en un recipiente con agua. Gracias a PA, sabemos que la fuerza ejercida por el oro hacia abajo disminuirá en proporción a su volumen. Eso significa que la balanza perderá su equilibrio. Para

⁸ La longitud de un *braccio* variaba de ciudad a ciudad, e incluso en cada una de ellas había diversos tipos. El valor aceptado actualmente para el *braccio* usado por Galileo –quien por otro lado no parece expresarse con precisión a este respecto– se halla entre 53 y 56 cm. Cfr. (Roche, 1998: 251, nota 93). En adelante voy a suponer el valor intermedio de 54,5 cm.

volver a equilibrarla es necesario mover el contrapeso que se encuentra en A hacia un nuevo punto E , más cercano al centro C de la balanza. Luego volvamos a hacer la misma experiencia, sólo que esta vez colocaremos en el punto B un cuerpo de plata con el mismo peso que la corona. Dado que la plata es menos densa que el oro, al ser sumergida en agua desplazará más agua. Como indica PA, esto significa una pérdida mayor de peso. La consecuencia directa de esto es que, al mover el contrapeso hacia el punto de apoyo C con el fin de volver a equilibrar la balanza, habrá que hacerlo hasta un punto F que necesariamente estará más cerca de C que lo que lo está el punto E . A través de esta aplicación de estos dos principios arquimedeanos, Galileo logró convertir una proporción entre dos densidades, las del oro y la plata, en una proporción entre dos longitudes, las de AE y AF . La relación entre ambas proporciones es inversa, pues a mayor longitud entre A y el punto de equilibrio del metal, menos densidad del mismo. Una vez determinada esta relación, Galileo indica que hay que realizar el mismo procedimiento con la propia corona, colocándola en el punto B . Si al sumergirla necesitamos mover el contrapeso hasta el punto E para volver al equilibrio, eso significa que la corona está compuesta exclusivamente por oro. Si en cambio necesitáramos moverlo hasta el punto F , eso sería signo de que el material es plata pura. Si, como dice el relato, la corona es una mezcla de ambos metales, entonces el nuevo punto de equilibrio G se encontrará entre E y F . Como dice Galileo, cuanto más cerca se halle G de E , mayor será la proporción de oro, y cuanto más cerca de F , mayor cantidad de plata tendrá la corona. De hecho, la proporción entre las longitudes FG y EF es la misma que entre la cantidad de oro y de plata en la corona. Pero la descripción galileana no termina allí. Quizá inspirado en sus recuerdos infantiles, en los cuales su padre, el músico Vincenzo Galilei, seguramente cerraba los ojos prestando atención únicamente a lo que los sonidos le decían (Heilbron, 2010, pp. 1-4), Galileo diseñó un método para medir las pequeñas distancias entre los puntos utilizando no la vista, sino el oído. Propone tomar un hilo metálico sumamente fino, y enrollarlo cuidadosamente en torno a la balanza (fig. 6), de tal modo que toda la sección de la misma que se encuentre entre E y F quede cubierta por él. Dado que el hilo metálico es muy fino como para ser distinguido, nos dice Galileo, hay que tomar un estilete sumamente afilado, y pasarlo suavemente sobre el hilo enrollado. Las pequeñísimas depresiones que hay entre cada vuelta del hilo causarán que, cuando el filo pase sobre el mismo, haga un pequeño sonido metálico. Así, contando los sonidos, es posible determinar la cantidad de vueltas que hay entre cada punto, y de ese modo determinar la proporción de metales usados para la confección de la corona.

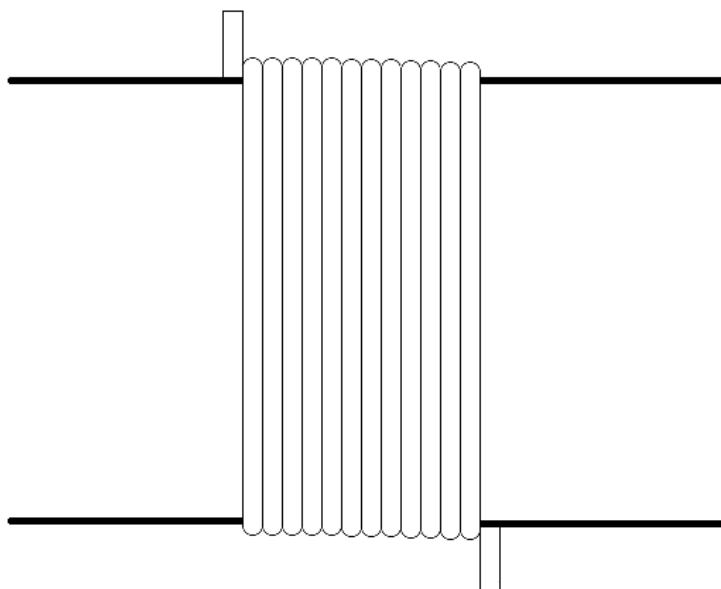


Figura 6. Esquema del método de la disposición del alambre en la balanza propuesta por Galileo para medir diferencias entre los puntos de equilibrio. El estilete es pasado por las minúsculas depresiones entre cada vuelta del alambre, produciendo un sonido.

Es difícil determinar cuál era el grosor del hilo propuesto por Galileo. No obstante, voy a proponer una medida que considero puede ser tomada como el límite. Dado que la máxima resolución para un ser humano con excelente visión es de alrededor de un minuto de arco (Yanoff & Duker, 2009, p. 54), y respecto del punto más cercano donde es posible hacer foco, alrededor de 16 cm para un hombre de 40 años (Rogers, 2011, p. 70), eso implica que el límite de visibilidad para un hilo metálico es de alrededor de 0,0465 mm. Supongamos que el hilo tenía un grosor inferior a eso, por ejemplo, 0,045 mm. Es, ciertamente, una pretensión muy grande: estamos hablando de un hilo tan fino que, para un observador de las características de Arquímedes o Galileo, es virtualmente invisible. Por otro lado, aunque Arquímedes hubiera podido percibir auditivamente diferencias tan pequeñas, esto no quiere decir que era capaz de mover el contrapeso según distancias tan pequeñas. Ninguna balanza es perfecta, en el sentido de que nunca hay un solo punto donde es posible ubicar el contrapeso para lograr el equilibrio. Esto es causado por el hecho de que en ninguna balanza posible el contacto entre brazo y fulcro es un punto. Si bien habrá sólo un lugar donde el equilibrio esté causado por el respeto a LP, en los demás puntos posibles sobre el brazo el efecto causado por el apoyo del brazo sobre una superficie extensa será lo suficientemente poderoso como para mantener el equilibrio en la balanza a pesar de la falta de proporción adecuada. Es allí donde debemos buscar el límite de precisión del método, y no en el grosor del hilo metálico. La precisión a este respecto depende, fundamentalmente, de la extensión que tenga el contacto entre fulcro y brazo. Asumamos por un momento que, dada esta limitación, el nivel de precisión del método es 1 mm.

Los cálculos para el caso de la balanza son ligeramente más complejos. Si quisieramos comparar la precisión del método de Vitruvio con el propuesto por Galileo, comparando el mínimo reemplazo de oro por plata que cada uno pudiera detectar, deberíamos, para el caso de la balanza, proceder como sigue. En primer lugar, calcular dónde quedaría el contrapeso luego de poner el oro sumergido en el punto B calculando, por ejemplo, el valor de CE . Luego habría que preguntar cuánto debería pesar la corona sumergida si movemos al contrapeso desde E hasta F , según una distancia igual a la mínima unidad de precisión, en nuestro caso, 1 mm. Esa diferencia de peso es causada, según PA, por una diferencia de volumen, que en este caso será el mínimo detectable por la balanza. Esa diferencia de volumen estará, entonces, causada por el mínimo reemplazo de oro por plata detectable a través de este procedimiento.

Tomando en cuenta la longitud mínima propuesta para la balanza de Galileo, unos 109 cm, y esta precisión de 1 mm, dada una corona de 6,08 kg, Arquímedes hubiera podido detectar un reemplazo de 256,368 gr de oro por plata. No es un resultado tan notable. Con el método de Vitruvio, este resultado es alcanzable con un recipiente de 140,516 mm. Por supuesto, es posible aumentar la precisión del método de Galileo de un modo muy simple: a través de la extensión de la longitud de la balanza. Si duplicamos la longitud de la balanza a unos 218 cm, entonces el mínimo reemplazo detectable es de 5,768 gr. Como dije más arriba, dadas las características de la relación entre radio y volumen de un recipiente cilíndrico, un pequeño decrecimiento en el diámetro del recipiente causa un gran aumento de precisión en la medición de volúmenes. Y esta relación se hace más eficiente cuanto más pequeño es el radio. En el caso de la balanza, no obstante, la relación es lineal: para que el mínimo detectable sea la mitad, es necesario duplicar el largo de la balanza. Esto hace que el alargamiento se vuelva cada vez más ineficiente. Mientras que al añadir un cm a la balanza original de 109 cm Arquímedes hubiera sido capaz de detectar un reemplazo de 254,037 gr, es decir, mejorar su mínimo detectable en 2,33 gr, al llegar a los 218 cm, si se le agrega un cm para llegar a una balanza de 219 cm, la mejora en el mínimo detectable es de tan sólo 0,585 gr. Alargar la balanza es tan poco eficiente que para alcanzar el mínimo detectable del método de Vitruvio, 0,451 gr, Arquímedes hubiera necesitado construir una balanza de casi 619 m de largo. Esto es, por supuesto, imposible. En el caso de que Arquímedes fuera capaz de mejorar esa precisión de 1 mm, y reducirla a la mitad, el método galileano es todavía sumamente inferior: para alcanzar la precisión de Vitruvio haría falta aún una longitud de más de 300 m. Supongamos, no obstante, por mor de la argumentación, que efectivamente Arquímedes pudo alcanzar la precisión de 0,045 mm indicada arriba para el hilo metálico. En ese caso, para igualar la precisión del método de Vitruvio, bastaría con un largo de 27,87 m de largo.

El método propuesto por Galileo, no obstante, es sumamente eficiente para despejar las dudas acerca del crimen del orfebre. Dada una corona de 6,08 kg y la peor precisión propuesta de 1 mm, bastaba con un brazo de 55,175 cm de largo para detectar el reemplazo del 8,33% del oro por plata. Con una precisión de 0,5

mm la longitud necesaria se reduce a alrededor de 27,6 cm. Por último, si la precisión es de 0,045 mm, basta con un brazo de apenas 2,5 cm.

4. Galileo, la historia de la corona, y el método científico

En los párrafos anteriores hemos analizado la capacidad de cada uno de los dos métodos para determinar el reemplazo de oro por plata en la corona. Como vimos, el método de Vitruvio permite niveles de precisión imposibles para el método galileano. ¿Por qué Galileo prefirió el método de la balanza, entonces? Una primera respuesta la da el propio Galileo, al decirnos que la idea de la balanza le vino cuando estudiaba las obras arquimedeanas. Según el pisano, su método es más afín a las preocupaciones de Arquímedes y a los temas acerca de los cuales investigó y escribió durante su vida. Esto es parcialmente verdadero. Ciertamente el método de la balanza incorpora cuestiones que por siempre estarán asociadas a Arquímedes: el Principio de Arquímedes y la Ley de la Palanca. Las investigaciones físicas del siracusano fueron pioneras en estos ámbitos. Podría sostenerse, sin embargo, que los descubrimientos más notables e influyentes de Arquímedes no se encuentran en las matemáticas aplicadas, sino en las matemáticas puras. Sus argumentos geométricos acerca de las superficies y volúmenes de cuerpos de diversos tipos fueron el fundamento de investigaciones matemáticas durante milenios. Estos temas, no obstante, están ausentes en el método de Galileo, mientras que son omnipresentes en el caso del método descrito por Vitruvio. Haya sido cual haya sido el modo concreto de medir las diferencias en el agua desplazada, todo cálculo de precisión debe comenzar con un cálculo de volumen basado en principios ligados a esas preocupaciones de Arquímedes.

La respuesta a la preferencia galileana, pienso, debe buscarse en otro lado. En primer lugar, vimos al final de la sección 2 que, si bien no es tan preciso como el de Vitruvio, el método de Galileo es capaz, con comodidad, de solucionar el problema planteado a Hierón. Una balanza de poco más de 1 m, una precisión de 1 mm. Eso basta para resolver el enigma de la corona, y para hacerlo con cierta exactitud respecto de la magnitud del robo. Es posible que Galileo haya considerado que este método era más simple, si se lo aplicaba a problemas de un grado similar al propuesto en el relato de Vitruvio, y que por eso lo haya elegido.

Aunque quizá esto haya podido jugar un rol en su elección, creo sin embargo que hay un segundo factor mucho más interesante, y que, en mi opinión, resulta decisivo al momento de explicar las críticas galileanas al método propuesto por Vitruvio.

Galileo fue, sin dudas, uno de los personajes más importantes en la historia de aquello que llamamos, en la actualidad, método científico. Sin ingresar en el debate acerca de a qué nos referimos precisamente con esa expresión, es claro que el nombre de Galileo Galilei estará por siempre asociado a ella. Un aspecto relevante para nuestra discusión es la presencia, en los escritos galileanos más tardíos, de la noción de *ceteris paribus*. Si bien ni esta expresión ni otra equivalente es utilizada de modo explícito, es claro que la noción se encuentra presente. En su última obra,

el *Diálogo sobre dos nuevas ciencias*, Galileo trata el tema del movimiento acelerado. Es sabido que una de las cosas que más interesaba al pisano era la cuestión de la dinámica de la caída libre de los cuerpos. La famosa –y aparentemente apócrifa– historia del lanzamiento de cuerpos de diverso peso desde el campanario de la Catedral de Pisa por Galileo tiene como protagonista, precisamente, uno de los descubrimientos más notables del pisano: todos los cuerpos caen con la misma aceleración. Dice Salviati, el personaje del diálogo galileano que representa la posición del propio autor:

Aristóteles declara que móviles de diverso peso, en el mismo medio, se mueven (en lo que depende de la gravedad) según una velocidad proporcional a su peso, y lo ejemplifica con móviles en los cuales es posible percibir el puro y absoluto efecto del peso, eliminando las otras consideraciones como la figura [...] (Galilei, 1890, v. 8, p. 109).

El texto continúa mostrando que la afirmación aristotélica es errada, y se apoya tanto en experimentos reales en los que se observan cuerpos en caída y se comparan velocidades, como en experimentos ideales donde se alcanza la misma conclusión a través de razonamientos. Lo importante aquí es que la eliminación de otros factores relevantes para la velocidad de caída de un cuerpo, como el ejemplo señalado de la figura del objeto, variando únicamente el factor sobre el cual se está poniendo el foco, esto es, el peso del cuerpo, es evidentemente una clara referencia a la necesidad de mantener constantes las demás variables –figura– para poder medir el efecto de una sola –peso– sobre un fenómeno determinado –velocidad de caída–. Y este pasaje es tan sólo uno de muchos que hacen referencia a la misma cuestión.

Aquí se encuentra, en mi opinión, el nudo de la crítica galileana al método de Vitruvio. Pienso que Galileo, al comparar los dos métodos, tuvo en consideración la capacidad para mantener constantes todas las otras variables irrelevantes para el procedimiento, y de ese modo aislar la influencia de la única variable relevante, la densidad del metal. Así, encontró que en el método de Vitruvio la cantidad de variables con potenciales efectos sobre el resultado que debía controlar era más numerosa que en el método propuesto por él. Ambos métodos buscan transformar diferencias de volumen –esto es, diferencias en una magnitud espacial tridimensional– en diferencias en distancia –una magnitud espacial esencialmente unidimensional. El método de Vitruvio, no obstante, logra esa conversión de un modo mucho más indirecto que el método de la balanza galileana. Mientras que en el primero la altura de la columna en el recipiente medidor está midiendo la cantidad de agua necesaria para rellenar un recipiente que fue parcialmente vaciado producto del desplazamiento de agua causado por la inmersión de un metal, en el segundo la posición del contrapeso en el brazo es causado por la simple aplicación de LP, y las distancias entre ambas posiciones son reflejo directo de la diferencia de volúmenes. Hay también, como no puede ser de otro modo, variables a controlar. No obstante, dado que la balanza es la misma en todas las mediciones, mientras que en el método de Vitruvio el llenado de los recipientes debía realizarse

nuevamente en cada medición, éstas pueden ser consideradas, en principio, como más fácilmente controlables.

El joven Galileo del que estamos hablando es todavía, apenas, la promesa del renovador de la física que vendrá después. Creo, no obstante, que el caso del crimen de la corona deja entrever, quizá, el temprano interés galileano, que más tarde lo haría famoso, por el diseño experimental. El método de Vitruvio es en la práctica, probablemente, más preciso. Sus resultados son más exactos. El procedimiento como tal, no obstante, es a los ojos de Galileo excesivamente crudo, la cantidad de variables a controlar son demasiadas. Su propio método es en ese sentido más límpido, más controlable. Es capaz, además, de resolver el problema concreto propuesto a Arquímedes. A los ojos de Galileo, un genio de la talla del gran matemático de Siracusa tuvo que haber tomado en cuenta este aspecto del procedimiento. Aún cuando las variables a controlar no influyeran significativamente en el resultado, aún cuando el método de Vitruvio tuviera, en la teoría y en la práctica, mayor precisión que el de la balanza, aún en esos casos, un científico del calibre de Arquímedes no podría haber desestimado este aspecto casi estético del procedimiento, y debe de haber, según Galileo, inclinado su preferencia hacia un método como el de la balanza.

Estas consideraciones constituyen un caso de interés para el debate más general acerca de la relación entre el propio Galileo y la experimentación. En efecto, desde los estudios de Koyré a fines de la década de los treinta (cfr. Koyré, 1980), una de las posiciones más importantes acerca de esta cuestión es la que indica que Galileo no era un investigador que sustentaba sus teorías en experimentos reales, efectivamente llevados a cabo por él mismo, sino que éstos eran meramente ficciones cuya única función es hacer más convincente el argumento. La nueva ciencia galileana estaría así fundada en el puro pensamiento.

Esta opinión, no obstante, encontró a mediados del siglo XX oposición en una serie de investigaciones en las cuales se recreaban algunos experimentos descritos por Galileo⁹, encontrando que, utilizando sus materiales y métodos, los resultados señalados por el pisanino podrían, efectivamente, haber sido obtenidos a través de la experimentación. En Settle (1961) se describe la recreación del experimento de los *Discorsi* en los cuales Galileo estudia la aceleración de un cuerpo en caída. Allí (Galilei, 1890, vol. 8, p. 213), el científico italiano indica que para medir los tiempos utilizó un recipiente que, durante el período que se deseaba medir, dejaba escapar agua por un pequeño tubo, agua que era recogida en otro recipiente. Luego se pesaba, con una "exactísima balanza", el recipiente con el agua vertida, y la proporción entre los diversos pesos indicaba la proporción entre los tiempos. Koyré (1980, p. 145) se refiere a ese relato galileano con desdén, concluyendo que la precisión pretendida por Galileo estaba fuera de su alcance, y que éste es tan sólo uno de los tantos experimentos ideales que Galileo acostumbraba a presentar. La recreación de Settle, no obstante, muestra que los

⁹ Algunos de los textos donde Galileo había dejado estas descripciones no habían sido incluidos en la edición de 1890 de sus obras completas (cfr. Boido, 1996, p. 313).

límites de los instrumentos de la época estaban completamente dentro las pretensiones galileanas.

Similares reconstrucciones de otros experimentos fueron realizadas en MacLachlan (1973) y Drake & MacLachlan (1975), entre otros. Algunos autores, sin embargo, matizaron un poco el experimentalismo galileano que estos estudios buscan demostrar, atacando diversos aspectos de las reconstrucciones realizadas. Así, por ejemplo, en Beltrán (1998) el autor pone bajo la lupa la posibilidad de que los experimentos que Galileo describe muestren, al menos en algún caso, fenómenos conocidos en la época. De esta manera se debilitaría la idea de que Galileo efectivamente los realizó tal y como él los describe.

La discusión, como vemos, es compleja. La reconstrucción desarrollada en este artículo, y la respuesta que doy al hecho de que el método recomendado por Galileo para detectar el robo es, en sí mismo, menos preciso que el propuesto por Vitruvio, constituyen un aporte al debate respecto de estas cuestiones, y ayudan a percibir con mayor claridad la relación entre Galileo y un método experimental riguroso.

5. Conclusión

En este trabajo se ha realizado un análisis de la precisión alcanzable por los dos métodos que fueron propuestos para explicar el éxito de Arquímedes en el caso de la corona de Hierón. Luego de comparar ambos métodos a partir de parámetros que o bien constan explícitamente en las fuentes, o bien han debido ser asumidos fundándonos en diversos argumentos *ad hoc*, se encontró que si bien los dos son capaces de resolver el problema concreto que Hierón presentó a Arquímedes, el método propuesto por Galileo se vuelve impracticable cuando se le exige una precisión mayor que la que ese caso necesita.

Si bien no es posible justificar la elección galileana a partir de la precisión de su propuesta, encontramos que coincide muy bien con otras preocupaciones típicamente galileanas. Pues el método propuesto por Galileo, aunque menos preciso que el de Vitruvio, es, en términos experimentales, más controlable, y por lo tanto se corresponde mejor con las exigencias de Galileo al momento de considerar las características adecuadas de un correcto método experimental. Por último, una visión semejante de este aspecto del pensamiento del pisano constituye un elemento de interés para el debate historiográfico acerca de la relación entre Galileo y la experimentación.

6. Bibliografía

- Arquímedes. (2009). *Tratados. vol. II.* (trad. Ortiz García, Paloma). Madrid: Gredos.
- Batchelor, G. K. (2000). *An Introduction to Fluid Dynamics.* Cambridge: Cambridge University Press.

