

Crítica de la representación de la naturaleza en la física contemporánea. Relación con las ciencias humanísticas

Maria Teresa Casas de Peralta*

Resumen

La dureza de las hipótesis de las ciencias físicas, así como la imagen de la naturaleza que de ellas se desprende sin duda han provocado una alienación conflictiva entre las ciencias humanísticas y las ciencias fácticas o físico-matemáticas. El crecimiento de las demandas de satisfacción material para sustentar un mundo muy poblado, es decir, requerimientos de eficiencia tecnológica en la conversión energética para producción, distribución y consumo, sumado a las nuevas demandas de conservación de los recursos y ambiente necesarios para esa sustentación, es decir, requerimientos de eficiencia tecnológica en la no-degradación y reconversión energética, manifiesta una dualidad conflictiva.

Las dos exigencias de eficiencia ya no pueden ser independientes, y no solo están complejamente acopladas entre sí, lo están a condicionamientos geográficos, zoológicos, sociales, económicos, políticos y culturales. Una política que maneje inadecuadamente estos problemas fracasa en lo inmediato y si la cultura los ignora, estará condenada no solo a fracasar sino a aumentarlos; el voluntarismo cultural o político alerta, como lo ha hecho en algunas ocasiones, no todas, sobre necesidades no cubiertas o situaciones y consecuencias catastróficas, pero se necesitará algo más que voluntarismo y buenas intenciones, y es conocimiento técnico del problema y, sobre todo, lucidez acerca de sus limitantes y de las consecuencias de su no-solución.

Esta complejidad interdisciplinaria sin precedentes obliga a conjeturar que la solución será global necesariamente y que no habrá soluciones parciales, porque la dimensión de exigencias tan acuciantes plantea un problema global.

La solución no podrá darla ni la comunidad de las ciencias físicas aislada, ni la comunidad de las ciencias humanísticas. Será imprescindible que se entiendan mutuamente los métodos, hipótesis de trabajo, postulados, naturaleza de sus teorías y condiciones de contorno de sus problemas específicos, para abordar en común el problema común.

Es con este propósito que escribo estas líneas, a fin de tender un puente hacia ese entendimiento; seguramente será insuficiente e incompleto, pero creo salvable plantearlo.

Palabras clave: objetividad – invariancia – legalidad – matematización – computabilidad – actividad mental

* Licenciada en Física, Universidad Nacional de Buenos Aires, 1963; Maestría en Ciencias, Universidad de Colorado, Estados Unidos, 1968; Profesora titular, Departamento de Física y Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

El nacimiento de la Física contemporánea occidental se ubica en el Renacimiento italiano, con Galileo Galilei; crece y se expande con Newton, Descartes, Maxwell, Einstein, Heisenberg, entre muchos otros nombres arquetípicos de la herencia intelectual y material del universo tecnológico de nuestros días, todo un sustrato cultural científico fundado en tres hipótesis y un método de trabajo, que se discutirán brevemente aquí: a) el principio de objetividad de la Naturaleza, b) un universo legal, c) la legitimización de la representación simbólica cuantitativa o matematización de la materia y d) el lenguaje operativo y algorítmico.

De esto se desprende una imagen de la naturaleza que ha provocado una alienación entre las ciencias humanísticas y las ciencias fácticas o físico-matemáticas. El desarrollo del espíritu científico fáctico ha encontrado siempre muchas dificultades (véanse referencias [1.a] y [1.b]); Bachelard ya se refiere en 1948 a lo apropiado de un cierto psicoanálisis de este desarrollo, y más tarde, en *Le matérialisme rationnel* (1953), advierte que la imaginación está reconocida en el psicoanálisis no sólo como una fuerza terapéutica de la neurosis sino que *puede ayudar a curarnos de nuestras imágenes o ayudarnos a limitar su poder sobre nosotros*, o sea, ser una fuerza de resistencia a la dominación total. En el fondo esto es un problema de índole psicosocial.

La alienación mencionada es conflictiva, y no sin ciertas razones. Es que simultáneamente a la amarga crítica y recelo que despierta la física, en gran medida la organización y funcionamiento de la civilización en la que vivimos se basa en sus resultados: el enorme y sostenido aumento de la población mundial y las posibilidades de sustentarla hasta ahora, se dan, cronológica y casuísticamente, a partir del despliegue del conocimiento científico occidental moderno y su producto, una tecnología física de eficiencia sin precedentes en todas las áreas vitales. Es conflictivo sostener un mundo de ideas que rechazan y se alienan de aquello mismo que se consume, usa e incluso reclama. Las demandas para sustentar un mundo muy poblado crecen, son condiciones de eficiencia tecnológica en la conversión energética, distribución y consumo, y se agregan ahora las nuevas reclamaciones de conservación de los recursos y ambiente necesarios para esa sustentación, es decir, condiciones de eficiencia tecnológica en la no-degradación del ambiente y la reconversión energética.

Las dos eficiencias ya no pueden ser independientes; están complejamente acopladas entre sí, y también a condicionamientos geográficos, zoológicos, sociales, económicos, políticos y culturales. La política que maneje inadecuadamente estos problemas fracasará y la cultura que los ignore o los desprecie está condenada no solo a fracasar sino a aumen-

tarlos; el voluntarismo cultural y político puede tener buenas intenciones, quizá, pero la renovación de pautas culturales y de decisiones políticas que se necesitarán requerirá algo más que eso, y es conocimiento abarcador del problema, de sus condiciones de borde y de las consecuencias futuras si no se resuelve. Su complejidad interdisciplinaria sin precedentes obliga a conjeturar que la solución será necesariamente global y que no habrá soluciones parciales. Esto es en realidad parte del fenómeno emergente llamado “globalización”: la dimensión de exigencias tan numerosas, diversas y acuciantes plantea un problema global.

1.1 Ciencias exactas

Antes de comentar sus hipótesis principales, veamos la denominación de ciencia *exacta* que recibe la física, un tanto mistificadora de los verdaderos alcances del entendimiento del mundo material que produce la práctica de esta ciencia.

En todo curso introductorio de física experimental se imparte la teoría de los errores aleatorios: toda operación de medición está afectada de un error de medición. En ambos casos, clásico o cuántico en cualquiera de sus interpretaciones, los errores de medición son ineludibles y están relacionados al instrumental, que siempre tiene alguna componente macroscópica, o sea clásica.

La física clásica supone una minimización de los errores de medición hasta el orden que se desee, pero el adjetivo *exacta* no se refiere a la exactitud o inexactitud de laboratorio; una ciencia no se reduce a sus mediciones. A pesar de esta denominación, existe una ausencia de exactitud en la representación de la realidad, o más precisamente, existe un muy condicionado interés por una representación de la realidad. La física contemporánea, así como lo hicieron la anterior y la antigua, propone modelos teóricos de porciones del mundo material, y en particular, propone modelos teóricos explicativos con los que es posible entender a veces, y prever y controlar en cierta medida, la evolución de porciones del universo material; su extraordinario éxito está testimoniado por el enorme despliegue tecnológico actual. El punto a enfatizar acá es que la pauta generalizada para la aceptación institucional de un modelo en la física y en la ciencia fáctica es la misma que para el éxito en la tecnología: control, dominio y uso, performatividad y aprovechamiento del mundo material.

La exactitud o verdad práctica se halla en la correspondencia de los modelos con principios comunes, y esta categoría de verdad práctica la hallamos en la física contemporánea. A pesar de esto, si un modelo co-

respondiente con principios comunes no lo es con el deseo y voluntad de control, es abandonado e ingresa al menos transitoriamente en el cuerpo de la Historia de la Ciencia (por ejemplo, la teoría ondulatoria de Huygens). Institucionalmente se aceptan y admiten sólo aquellos modelos teóricos correspondientes con principios comunes que tienen *además* correspondencia con, y satisfacen, el deseo de control o dominación. Una excepción quizá sea parte de la astrofísica y las teorías cosmológicas.