- Beltrán, A. (1998). Wine, Water, and Epistemological Sobriety: A Note on the Koyré-MacLachlan Debate. *Isis* (89), 82-89.
- Boido, G. (1996). *Noticias del planeta Tierra; Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: AZ editora.
- Carman, C., & Di Cocco, M. (2016). *The moon phase anomaly in the Antikythera Mechanism*. Recuperado el 14 de diciembre de 2016, de sitio web de la New York University: <http://dlib.nyu.edu/awdl/isaw/isaw-papers/11/>
- Carman, C., & Evans, J. (2014). On the epoch of the Antikythera mechanism and its eclipse predictor. *Archive for History of Exact Sciences*, 64 (6), 693-774.
- Cicerón, M. T. (2005). *Disputaciones tusculanas*. (A. Medina Gonzalez, Trad.) Madrid: Gredos.
- Drake, S., & MacLachlan, J. (1975). Galileo's Discovery of the Parabolic Trajectory. *Scientific American* (232), 102-110.
- Encyclopaedia Britannica. (s.f.). *Encyclopaedia Britannica Online*. Recuperado el 8 de diciembre de 2016, de <https://www.britannica.com/science/amphora-measurement>
- Freeth, T. (2014). *Eclipse Prediction on the Ancient Greek Astronomical Calculating Machine Known as the Antikythera Mechanism*. Recuperado el 14 de diciembre de 2016, de Plos One: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0103275>
- Galilei, G. (1890). *Le opere di Galileo Galilei: edizione nazionale sotto gli auspicii di Sua Maestra il Re Italia*. Firenze: G. Barbera.
- Heath, T. L. (1897). *The Works of Archimedes, edited in Modern Notation with Introductory Chapters*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heilbron, J. (2010). *Galileo*. Oxford: Oxford University Press.
- Koyré, A. (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI.
- Libri, G. (1840). *Histoire des sciences mathématiques en Italie: depuis la renaissance des lettres jusqu'à la fin du 17e siècle* (Vol. 3). Paris: J. Renouard & cie.
- MacLachlan, J. (1973). A Test of an "Imaginary" Experiment of Galileo's. *Isis*, 64 (3), 374-379.
- Roche, J. J. (1998). *The Mathematics of Measurement: a Critical History*. Londres: The Athlone Press/Springer.
- Rogers, K. (Ed.). (2011). *The Eye: the Physiology of Human Perception*. New York: Britannica Educational Publishing.
- Settle, T. (1961). An Experiment in the History of Science. *Science* (133), 19-23.
- Smith, E. A. (1978). *Working in Precious Metals*. London: NAG Press.
- Vitruvio. (1914). *The Ten Books on Architecture*. (M. H. Morgan, Trad.) Cambridge, US: Harvard University Press.

Yanoff, M., & Duker, J. S. (2009). *Ophthalmology*. China: Mosby/Elsevier.

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.

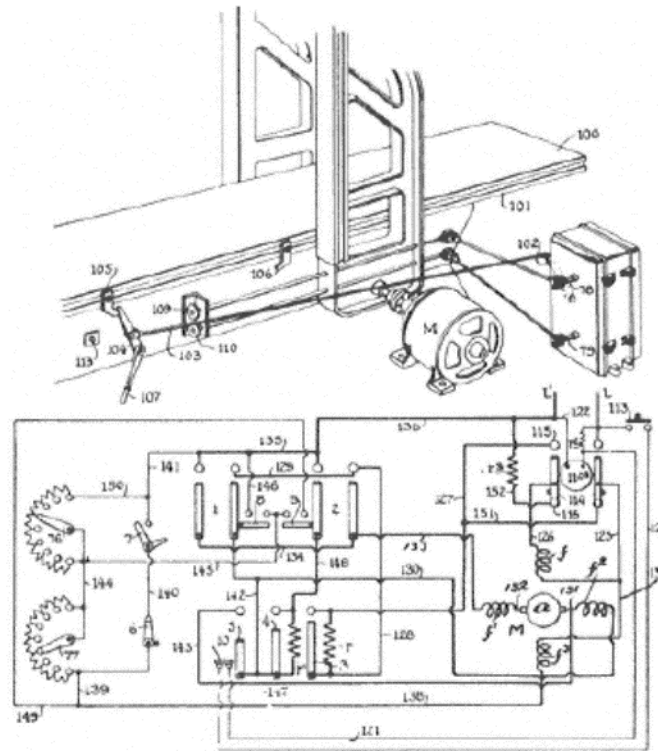


Figura 1. Ilustración tomada por Simon de la patente de un controlador de motor (Simon, 1996, p. 11).

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 Blumenberg 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 “hibrida” (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 ensamble 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 intendido” 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”.

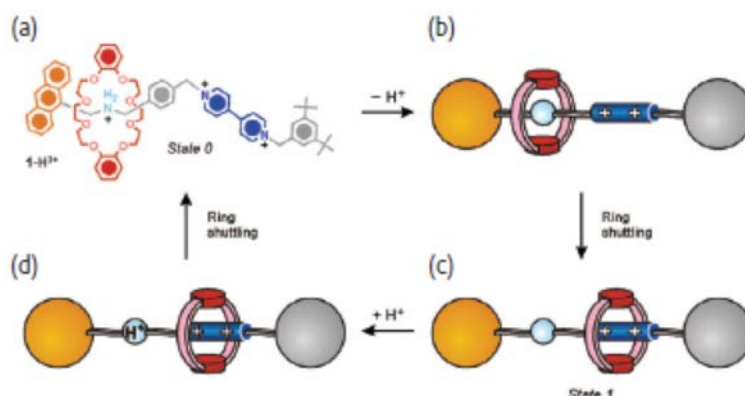


Figura 2. Primeras estructuras basadas en lazos mecánicos: En el caso del rotaxano, una molécula con forma de mancuerna se inserta en un anillo molecular llamado macrociclo, que le imprime un movimiento rotatorio. El diámetro del anillo es menor que el de los extremos de la “mancuerna”, los cuales operan 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. Rodriguez, 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: Grundziige 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.

Tecnología, políticas de Estado y modelo de país: el caso ARSAT, los satélites geoestacionarios versus “los cielos abiertos”

Diego Hurtado¹, Matías Bianchi² y Diego Lawler³

Recibido: 20 de septiembre de 2017

Aceptado: 15 de octubre de 2017

Resumen. Este artículo se estructura sobre la idea de que la política científica y tecnológica es una política de Estado cuyo telos último es el bienestar de todos los ciudadanos de un país. Sobre esta premisa deben evaluarse esas políticas. En particular, analiza un caso de desarrollo tecnológico relevante para el país: los satélites geoestacionarios, una política de Estado que quedó trunca. Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en primer lugar se caracteriza qué es una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación; en segundo lugar, se señala la importancia insustituible de la presencia del Estado como motor y articulador de la política científica y tecnológica; en tercer lugar se diagnostica la complejidad interna del fenómeno tecnológico y cómo esta complejidad demanda una política pública en condiciones de convertirse en política de Estado en países como el nuestro; en cuarto lugar, es presentado y analizado el caso ARSAT; finalmente, se presentan unas conclusiones sobre la naturaleza de los desafíos futuros y las condiciones bajo las cuales deben ser abordados.

Palabras clave: tecnología – políticas de Estado – satélites geoestacionarios – ARSAT – bienestar ciudadano.

Title: Technology, State Policies and Country Model: the case of ARSAT, geostationary satellites versus "the open skies"

Abstract. This article is structured following this idea: a scientific and technological policy is a State policy whose main target is the welfare of all the citizens of a country. These policies must be evaluated on this premise. In particular, it analyzes a case of technological development relevant to Argentina: the geostationary satellites, a State policy that remains truncated. The article is organized as follows: firstly, it characterizes what is a State policy concerning science, technology and innovation. Secondly, the irreplaceable importance of the presence of the State as motor and articulator of the scientific and technological policy is pointed out. Thirdly, the

¹ UNSAM

✉ dhurtado2003@yahoo.com.ar

² Expresidente de ARSAT (abril 2013/diciembre 2015)

✉ mbianchi01@gmail.com

³ CONICET/IIF-SADAF

✉ diego.lawler@gmail.com

Hurtado, Diego; Bianchi, Matías y Lawler, Diego (2017). Tecnología, políticas de Estado y modelo de país: el caso ARSAT, los satélites geoestacionarios versus “los cielos abiertos”. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 48-71. ISSN: 2525-1198



internal complexity of the technological phenomenon is diagnosed; besides it shows how this complexity demands a public policy in conditions to become State policy in countries like Argentina. Fourthly, the ARSAT case is presented and analyzed. Finally, it presents some conclusions about future challenges, and some conditions which must be addressed are pointed out.

Keywords: technology – state policies – geostationary satellites – ARSAT – citizen welfare.

1. Introducción

Es un lugar común de las últimas décadas señalar que el conocimiento científico y los desarrollos tecnológicos constituyen una fuente clave del bienestar de las sociedades actuales (Sakaiya, 1995). Este hecho tiene implicancias políticas, económicas, culturales y sociales. Sin embargo, las políticas científicas y tecnológicas, que naturalmente tienen por objeto la producción de conocimientos científicos y desarrollos tecnológicos, no necesariamente son percibidas por los gobiernos como políticas prioritarias (Mazzucato, 2013). Los gobiernos de países en desarrollo suelen reconocer discursivamente la ciencia y la tecnología como motores primarios del desarrollo socioeconómico, pero no concretan ese reconocimiento en políticas de Estado en ciencia y tecnología. Esto es especialmente cierto de algunos gobiernos de la región latinoamericana que aplican programas de cuño neoliberal.⁴

En este artículo nos proponemos reflexionar sobre esta situación y mostrar un ejemplo de desmantelamiento de una política de Estado que en su núcleo incluye metas importantes de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) –es decir, que supone un componente de política en ciencia y tecnología– en un sector considerado estratégico por las economías centrales. En primer lugar, caracterizamos qué entendemos por una política de Estado en ciencia y tecnología. En segundo lugar, señalamos por qué es insustituible la presencia del Estado como motor y articulador de la política científica y tecnológica. En tercer, lugar, nos centramos en la tecnología con el propósito de desplegar una mirada sobre el fenómeno tecnológico. La complejidad intrínseca misma de la tecnología y la debilidad histórica que muestran los países de la región, incluido Argentina, en el acceso a las tecnologías relevantes demanda una política pública que adquiera el estatuto de una política de Estado. En cuarto lugar, nos focalizamos en el caso ARSAT, como política de Estado en comunicaciones satelitales, que incluyó como meta el diseño y construcción de satélites geoestacionarios nacionales, componente crucial que puede considerarse una política de Estado en ciencia y

⁴ Para una caracterización de la política neoliberal en el caso argentino, ver Kicillof y Bianco (2017). Las administraciones neoliberales latinoamericanas, sin embargo, hacen caso omiso de las conductas de las administraciones de los países centrales a las que desean imitar. Si consideramos EEUU, por ejemplo, desde el Proyecto Manhattan, el Estado interviene decididamente en la promoción y ejecución de la ciencia y la tecnología (Bush, 1940; Mazzucato, 2013).

tecnología orientada a objetivos.⁵ Finalmente, presentamos unas conclusiones que recogen los profundos obstáculos que se presentan en el escenario futuro.

2. Políticas públicas y políticas de Estado: la política científica y tecnológica

No todas las políticas públicas son políticas de Estado. Por ejemplo, una política de vivienda impulsada e implementada por una administración política del Estado durante un período temporal definido es una política pública. En términos generales, se entiende por política pública la toma de posición del Estado y la definición de cursos de acción frente a “cuestiones socialmente problematizadas” (Oszlak y O’Donnell, 1976; Muller, 2002), relacionadas con necesidades y demandas que expresan y logran instalar los miembros de una sociedad en la agenda del Estado. En este sentido, una política pública representa el modo en que el Estado se apropia de un tema de la “agenda social problemática”,⁶ lo hace suyo destinándole atención y recursos, para convertirlo en un asunto de valor público, esto es, en una cuestión de interés general para el conjunto de los miembros de esa sociedad.⁷

La política pública está vinculada a una cierta interpretación del interés general que promueve una administración del Estado; para el caso de una política de vivienda, la satisfacción de las demandas y necesidades habitacionales de un sector, de varios sectores o de todo el conjunto de los miembros de una sociedad. Por supuesto, cualquier política pública tiene un impacto profundo sobre la organización social existente sobre la que se aplica esa política, afectando las condiciones de vida (ingreso, trabajo, oportunidades, etc.) de los miembros de los distintos sectores sociales involucrados.

Sin embargo, hay políticas públicas que son simultáneamente políticas de Estado. ¿Qué convierte a una política pública en política de Estado? No solamente su continuidad en el tiempo, a través de las distintas administraciones del Estado; sino que, especialmente, la conversión del interés general en una parte del interés nacional.⁸ Esto cambia cualitativamente una política pública, puesto que la sitúa en un escenario diferente, a saber, regional o global, más allá de los límites del territorio de un Estado. Una política pública que se transforma en política de

⁵ Utilizamos la expresión “orientada a objetivo” como equivalente a la expresión “mission oriented”. Sobre políticas orientadas a objetivos, ver Ergas (1987) y Mazzucato & Penna (2016).

⁶ Cómo se compone esta agenda social problemática, qué temas ingresan y qué temas son excluidos, depende de la coyuntura histórica, que señala qué asuntos exigen intervención del Estado; no obstante, “son las tomas de posición de quienes actúan en nombre del Estado o asumen su representación las que indican, con mayor claridad, cuáles son las orientaciones político-ideológicas implícitas en sus acciones” (Oszlak, 2011, p. 6).

⁷ Esto permite delinear el perfil que tiene un Estado en un período determinado, puesto que “el estado es, en última instancia, lo que hace” (Oszlak, 2011, p 5) y también lo que no hace o deja de hacer. El Estado es acción y omisión que se expresa en sus políticas públicas.

⁸ Aquí nos alejamos del análisis de Oszlak (2011, p. 2), quien entiende por política de Estado, la continuidad por parte del Estado “en la interpretación de una problemática social que deber ser resuelta y en la elección de los instrumentos destinados a resolverlos”.

Estado, no es solamente un proceso de mediación social con el propósito de resolver desajustes entre sectores de la sociedad, sino que constituye un conjunto de acciones que articulan una cuestión doméstica con el interés nacional, con la sustentabilidad relativamente autónoma del Estado, tanto en términos políticos como económicos, en el concierto regional e internacional, a mediano y largo plazo. En la elaboración de una política pública, una administración del Estado media entre sectores sociales y cristaliza en ella su idea del interés general respecto del escenario doméstico. En cambio, en una política de Estado, el Estado plasma en el tiempo, a través de sus élites, el interés nacional, que lleva adelante en términos de su visión y su misión.

En los estados democráticos actuales, el interés nacional se define en relación con la conquista del bienestar social, económico y cultural de todos sus ciudadanos. Las políticas de Estado son aquellas políticas públicas que esencialmente aceitan los procesos de toma de decisión y ejecución de acciones orientadas hacia la satisfacción del interés nacional a partir de plasmar la inserción de un país en el escenario económico, político y social global. El desafío de una política de Estado puede resumirse básicamente en la resolución de esta cuestión: dadas las características del escenario doméstico, qué inserción internacional garantiza la supervivencia autónoma del Estado y a la vez mejora las condiciones de vida de la totalidad de sus ciudadanos.

Hay políticas públicas que, en virtud de estar estrechamente enlazadas con el interés general, adquieren la condición de políticas de Estado; por ejemplo, la política exterior y la política científica y tecnológica. Ambas tienen por objeto fenómenos que se extienden más allá de los límites de un Estado: en un caso, la distribución del poder en el escenario internacional; en otro, las agendas de I+D+i, especialmente en áreas definidas como estratégicas –salud, defensa, telecomunicaciones, transporte, etc. – o de sectores de la economía de alto valor agregado. Ambas se enfocan en la inserción estratégica de un país en el campo de fuerzas geopolítico y geoeconómico, están asentadas sobre diagnósticos y perspectivas de la situación doméstica y articulan diferentes actores, procesos y lógicas internas con una variedad de actores, procesos y lógicas transfronterizas de naturalezas diferentes a las primeras.⁹ La naturaleza del objeto de esas políticas las transforma, se lo desee o no, en políticas de Estado.

La política científica y tecnológica deber ser distinguida de la política de la ciencia y la tecnología. Esta última tiene por objeto el análisis de las relaciones entre la ciencia, la tecnología y el poder (Elzinga y Jamison, 1996); la primera, en cambio, comprende, en su condición de política pública, las decisiones y acciones colectivas que toma un Estado para fomentar el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, articularlos o no con la estructura productiva del país y aprovechar sus productos para mejorar las condiciones de vida de sus ciudadanos (Salomon,

⁹ Para el caso de la política exterior, ver Putnam (1988); para el caso de la política científica y tecnológica ver, como ejemplo paradigmático, el “Informe Vannevar Bush” (Bush, 1960 [1945]).

1977).¹⁰ En su condición de política de Estado, estas decisiones están ensambladas con la satisfacción del interés nacional, la búsqueda de la independencia económica y la soberanía política en el contexto regional e internacional que otorguen el grado de libertad necesario para decidir la inserción internacional del país en función del bienestar de sus habitantes.

En función de estas premisas, la política científica y tecnológica sin un proyecto de desarrollo socioeconómico nacional es ciega; el desarrollo socioeconómico nacional sin una política de Estado de ciencia y tecnología es vacío.¹¹

3. La presencia del Estado como motor y articulador de la política científica y tecnológica: un breve recorrido histórico

Al final de la Segunda Guerra Mundial, para las economías centrales no quedan dudas de que la ciencia y la tecnología deben ser concebidas como activos nacionales estratégicos y que, por lo tanto, deben ser objeto de políticas de Estado. Así, durante las siguientes décadas, cada estado nacional buscará el camino más adecuado para resolver la tensión entre la “cultura académica”, que se interesa “por conservar lo que se perciben como valores académicos de autonomía, integridad, objetividad y control sobre la inversión y la organización”, y los objetivos de la “cultura burocrática”, que se enfoca en la planificación, la coordinación y el establecimiento de prioridades (Elzinga y Jamison, 1996). La resolución de este “desajuste” y la creciente asimilación de las actividades de I+D+i a las dinámicas económicas y de desarrollo social durante las siguientes décadas van a plantear senderos específicos vinculados a las propias historias e idiosincrasias nacionales. La gran moraleja es que no hay recetas automáticas, cada país debe encontrar su propio sendero de desarrollo. Prácticas de diseño institucional, de aprendizaje organizacional, de incentivo y/o disciplinamiento de empresas, de estrategias de vinculación público-privada que deben lidiar con las culturas científicas, tecnológicas y empresariales, etc. son algunas de las variables que integran los procesos complejos de aprendizaje colectivo y acumulación de capacidades para la formulación y ejecución eficaz de políticas científicas y tecnológicas.

Mientras las economías centrales se caracterizan por la relativa estabilidad del desarrollo económico y social que coevoluciona de forma sinérgica con los sistemas nacionales de I+D+i, en países no centrales que presentan cierta capacidad industrial, como Argentina, los procesos de desarrollo dependiente (Evans, 1979) explican en buena medida la inestabilidad política e institucional donde se insertan las actividades de I+D+i. Enfocado en el ciclo de industrialización sustitutiva de los años sesenta y setenta, O'Donnell (2009 [1982],

¹⁰ Por supuesto, la interacción de la ciencia y la tecnología con el poder no es completamente independiente del diseño e instrumentación de las políticas científicas y tecnológicas.

¹¹ Esta caracterización sitúa al Estado como constructor y tomador de decisiones de una política científica y tecnológica, tenga o no el Estado una política científica y tecnológica explícita o implícita (Herrera, 1975 [1973]).

p. 117) caracteriza la economía argentina como “capitalismo extensamente industrializado, dependiente, desequilibrado y profundamente penetrado por el capital transnacional”. Al ocupar los sectores más dinámicos, las empresas transnacionales trajeron el equipamiento y la tecnología necesaria desde sus casas matrices, relegando a un lugar subsidiario a la industria de capitales nacionales y dejando sin demanda a las actividades de investigación y desarrollo locales. Como señala a fines de los años sesenta el economista brasileño Celso Furtado refiriéndose a las inversiones extranjeras directas en el sector industrial, que en su mayor parte se volcaron sobre la Argentina, Brasil y México: “Entre 1955 y 1968, las ganancias de las subsidiarias de empresas norteamericanas en América Latina por derechos de patentes y asistencia técnica representaron el 56 por ciento de las ganancias remitidas a sus casas matrices” (Furtado, 1970, p. 204, nota 4). A comienzos de los años setenta, salvo escasas excepciones, las actividades de ciencia y tecnología están desconectadas de la realidad socioeconómica local.

A fines de los años sesenta, Sábato y Botana explican que la experiencia histórica demuestra que “la acción de insertar la ciencia y la tecnología en la trama misma del desarrollo” es “el resultado de la acción múltiple y coordinada de tres elementos fundamentales [...]: el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica”. Considerando “el carácter mixto de las economías latinoamericanas, en donde el sector público es parte importante de la estructura productiva, el vértice-gobierno tendría en sus manos un campo de experiencia sumamente interesante”. A partir de la lección del sector nuclear, que en la Argentina había permitido el desarrollo inédito de capacidades tecnológicas autónomas, la propuesta de estos autores es impulsar “triángulos sectoriales” en “algunos de los grandes conglomerados que componen el sector público”, como siderurgia, petróleo o electricidad. Y concluyen: “Movilizando inteligencias y voluntades, el triángulo sectorial actuaría como un polo de integración de investigadores que, en muchos sentidos, están alienados de nuestras realidades nacionales, otorgando un sentido social a la existencia del individuo y garantizando el desarrollo de su vocación” (Sábato y Botana, 2011 [1968], pp. 219-220, pp. 228-229, p. 231).

Durante los años setenta, Sábato y Botana integran un conjunto heterogéneo de intelectuales, académicos y tecnólogos que emergen en América Latina a fines de los años sesenta que hoy es estudiado como “escuela”, “corriente” o “movimiento” de producción de conocimiento alrededor de la problemática “ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia”. Amílcar Herrera (Argentina), Helio Jaguaribe (Brasil), Osvaldo Sunkel (Chile), Miguel Wionczek (México), Máximo Halty-Carriere (Uruguay) o Marcel Roche (Venezuela) son algunos de sus representantes de mayor circulación. Este grupo de pensadores, que hoy llamamos “pensamiento latinoamericano en ciencia, tecnología y desarrollo” (PLACTED), logró construir y consensuar una agenda común de discusión que hizo posible codificar experiencias sectoriales, interpretar trayectorias y roles institucionales, así como diseñar algunos diagnósticos necesarios para la formulación de políticas públicas de ciencia, tecnología y desarrollo específicas para los países de la región.

El tsunami neoliberal

El primer ciclo de industrialización (1930-1976) y la creciente comprensión de cómo generar procesos de enraizamiento de las actividades de I+D+i en el desarrollo económico y social fueron clausurados por la llegada del proyecto de globalización neoliberal a América Latina –en algunos casos a través de dictaduras– y del inicio de procesos de desindustrialización y financierización de las economías nacionales junto con un nuevo ciclo de endeudamiento inédito por sus características y dimensiones. A modo de síntesis, digamos que la operación política e ideológica neoliberal apuntó a la erosión y el desprestigio de las ideas, enfoques y componentes ideológicos promovidos por la perspectiva del PLACTED. En su lugar, se comenzó a difundir un nuevo programa o paradigma político-epistemológico basado en: (i) la privatización y mercantilización del conocimiento; (ii) la deshistorización y homogeneización de las periferias como estrategia analítica que hizo posible la producción de diagnósticos genéricos y, por lo tanto, de soluciones o “recetas” genéricas; y (iii) la difusión de categorías teórico-políticas ajenas a los procesos de desarrollo socioeconómico de los países de la región.