La física ha seguido una trayectoria utilitaria en conformidad con esta ideología inicial, con cierta raíz baconiana, no obstante su racionalidad específica y a pesar de las características psicológicas especulativas y de la búsqueda de la “realización aristotélica”, satisfacción de la curiosidad, presente en algunos científicos. Es decir, es utilitario su programa oficial habilitado. Es cierto que no es utilitaria la estructura de las teorías fundamentales; en efecto, no es la petición de performatividad lo que está incorporado en la estructura de la teoría, sino la exigencia de verificabilidad. A pesar de ello la investigación en fundamentos de las teorías físicas no goza de gran popularidad, y mucho menos aquella que rechaza el operacionalismo a ultranza como fuente interpretativa y criterio de aceptación. Pocas veces la investigación en fundamentos se realiza en departamentos de física; en general, los físicos que lo hacen, se mudan.

El hecho de que modelos teóricos apartados, o no completamente aceptados, sean rescatados al cabo de un tiempo debido a su ulterior desarrollo y aplicaciones, no hace más que confirmar lo expresado. El mismo ejemplo mencionado, la teoría ondulatoria de la luz del siglo XVII, fue olvidado inicialmente. Es cierto que comenzó a recuperar vigencia en la primera mitad del siglo XIX con las experiencias de Young y Fresnel sobre interferencia y difracción, las cuales revitalizaron la noción de onda para dar una explicación a los resultados observados, pero todavía no fue suficiente para descubrir la estructura del campo ELM y la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío, que constituyó en ese momento el resultado útil y pragmático, y la repercusión no fue tan grande como la que tuvo la teoría después de 1860.

A nuestro entender es sólo después de la teoría electromagnética de Maxwell, con la introducción de la corriente de desplazamiento, circa 1860, incorporando el concepto de campo ondulatorio viajero con consecuencias prácticas tecnológicas exitosas (producción de ondas ELM y su desplazamiento en el vacío, identificación de la velocidad de la luz con la de propagación de ondas ELM, etc.), que el modelo ondulatorio de la luz fue considerado definitivamente.

Como nota no menor, el término de la corriente de desplazamiento en las ecuaciones, agregado por Maxwell, fue medido en forma directa 60

años después en laboratorio, en 1929, por M. R. Cauweberghe, cuando las técnicas de vacío lo permitieron (véase ref. [7]). De manera que la teoría permaneció más de medio siglo sin verificación experimental. Durante todo ese tiempo, dicho término en las ecuaciones no se comprobó experimentalmente, pero se aceptó el sistema de ecuaciones (y la teoría ondulatoria del electromagnetismo y de la luz) dados sus rendimientos tecnológicos.

De manera que el criterio preponderante y final a la hora de aceptación unánime de las teorías es el éxito en la *performance*, no la exactitud de sus descripciones y representaciones. El desarrollo se orienta según una idea inicial, corporizada en un objetivo más o menos manifiesto a veces, oculto otras: conocer y, por sobre todo, dominar la materia. Esta es una fuerte corriente de la ciencia contemporánea y, al menos, un propósito rector en su programa actual: *performance*, dominio de materia y energía.

Esto es algo distinto de representación, y muy distinto de representación exacta: la vocación de control y uso es diferente a la de representación y entendimiento, y aparentemente la mediatiza. Sin embargo, aun para construir una infraestructura científica en aquel sentido exitosa, representación y entendimiento son necesarios para que el control y uso se alcancen, no a la inversa. Al menos, en el grado de complejidad que la tecnología afrontará.

2. Comentarios sobre a), b), c), y d) de § 1.¹

2. 1 Principio de objetividad

2.1.1 Contradicción con la biología

La observación, la experimentación, la razón y la lógica estaban ya presentes en la ciencia griega y en la medieval (estas consideraciones se reducen a la ciencia occidental). Pero la interpretación en términos exclusivamente objetivos y excluyentes de causas últimas o de “proyecto” natural, es el punto de divergencia con la ciencia antigua y el punto de partida de la ciencia occidental contemporánea, que finalmente se instala en Europa durante el Renacimiento. Como hipótesis de trabajo, esta ciencia no acude a suponer teleonomía, o sea –a entender de esta autora–, pro-

¹ a) El principio de objetividad de la Naturaleza, b) un universo legal, c) la legitimización de la representación simbólica cuantitativa o matematización de la materia y d) el lenguaje operativo y algorítmico.

yecto en la naturaleza, sino la invariancia de su norma. Este postulado de objetividad es toda una concepción, una imagen general de la naturaleza que requiere una toma consciente de distancia, y es el único que se plantea la ciencia física occidental como puro e inmovible hasta hoy. Por supuesto es indemostrable, como todo principio. También es sumamente incómodo y austero, como se comprueba cuando se advierte la diversidad de escuelas filosóficas que expresan la aspiración de no contingencia, de ser algo previsto, planeado, proyectado, deseado, perteneciente y necesario.

Aparentemente existe una contradicción epistemológica entre este postulado y el carácter proyectivo de la biología, dado que la observación permite reconocer estructuras y funciones en la biosfera que construyen y persiguen un proyecto. En la física no se ha hallado tal contradicción, pero sí en la biología.

Ya Monod señala (véase ref. [12]) que toda concepción o imagen de la naturaleza implica una solución a esta contradicción: *de comprobarse irrefutablemente que la propiedad teleonómica es anterior a la propiedad de invariancia en la biosfera, el principio de objetividad tendría que ser abandonado como tal*, quedando quizá con el rol residual de una hipótesis de trabajo en otras áreas científicas limitadas, y perdiendo la categoría de principio natural que la ciencia física le adjudicó durante siglos. La propiedad teleonómica fundamental a la que se refiere Monod es el proyecto de conservar invariante la norma de la especie. Monod insiste en que ambas propiedades, la teleonomía y la invariancia de la norma, están hasta químicamente diferenciadas, y el problema es descubrir o distinguir cuál de ambas es prioritaria.

2.1.2 Invariancia y covariancia en la física

Hasta hace poco se esperaba, a lo sumo, que el dilema tendría que ser resuelto en el campo de la biología molecular y/o de la neurobiología. No es imposible, pero es difícil que la física pueda resolver esta contradicción, puesto que la “búsqueda de los invariantes y simetrías” ha sido y es todavía su estrategia principal. ¿Que tiene que ver esto último con la objetividad? Lo siguiente: a toda ley física general, a todo desarrollo físico-matemático, se le requiere en primera instancia cumplir con relaciones de covariancia o simetría en algún tipo de sistemas referenciales físicos; esa es la norma, ley de leyes o metalenguaje en ciencias naturales físicas. Además, las cantidades físicas y constantes fundamentales deben cumplir relaciones de invariancia; los postulados físicos son de conserva-

ción de invariantes: de la carga eléctrica, de la energía, del momento lineal, del momento angular, de la entropía, y de cosas más raras aun en el mundo atómico, como la paridad, la simetría, etc., que son propiedades (interpretadas) de funciones matemáticas, soluciones de ciertas ecuaciones diferenciales que describen totalmente al sistema y sus interacciones *sin incluir al observador*, y que sintetizan nuestro conocimiento del sistema. Se especifica el cambio (o las probabilidades de cambio) en términos de lo que no cambia: a) las ecuaciones dinámicas clásicas surgen de plantear la conservación invariante de la energía, momento lineal y momento angular; b) la evolución o la dinámica de los sistemas cuánticos o las probabilidades de sus evoluciones posibles (escuela indeterminista) o sus probabilidades objetivas, primarias e irreducibles (escuela determinista) también se estudian a partir de principios de conservación. Siempre se le exige a los algoritmos ser compatibles con los principios de covariancia, invariancia y simetría. Inversamente, para expresar invariancia, covariancia y simetría se precisan algoritmos. El cerrojo es doble.

El postulado de objetividad de la naturaleza se introduce en la teoría cuando ésta exige la covariancia como principal y primera condición estructural, como metalenguaje o ley de leyes. La covariancia expresa *la objetividad y universalidad de la ley y la replicación de su forma* no puede expresar ni descubrir proyecto anterior. La exigencia de covariancia es la continuidad formal del principio epistemológico. Sostenerla es sostener, implícitamente, el principio de objetividad.

Con este abordaje de exigir covariancia e invariantes desde el vamos, la ciencia física es objetivista por construcción, y está limitada a estudiar sistemas objetivos.

2.1.3 ¿Necesidad lógica de la invariancia?