Esta transformación del escenario local y regional fue una consecuencia de profundas transformaciones en el área de la producción de conocimiento que acompañaron el despliegue del proyecto de globalización neoliberal, que se inicia con el período Reagan-Thatcher y que hoy continúa. La motivación inicial, durante los años setenta, se relaciona con una serie de iniciativas que promueve el gobierno norteamericano con el objetivo de recuperar la competitividad de las firmas norteamericanas en la economía global a partir de un incentivo a las actividades de I+D+i y de facilitar su enraizamiento con la industria. Estas transformaciones apuntaron principalmente a facilitar la privatización de propiedad intelectual financiada con fondos públicos y a expandir la ingerencia del gobierno en el impulso del cambio tecnológico. Como parte de las iniciativas que derivaron en la creación de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y los acuerdos TRIPS, se globaliza el sistema de patentes norteamericano (Muñoz Tellez, 2009; Michalopoulos, 2014, Cap. 7).

En 1980, se aprueban dos instrumentos que se proponen facilitar la vinculación academia-industria: la Ley de Transferencia de Tecnología de Stevenson-Wydler, para incentivar la vinculación de los laboratorios públicos con universidades y empresas y para que canalicen fondos en actividades de transferencia de tecnología; y la Enmienda Bayh-Dole a las leyes de patentes, que allanaba el camino para que universidades y centros de investigación pudieran percibir derechos de propiedad intelectual por trabajos realizados con fondos públicos. En 1984, el Congreso de los Estados Unidos modificó el Acta de Comercio para que los derechos de propiedad intelectual de sus empresas fueran reconocidos en todo el mundo. Esta ley sostenía que el gobierno norteamericano podía tomar medidas económicas y diplomáticas especiales contra los países que violaran las patentes. También se crearon programas como el Small Business Innovation Research (SBIR), Small Business Technology Transfer (STTR), Manufacturing

Extension Partnership (MEP), o Advanced Technology Programme (ATP). Estas transformaciones continuaron hasta 1992 (Etzkowitz, et al., 2008; Block, 2008, pp. 11-14).

Mientras que, por un lado, las grandes empresas norteamericanas dependen de los subsidios del gobierno de EEUU, de un entorno regulatorio favorable, de apoyo a sus actividades de I+D+i, de protección de la propiedad intelectual y respaldo en sus proyectos de inversión en otros países, por otro lado, todas estas transformaciones son invisibilizadas por un discurso de fundamentalismo de libre mercado que intenta transmitir que el Estado de las economías centrales no interviene. Etzkowitz et al. (2008, p. 685) explican que en este escenario dominan “políticas industriales *de facto*” y Block (2008) habla de “estado desarrollista oculto”. La consecuencia es un escenario global donde los países centrales refuerzan sus iniciativas de incentivo y protección de sus economías y tienden a la “privatización del conocimiento” y al creciente endurecimiento de las barreras de acceso a las tecnologías, como contrapunto, mientras exigen desregulación y disolución de las medidas de protección vigentes en las economías de las periferias, incluidos los sectores estratégicos como salud, educación, energía, telecomunicaciones, o defensa.

Así, mientras que los países centrales “tardaron más de dos siglos en diseñar, experimentar e instaurar progresivamente sistemas nacionales de propiedad intelectual”, los países de la periferia “absorbieron sistemas de propiedad intelectual impuestos por el imperio colonial” (Muñoz Tellez, 2009, pp. 4-5). La monopolización de los derechos de propiedad intelectual fue considerada un recurso adicional para obstaculizar procesos de acortamiento de la brecha basados en senderos imitativos de industrialización (Correa, 2000, p. 4). Respondiendo a este escenario, durante los años noventa, como parte de la política exterior de alineamiento con EEUU, Argentina también se integró, junto con otros países de la región, al proceso de internacionalización de la propiedad intelectual a través de la reforma de su legislación, incluyendo una ampliación de la protección a nuevos sectores, como los productos farmacéuticos y el software. La ley de patentes aprobada en la Argentina en 1995 no estuvo motivada por el objetivo de proteger la propiedad intelectual de sus laboratorios, sino que surgió como parte de las presiones sobre el gobierno argentino para que legislara sobre el pago de regalías a empresas transnacionales.

En términos más generales, en el terreno de las políticas de I+D+i, se naturalizó un tipo de diagnóstico general sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología en América latina estructurado por dos nociones: la de “modelo lineal de innovación” y la de “sistema nacional de innovación”. Una versión simplificada de este tipo de diagnósticos, podría parafrasearse así:

La debilidad de las actividades de I+D+i de los países de América latina se explica en buena medida por la implementación del ‘modelo lineal de innovación’. Esta visión ingenua –que supone una posición ‘ofertista’ en la producción de conocimiento– debe ser reemplazada por conceptualizaciones más realistas, que incorporen la compleja trama de

elementos e interacciones (no lineales) propios de los procesos de innovación. La noción de 'sistema nacional de innovación' supone una aproximación más adecuada y debe ser el punto de partida para la formulación de las políticas de I+D+i para los países de la región (Hurtado y Mallo, 2013, p. 449).

En un artículo de enorme circulación de Katz y Bercovich, publicado en el libro titulado *National Systems of Innovation. A Comparative Analysis*, editado por Richard Nelson, los autores intentan aplicar a la Argentina la noción de sistema nacional de innovación (SNI). Refiriéndose a "las actividades de I+D y de generación de conocimiento realizadas por las agencias de investigación y universidades del sector público, empresas públicas descentralizadas y las fuerzas armadas", sostienen en la introducción: "Prestamos atención a las diversas ideologías y lobbies políticos y militares que de una u otra manera influenciaron la algo caótica evolución de esta parte importante del sistema nacional de innovación argentino". Y al comienzo de la última sección, afirman: "Un cuidadoso examen del sistema nacional de innovación argentino muestra que el país está lejos de tener una red integrada y coherente de agentes, instituciones y políticas dedicadas a cuestiones de generación, difusión y empleo de conocimiento científico y tecnológico" (Katz & Bercovich, 1993, pp. 452-470). Si se tiene en cuenta que la definición más amplia de *sistema* es "todo lo que no sea caótico" (Boulding, 1985), de la caracterización de Katz y Bercovich parece deducirse que en la Argentina no puede hablarse de un SNI.

No solo desde el sector académico, sino también los formuladores de políticas presentaron el concepto de SNI como la opción superadora para América latina. Una publicación del BID explica que "la región colectivamente tiene que fortalecer sus sistemas nacionales de innovación (SNI) y tratar de vincularlos con la sociedad mundial del saber", aunque aclara con referencia al propio concepto de SNI, que se trata de "un término que ahora se emplea con mucha frecuencia en la bibliografía (aunque no siempre se comprende bien)" (De Moura Castro et al., 2000, pp. 2-5).

Ahora bien, no se trata del mero uso de un término. Lo crucial de este asunto es ver cuáles son las condiciones de aplicabilidad de la noción de SNI, qué cosas presupone este concepto. Como sostienen Arocena & Sutz (2000, p. 57): "*SNI*s es un concepto 'ex-post', esto es, un concepto construido sobre estudios empíricos que muestran patrones similares" (itálica en el original). Y aclaran que la evidencia empírica que respalda la elaboración y eficacia del concepto de SNI está tomada de países europeos.

Reforzando esta apreciación, en una revisión crítica de la trayectoria de la noción de SNI, con referencia a su libro de 1992 –junto con el citado de Nelson, obra fundacional en la elaboración y difusión del concepto–, Bengt-Åke Lundvall sostiene: "La mayoría de los capítulos del presente volumen no tratan el sistema de innovación como un concepto *ex-ante*, sino *ex-post*. El concepto remite a sistemas relativamente fuertes y diversificados que cuentan con buen apoyo institucional y de infraestructura para las actividades de innovación". En cuanto a su aplicación a

los países en desarrollo, Lundvall reconoce serias limitaciones: “Otra debilidad del enfoque de los sistemas de innovación radica en que hasta el momento no se ha ocupado de las cuestiones de poder en relación con el desarrollo [...] Los privilegios de clase y la situación poscolonial pueden bloquear las posibilidades de aprendizaje; asimismo, competencias ya existentes podrían ser destruidas por motivos políticos vinculados con la distribución mundial de poder” (Lundvall, 2009, pp. 380-381).

A modo de síntesis, digamos que, a diferencia de las economías neoliberales centrales que, mientras promueven una retórica de fundamentalismo de libre mercado, apuntalan el dinamismo económico con una batería de iniciativas públicas de protección, incentivo y creación de nuevos sectores, el fundamentalismo de libre mercado que se despliega en las periferias disuelve las responsabilidades del Estado en el campo del conocimiento y reorienta el campo científico-tecnológico bajo la guía de un conjunto de conceptos y consignas que promueven que los institutos, laboratorios o grupos de I+D+i públicos deben gestionar sus propios “negocios” y autofinanciarse. En este contexto, se intentan reemplazar las políticas ausentes de industria y de ciencia y tecnología con la promoción del “emprendedorismo”, variante neoliberal que se enfoca en el éxito individual como respuesta a un escenario de disgregación social y económica. El objetivo final es reemplazar el paradigma del desarrollo económico y social como empresa colectiva y solidaria por un voluntarismo solipsista fundado en variantes de pensamiento místico que promueve una “espiritualidad” mercantil y predatoria. Su legitimación suele estar fundada en gurúes extranjeros y pseudo-ciencia. La cultura del “emprendedorismo”, las consultorías, los *think tanks* y diversas modalidades de “agencias de análisis” se proponen reemplazar formas tradicionales de producción de conocimiento, que son estigmatizadas como anacrónicas –aunque persisten y evolucionan en las economías centrales–, escenario que supone una “desjerarquización” del mundo académico (Rubinich, 2001, pp. 63-64).

4. Las características intrínsecas de la tecnología: ¿por qué el fenómeno tecnológico demanda una política de Estado?

Para comprender algunos procesos virtuosos de aprendizaje, escalamiento y desarrollo tecnológico en áreas estratégicas de la economía que tuvieron lugar en la Argentina luego de 2003, podemos tomar como punto de partida algunas ideas centrales de la obra de Jorge Sábato sobre las diferencias intrínsecas, epistemológicas y políticas, entre ciencia y tecnología y sobre el reconocimiento del problema crucial de los países de la región: la generación de capacidades de elaboración de políticas tecnológicas que hagan viable procesos de desarrollo autónomo en sectores estratégicos. Como explica el economista heterodoxo Ha-Joon Chang (2008, p. 81) “el desarrollo económico consiste en adquirir y dominar las tecnologías avanzadas”.

Su visión más elaborada se encuentra en el libro *La producción de tecnología autónoma o transnacional* (Sábato y MacKenzie, 1982). Allí, Sábato se concentra en aspectos específicos del “subdesarrollo”, como las consecuencias de lo que llama “importación ciega” de tecnología, “los esquemas de alienación” propios de estos procesos, o las condiciones de posibilidad para el desarrollo de capacidades tecnológicas autónomas. Sábato habla de “paquete tecnológico” como “unidad de análisis para el estudio de la tecnología”, concepto “que tiene la suficiente flexibilidad para incorporar todos los *inputs* que intervienen en el cambio tecnológico”. Al conceptualizar la tecnología como mercancía, sostiene que el modo de producción dominante en el laboratorio es análogo al de la fábrica, que allí también existe división del trabajo. Frente a las simplificaciones dominantes en el imaginario local, Sábato llamó la atención sobre la complejidad y la diversidad de actores que intervienen en el “drama tecnológico”: “políticos, empresarios, obreros, burócratas, científicos, tecnólogos, consumidores, etc.”. Y concluye:

La tecnología no es neutra: con ella se transmiten los valores y las relaciones de producción imperantes en la sociedad donde se origina. Por lo tanto, su importación sin una previa fijación de criterios – particularmente dentro del actual sistema de propiedad industrial y sin una adecuada legislación sobre inversión extranjera– conduce a una concentración de poder económico y político en los países exportadores y a una alienación social y cultural de los países importadores a través de la ‘reproducción’ de los valores importados (1982, p. 220).

Ahora bien, autonomía no es lo mismo que autarquía. Argentina necesita importar tecnología, por eso dedica una parte importante de sus reflexiones a comprender los procesos de comercialización de tecnología, que en el sistema económico “es una mercancía, una auténtica ‘commodity of commerce’”. Como “producto cultural”, Sábato destaca de la tecnología “su *dinamismo*, su *efecto multiplicador* y su *naturaleza social*”. Sin embargo, una clave es su elección: “Hay tecnologías más ‘tecnologizantes’ que otras. Tal el caso de la tecnología metal-mecánica, que propaga más cultura tecnológica que, por ejemplo, la tecnología textil; o la tecnología de ‘marketing’ de artículos electrodomésticos versus la de marketing de pan o lechuga, etc.” (Sábato, 1973, pp. 2, 8, 9; itálicas en el original).

El objetivo de Sábato es comprender la dinámica y las consecuencias del “comercio de tecnología entre los países desarrollados y los menos desarrollados”. En el proceso de desarrollo un país incorpora “más y más producción manufacturera propia”. Mientras se protege la producción con tarifas y aranceles aduaneros, “la tecnología que se importa va creciendo en volumen total y modificando su naturaleza: más tecnología desincorporada (patentes, licencias, marcas, ingeniería de diseño, planos, etc.) y más tecnología mixta (incorporada y desincorporada) por radicación de empresas extranjeras”. Sin embargo, el mercado de tecnología entre países más desarrollados y menos desarrollados “es un mercado muy imperfecto”:

El vendedor detenta una situación cuasi monopolítica [...] gracias a un sistema de patentes que está estructurado y funciona para proteger al

productor de Tecnología; posee información casi perfecta; el costo marginal de lo que exporta es muy bajo; controla la financiación directa de proveedores y utiliza al máximo [...] los créditos ‘atados’, emplea mecanismos de penetración de efecto permanente como los acuerdos bilaterales de cooperación técnica; dispone de importantes recursos para publicidad, relaciones públicas, etc. (Sábato, 1973, pp. 10,11,15)

Como contrapartida,

[...] el comprador no produce tecnología, tiene poca información y escasa experiencia [...], debe afrontar un costo marginal (si quisiera desarrollar la tecnología por cuenta propia) alto y muy riesgoso, no dispone de fuentes locales de financiación –particularmente de divisas– y debe funcionar en un mercado de tecnologías sin tarifas ni aranceles que den protección a la producción propia de tecnología o que al menos regulen la tecnología que se importa (Sábato, 1973, p. 15).

En este campo de fuerzas, las competencias y la experiencia de gestión juegan un papel crucial. El vendedor, “agresivo, bien entrenado, con capacidad de negociación, con apoyo de la embajada de su país de origen”, ofrece la tecnología “con la menor desagregación posible [...] lo que permite realizar un negocio mayor, disimular cláusulas ‘duras’ en una foresta de cláusulas más generales y mantener abierta la posibilidad de ir desagregando –o ‘abriendo el paquete’– a medida que le convenga” (Sábato, 1973, p. 16).

El nuevo ciclo de gobiernos que se inicia en 2003, que se propone abandonar la matriz neoliberal, inició un proceso de resignificación del sentido social y económico de la ciencia y la tecnología. En este escenario, las principales fuerzas transformadoras fueron la recuperación de un proyecto de país industrial e inclusivo y la decisión de poner a las actividades de I+D+i en la primera línea de las políticas de Estado. Esta transformación también produjo movimientos tectónicos en un nivel que podríamos llamar de epistemología política: mientras que el acceso a las tecnologías y, por lo tanto, las capacidades de gestión tecnológica, históricamente fueron subsidiarias del cultivo de la ciencia internacionalmente prestigiosa, se comenzó a avanzar en la definición de agendas donde el conocimiento social y económicamente “útil” –definido con criterios locales– fue ocupando un lugar protagónico, en la medida en que las políticas públicas fueron logrando instalar agendas científicas y tecnológicas vinculadas a sectores considerados estratégicos. La lección más importante de este último período para el sector de ciencia y tecnología es organizacional e institucional: con cierta fragilidad en los estadios iniciales, pero con creciente consistencia, comienzan a ponerse en evidencia algunas trayectorias de aprendizaje y procesos de acumulación de capacidades en las instituciones públicas de investigación y desarrollo, así como la aparición incipiente de empresas que expresan rasgos afines al proyecto de país y que demuestran interés por incorporar tecnología a sus actividades productivas. Desde esta perspectiva, el logro más importante del período 2003-2015 es el haber logrado construir un Estado con capacidades crecientes de formulación y desarrollo exitoso de políticas públicas.

Partir de una matriz productiva agroexportadora con algunas capacidades industriales nacionales de baja y media intensidad tecnológica –perfil propio de una economía como la Argentina– y proponerse la incorporación de tecnologías avanzadas –es decir, la creación de entornos industriales de alta intensidad tecnológica– supone capacidades estatales para concebir e impulsar una trayectoria evolutiva de escalamiento selectivo en la jerarquía de habilidades y competencias tecnológicas, organizacionales, institucionales y políticas. La historia económica enseña que estos objetivos se logran mediante procesos de aprendizaje del tipo de “acortamiento de la brecha” (o “*catching up*”), que involucran inicialmente la generación de capacidades para la transferencia, la imitación, la ingeniería inversa y las modificaciones marginales de productos y procesos por laboratorios públicos y/o sectores o grupos de empresas involucradas. “Esto ha sido así en el pasado en Inglaterra vis a vis Holanda, en Estados Unidos vis a vis Inglaterra, en Japón vis a vis la Europa desarrollada, y lo es hoy en día en el caso de China” (Cimoli *et al.*, 2009, p. 9). Dicho de otra forma, la incorporación de tecnologías avanzadas no puede ser un punto de partida, sino un punto de llegada de un proceso complejo de evolución tecno-económica (Amsden, 2001, Cap. 5).

5. El caso ARSAT

ARSAT se presenta como caso exitoso de desarrollo tecnológico endógeno en un sector estratégico de un país en desarrollo que se inicia con una decisión política que es capaz de convertir una política pública en política de Estado. También es un ejemplo de cómo esta intervención del Estado modifica y define el camino para superar un contexto coyuntural complejo a partir de su capacidad de tomar riesgo y de impactar simultáneamente en múltiples aspectos logísticos, organizacionales e institucionales, desde garantizar servicios básicos hasta la inversión en proyectos que permitan procesos de escalamiento tecnológico a través de I+D+i, transferencia tecnológica, iniciativas de “compra inteligente del Estado”, entre otros. En el horizonte de estos proyectos suele considerarse el impacto social, la producción de efectos multiplicadores en otros sectores de la economía, la generación de empleos de calidad y efectos positivos sobre la balanza comercial.

Algo de historia: NahuelSat y la desprotección de las posiciones orbitales

A mediados de diciembre de 1995, durante el ciclo de presidencias de Carlos Menem (1989-1999), Germán Kammerath, al frente de la Secretaría de Comunicaciones, realiza la convocatoria para la compra de acciones para la conformación de la primera empresa de comunicaciones satelitales con base en Argentina. La participación accionaria quedó compuesta por Daimler-Benz Aerospace (11%), Aerospaziale (10%), Alenia Spazio (10%), Richefore Satellite Holding Ltd (Jersey, Chanell Island, 17.5%), Lampebank International (Luxembourg, 11.5%), International Finance Corporation (IFC del World Bank Group, 5%), Banco de la Provincia Group (Argentina, 11.5%), BISA/Bemberg Group

(Argentina, 11.5%), ANTEL (Uruguay, 6.5%) y Publicom SA (Argentina, 5.75%) (Oyarzábal, 1997, p. 17).¹²

NahuelSat recibió del Estado argentino una licencia por 24 años, que podía extenderse por seis años adicionales, para operar el “Sistema de Satélite Nacional Multipropósito”. Con este fin, también se le transfirió la gestión de la posición orbital geoestacionaria (POG) de 72° de longitud oeste (72° O) que había sido asignada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) –organismo dependiente de las Naciones Unidas– y las que pudieran sumarse en el futuro. En junio de 1996, NahuelSat inauguró la Estación Terrena de Benavídez, ubicada en el partido de Tigre, provincia de Buenos Aires. En enero del año siguiente fue lanzado con éxito desde Kourou (Guayana Francesa) y puesto en la posición orbital argentina el satélite de telecomunicaciones Nahuel-1, construido por los grupos alemán y francés con acciones en NahuelSat. Al mismo tiempo, por un requerimiento de las compañías de seguros, fue construido un gemelo de ese satélite, que podría en el futuro ocupar la posición orbital que la Argentina esperaba obtener de la UIT.

En junio de 1998, los gobiernos de Argentina y EEUU firmaron un acuerdo de reciprocidad motivado por la presión de DirecTV para entrar al mercado argentino a transmitir el Mundial de Fútbol de Francia. El concepto de “reciprocidad” aplicado era ficticio y muy desfavorable para NahuelSat, que enfrentaba el aumento de competencia en el mercado local. La reacción de NahuelSat empujó al gobierno de Menem a negociar la obtención de una segunda POG, ubicada en 81° O, a cambio del desembarco en el mercado local de DirecTV, filial de Hughes Electronics asociada al Grupo Clarín y la Organización Cisneros de Venezuela, para brindar servicio satelital directo al hogar. La segunda posición fue cedida por GE Americom, que más tarde pasaría a ser transitoriamente accionista mayoritario de NahuelSat (*Clarín*, 1997).

Luego de varias modificaciones de la composición accionaria, donde jugaban los intereses de las empresas europeas y norteamericanas, NahuelSat incumplió sistemáticamente con el compromiso de ocupar la POG de 81° O. Como exige el reglamento de la UIT, si la posición orbital no era ocupada, el país perdería sus derechos sobre la misma. El Reino Unido reclamó formalmente esta posición. Además, Nahuel-1 comenzó a mostrar problemas técnicos que suponían una altísima probabilidad de que la vida útil del satélite se viera acortada.

El gobierno de Fernando De la Rúa (1999-2001) acelera la decadencia de NahuelSat al aprobar el “Reglamento de Gestión y Servicios Satelitales”,¹³ que hizo posible que la firma de una serie de acuerdos de reciprocidad quedara en manos de la Secretaría de Comunicaciones. En el período 2000-2001, este gobierno impulsó la firma de acuerdos de reciprocidad con Canadá, México, España, Brasil y Holanda,

¹² Oyarzábal toma esta distribución accionaria tomando como fuente un folleto de Daimler-Benz. Eckart Schober, el entonces gerente general de NahuelSat, confirma la participación de ANTEL (*Clarín*, 1996).

¹³ Aprobado por la Resolución 3609/99 de la Secretaría de Comunicaciones.

y autorizó la entrada al mercado local de por lo menos 18 satélites. La crisis terminal de 2001 consolidó la tendencia al derrumbe de NahuelSat.

Satélites fabricados en nuestro país y soberanía satelital

Frente a la incapacidad de NahuelSat, en 2004, el gobierno de Néstor Kirchner (2003-2007) revocó la concesión a NahuelSat de la gestión de la POG de 81° O y, a mediados del año siguiente, anunció el plan de conformar la Empresa Argentina de Soluciones Satelitales (ARSAT). Finalmente, mientras el Estado compraba los activos de NahuelSat por un peso simbólico, el Poder Ejecutivo, a cargo de Néstor Kirchner, elevó al Congreso de la Nación una propuesta de ley para crear una sociedad anónima con participación estatal –que terminó siendo 100% pública– con la misión definida por tres aspectos: (a) la protección de las posiciones orbitales que la UIT asignara a nuestro país; (b) la inauguración de un sendero de producción propia de satélites, que supone una política (o un componente de política) de Estado de ciencia y tecnología orientada a un objetivo; y (c) la definición de la necesidad de desarrollar los servicios satelitales en la Argentina.¹⁴

Ahora bien, con referencia al punto (b), el artículo 4 del Estatuto de ARSAT, donde se define “el diseño, el desarrollo y la construcción en el país” de los satélites que deban ocupar las posiciones orbitales argentinas, es donde se asume la toma de riesgo por parte del Estado, aunque tiene un sentido político que está completamente alineado con la decisión soberana de asumir que la protección de los activos del Estado –las posiciones orbitales geoestacionarias– deben ser supervisadas por el mismo y puestas a disposición de las necesidades y derechos de los que menos tienen.

Este fue uno de los aspectos más novedosos de este proceso –cuestionado desde sectores de la oposición política–,¹⁵ que supuso que la empresa INVAP quedaba a cargo del diseño y fabricación de los satélites geoestacionarios para las posiciones orbitales argentinas. Desde comienzos de la primera mitad de los años noventa, luego de la creación de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en 1991, INVAP se había diversificado hacia el desarrollo de satélites de observación (Nash, 1994), y al momento de la creación de ARSAT ya se habían puesto en órbita los tres primeros satélites de la serie SAC, todos diseñados y construidos por INVAP.¹⁶ Sin embargo, a pesar de ciertas similitudes entre los satélites de observación y los geoestacionarios, estos últimos presentan complejidades y desafíos técnicos radicalmente distintos. Por ejemplo, el ambiente en el que tiene que desempeñarse, la vida útil de diseño, la disponibilidad del

¹⁴ Estos tres aspectos están desarrollados en el estatuto de creación de ARSAT, en Anexo I de la Ley 26.092 promulgada el 26 de abril de 2006.

¹⁵ Si bien está fuera de los alcances del presente trabajo, es interesante señalar el documento de Elisa Carrió (2006), donde se plantean numerosas críticas a la creación y objetivos de ARSAT. Al presente, Carrió parece avalar las iniciativas del gobierno de Macri en relación con ARSAT, que incurren en lo que su documento critica.

¹⁶ Una contextualización de la creación de la CONAE en 1991 y el posterior desarrollo de satélites de observación desde la perspectiva de las relaciones internacionales, ver Blinder (2014).

servicio y muchas otras condiciones que requirieron de desarrollos de nuevas capacidades y del conocimiento de nuevos proveedores y tecnologías. Además, la incorporación de metodologías de trabajo, de seguimiento de proyectos y aseguramiento de calidad, de cultura europea, aportada por los equipos técnicos de ARSAT a los procesos que INVAP había desarrollado con CONAE –más cercanos a la “cultura” tecnológica de EEUU– fueron otro de los hitos que permiten evaluar la trayectoria de ARSAT como exitosa.

La expansión de ARSAT

En un contexto de recuperación del rol del Estado, simultáneamente a la creación de otras empresas estatales como AySA y Enarsa y de la revocación de la concesión del espacio radioeléctrico a la empresa francesa Thales Spectrum, la creación de ARSAT –98% del Ministerio de Planificación y 2% Ministerio de Economía– ponía en marcha un proceso de 10 años de acumulación de capacidades nacionales y de escalamiento tecnológico que, en retrospectiva, puede concebirse como el impulso de un nuevo sector de la economía argentina de alto valor agregado. Además del traspaso de los activos de NahuelSat a ARSAT también se promovió que ninguno de los empleados de la empresa privada abandonara sus tareas. Las personas que venían trabajando desde hacía 10 años en NahuelSat serían clave para los desafíos futuros. Los conocimientos que habían desarrollado los equipos de ingeniería de esta empresa, que ahora pasaban a ARSAT, permitieron esbozar los primeros trazos de su trayectoria. El conocimiento de prácticamente todas las plataformas satelitales ofrecidas en el mercado hizo posible especificar los procesos de cotización.

Durante el ciclo de gobierno de Cristina Fernández de Kirchner (2007-2015), ARSAT asume la responsabilidad sobre el desarrollo de nuevos proyectos que redefinen a las telecomunicaciones como parte de los derechos básicos. A lo largo de 2010, los procesos de toma de decisiones comenzaron a acelerarse y los objetivos de ARSAT se fueron diversificando y volviéndose cada vez más ambiciosos. Entre otras iniciativas, se inicia la construcción de la primera red troncal de fibra óptica estatal de Sudamérica, un proyecto que se propone la construcción de más de 35.000 kilómetros de conexiones federales con el propósito de cambiar el paradigma de las comunicaciones en nuestro país. También se inicia ese año la construcción de la plataforma de distribución de la Televisión Digital Abierta, gratuita y de alta calidad. Todas estas acciones están orientadas a la satisfacción de los desafíos técnicos que exigía la hoy trunca Ley de “Servicios Comunicación Audiovisual”.¹⁷ Así, la empresa ARSAT se torna un jugador temido

¹⁷ La Ley 26.522, promulgada el 10 de octubre de 2009, reemplazó la “Ley de Radiodifusión” de la última dictadura. Sin embargo, el Grupo Clarín, a través de sucesivas medidas cautelares, logró paralizar la aplicación plena de la ley hasta que, a fines de octubre de 2013, la Corte Suprema de Justicia determinó la validez de los cuatro artículos cuestionados por el Grupo Clarín y la constitucionalidad general de la ley. Sin embargo, a comienzos de 2016, la ley fue modificada por Mauricio Macri a través de un decreto de necesidad y urgencia.

por los oligopolios de telefonía celular y televisión por cable, que eran los mismos que manejaban los medios masivos de comunicación.

A comienzos de 2011, INVAP se encuentra construyendo tres satélites en simultáneo: SAC-D, SAOCOM-1A y ARSAT-1. Dos años más tarde, se inauguró en Bariloche la empresa CEATSA (Centro de Ensayos de Alta Tecnología), una sociedad entre INVAP y ARSAT, que contaba con las instalaciones necesarias para hacer los ensayos ambientales para la industria satelital. En una década (2003-2013) el personal de INVAP paso de 350 a 1100 personas y elevó su facturación de 30 a 200 millones de dólares anuales. También en 2012, ARSAT comenzó la construcción del Centro de Datos más grande y seguro de nuestro país y de América Latina. Poco más tarde, ARSAT pasa a la fase de comercialización y agregación de valor a estas infraestructuras, productos de la inversión del Estado nacional. Estos desafíos marcan una etapa donde la empresa centra sus esfuerzos en el desarrollo de estos proyectos tecnológicos.

Una vez finalizados los procesos de auditoría y revisión de procedimientos, de manejo del riesgo y control de calidad, ARSAT y Nación Seguros, con el respaldo de reaseguradoras internacionales, firmaron en abril de 2014 la póliza de los satélites ARSAT-1 y 2. El 16 de octubre de 2014, fue lanzado el ARSAT-1 en el cohete Ariane 5 desde la base de Kourou, en Guayana Francesa. Desde la Estación Terrena Benavídez se colocó al satélite en la POG de 72° O, a 35.786 kilómetros de altura, donde comenzó a operar por un período de 15 años. El 30 de septiembre del año siguiente fue lanzado el ARSAT 2 y ubicado en la POG de 81° O.

A fines de 2015, ARSAT era una empresa en expansión que contaba con dos satélites de diseño y construcción nacional, que ocupaban las dos posiciones orbitales argentinas, un Centro de Datos de 4500 metros cuadrados con certificación internacional Tier III y personal calificado, 88 estaciones terrestres de Televisión Digital Abierta (TDA) en su última etapa de despliegue, que había logrado cubrir el 80% de la población con el servicio terrestre y el 100% del territorio con el servicio satelital –incluyendo la Península Antártica y las Islas Malvinas–, en proceso de tendido de una red troncal, clientes como los operadores Claro o Telefónica Argentina y un cronograma para finalizar la puesta en operación a fines de 2016 (Rus, 2017a).

El éxito de la trayectoria inicial de ARSAT motivó que, el 4 de noviembre de 2015, el Congreso Nacional sancionara la Ley 27.208 de “Desarrollo de la Industria Satelital”, que declaró “de interés nacional el desarrollo de la industria satelital como política de Estado y de prioridad nacional, en lo que respecta a satélites geoestacionarios de telecomunicaciones” y aprobó el Plan Satelital Geoestacionario Argentino 2015-2035 que prevé, entre otros objetivos, el desarrollo nacional de ocho satélites en los siguientes 20 años.¹⁸ El primer hito de este plan era el proyecto ARSAT-3, que debería haberse comenzado a construir en 2016 para poder cumplir con los plazos y ser puesto en órbita en 2019.

¹⁸ Un análisis y contextualización de la Ley 27.208, puede verse: Bianchi y Rus (2016).

Retorno a los “cielos abiertos” y paralización de ARSAT

En diciembre de 2015, cuando asume la presidencia Mauricio Macri (2015-2019), ARSAT-1 se encontraba con su capacidad casi totalmente vendida y ARSAT-2 se encontraba en proceso de entrada en servicio y un cronograma de migraciones de tres clientes para ocupar el 30% de su capacidad (Rus, 2016). Sin embargo, la alianza Cambiemos decide desde el comienzo la paralización del proyecto ARSAT-3 y el retorno a un nuevo ciclo de “cielos abiertos”, que autorizó en su primer año de gobierno la entrada de siete satélites extranjeros al mercado satelital argentino y a julio de 2017 había autorizado siete satélites adicionales, violando los artículos 22 y 24 de la Resolución 3609/99 (Rus, 2017b). Entre otras consecuencias, en 2019 se perdería la prioridad de banda Ka en la POG de 81° O en favor de Francia. Por esta razón, para esa fecha estaba programado el lanzamiento de ARSAT 3, concebido para contar con capacidad en esa banda. Durante 2016, también se paralizó la instalación de antenas de televisión digital, se discontinuó la entrega de decodificadores y se transfirió el Centro de Datos al Ministerio de Modernización (Borelli, 2016). En este punto ya resultaba clara la clausura de una concepción estratégica del sector de las comunicaciones satelitales y el abandono de la política de Estado en este sector.

En julio de 2017, se filtró una carta de intención confidencial entre ARSAT y la empresa norteamericana Hughes para crear una nueva empresa con el 51% accionario en manos de Hughes. En un nivel técnico y jurídico, Hughes se quedaría con el negocio de banda ancha. Dado que la carta de intención asume que el ARSAT-3 se ubicaría en una posición orbital argentina, es inevitable concluir que una parte de este patrimonio público se transfiere a la empresa norteamericana. Dado que hay cambio de disponibilidad de la posición orbital, si se concretara lo afirmado en la carta de intención, se estaría violando el artículo 10 de la Ley 27.208 de promoción de la industria satelital.

En el nivel de políticas tecnológica e industrial, si bien INVAP sigue a cargo de la construcción del ARSAT-3, la carta de intención supone la clausura de una política de Estado que presentaba una concepción sistémica de componentes geopolíticos, económicos, empresariales y científico-tecnológicos: ampliación futura del número de posiciones orbitales asignadas por la UIT a Argentina, servicios satelitales al mercado local y regional, desarrollo incremental de tecnologías para la producción de satélites, procesos de transferencia de tecnología, formación de proveedores nacionales y de recursos humanos calificados. Desde esta perspectiva, la soberanía satelital resultaba una variable clave para resguardar la capacidad de tomar decisiones autónomas acerca de cómo maximizar los beneficios económicos y sociales.

El desmembramiento y cambio de rumbo de la empresa ARSAT y la búsqueda de socios extranjeros coincide con un acelerado proceso de desindustrialización, el desmantelamiento de otros sectores estratégicos – producción pública de medicamentos, agricultura familiar, energía eólica, algunos

proyectos del sector nuclear, entre los más visibles- y el desfinanciamiento del sector público de ciencia y tecnología.

6. A modo de conclusión

Para los países desarrollados, claramente desde la Segunda Guerra Mundial en adelante, la ciencia y la tecnología son activos estratégicos. La soberanía política que exhiben estos Estados está ligada al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación. Estos Estados tienen poder e influencia y sus ciudadanos reciben los beneficios socioeconómicos que resultan de los esfuerzos que hacen sus Estados en esos activos estratégicos. El Estado, a través de políticas públicas, estables en el tiempo y ligadas a los intereses nacionales, está directamente involucrado en el desarrollo de la ciencia, la tecnología y las innovaciones. Lo estuvo y lo está hoy en mayor medida y con tendencia incremental. En los países desarrollados es parte de los axiomas económicos incuestionados, más allá de la retórica que puedan desplegar sectores políticos o empresariales. Ni las fuerzas del mercado ni los actores privados podrían haber construido las condiciones suficientes para la aparición de desarrollos e innovaciones tecnológicas asociadas a empresas como Google y Apple en los Estados Unidos o una empresa como INVAP en Argentina, capaz de desarrollar tecnología de reactores de investigación. El Estado ha sido activo no solamente en la promoción y el financiamiento de la investigación básica y aplicada, sino también en el tejido de la urdimbre necesaria para lograr la comercialización en la arena internacional de los productos tecnológicos. De hecho, en las economías avanzadas, la función de las sociedades de capital de riesgo es intervenir una vez que el Estado ha construido y ejecutado las condiciones que despejan significativamente la incertidumbre para la realización y comercialización de las innovaciones, resultados de la inversión pública paciente, a riesgo y de largo plazo en ciencia y tecnología (Mazzucato, 2016). Así, los emprendedores, producto de un ecosistema denso de instituciones y empresas, de subsidios y contratos, llegan a escena cuando la fruta está madura, nunca antes.

La lección de los países desarrollados es que sin políticas de Estados en ciencia y tecnología, diseñadas para coevolucionar con políticas de promoción del bienestar social y económico de sus ciudadanos, no hay realización de innovaciones que apuntalen el desarrollo de una sociedad. Sin este esfuerzo activo, el crecimiento socioeconómico es una quimera en la sociedad actual del conocimiento. El corolario es sencillo: un ejército de talentosos emprendedores no sustituye a una política de Estado. La producción de conocimiento, la innovación y el emprendedorismo son procesos colectivos. Entender este corolario es aprehender la naturaleza única que tiene el sector público, por su capacidad de desplegar una visión consensuada y ejecutarla. En ciencia, tecnología e innovación la historia muestra que esto ocurre con la mayor eficacia cuando se despliegan políticas de Estado que, además, están orientadas a una misión.

En este trabajo hemos descripto, a través de grandes pinceladas históricas, cómo el Estado se constituye en un motor y articulador de la política científica y

tecnológica. América Latina es pródiga en ideas, propuestas y experiencias en esta dirección. Es más, como nos enseñó Sábato, la naturaleza intrínseca de la tecnología demanda una política científica y tecnológica con el rango de política de Estado. El caso ARSAT ejemplifica bien esta demanda; al mismo tiempo nos sitúa frente a los obstáculos propios de una economía en desarrollo.

El desarrollo nacional de satélites geoestacionarios es un intento de conformar una política de Estado. ARSAT es un caso exitoso de desarrollo tecnológico fronteras adentro en un sector económico y socialmente estratégico para un país en desarrollo. En este caso, el Estado no interviene para corregir “fallas de mercado”; en las antípodas de esta idea, el Estado interviene activamente con una visión y una misión: promover y ejecutar un sendero de desarrollo científico y tecnológico que construya la trama para que actores privados y públicos produzcan procesos de aprendizaje y acumulación de capacidades, escalamientos tecnológicos e innovaciones y generen beneficios con impactos tangibles en la sociedad, que van desde la creación de empleos de calidad hasta la mejora de la balanza comercial.

En particular, ARSAT no solamente ha significado la adquisición de conocimientos para el desarrollo local de satélites geoestacionarios; tampoco se ha limitado a la generación de capacidades tecnológicas. Un proyecto de semejante envergadura y transversalidad ha depositado en los equipos técnicos aprendizajes en la relación comercial con grandes operadores satelitales, que son proveedores de tecnología, así como en la interacción con otras empresas nacionales e instituciones públicas de I+D+i y con distintos organismos gubernamentales internacionales. Para retomar los términos de los argumentos desarrollados en este trabajo, ARSAT ha articulado, para usar el vocabulario de Sábato, un triángulo virtuoso.

Una política de Estado se asienta sobre el compromiso de los diferentes actores políticos. Este compromiso se manifiesta naturalmente en el ámbito legislativo. En noviembre de 2015 el Congreso Nacional aprobó por unanimidad la Ley de Desarrollo de la Industria Satelital (Ley 27.208), aún vigente. Este hito marcó de manera explícita el cambio de una política pública a una política de Estado. Esta ley sostiene en su primer artículo: “Declárase de interés nacional el desarrollo de la industria satelital como política de Estado y de prioridad nacional, en lo que respecta a satélites geoestacionarios de telecomunicaciones.” En sus artículos 2 y 3, aprueba y declara de interés público el “Plan Satelital Geoestacionario 2015-2035”. Dicho Plan, incorporado como anexo en el texto de la ley, se basa en un concepto fundamental que es la necesidad de generar oportunidades para mantener la construcción de satélites en el tiempo. Una vez cumplida esa condición se definen cuatro ejes de desarrollo: (a) la necesidad de actualizar la regulación para fomentar y proteger la industria así como gestionar la adquisición de nuevas posiciones orbitales; (b) desarrollar un plan para incorporar gradualmente mayor valor agregado nacional incorporando una mirada más amplia para lograr eslabonamientos positivos con el resto del entramado industrial; (c) maximizar la articulación con la comunidad científica para generar mejoras tecnológicas en la plataforma e incrementar su competitividad; y (d)

fomentar la integración regional a partir de una visión unificada del conjunto de los países latinoamericanos, que permite acelerar los desarrollos, el impacto y las inversiones en menor tiempo. Sin embargo, esta ley, que no está derogada, parece no tener vigencia para el actual gobierno. Las políticas de Estado dependen de una comprensión de cuál es el interés nacional, y éste está enlazado con la visión que las élites gobernantes tienen del país y su inserción en el escenario regional y global. Si la definición del interés nacional muta, a mediano plazo los contenidos de las políticas de Estado cambian. Los desafíos que nos plantea el caso ARSAT remiten finalmente a la comprensión del fenómeno tecnológico y al papel que debe asumir el sector público en la promoción y ejecución de investigación científica, de desarrollos tecnológicos y de innovaciones organizacionales e institucionales, así como de productos y procesos. Y esto no es independiente del modelo de país que suscriben las élites gobernantes y de su legitimidad política. La experiencia de los países desarrollados, y la evidencia provista por el caso ARSAT, apuntan en una sola dirección: un Estado activo es la clave de un desarrollo tecnológico e industrial innovador, capaz de producir efectos multiplicadores y riqueza social y económica, que finalmente derive en la mejora de las condiciones de vida de todos sus ciudadanos. Cuando el Estado se vuelve inerte o su presencia se reduce, la ciencia, la tecnología y la innovación se desacoplan del interés nacional y, a mediano y largo plazo todos los ciudadanos de un país ven deteriorado su bienestar.

7. Bibliografía

- Amsden, A. (2001), *The Rise of 'The Rest': Challenges to the West from Late-Industrializing Economies*, Oxford, Oxford University Press.
- Arocena, R. & Sutz, J. (2000), "Looking at National Systems of Innovation from the South", *Industry and Innovation*, vol. 7, núm. 1, pp. 55-75.
- Bianchi, M. y Rus, G. (comps.) (2016), *El futuro llegó. Plan Satelital Geoestacionario Argentino 2015-2035*, Buenos Aires, OINK.
- Blinder, D. (2014), "La cuestión misilística y la tecnología de defensa: la política espacial en la Argentina, la producción del Misil Cóndor II en el contexto geopolítico llamado Nuevo Orden Mundial y la supremacía de los EEUU (1989-1999)", *Tesis Doctoral*, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires.
- Block, F. 2008. "Swimming Against the Current: The Rise of a Hidden Developmental State in the United State", *Politics & Society*, vol. 20, núm. 10, pp. 1-38.
- Borelli, J. 2016. "El vaciamiento de ARSAT y el fin y el fin de la soberanía satelital", *Tiempo Argentino*, 3 de diciembre.
- Boulding, K. (1985), *The World as a Total System*, Londres, Sage.
- Bush, V. (1960 [1945]), *Science - The Endless Frontier*, Washington, D.C., National Science Foundation.