Invariancias, conservaciones, simetrías, ¿son sustitutos ficticios de la realidad, “operables” y por lo tanto accesibles a una lógica basada en un principio de identidad? La pregunta tiene sentido en el ámbito de la física clásica, porque en él el principio de identidad no es un postulado físico, y entonces puede surgir la duda en cuanto a la autenticidad del método y de la estrategia, que es representar la realidad por operadores y ecuaciones covariantes. En física clásica un operador lógico es sólo eso, operador, no se supone que sustituya a la realidad, puesto que su interpretación no es única: una misma teoría formal puede, con distintos postulados interpretativos o contenidos semánticos, dar lugar a distintas teorías físicas. Una ecuación física no es una identidad, es una instrucción de medición y ope-

raciones. Por ejemplo, las ecuaciones dinámicas clásicas para un oscilador son formalmente iguales para un resorte de metal un poco estirado o comprimido que para un péndulo algo apartado de la vertical, o que, en una primera aproximación clásica, para los iones y los núcleos atómicos en la red de un cristal o de un metal. No es necesario preguntarse acerca de la autenticidad de los operadores, pero se adopta el formalismo por su funcionalidad. El formalismo es un reglamento exitoso.

En cambio, en la física cuántica la identidad absoluta de dos átomos en un mismo estado cuántico, representados por idénticas soluciones de dos funciones de onda idénticas, es un postulado fundamental, enunciado en el principio de exclusión de Pauli: no caben dos o más interpretaciones diferentes. El principio de identidad en el ámbito cuántico no es reglamentario, es un principio físico, y el operador expresa la realidad accesible. Esta incómoda situación condujo a algunos a adoptar la filosofía positivista antiteórica y empirista, y a rechazar el principio de exclusión de Pauli y reclamar la necesidad y relevancia de la investigación en fundamentos semánticos en la física cuántica (véase ref. [2]).

2.1.4 Nuevas conjeturas en la investigación física

Interesa destacar que, en todos los casos, la imposición de covariancia formal y la búsqueda de las cantidades invariantes ha sido hasta hace poco el plan estratégico en la investigación teórica en física. Hasta hace poco, pues ya existe en curso una seria búsqueda de física no algorítmica, que excluya de sus recursos ecuaciones y formalismos lógicos y computables (véanse referencias [13] y [14]). Sin formalismos matemáticos algorítmicos es difícil visualizar cómo se exigirá covariancia e invariancia, o lo que es equivalente, objetividad, en las leyes que se logren descubrir y enunciar. La investigación de Penrose (véanse referencias [13] y [14]) podría conducir a una revisión del principio epistemológico de la objetividad de la Naturaleza o por lo menos a su nueva discusión.

2.1.5 Física exclusivamente algorítmica

Atendiendo sólo a aquella parte del universo que la física encara con sus métodos exclusivamente computables, podemos decir que la propiedad de covariancia de las ecuaciones —esto es, replicación de la forma de las ecuaciones bajo ciertas transformaciones de las coordenadas físicas—, y la condición de invariancia de algunas propiedades, —esto es, replicación

de su magnitud bajo ciertas transformaciones de coordenadas físicas—permitieron plantear teorías verificables, resolver problemas y generar tecnologías. Por ejemplo, las transformaciones de Lorentz, relativistas, conservan la forma de las ecuaciones electromagnéticas y el valor de la velocidad de la luz, constancia postulada por Einstein y confirmada experimentalmente después.

No se busca la teleonomía de los sistemas que se estudian o, para clarificar el contenido que acá le damos a la noción de teleonomía, no se busca proyecto propio e intrínseco de los sistemas que se estudian; por el contrario, la ciencia física entrega la forma de imponer una teleonomía artificial, o un proyecto y/o funciones artificiales a sistemas complejos y ser una exitosa fuente de tecnología.

Se llega a un punto de dificultad casi insuperable para resolver la contradicción epistemológica mencionada entre su campo y el de la biología. También éste es el punto de donde parten muchas de las críticas éticas a la ciencia, porque existe la posibilidad técnica de superponer teleonomía controversial (o proyecto, o propósitos, o condicionantes) a algunos sistemas biológicos. Superponer, puesto que es manifiesto que los sistemas biológicos exhiben teleonomía propia, compleja y tenaz.