- Carrió, E (2006), "La nueva matriz del Saqueo. Desestatización por desapoderamiento final. El nacimiento del Patrimonialismo Corrupto". Mimeo. Buenos Aires, 28 de marzo de 2006.
- Chang, Ha-Joon (2008), *Bad Samaritans. The Myth of Free Trade and the Secret History of Capitalism*, New York, Bloomsbury.
- Clarín* (1996), "En enero habrá conexiones con el satélite Nahuel", 15 de diciembre.
- Clarín* (1997), "Grupo Clarín: acuerdo con Galaxy", 14 de septiembre.
- Cimoli, M., Dosi, G. & Stiglitz, J. (2009), "The Political Economy of Capabilities Accumulation: The Past and Future of Policies for Industrial Development", pp. 1-16. En: Cimoli, M., Dosi, G. y Stiglitz, J. (eds.), *Industrial Policy and Development. The Political Economy of Capabilities Accumulation*, Oxford, Oxford University Press.
- Correa, C. (2000), *Intellectual Property Rights, the WTO and Developing Countries: The TRIPS Agreement and Policy Options*, London, Zed Books.
- De Moura Castro, C., Wolff, L. y Alic, J. (2000), "La ciencia y la tecnología para el desarrollo. Una estrategia del BID", Washington, D.C., BID, Serie de informes de políticas y estrategias sectoriales del Departamento de Desarrollo Sostenible.
- Elzinga, A. y Jamison, A. (1996), "El cambio de las agendas políticas en ciencia y tecnología", *Zona Abierta*, núm. 75/76, pp. 91-132.
- Ergas, H. (1987), "Does technology policy matter", pp. 191-245. En: Guile, B. y Brooks, H. (eds.), *Technology and global industry: Companies and nations in the world economy*, Washington, DC, National Academy Press.
- Etzkowitz, H., Ranga, M., Benner, M., Guarany, L., Maculan, A. & Kneller, R. (2008), "Pathways to the entrepreneurial university: towards a global convergence", *Science and Public Policy*, vol. 35, núm. 9, pp. 681-695.
- Evans, P. (1979), *Dependent Development. The Alliance of Multinational, State, and Local Capital in Brazil*, New Jersey, Princeton University Press.
- Furtado, C. (1970), *Economic Development of Latin America*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Herrera, A. (1975 [1973]), "Los determinantes sociales de la política científica en América Latina: política científica explícita y política científica implícita", pp. 98-112. En: Sábato, J. (comp.), *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia, tecnología, desarrollo, dependencia*, Buenos Aires, Paidós.
- Hurtado, D. y Mallo, E. (2013), "Riesgos teóricos y agendas de políticas de ciencia y tecnología: el "mal del modelo lineal" y las instituciones como cajas negras", pp. 449-476. En: Kozel, A., Crespo, H. y Palma, H. (comps.), *Heterodoxia y Fronteras en América Latina*, Buenos Aires, Teseo-Universidad Autónoma del Estado de Morelos-ANPCyT.

- Katz, J. & Bercovich, N. (1993), "National Systems of Innovation Supporting Technical Advance in Industry: The Case of Argentina", pp. 451-475. En: Nelson, R. (ed.), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford, Oxford University Press.
- Kicillof, A. y Bianco, C. (2017), "No tan distintos. El Consenso de Washington y el programa económico de Macri", *Revista Viento Sur*, núm.16, Universidad Nacional de Lanús.
- Lundvall, B. (2009), "Investigación en el campo de los sistemas de innovación: orígenes y posible futuro (*Post-criptum*)", pp. 359-387. En: Lundvall, L. (ed.), *Sistemas nacionales de innovación. Hacia una teoría de la innovación y el aprendizaje por interacción*, Buenos Aires, UNSAM Edita.
- Mazzucato, M. 2013. *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Londres: Anthem Press.
- Mazzucato, M. & Penna, C. 2016. "The Brazilian Innovation System: A Mission-Oriented Policy Proposal", *Temas Estratégicos para o Desenvolvimento do Brasil*, núm. 1. Brasilia, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- Michalopoulos, C. (2014), *Emerging Powers in the WTO. Developing Countries and Trade in the 21st Century*, New York, Palgrave Macmillan.
- Muller, P. (2002), *Las políticas públicas*, Universidad Externado de Colombia, Bogotá.
- Muñoz Tellez, V. (2009), "The changing global governance of intellectual property enforcement: a new challenge for developing countries", pp. 1-13. En: Li, X. y Correa, C. (eds.), *Intellectual Property Enforcement. International Perspectives*. Cheltenham, UK, Edward Elgar.
- Nash, H. 1994. "Nuclear Roots Grow Into an Argentine Silicon Valley", *New York Times*, 6 de febrero, p. 14.
- O'Donnell, G. (2009 [1982]), *El estado burocrático autoritario*, Buenos Aires, Prometeo.
- Oszlak, O. (2011), "El rol del estado: micro, meso, macro", conferencia dictada en el *VI Congreso de Administración Pública* organizado por la Asociación de Estudios de Administración Pública y la Asociación de Administradores Gubernamentales, Resistencia, Chaco, 7 de julio de 2011. <http://www.oscaroszlak.org.ar>.
- Oszlak, O. y O'Donnell, G. (1976), "Estado y políticas estatales en América Latina: Hacia una estrategia de investigación", Documento CEDES/G.E.Clacso/N°4. Mimeo.
- Oyarzábal, X. (1997), "Argentine Space Assets", Ph.D. Thesis, Postgraduate Naval School, Monterrey, California.
- Putnam, R. (1988), "Diplomacy and domestic politics: the logic of two level games", *International Organization*, núm. 3, vol. 42, pp. 427-460.

- Rubinich, L. (2001), *La conformación de un clima cultural. Neoliberalismo y Universidad*, Buenos Aires, Libros del Rojas.
- Rus, G. 2016. "ARSAT 2016, desinversión y camino a la privatización", *Latam Satelital*, 28 de diciembre.
- Rus, G. 2017a. "No es prioridad del gobierno cumplir la ley", *Página/12*, 9 de enero.
- Rus, G. 2017b. "Amazonas-3 de Hispasat autorizado en Argentina", *Latam Satelital*, 26 de junio.
- Sábato, J. (1973), "El comercio de tecnología", *Programa de transferencia*, Bariloche, Fundación Bariloche.
- Sábato, J. y Botana, N. (2011 [1968]), "La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina", pp. 215-221. En: Sábato, J. (comp.), *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires, MINCyT y Ediciones Biblioteca Nacional.
- Sábato, J. y Mackenzie, M. (1982), *La producción de tecnología. Autónoma o transnacional*. México, D.F., Nueva Imagen.
- Salomon, J.J (1977), "Science Policy Studies and the Development of Science Policy", en I. Spiegel-Rösing y D. Price (comps.), *Science, Technology and Society: A Cross-disciplinary Perspective*, Londres, Sage.
- Sakaiya, T. (1995), *Historia del futuro: la sociedad del conocimiento*, Santiago de Chile, Editorial Andrés Bello.

Aboliendo las fronteras entre la historia natural y la magia natural. El *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis* de Francis Bacon

Doina-Cristina Rusu¹

Recibido: 5 de septiembre de 2017

Aceptado: 9 de octubre de 2017

Resumen. En este artículo investigo las historias naturales de Francis Bacon haciendo énfasis en la latina *Historia vitae et mortis* y el póstumo *Sylva sylvarum*. Mi tesis es que el filósofo inglés no estaba interesado en compilar historias naturales de particulares, sino de las virtudes, de los procesos y de la actividad oculta de la materia. Los dos escritos mencionados representan la ejemplificación de este interés. A pesar de sus muy diferentes estructuras y composiciones, comparten muchas características que los elevan al nivel de la filosofía natural. Como se muestra en este artículo, su relación con la teoría de la materia, la práctica experimental involucrada, y su carácter operativo representan elementos específicos de la metafísica y la magia natural. Escribiendo las “historias naturales de la materia” Bacon suprime la frontera entre el esfuerzo histórico natural y la empresa filosófico natural basados en el conocimiento de las causas.

Palabras clave: Francis Bacon – historia natural – magia natural – teoría de la materia – *Sylva Sylvarum* – *Historia vitae et mortis*

Title: Abolishing the Borders between Natural History and Natural Magic. Francis Bacon's *Sylva Sylvarum* and the *Historia vitae et mortis*

Abstract. In this paper I investigate Francis Bacon's natural histories, with a focus on the Latin *Historia vitae et mortis* and the posthumous *Sylva sylvarum*. My claim is that the English philosopher was not interested in compiling natural histories of particulars, but those of virtues, of processes, and of the hidden activity of matter. The two mentioned writings represent the exemplification of this interest. Despite their very different structures and compositions, they share many characteristics which raise them at the level of natural philosophy. As it is shown in this article, their relation with the theory of matter, the experimental practice involved, and their operative character represent elements specific to metaphysics and natural magic.

¹ University of Groningen. Originalmente publicado como Rusu, Doina-Cristina (2014) Abolishing the Borders between Natural History and Natural Magic. Francis Bacon's *Sylva Sylvarum* and the *Historia vitae et mortis*. *Societate și Politică. Society and Politics*, vol. 8, issue 2/16, pp. 23-42. Traducido por Cardona Muñoz, Elizabeth y Álvarez Céspedes, Juan Fernando.

Nota editorial: El Comité Editorial ha decidido mantener el formato de citas y referencias del texto original.

✉ d.rusu@rug.nl

Rusu, Doina-Cristina (2017). Aboliendo las fronteras entre la historia natural y la magia natural. El *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis* de Francis Bacon. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 72-93. ISSN: 2525-1198



Writing the ‘natural histories of matter’ Bacon abolishes the border between a natural historical endeavour and a natural philosophical enterprise based on the knowledge of causes.

Keywords: Francis Bacon – natural history – natural magic – matter theory – *Sylva sylvarum* – *Historia vitae et mortis*

1. Introducción

Después de la muerte de Bacon, su secretario William Rawley publicó el *Sylva Sylvarum or a Naturall History in Ten Centuries*, un trabajo misterioso compuesto de mil “experimentos” sobre una variedad de temas. Dado su carácter póstumo y, por consiguiente, la falta de información concerniente a las intenciones de Bacon con este trabajo, su estatus dentro de *La Gran Restauración* es poco claro. Hay dos interpretaciones competidoras de este misterioso trabajo. En mi disertación *From Natural History to Natural Magic: Francis Bacon’s Sylva sylvarum*, afirmo que el *Sylva* es más que una mera historia natural, al contener elementos de metafísica y magia natural. En un reciente artículo, Dan Garber criticó esta perspectiva con miras a analizar la función y la estructura de los miembros de la Casa de Salomón de la *Nueva Atlántida*. En su crítica, caracteriza el *Sylva* como un tipo imperfecto de historia natural que es inferior a las historias naturales Latinas, representativas del modelo de Bacon para un programa histórico natural.² El

² “Basándose en pasajes como expt. 93, citado más arriba, Sophie Weeks y Doina-Cristina Rusu han sugerido que el *Sylva* está destinado a ser un tratado sobre magia natural. La magia, para Bacon, es la ciencia operativa que está conectada con la metafísica: es el control sobre la naturaleza mediante la comprensión de las causas formales y finales de las cosas. No hay duda de que hay elementos del *Sylva* que Bacon pensó como una ‘forma superior’ de magia natural. Rusu, por ejemplo, muestra una cantidad de maneras en las que, en el *Sylva*, Bacon se basa en la *Magia naturalis* de Della Porta, y la transforma en un tipo de ciencia operativa baconiana. De este modo uno puede decir que Bacon pensó de lo que hizo como una forma de magia natural más superior que esa de la cual Della Porta fue capaz. Sin embargo, hay mucho en el *Sylva Sylvarum* que simplemente no puede ser catalogado como magia natural: observaciones, experimentos, historias de viajeros y demás. Encuentro muy difícil de creer que Bacon se refirió a su trabajo entero, o incluso la mayor parte de su trabajo, para ser entendido como magia natural” (Garber, D., “Merchants of Light and Mystery Men: Bacon’s Last projects in Natural History”, *Journal of Early Modern Studies* 3/1, 2014: 102-103). Para las referencias de Garber, véase Weeks, S., *Francis Bacon’s Science of Magic* (disertación doctoral no publicada, University of Leeds, 2007) y Rusu, D.-C., *From Natural History to Natural Magic: Francis Bacon’s Sylva Sylvarum* (disertación doctoral, Radboud University Nijmegen y University of Bucharest, 2013) y Bacon, F., *De augmentis scientiarum* III, 5 en: *The Works of Francis Bacon: Baron of Verulam, Viscount St. Alban, and Lord High Chancellor of England* (en adelante SHE), ed. J. Spedding, R. L. Ellis y D. D. Heath 14 vols. (Londres: Longman, 1857-1874). En el experimento 93 que Garber menciona, Bacon afirma que el *Sylva* es magia natural y no historia natural: “Pues esta escritura de nuestro *Sylva Sylvarum* es (para hablar apropiadamente) no historia natural, sino un alto tipo de magia natural. Porque no es sólo una descripción de la naturaleza, sino un quebrantamiento de la naturaleza en trabajos grandes y extraños” (*Sylva sylvarum*, exp. 93, SEH II, 378).

propósito de este artículo es argumentar a favor de la opinión de que parte de los experimentos en el *Sylva Sylvarum* son, en efecto, diseñados como experimentos de magia natural. De acuerdo con la definición de Bacon, la magia natural es una de las distintas ciencias pertenecientes a su filosofía natural, y esta última es caracterizada como el conocimiento de las causas. Más aún, mostraré que las historias naturales Latinas entran en la misma categoría –ellas están en la frontera de la historia natural y la filosofía natural. Tomo esta mezcla de historia y filosofía, la descripción de hechos y la teoría, como una de las características principales de la investigación de la naturaleza que propone Bacon.

Dan Garber arguye que el *Sylva* es “difícilmente un modelo de historia natural,”³ porque es un trabajo caótico, ligeramente organizado, escrito en inglés y parece una miscelánea popular. Aunque estoy de acuerdo con esta descripción, no creo que estas características conduzcan a la conclusión de que el *Sylva* no encaja en el “modelo” baconiano de una historia natural. De hecho, varios académicos baconianos afirman que ni siquiera las historias naturales Latinas fueron escritas de acuerdo con el modelo descrito en los trabajos teóricos, tales como el *Parasceve*, el *De augmentis scientiarum* o la *Descripción del globo intelectual*. Por ejemplo, Graham Rees denomina a las historias naturales Latinas “híbridos” porque contienen elementos filosófico-naturales y son altamente operativas.⁴ Además, Dana Jalobeanu distingue entre los trabajos sobre historia natural y los trabajos de historia natural; los primeros son consejos sobre cómo compilar una historia natural y los últimos son aquellas historias que Bacon, de hecho, compiló.⁵ Sin embargo, en contra de estas perspectivas, Guido Giglioni muestra que la historia natural y la filosofía natural no pueden separarse realmente y, por tanto, la teoría incluida en las historias naturales Latinas es sólo la manera normal de compilar historias naturales usando el método inductivo.⁶ Mi interpretación va más allá de la de Giglioni, al mostrar que no sólo la historia natural y la filosofía especulativa no pueden ser separadas, sino que el aspecto operativo de la filosofía natural es constitutivo para una historia natural, ya que las reglas provisionales y los axiomas de la filosofía especulativa deben ser verificados mediante operaciones.

³ Garber, D., (2014): 92.

⁴ Véase Rees, G., “Introduction” de Bacon, F., *Historia naturalis et experimentalis*, en *The Oxford Francis Bacon* (en adelante OFB), ed. G. Rees, L. Jardine, B. Vickers, 15 vol. planeados, 8 volúmenes editados (Oxford: Clarendon Press; 1996), vol. XII, XXV-XXXIII. Sobre las diferencias entre cómo las historias naturales han sido descritas en *El Avance del Saber*, el *De Augmentis* y el *Parasceve*, véase: Anstey, P., “Francis Bacon and the Classification of Natural History”, *Early Science and Medicine* 17/1-2 (2012): 11-31.

⁵ Jalobeanu, D., “The Philosophy of Francis Bacon’s Natural History”, *Studii de Stiință și cultură*, VI/4 (2010): 8-36.

⁶ Véase Giglioni, G., “Materia and Historia”, *Early Science and Medicine* 17/1-2 (2012): 62-86. Peter Urbach tiene una interpretación similar: existe una separación no clara entre recopilar hechos y el proceso inductivo de interpretación. Por el contrario, el método de Bacon “irá y vendrá, usando observaciones para generar hipótesis e hipótesis para generar nuevas observaciones, e incluso (...) para corregir las viejas observaciones” Urbach, P., *Francis Bacon’s Philosophy of Science: An Account and a Reappraisal* (Illinois: Open Court, 1987, 155).

Más aún, Garber toma las historias naturales Latinas como historias ejemplares del modelo teórico. Al analizar la *Historia vitae et mortis*, Garber enfatiza en su organización y composición. No hay duda de que comparada con el *Sylva*, esta historia Latina es mucho más estructurada y organizada. Pero la organización estructurada de las historias naturales no constituye un problema para mi argumento por dos razones: primero, mi argumento no recurre al formato estructurado o no estructurado de las historias naturales baconianas, y, segundo, estoy de acuerdo con Garber en que en lo relativo a su formato el *Sylva sylvarum* podría parecer inferior a las historias naturales Latinas. De hecho, cuando previamente argumentaba esto en mi disertación, tomé la forma fragmentaria y desorganizada de escribir como una estrategia para seleccionar los lectores competentes del público vulgar,⁷ aunque estuve de acuerdo con que es sumamente improbable que el *Sylva sylvarum* tenga un orden secreto, como afirma Rawley en su prefacio.⁸ Es verdad, además, como Garber mencionó, que algunos experimentos pueden ser usados para compilar historias naturales sobre tópicos particulares a través de un proceso de ordenamiento y de adición de material. No obstante, si miramos su contenido, la situación es completamente diferente. Hay similitudes sorprendentes entre las instancias del *Sylva* y aquellas de las historias naturales Latinas. Ejemplificaré estas similitudes comparando el *Sylva sylvarum* con la *Historia vitae et mortis*, como Garber lo hace. Afirmando que la denominada “historia natural” también alcanza el estatus de magia natural, en el sentido de que la historia natural llega a ser magia natural cuando el conocimiento de la naturaleza se vuelve más detallado y arriba a las formas.

Comienzo mi argumento con un análisis del concepto de Bacon de historia natural y de las historias existentes. El objetivo es mostrar que el tipo de historias que Bacon se propone no son aquellas que son meras colecciones de hechos, sino otras más complejas que contienen explicaciones causales similares a las de las historias naturales escritas en latín. A pesar de su organización, el *Sylva* comparte las mismas características. Luego, me dirijo a la relación entre la investigación histórico-filosófica y la teoría de la materia de Bacon, enfatizando en los tipos de entidades que son objeto de estudio de cada ciencia. En la última sección de este

⁷ Siguiendo la teoría de Bacon sobre la transmisión del conocimiento del *De augmentis scientiarum*, en mi disertación argumento que Bacon apunta a aquellos lectores que tienen la habilidad de reconocer cuándo los experimentos están conectados y a aquellos que son capaces de promover el conocimiento desarrollando los experimentos y los grupos de experimentos de Bacon. Esta es también la razón por la que Bacon usa el inglés en lugar del latín. Llegando a ser disponible para todos, algunos de los lectores pueden usarlo con el propósito de reproducir los experimentos para su propio beneficio, mientras que otros, mediante este método de vinculación de experimentos dispares, pueden obtener conocimiento metafísico. Y esto lo considero como la manera en la que la filosofía natural debe ser usada para el beneficio de la vida humana, como Bacon afirmó más que una vez –incluso aquellos que no son “los verdaderos hijos del conocimiento pueden beneficiarse de la filosofía, incluso aunque ellos no harán parte del proceso del avance del conocimiento” (Véase Rusu, D.-C., 74-82 y Bacon, F., *De augmentis scientiarum* VI, cap. II, SEH IV, 448-454).

⁸ Rawley, W., “To the reader,” en *Sylva sylvarum*, SEH II, 337.

artículo, presento brevemente los argumentos para considerar algunos experimentos del *Sylva sylvarum* como elementos de magia natural. Finalmente, analizo la *Historia vitae et mortis* con miras a mostrar cómo, a pesar de sus estructuras muy diferentes, los dos escritos son similares respecto a los contenidos de cada uno y respecto a las características que coinciden con aquellas que Bacon asigna a la magia natural.

2. Historias de los particulares e historias de la materia

Como describí más arriba, la concepción de Bacon de la historia natural ha aportado una serie de interpretaciones diferentes de los académicos. ¿Cambió de opinión Bacon sobre lo que una historia natural debe ser y cómo debería ser ésta del *Parasceve* a las historias naturales Latinas y luego otra vez de éstas al *Sylva*? ¿Tenía él un único modelo “teórico” junto con diversos modelos “prácticos” que difieren entre una historia natural Latina y otra, y luego difieren de nuevo en el *Sylva*? O ¿tenía él una única concepción que solamente puede ser advertida cuando teoría y práctica se analizan juntas?

Uno de los problemas más recurrentes en los estudios baconianos es que parecen funcionar con un concepto no claro de “historia natural”. Considero que esto es causado también por el hecho de que Bacon, en efecto, usa el término “historia” (*historia*) de modos muy diferentes. Por un lado, se usa para describir una de las tres principales ramas del conocimiento incluidas en el esquema del conocimiento de Bacon, junto con la poesía y la filosofía. La *historia* puede ser natural o civil, y ambas tienen divisiones ulteriores.⁹ Por otro lado, *historia* representa una parte de la historia natural, junto con *observatio maior* (observación principal), *intentio* (intenciones), *prognostica* (pronósticos), *canones mobiles* (reglas provisionales), *explanatio* (explicación), etc. La conclusión es que la *historia* es parte de la *historia naturalis*, la cual contiene algunos otros elementos.

Este aspecto nunca ha sido discutido, pero hay otra característica de las historias naturales baconianas que últimamente se han señalado en la discusión, a saber, la diferencia entre el modelo teórico y las historias prácticas.¹⁰ Empero, no considero útil esta distinción para comprender el sistema de Bacon de la filosofía natural. El modelo “teórico” dice que la historia natural debe ser una colección de hechos sobre la naturaleza, tal como se describe en el *Parasceve* (también en la *Descripción del globo intelectual* y el *De augmentis scientiarum*). El modelo “práctico” es representado por las historias naturales Latinas, comprendidas en la *Historia naturalis et experimentalis*. En estos escritos Bacon ofrece un modelo de cómo debería ser una historia natural y, cabe resaltar, son muy diferentes del

⁹ Sobre el esquema del conocimiento de Bacon como resultante del *De augmentis scientiarum*, véase Rusu, D.- C., (2013), 264-268.

¹⁰ Ya mencioné en la introducción algunas opiniones sobre el concepto de Bacon de historia natural, y la tensión entre lo que Bacon dice de su contenido y las historias naturales compiladas. Para una imagen más diversa de las historias naturales baconianas, véase *Early Science and Medicine* 17/1-2 (2012).

modelo “teórico”, ya que contienen discusiones sobre la teoría de la materia, son altamente operativos, etc. En otras palabras, la distinción entre historia y filosofía es abolida en estos modelos “prácticos”, porque están compuestos, como he mencionado, no sólo de *historia*, sino también de todos los otros elementos, que son claramente filosóficos.

Esta diferencia es reconocida por Bacon en la introducción a la *Historia naturalis et experimentalis*, donde explica por qué seleccionó estos seis títulos específicos que no se toman del *Catalogus* adjunto al *Parasceve*, ni se escriben de acuerdo con sus propias indicaciones.¹¹ Sin embargo, si esta “justificación” ha sido reconocida por los estudiosos de Bacon, hay un pasaje menos conocido en la *Descripción del globo intelectual*, que puede ofrecer una pista sobre por qué hay una tal diferencia entre lo que fue considerado como dos tipos diferentes de historia natural. Después de aconsejar cómo debe ser compilada una historia natural, similar al consejo encontrado en otras obras que se ocupan de la historia natural, Bacon añade:

Por lo que respecta a las virtudes que cabe considerar primordiales y universales en la naturaleza (como son lo denso, lo raro, lo liviano, lo pesado, lo cálido, lo frío, lo consistente, lo fluido, lo similar, lo diverso, lo específico, lo orgánico, etc.), así como a los movimientos que las producen (a saber, resistencia, conexión, contracción, expansión y otros, cuya historia desearía por todos los medios haber compilado y elaborado antes incluso de dar paso a las operaciones del intelecto), me ocuparé de su historia y de cómo llevarla a cabo cuando haya puesto

¹¹ “Dado que a menudo carezco de historia y experimentos, especialmente experimentos de luz e instancias cruciales, que puedan informar la mente sobre las verdaderas causas de las cosas, doy direcciones para nuevos experimentos adecuados, hasta donde puedo decir en el presente, para el objeto de la investigación. Estas direcciones son como una historia en embrión, pues ¿qué otra alternativa me queda más que emprender el camino? Explico las maneras de realizar cualquier experimento más sutil, en caso de que sea defectuoso, y también para incitar a otros a elaborar mejores maneras de hacerlo. Intercalo consejos y precauciones sobre las falacias de las cosas, y los errores e inconvenientes que pueden surgir en el curso de la investigación y el descubrimiento, para que todos los espectros puedan, en la medida de lo posible, ser expulsados como por exorcismo. Añado mis observaciones acerca de la historia y los experimentos a fin de que la interpretación de la naturaleza esté más preparada. Propongo especulaciones y, por así decirlo, ciertos intentos imperfectos de interpretación de causas. Hago esto con moderación, más para insinuar lo que podría ser el caso que para presentarlo de manera corta y seca. Esbozo y establezco reglas (aunque provisionales), o axiomas imperfectos que surgen en el curso de la investigación, y no con la intención de imponer normas. Pues son útiles, si no del todo verdaderos. Sin olvidar nunca la utilidad para la humanidad (aunque la luz misma es más noble que lo que revela), uno incentivos para la práctica, para la atención y la memoria de los hombres, porque bien conozco qué tan desafortunada es su estupidez que a veces no ven lo que está delante de sus narices. Expongo trabajos y cosas que se consideran imposibles, o hasta ahora no he descubierto cuáles caen bajo los títulos individuales; y junto con ellas uno cosas ya descubiertas y que yacen en el poder humano, que son las más cercanas y más parecidas a aquellas cosas que se consideran imposibles y no descubiertas, de modo que la industria humana pueda ser estimulada y las almas despedidas (Bacon, F., *Historia naturalis et experimentalis*, OFB XII, 15-17).

término a la explicación de esta triple división de las generaciones, generaciones irregulares y artes, en la cual no ha sido incluida aquella por no ser una historia en sentido estricto sino más bien estar, por así decir, a caballo entre la historia y la filosofía.¹²

Como se hace claro en este pasaje, lo que llamaré de ahora en adelante “historias de los particulares” e “historias de la materia” deben ser compiladas de manera diferente. En otras palabras, las historias naturales Latinas no pueden ser la ejemplificación del modelo “teórico”, ya que el modelo no fue escrito para ellas, sino para las historias de los particulares. Es relevante, también, que Bacon tenía en mente esta distinción desde sus trabajos tempranos, y que la compilación de las historias de las virtudes no fue una decisión tomada hacia el final de su vida. No cambió de parecer, pero dedicó sus trabajos teóricos a dar consejo para compilar historias de los particulares y se dedicó él mismo a la compilación de las historias de las virtudes. No obstante, sigue siendo claro por qué las historias de los particulares que mencionó tantas veces en sus escritos teóricos son tan importantes en el programa general de Bacon: ellas proporcionan material para las historias de las virtudes, es decir, para la parte llamada *historia*. En la parte restante de esa sección, remitiré a los argumentos de por qué todos los otros elementos de una historia natural de la materia están necesariamente combinados con la *historia*, y cómo, de esta manera, la historia natural y la filosofía natural no pueden estar separadas en el proceso de una investigación científica. Lo que el investigador de la naturaleza puede hacer, empero, es asignar el título correcto a cada elemento contenido en el escrito, como Bacon hace en las historias naturales Latinas.

No obstante, si este es el caso con las historias naturales Latinas, entonces ¿qué hay del *Sylva*, también llamado una “historia natural”? Además de sus estructuras muy diferentes, otro argumento usado por Garber para probar que el *Sylva* es muy diferente de las historias naturales Latinas es: sus relaciones con el catálogo de historias anexado al final del *Parasceve*.¹³ De hecho, la relación entre el catálogo de historias y las historias reales compiladas por Bacon necesita más atención. La descripción de Garber de la lista *capta* bastante bien su estructura cosmológica.¹⁴ Sin embargo, hay algunas observaciones que me gustaría hacer para apoyar mi posición inicial. La primera concierne a las historias naturales Latinas. Entre seis títulos, únicamente uno de ellos, la *Historia vitae et mortis*, es encontrada como tal en el catálogo. La situación con la *Historia ventorum* es un tanto ambigua. Hay una *Historia ventorum, et flatuum repentinorum, et undulationum aëris* (*Historia de los vientos y de las ráfagas y de las ondulaciones del aire*); no obstante, la *Historia ventorum* parece ser más que ésta, pues incluye discusiones sobre las

¹² Bacon, F., *Descripción del globo intelectual*, p. 19. OFB VI, 109-111.

¹³ Para consultar la lista, véase Bacon, F., *Parasceve*, OFB XI, 474-485.

¹⁴ Garber, D., (2014): 93. Garber dice que la manera en la que la lista está organizada parece muy bien “la manera en la que la filosofía natural escolástica estaría organizada” y da como ejemplo la *Summa philosophiae quadripartie* de Eustachius a Sancto Paulo, un manual muy usado.

características del aire en la configuración del mundo y en la sustancia. En otras palabras, trata de discutir características concernientes a la teoría de la materia, el aire como uno de los miembros de las “dos familias de las cosas”, y el modo en el cual el aire entra en la constitución del mundo.¹⁵ En este sentido, la *Historia ventorum* sobrepasa el tema de estudio de la historia enumerada en el catálogo y parece comprender elementos de las otras dos historias, a saber, la *Historia Aëris in Toto, sive in Configuratione Mundi* y la *Historia Aëris, in Substantia, non in Configuratione*.

Los cuatro títulos restantes no están mencionados entre los 130 títulos: la *Historia densi et rari*, la *Historia gravis et levis*, la *Historia sympathiae et antipathiae rerum* y la *Historia sulphuris, mercurij et salis*. Como puede observarse, las primeras dos son pares de naturalezas simples (dos de las más importantes),¹⁶ la tercera se refiere a las relaciones más primarias entre las partículas de la materia,¹⁷ y la última a los dos principios o familias de las cosas.¹⁸ En conclusión, todas estas son historias naturales de la teoría de la materia: o de cualidades o esquemas, o de las causas de la actividad de la materia, o de los principios del mundo. De hecho, Bacon reconoció que estas historias (incluyendo los otros dos

¹⁵ Arianna Borrelli ha identificado varias fuentes de las partes teóricas de la *Historia ventorum* de Bacon y mostró cómo éstas están entremezcladas con las propias concepciones de Bacon. Borrelli, A., “Winds of the Late Renaissance: Some Background to Francis Bacon’s ‘Historia ventorum’”, conferencia presentada en el taller *Between Natural History and Natural Philosophy: Francis Bacon on the Investigation of Nature*, el 13 de diciembre de 2013, en la Universidad Radboud de Nimega.

¹⁶ Para una presentación detallada de estos dos pares de naturalezas simples y su importancia, véase *Abecedarium novum naturae*, OFB XIII, 172-73. El argumento de Bacon a favor de su primacía entre las naturalezas simples es el hecho de que ellas pueden encontrarse en casi todos los cuerpos. Silvia Manzo ha argumentado que lo denso y lo raro son las naturalezas simples más fundamentales y son la clave para todos los procesos en la naturaleza, ya que todo proceso representa un cambio de densidad. Véase: Manzo, S., *Entre el atomismo y la alquimia: La teoría de la materia en Francis Bacon* (Buenos Aires: Editorial Biblos, 2006).

¹⁷ Aunque Bacon critica la teoría y la antipatía mágico-alquímicas, lo hace porque las considera como inadecuadas, basadas en teoría falsa y en relaciones superficiales de los cuerpos. De acuerdo con Bacon, la simpatía y la antipatía son las relaciones más fundamentales entre las partículas de la materia y la fuente de la acción, ya que los cuerpos primero están de acuerdo o en desacuerdo y luego actúan consecuentemente. Simpatía y antipatía representan la causa de la unión y la huida de los cuerpos, de la mezcla y separación de las partes, y de la conjunción de lo que es activo con lo que es pasivo.

¹⁸ En la introducción a esta historia, en el *Sylva Sylvarum* y en el *Abecedarium novum naturae*, Bacon presenta al azufre y al mercurio como las dos familias de las cosas, que componen cada objeto en el mundo. A diferencia de Paracelso, quien es la fuente de Bacon al usar estos principios, la sal no es un tercer principio, sino una composición de los dos. El azufre y el mercurio son conocidos con términos diferentes en las esferas mineral, vegetal y animal, espiritual y celestial (véase Bacon, F., *Historia sulphuris, mercurij et salis*, OFB XII, 136-139; *Sylva sylvarum*, introducción al experimento 355, SEH II, 359; *Abecedarium novum naturae*, OFB XIII, 188-191).

títulos) fueron recogidas no del *Catalogus*, sino del *Abecedarium novum naturae*.¹⁹ Así, parece haber tensión: las historias de la materia no pueden ser compiladas de acuerdo con el modelo “teórico”, que debe incluir únicamente meras observaciones y experimentos. Estas historias pueden ser únicamente historias naturales de causas provisionales y de explicaciones de los fenómenos. Esto no significa que los experimentos y las observaciones no deban incluirse. Por el contrario: los elementos de la teoría de la materia que Bacon quiere descubrir y manipular – esquematismos, formas, movimientos, etc.– deben verse únicamente en la investigación de las cosas y los procesos. Por tanto, los elementos históricos son el material obligatorio a partir del cual las explicaciones causales, dadas en términos de la teoría de la materia, pueden extraerse. Las tres historias naturales completas son la ejemplificación de este proceso.

El segundo aspecto concerniente al catálogo de las historias naturales en el que me gustaría enfatizar tiene que ver con el *Sylva*. Ciertamente, dados su título y estructura, no encaja ni en la lista del *Catalogus* ni en la lista del *Abecedarium*. Pero si observamos los temas individuales, encontramos más que sólo unas pocas equivalencias. Una gran parte de los títulos o de los experimentos individuales o de los grupos de experimentos (lo que Bacon llamó “experimento en consorcio”) puede encontrarse en el *Catalogus* (especialmente de la historia de las especies – metales, plantas, y generaciones, así como de la historia del hombre– las historias de la medicina, de los sonidos, de los afecciones, etc.), mientras que las causas explicativas añadidas al final de los experimentos ponen en discusión los elementos de la materia que son el objeto de estudio del *Abecedarium*. Por supuesto, los objetos de estudio no están desarrollados tanto como en las historias naturales Latinas. En este sentido, Garber tiene razón en que los temas particulares necesitan ser desarrollados con miras a llegar a ser historias naturales “genuinas”. Lo que es específico, sin embargo, es que el *Sylva* no es un almacén de información. Sus instancias no son simples experimentos y observaciones que podrían constituir la *historia* de una historia natural más amplia. Dicho de otra manera, los experimentos que pueden ser extraídos del *Sylva* para ubicarlos en una historia

¹⁹ Al final de la introducción de la *Historia naturalis et experimentalis*, Bacon explica su preferencia por estos títulos “guardados para sí mismo”, los cuales no son escogidos del Catálogo, sino escogidos por otras razones: Aunque al final de la parte publicada de mi *Organum* elaboré los preceptos concernientes a la Historia Natural y Experimental, pienso que es correcto describir con precisión y de manera sucinta la regla y la composición de la historia que ahora intento. A los títulos del Catálogo que tienen que ver con cosas concretas, añado títulos referidos a naturalezas abstractas (que mencioné como una historia que guardaré para mí mismo). Estos son los diversos esquematismos de la materia o formas de la primera clase, movimientos simples, sumas de movimientos, mediciones de movimientos, y algunas otras cosas. He elaborado un *New Abecedarium* de estos que he puesto al final de este volumen. No he tomado los títulos en orden (ya que no estoy dispuesto a lidiar con todos ellos), pero he escogido algunos que son más pesados en cuanto a su uso, más prácticos debido a la abundancia de experimentos, más difíciles y nobles a causa de la oscuridad de la cosa o, a causa de las diferencias entre los títulos, aquellos que presentan el rango más amplio a modo de ejemplo” (*Historia naturalis et experimentalis*, OFB XII, 17).

natural (similar a las Latinas, por tanto, una historia natural de la materia) no representarían el material sobre el cual puede construirse la filosofía, excepto en algunos casos. La mayoría de instancias representan fragmentos de las partes filosóficas, ya que estos experimentos contienen no sólo descripciones de la naturaleza, sino *observatio, canones, explicatio, mandata*, etc.²⁰

Me gustaría extraer algunas conclusiones respecto a la tensión entre los diferentes tipos de historias naturales baconianas. Sabiendo que Bacon tenía en mente desde sus escritos tempranos dos tipos diferentes de historias naturales, una de los particulares y otra de la materia, se hace claro que no hay una tensión real entre el *Parasceve* y el *De augmentis scientiarum*, por un lado, y las historias naturales Latinas comprendidas en la *Historia naturalis et experimentalis*, por otro. La clave para entender esta divergencia en el sistema de Bacon es la distinción que él plantea entre las historias de lo concreto o de los particulares y las historias de las naturalezas abstractas o historias de la materia. Los elementos de las historias enumeradas en el *Catalogus* deben ser tomados y puestos en la parte histórica de una obra de la cual pueden extraerse observaciones, reglas y explicaciones. Esta selección no debe hacerse de acuerdo con los tópicos de las naturalezas concretas, sino de acuerdo con las naturalezas abstractas bajo estudio, como podemos ver en las historias naturales Latinas. Más aún, los particulares serán usados a lo largo del escrito, porque la experiencia, según Bacon, es el único criterio de certeza y las generalizaciones deben ser confrontadas con la experiencia. No obstante, Bacon no se interesó en compilar él mismo esas historias básicas, sino únicamente aquellas de naturaleza abstracta, mientras que para las primeras usa fuentes. Y este no es solamente el caso de las historias Latinas, sino que, como Bacon mismo afirmó, el *Sylva sylvarum* es también superior a las historias naturales de los particulares:

Dejamos la descripción de las plantas y sus virtudes a los herbarios y otros libros de historia natural, donde la diligencia de los hombres ha sido grande, incluso para la curiosidad: pues nuestros experimentos son sólo aquellos que alguna vez permiten ascender gradualmente a la derivación de las causas y la extracción de los axiomas; acerca de los cuales no somos ignorantes, sino que escritores tanto antiguos como modernos también los han trabajado; pero sus causas y axiomas se encuentran tan llenos de imaginación, y tan infectados de las teorías antiguas recibidas, como meras inquinaciones de la experiencia, que no los formulan.²¹

Lo que Bacon dice aquí es que su principal interés no es compilar un almacén de hechos, sino arrojar luz sobre las causas y axiomas que pueden ser extraídos de ellos. Una vez más, él critica las teorías existentes sobre el ser basadas no en la naturaleza, sino en las ideas de las mentes corruptas de sus autores. Empero, hay historias naturales que pueden ser usadas como fuentes para sus experimentos que apuntan a la teoría y al verdadero conocimiento de la naturaleza. En la siguiente

²⁰ Para una clasificación del tipo de instancias que Bacon usó en el *Sylva* y su correspondiente en las historias naturales Latinas, véase Rusu, D.-C., (2013), 86-98.

²¹ Bacon, F., *Sylva sylvarum*, SEH II, 549-550.

sección, traeré a discusión lo especulativo de Bacon y las relaciones con las ciencias incluidas en la filosofía natural.

3. La filosofía natural baconiana: el estudio de la materia

En la sección anterior mostré por qué tanto las historias naturales Latinas como el póstumo *Sylva sylvarum* no pueden ser clasificados como historias naturales de los particulares. No son almacenes de hechos. Se proponen un conocimiento más profundo de la naturaleza. Las historias naturales Latinas son sobre las virtudes y los procesos secretos de la materia. El *Sylva*, si bien es menos estructurado que éstas y discute varios temas, es muy similar a las historias naturales Latinas. No se trata únicamente de una simple descripción de la naturaleza. Incluso la descripción de hechos está seguida por explicaciones causales provisionales.²² Más aún, como mostré más arriba, muchas de estas instancias no pertenecen a la *historia*, sino a las partes más filosóficas de una historia natural de los particulares. También es relevante que muchos de los experimentos son tomados de fuentes. Aunque este aspecto ha sido usado como un argumento para afirmar la inferioridad del *Sylva*, afirmo que este es un argumento para probar que Bacon estaba tomando prestada la “materia prima” de las fuentes, con el propósito de construir un tipo superior de historia natural a partir de ellas.

En mi disertación, mostré por qué la filosofía natural operativa debe ser incluida necesariamente en el mismo proceso de investigación de la naturaleza. Mi argumento era el siguiente: la información recibida del estudio de los individuales es teorizada y se asignan las causas provisionales a los fenómenos estudiados. Estas causas deben ser verificadas con la ayuda de otros experimentos especialmente diseñados para este propósito. Por supuesto, el nivel de certeza incrementa cuando los nuevos experimentos confirman la teoría provisional. Al ampliarse a más particulares a través de la experimentación, la teoría se hace más general, en el sentido de que aplica a un número mayor de objetos. Lo que es importante es que esta “generalización” se da en términos de la teoría de la materia –materia neumática, movimientos simples, formas y apetitos. El objetivo de esta sección es explicar todos estos términos. Sin embargo, con miras a ofrecer explicaciones en términos de la teoría de la materia, y para diseñar los nuevos experimentos que confirmen o nieguen la teoría, el filósofo debe tener conocimiento de metafísica, al menos un conocimiento provisional.

Desde luego, en algunos casos, la regla provisional podría no funcionar para ciertos particulares. Si esto ocurre, significa que el axioma permanece en un nivel más bajo –el de los axiomas medios, y aplica únicamente a un número pequeño de

²² Casi todo “experimento” en el *Sylva* está seguido por una causa provisional. Explicar el estatus de estas explicaciones causales debería ser el tema de otro artículo. Desafortunadamente poco se ha escrito sobre el tema. La mayoría de esas explicaciones causales tienen el propósito de explicar el fenómeno en términos de la actividad oculta de la materia, haciendo hincapié en la naturaleza apetitiva de la materia espiritual. Para una discusión breve sobre la adición de estas causas a los experimentos, véase Rusu, D.-C., (2013), 166-174.

objetos. Sin embargo, en lo que me gustaría enfatizar es en el hecho de que sin esta prueba de las reglas provisionales y los axiomas en la práctica, la filosofía especulativa nunca podría avanzar. Esta es la razón por la cual la operación y la teoría no pueden estar separadas. Del mismo modo, porque estas pruebas regresan la investigación a los particulares, la filosofía natural es parte de la historia natural. Sería imposible establecer un punto en el que la historia natural se haga filosofía natural y no tenga aspectos históricos. Lo que es diferente es el proceso mismo de encontrar el objeto preciso sobre el cual la teoría ha de ser probada y verificada – este proceso también está basado en la teoría. Otro argumento a favor de esta interpretación es el hecho de que Bacon identifica la *historia* con la *experientia* y la *philosophia* con la *scientia*, que a su vez están conectadas con la teoría.²³ Dado que, tal vez, la idea más importante e influyente del sistema filosófico de Bacon fue basar la teoría en la experiencia, parece normal que la entremezcla continua de historia y teoría sea lo que define sus escritos históricos y teóricos.²⁴

Todo esto puede comprenderse mejor si se conectan las distintas ciencias pertenecientes a la filosofía natural con los elementos de la teoría de la materia que estudian. La teoría de la materia de Bacon es incluso más discutida entre los estudiosos que el estatus de las historias naturales. Es ampliamente admitido que las ideas metafísicas y especulativas de Bacon son muy desconcertantes. Esto es causado por el carácter fragmentario e inacabado de los trabajos de Bacon y de la aparente falta de conexión entre las diferentes entidades que él menciona cuando habla en términos de la teoría de la materia. Mi tesis es que un análisis de los conceptos usados por Bacon para explicar las causas de los fenómenos en diferentes obras es capaz de crear un punto de vista más compacto. Cuando los mismos fenómenos o fenómenos similares son explicados una vez usando los apetitos de la materia, en otro momento usando los movimientos simples y complejos, en otro usando los esquematismos de la materia, se hace fácil observar las conexiones entre estas entidades. Por tanto, el panorama se hace más claro si leemos juntos el *Novum Organum*, el *Abecedarium*, el *De Augmentis scientiarum*, el *Sylva sylvarum*, las historias naturales Latinas y algunos de los otros fragmentos de escritos no publicados en los cuales estas entidades son mencionadas.

De acuerdo con Bacon, la filosofía natural tiene cuatro ramificaciones dependiendo de si la ciencia es especulativa u operativa, y del tipo de causas y procesos que estudia. En consecuencia, dice Bacon, la física (especulativa) descubre las causas material y formal, y la mecánica (operativa) las aplica en obras, realizando cambios en la naturaleza. En un nivel superior, la metafísica (especulativa) descubre las causas formales y la magia (operativa) las aplica con el propósito de transformar radicalmente la naturaleza.²⁵ En el *Novum Organum*,

²³ “Pues considero la historia y la experiencia como la misma cosa, como también la filosofía y las ciencias” (Bacon, F., *De augmentis scientiarum*, II, cap. I, SEH IV, 293).

²⁴ Sobre este asunto véase Rusu, D.-C., (2013), 66-68.