2.1.6 Desde la biología, ¿qué queda del postulado de objetividad de la Naturaleza?

En primer lugar, ya no se pretende la objetividad de la *ciencia*, o sea, en última instancia, del *conocimiento*, tal como lo planteó el positivismo lógico del siglo XX con su empirismo excluyente, sino que se postula la objetividad de la *naturaleza* accesible, al describirla enunciando algorítmicamente (es decir con procedimientos computables) leyes objetivas (covariantes).

Que el observador se declarara a sí mismo y a su observación libre de subjetividad e interpretación fue algo. Que declare no poder descubrir en las leyes naturales ni un proyecto ni una necesidad de que el universo sea tal como éstas lo describen, es algo bien distinto, y es el contenido actual no positivista del principio. Monod se dio cuenta de la especificidad de este contenido; el postulado actualmente se entiende de la siguiente manera: de una teoría general no se pueden deducir como necesarios a los seres vivos su estructura y su evolución (véase ref. [12]). Y esta situación es más incómoda aún que la anterior.

Una teoría general física y su estructura hipotético-deductiva contienen un cuerpo axiomático que presupone a la lógica formal y a algunas

teorías matemáticas básicas, primera entre ellas la teoría de conjuntos, que es de base intuitiva (véase ref. [2]), propiedades de covariancia (propiedad de las ecuaciones) e invariancia (propiedad de algunas magnitudes físicas) satisfechas por el formalismo lógico-matemático, un cuerpo de postulados semánticos interpretativos, deducción, y finalmente verificabilidad, esto es, posibilidad ideal de comprobación experimental de los efectos, seres, objetos, procesos o hechos deducibles. Si la comprobación es negativa, la teoría se deshecha, aunque tenga la estructura lógico-formal y el contenido semántico requeridos. Pero incluso una teoría verificada por la experiencia es aceptada siempre con carácter transitorio: los científicos aprendieron a ser cautelosos. Una teoría general con esta estructura y algunas condiciones iniciales podría hacer previsiones estadísticas sobre clases de objetos, seres vivos y acontecimientos, pero no puede prever la *necesidad* de la existencia de ninguno de ellos en particular. Cualquier configuración, elemento, objeto, ser o acontecimiento podría a lo sumo ser compatible con la teoría. Pero su observación no nos indica a través de la teoría su necesidad. Una teoría con esta estructura sólo puede explicarlos, incluidos los fenómenos de la biosfera (véase ref. [12]).

2.1.7 Filosofía científica y otras escuelas filosóficas

Ese es el dilema entre la actual filosofía científica, basada en este postulado que enuncia nuestra contingencia y la del resto del universo, expresado en la requisitoria de covariancia e invariancia, con aquellas escuelas filosóficas que como punto de partida enuncian la necesidad e inevitabilidad del hombre y del universo como proyecto de una causa primera.

El enunciado de la necesidad y no contingencia del hombre y del universo en su totalidad es tan indemostrable como el principio de objetividad, y contradictorio con él.

Si se aceptan una causa y/o un proyecto primero o anterior, el postulado de objetividad queda como una hipótesis de trabajo útil y quizá inevitable en el desarrollo de cierta clase de conocimiento humano, pero epistemológicamente subalterna, y se maneja con esa limitación operacionalista de significado. Al darle una significación operacionalista al principio de objetividad (es decir, si se le rebaja el estatus desde principio natural a método de trabajo), el postulado de contingencia puede adquirir prioridad.

Inversamente, puede dársele significación sólo psicológico-afectiva al principio de contingencia, en cuyo caso es la objetividad la que puede quedar como primer principio natural, rector en la investigación científica.

La ausencia de solución al dilema mencionado no plantea problemas técnicos a nivel de investigación en física, siempre y cuando ciertos interrogantes no salten a la superficie, interrogantes que durante mucho tiempo la ciencia física apartó de sus competencias. La física muy cuidadosamente se desentendió durante 500 años de toda la fenomenología de la actividad mental: la conciencia en sí, cualquiera fuere su calidad o cualidad y actividad específicas (nociones estéticas, éticas, sensaciones, pasiones, emociones, intuición, pensamiento racional, irracional, consciente, inconsciente), no fueron (ni son todavía) expresables dentro de su lenguaje, menos aún tuvieron cabida o expresión en sus teorías generales.