²⁵ “Me referí a la investigación de las causas como la parte teórica de la filosofía. Ésta la divido en física y metafísica. Se sigue que la verdadera diferencia entre ellas debe extraerse de la

Bacon afirma que la metafísica descubre la forma, o verdadera diferencia, o fuente a partir de la cual surge la naturaleza simple, mientras que a la física se le da una definición diferente, una en relación con los procesos que estudia:

el descubrimiento (en toda generación y movimiento) del *proceso latente*, ininterrumpido desde el proceso eficiente manifiesto y la materia manifiesta hasta la Forma inserta, y de manera similar el descubrimiento del *esquematismo latente* de los cuerpos que están en reposo y no en movimiento.²⁶

De hecho, estas definiciones se complementan entre sí y, al combinarlas, se puede concluir que la investigación de la naturaleza comienza con el establecimiento del desarrollo de un cuerpo durante procesos dados. Este desarrollo se puede ver únicamente en los cambios de los esquematismos simples, donde el panorama concerniente a la definición de estas ciencias en términos de causas se hace claro. La física investiga las causas material y eficiente de todas esas transformaciones. En otras palabras, investiga todas las transformaciones visibles de un cuerpo dado y también qué otro cuerpo o proceso influyó al cuerpo que se estudiaba de un modo tal que lo hizo cambiar. Sin embargo, la física permanece limitada a cuerpos individuales. Las causas material y eficiente pueden ser diferentes y producir el mismo efecto, o, por el contrario, pueden ser (aparentemente) muy diferentes y tener el mismo efecto sobre un cuerpo. Bacon muestra cómo el fuego y el calor pueden producir efectos diferentes dependiendo de las cualidades del cuerpo sobre el que trabajan cada uno de ellos. Del mismo modo, Bacon ofrece varios ejemplos de material muy diferente que tiene el mismo efecto sobre un cuerpo determinado.²⁷ Así, la física no va más allá para encontrar las similitudes de estos procesos. Y esto es lo que Bacon quiere decir cuando dice que la física estudia las naturalezas simples en reposo: sólo establece la conexión entre la causa (material y eficiente) y el efecto, pero no capta los procesos internos de la materia.

naturaleza de las causas que investigan. Y, por tanto, para hablar claro y no ir más allá, la física investiga y maneja las causas material y eficiente, la metafísica la formal y la final” (*De augmentis scientiarum* III, cap. IV, SEH IV, 346). Además, pasando a la segunda división, él escribe: “La doctrina operativa concerniente a la naturaleza también la dividiré en dos partes, y por una suerte de necesidad. Pues esta división está sujeta a la anterior división de la doctrina especulativa; y como la física y la inquisición de las causas eficientes y materiales producen mecánica, la metafísica y la inquisición de las formas produce magia” (Bacon, F., *De augmentis scientiarum* III, cap. V, SEH IV, 365).

²⁶ Bacon, F., *Novum organum* II, aph. 1, OFB XI, 201. La magia y la mecánica son definidas de un modo similar: la magia tiene como objetivo superinducir una o más naturalezas de un cuerpo dado, mientras que la mecánica debe transformar cuerpos concretos en otros.

²⁷ En *De augmentis scientiarum*, Bacon explica que el fuego es la causa eficiente del endurecimiento de la arcilla y del derretimiento de la cera (*De augmentis scientiarum* III, cap. IV, SEH IV, 346). Por otro lado, los experimentos en el *Sylva sylvarum* están agrupados de acuerdo con los procesos. Por ejemplo, en el caso de la sal vegetal, el nitro o las algas tienen el mismo efecto, a saber, la aceleración de la germinación (*Sylva sylvarum* IV, SEH II, 475-479).

En contraste, la metafísica estudia estos cambios en movimiento, ya que la forma es también llamada *natura naturans* o “la fuente de la cual surge la naturaleza simple”. La metafísica ofrece una explicación de los procesos que toman lugar cuando una naturaleza simple aparece en un cuerpo (independientemente de si es una naturaleza completamente simple o la modificación de una ya existente). Este “proceso”, en realidad la forma, es idéntica para todos los cuerpos individuales. Comparada con la física, no sólo es más alto el grado de generalización, sino que en la metafísica la discusión toma lugar en un nivel diferente: el de la teoría de la materia. Cuando pasa de la física a la metafísica, Bacon no usa únicamente los esquematismos de la materia, sino también movimientos simples y compuestos, formas, y apetitos. ¿Cómo explican estas entidades cada proceso natural?

Esto se comprende mejor con un estudio de caso. En el segundo libro del *Novum Organum*, Bacon ofrece un ejemplo de cómo puede descubrirse la forma de una naturaleza simple (en este caso la forma del calor). Lo que es significativo para nuestra discusión es su definición final: “la naturaleza cuya limitación es el calor parece ser el movimiento”.²⁸ El calor es una especie del género “movimiento”, como dice Bacon más adelante. Lo que diferencia el calor de otras naturalezas simples (que también son especies del género del “movimiento”) es lo que Bacon llama “diferencias”, las cuales “limitan el movimiento y lo constituyen como Forma del calor”.²⁹ La forma del calor se da en una secuencia de movimientos simples y una medición del movimiento, las cuales pueden ser identificadas en la lista de movimientos simples y las mediciones tanto del *Novum Organum* como del *Abecedarium novum naturae*.³⁰ Las formas son, por tanto, secuencias de movimientos simples medidas muy precisamente.³¹

Hay otro vínculo que se debe hacer aquí, y esto explicará mejor el rol y la función de la metafísica y la magia natural. Los movimientos simples son los instrumentos con los cuales la materia está dotada para satisfacer sus apetitos. Permítaseme esclarecer esta afirmación. Hay cuatro apetitos básicos de la materia y, de acuerdo con el *Abecedarium*, cuatro movimientos simples correspondientes a cada uno de ellos.³² Cuando los cuerpos quieren satisfacer uno de esos apetitos

²⁸ Bacon, F., *Novum organum* II, aph. 20, OFB XI, 263.

²⁹ Bacon, F., *Novum organum* II, aph. 20, OFB XI, 265.

³⁰ Esos movimientos simples son el movimiento de rotación espontánea, el movimiento de trepidación, y la medición del tiempo y la intensidad del movimiento. Los movimientos no aparecen como tales en la definición de la forma del calor del *Novum Organum*. Empero, al leer sus definiciones pueden ser identificados con los movimientos simples correspondientes de los escritos mencionados más arriba. Para una identificación completa y más extensa sobre este tema, véase Rusu, D.-C., (2013), 192-197.

³¹ Lo que Bacon llama las “mediciones del movimiento” son las letras del alfabeto de la naturaleza, junto con los esquematismos, los movimientos simples y compuestos (véase *Abecedarium novum naturae*, OFB XIII, 211-215). Este detalle es de mayor importancia y debería abrir nuevas líneas de investigación concernientes al lugar de las matemáticas en la filosofía natural de Bacon.

³² La lista de los movimientos simples difiere de un texto a otro (del *Novum Organum* al *De augmentis scientiarum* y también al *Abecedarium*). Estoy usando la lista del *Abecedarium*,

básicos, los movimientos simples se activan. Sin embargo, los apetitos no pueden ser la única causa de un movimiento, ya que un apetito causa más que un solo movimiento. Mi tesis, basada en el énfasis de Bacon en “el cuerpo dado” sobre el cual una naturaleza simple puede ser inducida, es que las formas de las naturalezas simples existentes son también esenciales para la superinducción de una nueva naturaleza simple. Es debido a los movimientos existentes dentro de un cuerpo que un cierto movimiento se hace manifiesto cuando un apetito gana primacía sobre los otros tres. De esta manera, el mago, cuando aspira a superinducir una nueva naturaleza, debe conocer las “diferencias” que crean aquellos movimientos, la medición de los mismos, y las congregaciones de movimientos ya existentes en un cuerpo determinado (a saber, las formas de sus naturalezas simples). Es verdad que un conocimiento completo tal es ideal y, dada la mente caída de la humanidad es imposible alcanzarse. No obstante, precisamente porque esto es sólo un ideal, el mago está obligado a trabajar con un conocimiento provisional, que se hace más cierto a medida que se produce obras. Este aspecto es muy importante, debido a que explica por qué para Bacon, aunque el conocimiento es requerido antes de la operación, la magia natural puede ser realizada antes de tener un sistema de metafísica “completo”.

En lo concerniente a la filosofía operativa, hay otra distinción significativa que debe hacerse, la diferencia entre el mecánico y el mago. Ésta reside en el tipo de conocimiento que cada uno tiene y, a su vez, esta diferencia en el conocimiento influencia considerablemente el tipo de resultados prácticos que se obtienen. Para el mecánico, es suficiente con tener un conocimiento superficial de los procesos y de las interacciones de los cuerpos, esto es, sus causas material y eficiente (conocimiento específico de la física, como se discutió más arriba). Esto significa que únicamente se puede imitar la naturaleza reproduciendo los procesos ya conocidos: un cierto esquematismo cambia en un cuerpo como el resultado de una cierta causa eficiente. El mago puede imitar también la naturaleza, pero, a diferencia del mecánico, puede asimismo producir cambios más profundos en los cuerpos naturales, creando nuevos cuerpos artificiales y alterando los fenómenos naturales. Incluso, cuando la mecánica y la magia ejecutan la misma acción, el mago conoce cuál de los cuatro apetitos será activado en un cuerpo determinado como resultado de la interacción con otro cuerpo, y a cuál movimiento o secuencia de movimientos dará lugar este proceso y que conducirá al cambio de uno o más esquematismos.

Considero esta interacción entre cuerpos como fundamental para la definición de Bacon de las ciencias operativas, y el tipo de conocimiento usado por esta interacción como lo que diferencia la mecánica y la magia. En el *De augmentis scientiarum*, Bacon define la magia como “la ciencia que aplica el conocimiento de las formas ocultas a la producción de operaciones maravillosas y, al unir (como

porque es la última escrita por Bacon. La cantidad de los movimientos simples disminuye de un texto a otro. Véase *Abecedarium novum naturae*, OFB XIII, 191-203.

dicen) activos con pasivos, muestra las maravillosas obras de la naturaleza”.³³ Es este conocimiento diferente que permite a la magia natural superar los límites de las meras imitaciones. Esto significa que la magia puede ejecutar cambios que nunca se hicieron antes y puede transferir conocimiento de un dominio a otro. En efecto, esta transferencia es posible a causa del supuesto metafísico de Bacon de que los apetitos de la materia son comunes a todos los cuerpos en el universo.³⁴

Esta es una de las características más importantes de la magia, junto con el tipo de conocimiento que usa. De hecho, estas dos características están interconectadas. El tipo de conocimiento basado en los apetitos básicos de la materia y los movimientos simples es lo que hace posible la transferencia del conocimiento.

Esto se hará más claro cuando se analicen instancias del *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis*, instancias que, creo yo, son clasificadas como pertenecientes a la magia natural. De nuevo, no todos los experimentos en el *Sylva* son magia, ni tampoco todas las instancias en la *Historia vitae et mortis*. Empero, como mostré anteriormente, la metafísica y la magia están necesariamente incluidas en la investigación de la naturaleza cuando las formas, las naturalezas simples o los procesos fundamentales representan el objeto de estudio. Siguiendo los argumentos de mi disertación, en la siguiente sección expondré de manera breve, primero, por qué los experimentos del *Sylva* contienen elementos de la magia natural y, luego, mostraré por qué la parte “operativa” de la *Historia vitae et mortis* puede ser incluida en la misma ciencia.

4. Magia natural: el *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis*

A lo largo de las secciones anteriores he sugerido lo específico de cada disciplina utilizada en el estudio y la transformación de la naturaleza. La segunda sección plantea las diferencias entre la historia natural y la filosofía natural, estableciendo que tanto las historias naturales Latinas como el *Sylva Sylvarum* deben ser considerados más que una historia natural de los particulares. Consecuentemente, al ser historias naturales de las virtudes, contienen elementos de la filosofía natural. La tercera sección fue más allá y clarificó las diferencias entre la física y la mecánica, por un lado, y de la metafísica y la magia, por otro. El propósito de esta sección final es mostrar cómo varias instancias del *Sylva*

³³ Bacon, F., *De augmentis scientiarum* IV, cap. V, SEH IV, 366-367. Una definición muy similar puede encontrarse en la introducción a la *Historia sympathiae et antipathiae rerum*, OFB XII, 135. En esta introducción Bacon hace un énfasis en el conocimiento de la simpatía y la antipatía para la magia natural, ya que ellas son lo que gobierna los procesos en la naturaleza. Esto es, de nuevo, un argumento a favor de la tesis de que las historias naturales Latinas no pueden ser simples historias naturales sin elementos de la filosofía natural. Por el contrario, dado que el conocimiento de la simpatía y la antipatía son requeridos para la magia natural, se hace evidente que esta historia habría sido un libro sobre magia natural.

³⁴ Sobre la unidad de la materia baconiana véase Rees, G., “Matter Theory: A Unifying factor in Bacon’s Natural Philosophy”, *Ambix* 24/2 (1977): 110-125; Manzo, S., (2006), Weeks, S., (2007).

sylvarum y de la *Historia vitae et mortis* pueden ser consideradas como magia natural. No afirmo que todos los elementos de ambos escritos son magia, sino que entre sus instancias uno puede hallar instancias histórico-naturales, físicas y mecánicas, y, finalmente, metafísicas y mágicas.

Como se mencionó, las características más importantes de la metafísica y la magia son el conocimiento provisional de las formas y la manipulación de los apetitos de la materia, con miras a crear los movimientos necesarios y la transferencia de conocimiento de un dominio a otro, transferencia basada sobre este conocimiento de la teoría de la materia. Estos dos aspectos se desarrollarán y ejemplificarán más adelante en el caso de los dos escritos. Para el *Sylva sylvarum*, presentaré brevemente los argumentos empleados en mi disertación, *From Natural History to Natural Magic: Francis Bacon's Sylva Sylvarum*. Esta exposición de los elementos mágicos del *Sylva* nos ayudará a comprender la manera en la que la *Historia vitae et mortis* comparte las mismas características.

Una de las razones por las que el *Sylva* fue considerado un tipo inferior de historia natural fue su gran dependencia de los préstamos de otras fuentes. Tomando como ejemplo el libro sobre plantas de Giambattista Della Porta de la *Magia naturalis*, mostré que Bacon no copió los experimentos, sino que los transformó fuertemente. Identifiqué sus generalizaciones, la adición de explicación causal, y las críticas metodológicas que definen su uso de este libro.³⁵ Asimismo, mostré que los primeros dos tipos de transformaciones conducen a la visión metafísica de Bacon de que las generalizaciones son hechas de acuerdo con las propiedades internas de los cuerpos, mientras que las explicaciones causales se dan en términos de la teoría de la materia. Para decirlo de otro modo, mientras el enfoque de Della Porta pertenece a la física y a la mecánica, como Bacon las define en sus trabajos teóricos, los experimentos de Bacon dan un paso adelante hacia la metafísica y la magia. Della Porta está interesado únicamente en las causas eficiente y material de los particulares y en los efectos asombrosos que pueden ser producidos. Por el contrario, los intereses de Bacon son la manera en la cual es posible tener transformaciones fundamentales de los cuerpos, la actividad interna de la materia y el modo en que los apetitos básicos pueden ser manipulados.³⁶ A este respecto, Bacon ya no está en el nivel de la física y la mecánica. Es verdad que en muchos casos él no habla de formas o causas formales, y esta podría ser la razón por la que nunca se consideró que el *Sylva* contuviese elementos metafísicos y mágicos. No obstante, en vista de la definición que ofrece Bacon de la forma y de su relación con los esquematismos y los movimientos simples, explicada en la sección anterior, resulta evidente que el *Sylva* no puede ser una mera recopilación de hechos, ni siquiera un libro de física y mecánica. Lo que Bacon manipula en el *Sylva* para obtener resultados experimentales son los apetitos básicos de la materia. Es cierto que los elementos teóricos son causas y axiomas provisionales, y en consecuencia la metafísica debería considerarse también como provisional.

³⁵ Rusu, D.-C., (2013), 139-177.

³⁶ Rusu, D.-C., (2013), 207-232.

La última característica de la magia que se encuentra en el *Sylva sylvarum* representa la transferencia de conocimiento de un dominio a otro. Puesto que la materia y su actividad son idénticos a todos los cuerpos del universo, Bacon emplea los resultados de algunos experimentos para otros grupos de particulares. La transferencia, por supuesto, no es ciega; el filósofo debe tener en cuenta que algunos seres son más complicados que otros. Por ejemplo, Bacon usa los resultados de experimentos con una llama terrenal para extraer conclusiones acerca de la actividad del fuego celeste.³⁷ Esto es posible debido a la presuposición metafísica de que los apetitos de la materia son idénticos para los mundos sublunar y celeste.³⁸ Más aún, estos experimentos con cuerpos inanimados y aquellos realizados con plantas son usados para la prolongación de la vida. Debido a que procesos tales como la desecación, la vivificación, la nutrición, y la putrefacción son idénticos, esta transferencia del conocimiento se hace posible.³⁹

Permítaseme hablar ahora de la *Historia vitae et mortis* y ver cómo comparte estos rasgos comunes con el *Sylva sylvarum*. La *Historia vitae et mortis* comienza con lo que podría considerarse, en efecto, una *historia*. Estas diversas secciones o representan listas de longevidad, para cuerpos inanimados, plantas, animales y hombres, o estudian diversos procesos (como la desecación, la rarefacción, la consunción, la alimentación, etc.). Debe enfatizarse una vez más que estas listas representan, de hecho, lo que Bacon llamó *historia*; la mayoría de ellas son descripciones de hechos. Sin embargo, la relación entre los hechos y las afirmaciones teóricas en las que se basan las operaciones siguientes no es en absoluto clara en la mayoría de los casos, y esto contribuye al estatus ambiguo de este escrito.⁴⁰ Al final de esta parte histórica, donde se establecen las operaciones

³⁷ Bacon, F., *Sylva sylvarum* exp. 31, SEH II, 352-53. Ver también Jalobeanu, D., "Learning from experiment," en prensa.

³⁸ Bacon, F., *Descripción del globo intelectual*, OFB VI, 151.

³⁹ Bacon, F., *Sylva sylvarum*, exp. 58, SEH II, 363.

⁴⁰ Mencionaré a manera de ejemplo las principales observaciones incluidas en la parte histórica de "The nature of Durable". Después de presentar diez instancias de la longevidad de metales, piedras, vegetales, vidrios, ladrillos, licores, etc., Bacon entremezcla dos observaciones sobre la naturaleza de la materia espiritual contenida en todos los cuerpos y sobre cómo ésta puede ser contenida: "1. Permítasenos tomar partido por la más cierta de las proposiciones, que en cada cosa tangible existe un espíritu o cuerpo neumático escondido y encerrado en las partes tangibles, y que este espíritu es la fuente de toda disolución y consumo. Así, el antídoto a estas enfermedades es detener el espíritu. 2. El espíritu es retenido de dos maneras: bien sea por confinamiento en lugares cerrados como si se tratara de una prisión, o por una suerte de detención voluntaria. Y asimismo dos condiciones los inducen a permanecer, a saber, si el espíritu mismo no es demasiado móvil o agudo, y si, más aún, no es instado a irse por el aire exterior. Así, los cuerpos que duran son de dos tipos: duros y aceitosos. Lo duro retiene el espíritu; lo aceitoso calma en parte al espíritu, y en parte funciona de una manera tal que es menos instado por el aire. Pues el aire y el agua son cosustanciales, como lo son el aceite y la llama. Esto en cuanto a la naturaleza de lo durable y lo menos durable en los cuerpos inanimados" (Bacon, F., *Historia vitae et mortis*, OFB XII, 159). Sin embargo, estas observaciones vendrán al final de la historia como sus reglas. El hecho de que no estén fundamentadas en la parte histórica previa contribuyó a la imagen de Bacon como un filósofo especulativo que utilizó experimentos para ilustrar su

necesarias para la prolongación de la vida, Bacon menciona la combinación de otros tipos de instancia:

Pero dado que esta parte acerca de las intenciones apunta a la práctica, bajo el rótulo de historia mezclaré no sólo experimentos y observaciones sino también consejos, remedios, explicaciones de causas, asunciones, y cualquier otra cosa que sea relevante.⁴¹

Este es el caso únicamente para el rótulo “operaciones”, que se compone solamente de *historia*, incluso aunque se trata del tipo de instancia que Bacon enumera en la cita antes mencionada, y no para los otros rótulos de *historia*, que no son operativos, sino descriptivos.⁴² De hecho, no sería una exageración afirmar que esta historia natural, en lo que concierne a su parte operativa, es más cercana a los libros de secretos, remedios, y fórmulas, que a las historias naturales del Renacimiento. No obstante, difiere con este género en el interés por la teoría y las explicaciones.

Como en el *Sylva*, muchas de estas operaciones son tomadas de fuentes.⁴³ Pero el modo en el que Bacon las agrupó, y la existencia de una teoría de la materia tan detallada detrás de cada instancia, definen la creatividad de Bacon al tomar prestado de las fuentes. Como argüí, en el *Sylva* la creatividad no reside en ser el autor de un experimento, sino en el proceso mismo de reunir experimentos, añadir explicaciones causales, y desarrollar ulteriormente los experimentos. Sostengo que el caso es el mismo para la *Historia vitae et mortis*. Los criterios de acuerdo con los cuales Bacon agrupó las instancias en sus diez operaciones conducentes a una larga vida son su teoría de la materia y sus concepciones médicas. De nuevo, tal como sucede en el *Sylva* con los experimentos en plantas tomados de Della Porta, la teoría de la materia transforma recetas médicas simples en experimentos de magia natural, basada en axiomas metafísicos provisionales. Antes que nada, Bacon tiene una concepción muy clara de los procesos internos responsables por la muerte y las operaciones necesarias que deberían realizarse para prolongar la vida, tanto

teoría de la materia. Sin embargo, considero inexacta esta perspectiva. Las seis historias naturales parecen tener continuidad, y los resultados de una son usados como causas provisionales, o hipótesis, de otra. Así que, si la *Historia vitae et mortis* es la última de esta serie, entonces ella puede emplear axiomas de las historias anteriores como reglas provisionales para sus operaciones. Sobre la relación entre las historias naturales, véase Rusu D.-C., “Francis Bacon: Constructing Natural Histories of the Invisible”, *Early Science and Medicine* 17/1-2 (2012): 112-133.

⁴¹ Bacon, F., *Historia vitae et mortis*, OFB XII, 245.

⁴² Hay diez “operaciones” que conducen a una larga vida excepto por una de ellas, la octava, compuesta de especulación (*commentatio*), todas las otras sólo tienen una rúbrica –*historia*, pero ellas, en efecto, incluyen la teoría, explicaciones causales, consejo para experimentos ulteriores, etc.