2.1.8 Problemas éticos prácticos

La ausencia de solución al dilema sí plantea en cambio problemas éticos prácticos. Si se acepta la existencia de un proyecto primero, se fundamenta el código moral, el esquema de valores, las leyes de conducta individual y las del cuerpo social, en una filosofía proyectiva o animista, o en elaboraciones *aggiornadas* pero basadas finalmente en la aceptación de ese “proyecto natural legal”, algún tipo de “teleología”, del cual el hombre es parte significativa; lo civil seguirá teniendo esta última fundamentación, es el mandato del proyecto. En el concepto de propiedad teleonómica fundamental conjeturado por Monod (véase ref. [12]) —si es que la interpretación que acá le damos es la correcta—, la naturaleza adjudica a la conservación de la especie un rol prioritario, y esto es, ni más ni menos, a la conservación de la vida. Una discusión aparentemente académica y casi bizantina se presenta así como una discusión políticamente relevante.

Por el otro lado, ¿por qué obedecería a algún cuadro de valores y de conducta el hombre que acepta a pie juntillas la objetividad de la Naturaleza y la ausencia absoluta de todo proyecto natural como postulado básico y no simplemente como hipótesis de trabajo? No quedarían en este caso obligaciones éticas externas a las autoimpuestas, o dependerían de la coacción social y de su internalización por los individuos (adaptación), pero a la larga no tendrían fundamentación. Ninguna obligación ética surgiría como imperativo o categoría universal ni global, todas serían variables arbitrarias y relajables. En tal marco, sustraerse a una posición moral cínica es un esfuerzo cotidiano agotador.

Este problema ético práctico no está resuelto. Pero las preocupaciones ecológicas y globales lo intensificarán. Para el futuro próximo, el éxito científico-tecnológico-social no consistirá solamente en el control,

dominio y uso, performatividad y aprovechamiento del mundo material, sino en todo eso más la satisfacción de fuertes condiciones de borde: su pacificación, conservación y resguardo. La representación y el entendimiento serán más relevantes que hasta ahora, pues el problema será simultáneamente mucho más complejo, más difícil, y más necesaria la solución viable.

2.2 Universo legal

La ciencia occidental moderna supone la legalidad no interrumpida de los procesos físicos. En otras palabras, el comportamiento de la naturaleza no es caprichoso. Alguna negación de esto figura subrepticamente en la interpretación indeterminista de la física cuántica (Copenhague), y esto es fuertemente criticado desde la escuela determinista, explícitamente sostenedora de la causalidad y legalidad de los fenómenos físicos, tanto clásicos como cuánticos.

2.3 Representación simbólica y matematización

En la física, otra herramienta de trabajo es la representación simbólica cuantitativa, la cuantificación de las magnitudes físicas y la matematización de las teorías. La física progresó más temprano y más rápido que otras ciencias debido a la matematización de su lenguaje, que trata al mundo material mediante métodos computables. Cuando dejó de interesarse en las cualidades del mundo material y volcó su atención en la medición de sus propiedades (el programa de Galileo), en las cantidades que de éstas surgían, y en sus variaciones e interrelaciones dinámicas o procesos, allí y entonces comenzó a conceptualizar en términos del lenguaje matemático: se buscó un aparato analítico para simbolizar y operar con los nuevos contenidos semánticos físicos, que son propiedades, no esencias. No obstante, la prueba dejó de ser dada por la argumentación lógico-matemática y pasó a ser exigida de, y provista por, la argumentación experimental controlada.

Esta conceptualización y tratamiento matematizado de las entidades semánticas, la búsqueda de teorías que abarquen procesos, la exigencia de la prueba experimental y la adopción del principio de objetividad, constituyeron en ese momento un verdadero cambio de metalenguaje. Se agregó a la conciencia de los fenómenos por medio de la percepción (nueva semántica), la conciencia de los fenómenos mediante

la abstracción y el razonamiento lógico-analítico (nuevo formalismo) y la suposición de la legalidad no interrumpida de los procesos físicos (universo legal).