⁴³ Sobre el conocimiento médico de Bacon y la abundancia de fuentes en la *Historia vitae et mortis*, véase Gemelli, B., “The History of Life and Death: A Spiritual History from Invisible Matter to Prolongation of Life”, *Early Science and Medicine* 17/1-2(2012): 134-157 y “Francis Bacon: un riformatore del sapere tra filosofia e medicina”, *Cronos* 7/2 (2005): 227-275.

como sea posible. Si observamos cada una de las operaciones propuestas por Bacon para la prolongación de la vida, podemos afirmar que ellas implican un cambio en una o más naturalezas simples dentro de los cuerpos estudiados. Esto se hace manipulando los apetitos de la materia con la ayuda de diferentes materiales. En lo que sigue ofreceré algunos ejemplos que pueden ilustrar este punto.

La primera operación se hace sobre espíritus, con el fin de recuperar su fuerza. Bacon explica lo que quiere decir:

Los espíritus deben ser trabajados y modificarse hasta que se vuelvan densos, no raros, en su sustancia; persistentes, no mordaz, en su calor; su volumen debe ser suficiente para las funciones de la vida, y no excesivo, o abultado en su abundancia; y constante, no inestable o irregular, en su movimiento.⁴⁴

Estas características de los espíritus pueden obtenerse mediante un único proceso: la condensación. Esto se logra, de acuerdo con Bacon, a través de cuatro medios: poniendo los espíritus a volar, enfriándolos, calmándolos, o sedándolos. La primera acción hace que los espíritus se concentren hacia el centro (la cabeza), sin permitirles interactuar mucho con la materia tangible circundante que los consumiría. La segunda técnica es la superinducción de una naturaleza simple —la del frío. La tercera técnica hace que los espíritus disfruten de su propia compañía y no quieran abandonar el cuerpo. Puesto en términos de la teoría de la materia, la influencia externa manipula los apetitos de modo que uno de ellos adquiera primacía —en este caso el apetito de disfrutar de la propia naturaleza triunfa sobre el apetito de abandonar el cuerpo y unirse con los connaturales. La última operación tiene que ver con inducir una cierta cantidad y tipo de movimiento en los espíritus, este movimiento debe ser “del tipo que es robusto, no mordaz, y que guste de debilitar cuerpos inflexibles en lugar de eliminar los cuerpos tenues”.⁴⁵

La segunda operación se da con la exclusión del aire, porque, como sostiene Bacon, el aire tiene efectos similares sobre el cuerpo y el espíritu: consume las partes tangibles. La exclusión del aire tiene dos consecuencias principales: primero, el apetito del espíritu interior de salir y unirse con los connaturales disminuye si no está en contacto con el aire y, segundo, los espíritus son enviados a las partes tangibles para hacerlas suaves y tiernas. Esta exclusión se hace posible manteniendo el cuerpo en un ambiente frío, pero, más efectivamente, cuando los poros del cuerpo están cerrados o llenos. En otras palabras, esta operación involucra un cambio en el par de naturalezas simples, porosidad y compactibilidad.

No analizaré aquí todas las diez operaciones dado que, en cuanto a la relación entre las técnicas y la teoría de la materia, ellas son muy similares. La operación sobre la sangre presupone su enfriamiento, las operaciones sobre los jugos del cuerpo presupone el hacerlos duros, gruesos y húmedos, etc. Lo que debe mencionarse es que estas observaciones teóricas se presentan al inicio de cada sección, dejando claro que ellas representan el criterio de selección para las

⁴⁴ Bacon, F., *Historia vitae et moris*, OFB XII, 247.

⁴⁵ Bacon, F., *Historia vitae et mortis*, OFB XII, 259.

instancias de esa sección. Esto quiere decir que estas operaciones están teóricamente basadas; ellas no representan el material sobre el que se construye la filosofía especulativa. Considero que esto hace claro el hecho de que la *Historia vitae et mortis* es más cercana a la magia natural —ciencia basada en un conocimiento metafísico— que a una historia natural —descripciones de la naturaleza a partir de las cuales debe basarse la teoría. Es cierto que al final Bacon ofrece treinta y dos reglas y su explicación, pero ellas no son el resultado de la historia. Bajo una investigación cuidadosa, todas ellas se encuentran en las partes previas del escrito, bien sea como observaciones o como piezas teóricas al principio de la sección de operaciones.

El último argumento que me gustaría introducir aquí es el uso de los modelos y de la transferencia del conocimiento en la *Historia vitae et mortis*, el cual mencioné como siendo específico de la metafísica y la magia. El uso de modelos simplificados es más obvio aquí que en el *Sylva*. La *Historia vitae et mortis* emplea conocimiento obtenido del estudio de cuerpos inanimados, plantas y animales para prolongar la vida humana. Los metales y las piedras son cuerpos inanimados y modelos de longevidad; numerosas operaciones se orientan hacia la obtención del mismo tipo de características en cuerpos humanos, tales como endurecerlos o ablandarlos (como con piedras, metales, o cera). Las plantas son modelos de una rápida asimilación del alimento, y tal y como las plantas prosperan al ser injertadas, los hombres deberían usar en su alimentación el mismo tipo de comida “mezclada”. Bacon conecta directamente la longevidad de los animales con su actividad específica y, por tanto, el mismo tipo de vida se recomienda a los hombres: no demasiado ejercicio (los caballos no viven mucho), una vida regular (los perros viven irregularmente y no por mucho tiempo), no parir demasiado (los conejos tienen muchas crías y tienen una vida corta), etc. Toda esta información se usa para el establecimiento de los remedios apropiados en el caso del hombre. No hace falta decir que esta transferencia está basada en fundamentos metafísicos —la convicción de que los apetitos de la materia, sus movimientos simples y esquematismos son comunes para todos los cuerpos del universo. Además, excepto por esta concepción muy general del universo, el metafísico y mago baconiano requiere de un conocimiento especializado, puesto que al nivel de los seres complejos y los movimientos compuestos, pueden aparecer algunas diferencias entre el modelo simple empleado y el objeto complejo para el cual se usa el conocimiento.

Espero haber propuesto suficientes argumentos para mostrar por qué, a pesar de su estructura y lenguaje diferentes, el *Sylva sylvarum* y la *Historia vitae et mortis* son muy similares. Y, lo que es más relevante, sus experimentos y operaciones se encuentran basadas en una teoría muy sofisticada, lo cual no puede concernir a la investigación histórico natural, ni a la física y la mecánica. No obstante, considero que numerosos experimentos en el *Sylva* se restringen a causas materiales y eficientes o a imitaciones de procesos naturales. Adicionalmente, algunos experimentos son meras descripciones de hechos. En conclusión, considero que el *Sylva* es una colección de todos los tipos de instancias y

experimentos, en todos los niveles del conocimiento en la pirámide de Bacon de las ciencias. Además, considero que la *Historia vitae et mortis* comparte las mismas características, pero en un modo muy bien estructurado y organizado. Esta historia es sobre la manipulación de los apetitos de la materia neumática para consumir menos materia tangible y hacer a la última menos predatoria en relación con la primera al transformar fundamentalmente sus naturalezas simples.

En conclusión, no es sólo que las historias naturales Latinas y el *Sylva sylvarum* no puedan considerarse historias naturales de particulares, compiladas de acuerdo con el modelo teórico; ellas no permanecen tampoco al nivel de la física y la mecánica, aunque contienen algunos elementos que se consideran como específicos a estas ciencias, a saber, discusiones sobre formas de naturalezas simples y el diseño de nuevos experimentos en el que este conocimiento sea puesto en práctica. Esta práctica es la magia natural, tal y como Bacon desea reformar esta noble ciencia, capaz de llevar a cabo transformaciones profundas de la naturaleza.

5. Conclusión: la Casa de Salomón y la magia natural de Bacon

Hacia el final de su artículo, Dan Garber compara la estructura de la Casa de Salomón en la *Nueva Atlántida* con los experimentos del *Sylva sylvarum* y concluye que los miembros de la Casa de Salomón compilan algo similar al *Sylva*.⁴⁶ De hecho, el mismo argumento fue usado en mi disertación al explicar por qué la magia natural encuentra un lugar en la historia natural, o, en otras palabras, por qué es imposible establecer los límites entre los dos tipos de investigaciones y transformaciones de la naturaleza.⁴⁷ Los miembros de la Casa de Salomón reproducen el mismo tipo de actividad que Bacon empleó al compilar tanto el *Sylva* como la *Historia vitae et mortis*. Tomando información de historias naturales, libros de secretos, libros médicos, libros de magia natural, etc., y reorganizándola, testeándola, y teorizando a partir de ella, los miembros de la Casa de Salomón establecen las bases metafísicas de la investigación de la naturaleza. Además, verifican reglas y axiomas provisionales y crean todos los objetos y fenómenos sorprendentes que existen en Bensalem. De otro modo, ¿cómo podrían crear todas estas cosas mágicas dado que la filosofía natural no aparece como tal entre la actividad de la Casa de Salomón? Las fuentes en las que se basan son el tipo de historias naturales de particulares para cuya compilación Bacon da consejo. Las historias dejadas por él mismo son las historias naturales Latinas y el *Sylva sylvarum*, que pueden ser ulteriormente desarrolladas y usadas como modelos para la compilación de otras nuevas, que deberían cubrir toda la variedad de fenómenos y letras simples del alfabeto de la naturaleza.

⁴⁶ Garber, D., (2014): 100-102.

⁴⁷ Rusu, D.-C., (2013), 323-324.

Reseña: *Un cuento de siete científicos y una nueva filosofía de la ciencia*

Juan Carlos Patoco¹

Recibido: 2 de Octubre de 2017
Aceptado: 20 de Octubre de 2017

SCERRI ERIC

A Tale of Seven Scientists and a New Philosophy of Science. Oxford University Press, 2016. 264 páginas.

ISBN: 978-0190232993

Siendo continuación de un estudio anterior (*A Tale of Seven Elements*), encontramos en este trabajo un libro ameno y de ágil lectura. En él se reflejan no solo la genuina humildad que caracteriza al erudito, sino la curiosidad, que es el germen de la indagación filosófica.

Apto tanto para el lector diletante o desprevenido como para el estudioso experto, este texto posee múltiples niveles de complejidad que lo convierten en una lectura grata y edificante a la vez.

Se nos presenta al principio a un joven Eric Scerri, prematuramente interesado en la química y en la física, y marcado fuertemente, durante sus primeros años académicos, por la filosofía de Fritjof Capra y el panteísmo de Spinoza.

Poco después nos enteramos de cómo, en una etapa más madura, se distanció de las tendencias que predominaban en su contexto académico, sintetizando a continuación los diversos matices de su pensamiento que dieron lugar a una concepción evolutiva del desarrollo del conocimiento científico.

Llegamos así a esta historia atípica. En ella se nos presentan siete pensadores extraordinarios dejados de lado por los historiadores de la ciencia, personas cuyas ideas, a veces fragmentadas, graduales o azarosas, se hallan a “medio-camino” del cuerpo principal del conocimiento científico.

Al colocar a estos personajes en perspectiva, cabeza a cabeza con los gigantes de la versión oficial, Scerri resalta su importancia como eslabones fundamentales entre las ramas y sub-ramas evolutivas de la física y química atómicas de principios del siglo veinte.

Pero, contar la historia de cualquiera de estos actores, sin importar el lugar que ocupen, es, en cierta forma, contar la historia de toda la física atómica moderna.

¹ Universidad Nacional de Córdoba

✉ blzrwxy@gmail.com

Patoco, Juan Carlos (2017). Reseña: Un cuento de siete científicos y una nueva filosofía de la ciencia. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 2(1), 94-98. ISSN: 2525-1198



Así el autor nos embarca, simultáneamente, en un recorrido que nos lleva por los pasillos laterales al salón de la fama de este campo en particular. Asistimos de esta manera al encuentro de dos miradas diferentes que apuntaban a un mismo y singular objetivo: Expandir los límites del conocimiento y comprender su naturaleza.

Como consecuencia, este análisis tiene de epicentro los artículos que Niels Bohr publicó en conjunto en 1913, quien es considerado comúnmente como el primer físico en traer el cuanto al estudio del átomo. Este año fue un momento culminante de una historia que comienza en la antigua Grecia, atraviesa la edad media con los alquimistas, entrando de lleno en la revolución química de Lavoisier, hasta llegar a Mendeleev. A partir de allí podemos vincular estos personajes con la motivación que J. J. Thomson supo explicitar muy bien: el afán por comprender la tabla periódica a través de las similitudes entre las estructuras atómicas de los diferentes elementos. Este fue uno de los mayores objetivos de la física teórica de su tiempo ocupando la mente de hombres como J. Larmor; H. Nagaoka; J. Perrin, E. Rutherford, H. Moseley, W. Heisenberg, W. Pauli, P. Ehrenfest, A. Sommerfeld, M. Born, L. de Broglie, etc.; conservando, en la actualidad, toda su vigencia.

No obstante, a pesar de este relato minucioso, hallamos en Scerri a un iconoclasta, firme en su resolución de que “mientras más se desarrolla nuestro conocimiento científico, más se desarrolla nuestra insignificancia”. Scerri se presenta aquí como un espíritu que se podría ubicar más allá del post-modernismo y que se esfuerza por situar al hombre a la vanguardia del mundo actual, intentando descontracturar la imagen antropocéntrica de la realidad, de modo semejante a lo producido por el pensamiento de Copérnico, Galileo o Darwin.

Con esto en vista, Scerri critica la tendencia contemporánea a reducir la química a la física y a favorecer el trabajo de los físicos, ignorando la simbiosis que se suscitó con aquella, en lo relativo al estudio de la estructura atómica y afines. De esta forma, muchas de las contribuciones de los autores que Scerri analiza fueron universalmente ignoradas, principalmente por la predisposición de los historiadores a otorgarle todo el crédito a los físicos, ignorando el importante papel de personajes y científicos fronterizos.

Reaccionando frente a este olvido, Scerri señala que, aunque la visión de los químicos en muchos aspectos era ingenua, en la mayoría de los casos resultaba más adecuada. Ubica así a los químicos en una posición epistemológica privilegiada. Y aunque lo hace por diversas razones, no se puede evitar la sospecha de cierta ratificación del lugar especial de la disciplina que defiende. Así, por un lado Scerri señala que, si bien ambos campos (la física y la química) lidiaban con las mismas energías y entidades, los químicos, al no verse limitados a trabajar deductivamente a partir de principios generales, tenían una mirada más amplia. Por esta razón, los modelos propuestos por los químicos eran superiores. Por otra parte, los químicos tenían la ventaja de poder adoptar un enfoque semi-empírico, en franca interacción con la información proveniente del ámbito experimental. Además, no respondían a las limitaciones que imponía la academia, gozando del grado excepcional de libertad intelectual que se derivaba del hecho de trabajar en la periferia del cauce

principal de la ciencia. Por estas razones y otras más, estos *outsiders*, a pesar de su lugar secundario, lograron realizar contribuciones de clase mundial.

A continuación Scerri nos comenta que este prejuicio del que hablamos anteriormente está atado a una forma tradicional de mirar a la racionalidad como la panacea del método científico. En su análisis, Scerri sostiene que el enfoque de la racionalidad otorga un rol central al lenguaje y a la lógica pura, señalando que fue la tradición dominante durante mucho tiempo, y que actuó en detrimento de factores como la experimentación, la técnica, la intuición, el instinto, el azar, el trabajo especulativo y los apremios propios de los científicos. Para el autor, estos ámbitos, lejos de ser epistémicamente secundarios, son centrales.

Otra consecuencia de la omisión que esta mirada propicia, fue contemplar al proceso científico como una sucesión de saltos extraordinarios, de quiebres en los cuales los arquitectos de las sucesivas teorías toman el lugar de héroes o paladines. Del mismo modo que en una historia *whig*, de tinte individualista, encontramos vencedores y vencidos, personajes enfrentados en una carrera por adquirir una verdad externa, donde la tarea de lograr una mejor descripción de esta naturaleza trascendente está configurada por los egos, las personalidades, los premios y los galardones.

Contra poniéndose a esto, Scerri, discute con el primer Popper y niega la existencia de una verdad exterior a la dinámica científica misma. Para el autor, en la forma de ver el proceso científico, no hay ni arriba, ni abajo, ni correcto, ni incorrecto, ni ganadores, ni perdedores. Las enconadas y efusivas controversias, discusiones y disputas que, como Robert. K. Merton y Alan Gross señalan, responden a diversas razones y que manchan el immaculado tapiz de la filosofía analítica, son para el autor un aspecto positivo fundamental para el desarrollo de la ciencia. En muchos casos, incluso, aparentes errores conducen al progreso de un campo o del conocimiento general. Citando a Lakatos, el autor nos dice que si todas las teorías nacen refutadas, uno debe conceder que esto implica que, en ciencia, son las teorías incorrectas las que conducen regularmente al progreso.

Por estas mismas razones, el autor, toma distancia también del primer Kuhn. Aunque destaca las virtudes de su enfoque más naturalista y el mérito del giro histórico-sociológico que propició, Scerri rechaza de plano la noción de revolución abrupta, tratando de mostrar que este concepto podría ocultar el crecimiento esencialmente biológico de la ciencia.

Es preciso aclarar que el autor cita el trabajo de filósofos como Jouni-Matti Kuukkanen, Vincenzo Politi, Daniel Garber, James A. Marcum, Stefano Gattei y Nancy Nernessian, para contrastar a este Kuhn temprano con un Kuhn tardío, más moderado. Este Kuhn posterior, que ya no propone rupturas epistémicas súbitas, ni cambios gestálticos dramáticos, acepta una continuidad entre los periodos anteriores y los posteriores a la revolución. Bajo esta mirada, los cambios de “paradigma” son más mesurados, relegando las revoluciones a meros cambios taxonómicos. Tomando en cuenta este contraste, Scerri reconoce que no existe tanta diferencia entre su postura y el pensamiento de Kuhn. Más aún, cita a Brad Way, quien sostiene que Kuhn, es sus últimos trabajos, se abocó a desarrollar una

epistemología evolutiva. En esta etapa de su producción, Kuhn vio numerosas similitudes entre la evolución biológica y el cambio científico, llegando incluso a considerar la analogía evolutiva como “casi perfecta”. En todo caso Scerri considera, junto con Stephen Toulmin, que debe haber un substrato común al cambio, aunque no está dispuesto a comprometerse, como aquel, con la racionalidad crítica de este cambio.

Como resultado de lo anterior, Scerri propone, de manera independiente, comprender la ciencia de forma similar a como James Lovelock comprende el mundo: como una red interrelacionada que emula a un organismo vivo, unificado y singular; como un organismo que se enmascara en una multitud de personas que contribuyen aleatoriamente, mediante ensayo y error, al incremento gradual del conocimiento científico compartido. Y a pesar de que Scerri explícitamente renuncia a toda forma de teleología, por su forma de expresarse mediante palabras como progreso, incremento y crecimiento, no queda totalmente claro si efectivamente lo hace.

No obstante, bajo este enfoque, las ideas de los distintos actores pueden ser vistas como una especie biológica intermedia de corta duración. Algunas de éstas se perpetúan y otras simplemente se desvanecen, en una dinámica semejante a los procesos evolutivos que toman lugar en los organismos vivos. Solo las teorías aptas (experimental y explicativamente) son adoptadas eventualmente por el mundo científico.

La transformación de la ciencia procede así, desde dentro, por medio de pasos gradualmente ascendentes que se suceden casi imperceptiblemente de manera continua, como si fuera un proceso completamente natural. La ciencia al ser un producto humano está sujeta a la evolución biológica, como lo están los hombres en sus diferentes niveles, ya sea fisiológica o mentalmente.

Para demostrar esto, en su exposición Scerri desarrolla los aportes de siete científicos: John Nicholson, Anton Van den Broek, Richard Abegg, Charles Bury, John D. Main Smith, Edmund Stoner y Charles Janet.

Estos científicos, en su mayoría químicos o adeptos a la química, comparten, más allá de sus diferencias, el hecho de ser figuras marginales, históricamente relegadas, que constituyen eslabones perdidos de la física atómica. Situados en un período de transición entre la vieja física clásica y la nueva teoría cuántica, estas personas, pese a sus limitaciones, contribuyeron de manera esencial al progreso del conocimiento científico, funcionando como catalizadores que impulsaban la ciencia hacia adelante.

Para hacer el análisis que se propone, Scerri no tiene más remedio que examinar estas contribuciones desde el punto de vista individual. Sin embargo, lo hace con la convicción explícita de que la investigación científica progresa como una entidad social o como una empresa colectiva.

Muchos investigadores se han percatado anteriormente del carácter colectivo de la empresa científica. Entre ellos, tenemos a aquellos pertenecientes al “Programa Fuerte”, el programa de “Estudios Científicos”, a los representantes de la “Sociología de la Ciencia”, etc. No obstante, estudiar la ciencia como un todo no

es lo mismo que estudiar los factores sociales que determinan los descubrimientos científicos. Este es el punto en donde los objetivos del autor y los de la sociología del conocimiento científico se separan. Scerri prefiere, en su tarea, mantenerse alejado de cualquier análisis de corte antropológico o sociológico. Reconociendo, a lo sumo, una cierta familiaridad con la propuesta de David Lamb y Susan M. Easton, quienes señalaron que el ámbito de descubrimiento no es el producto de un actor individual aislado, sino que forma parte de una empresa colectiva en evolución.

En este sentido la historia que Scerri relata pareciera tener cierto sesgo de “interna” o intrínseca que es difícil de pasar por alto y que se revela en el afán de contemplar el desarrollo de la ciencia como un proceso que se da desde “dentro”, ajeno a cualquier verdad externa a la ciencia misma.

Sin ir más lejos, es por esta razón que el autor se mantiene apartado de la epistemología evolutiva de Donald T. Campbell, a quien tilda de constructivista social, relegando, quizás prematuramente, los aspectos más interesantes de sus aportes al ámbito de la biología.

Para terminar diremos que el autor propone analizar no solo cómo la evolución dirige el desarrollo biológico sino también, en última instancia, la forma incluso en la cual pensamos y hacemos teorías científicas y experimentos. El presupuesto básico, por debajo de esto, es que todo el conocimiento del mundo natural está en última instancia determinado por la biología evolucionista, postulando, tal vez intrínsecamente, la existencia de una continuidad entre ambas dimensiones.

La lucha para acabar con las fuerzas tradicionales en la filosofía de la ciencia está, para el autor, lejos de terminar. Quizás éste sea uno de los principales motivos para considerar a la historia de la filosofía de la química como un campo autónomo y para sostener un enfoque radical. A pesar de esto no se debe perder de vista que la empresa científica constituye, con toda su diversidad, una unidad.