La representación de las propiedades de la materia mediante variables matematizadas, y la búsqueda y representación de sus variaciones, relaciones y procesos mediante algoritmos lógico-analíticos y diferenciales con la inclusión de la variable tiempo, fue un paso audaz trascendente. Nada garantizaba ni garantiza que esta matematización rindiese resultados exitosos. Fue así hasta ahora, en muchos campos, pero ya no nos sorprendemos y llamamos a la física ciencia exacta. Llamarla así conduce a que a veces se la identifique erróneamente con una ciencia formal. No lo es, y esto no es una disputa sobre denominaciones o rótulos. Al identificarla con una ciencia formal se deja de lado el problema semántico de las entidades físicas, al cual hay que aproximarse en primera instancia heurísticamente –sobre todo en la enseñanza–, y que es el verdadero problema físico, no resuelto en forma cerrada casi nunca (véase ref. [2]). Muy en particular, la escolaridad temprana en física se resiente con un tratamiento inicial formal, axiomático, abortivo de la intuición. Esta no es una consecuencia menor, y está abordada en las referencias [3] a [6].

Es indiscutible que la física, al inventar el método operativo y partir de la objetividad, fue una ciencia mundanamente exitosa e inauguró una filosofía única y distinta. Pero dejó al sistema nervioso central cuidadosamente fuera de su campo de estudio.

2.3.1 Nueva búsqueda de física no algorítmica

La física había apartado de sus competencias toda la fenomenología de la actividad de la mente. Hasta hace poco, el tratamiento de los fenómenos de la conciencia fue considerarlos o como no físicos (posición mística, a veces refugio emocional, otras, intelectual), o como computables pero sólo temporariamente inabordables por métodos algorítmicos debido a su inmensa complejidad y a las insuficientes posibilidades técnicas existentes (posición de la inteligencia artificial, IA). En realidad, durante años se consideró no profesionalmente serio para un físico aventurarse a declarar sus preocupaciones en ese ámbito.

Pero en Oxford, desde hace algunos años, Roger Penrose (Rouse Ball Professor of Mathematics, 1988 Wolf Prize de Física, 1975 medalla Eddington de la Real Sociedad Astronómica de Londres, 1971 premio Dannie Heineman de la Sociedad Norteamericana de Física y el Instituto Norteamericano de Física, 1967 premio Adams de la Universidad de Cam-

bridge) está intensamente preocupado en los fenómenos de la conciencia y propone búsquedas e interpretaciones nuevas sobre ese campo hasta ahora inescrutable desde la física. Anterior a Penrose, y uno de sus referentes, es el filósofo de Cambridge, J. Lucas (1961).

Las principales hipótesis de Penrose son: a) la naturaleza física de los fenómenos de la conciencia y b) la no computabilidad de la actividad mental, como corolario del metateorema de Kurt Gödel. Este teorema fue presentado por primera vez en Viena en 1930, publicado al año siguiente como “Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme”, en la revista *Monatshefte für Mathematik und Physik* (vol. 38, pp. 173-198), en Leipzig, 1931, y mucho más tarde redescubierto en una reunión de la Edinburgh Philosophy of Science Group en 1959, que inmediatamente comisionó su primera versión en idioma inglés: *On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems*. Esta traducción, con prefacio de B. Meltzer, lleva una introducción explicatoria de R. B. Braithwaite (Knightbridge Professor of Moral Philosophy, Cambridge). La primera edición de Dover, inalterada, es de 1992 (véanse referencias [13], [14] y [10]).

Es así como un importante referente en la comunidad científica, el profesor Penrose, se centra en la búsqueda de una física no algorítmica, y busca respuestas o sugerencias en la filosofía platónica original y su tratamiento de categorías y arquetipos, por primera vez en por lo menos 550 años. Es una aventura larga y difícil, controvertida y atacada por muchos flancos desde la matemática lógica y desde el optimismo de las Ciencias de la Computación.

2.4 Lenguaje operativo y algorítmico

El científico, como tal, trata con regularidades cuantificadas, no con acontecimientos únicos y diversos unos de otros. Extrae conocimiento a partir de fenómenos que se repiten, no de fenómenos únicos. Su lenguaje simbólico ha sido y es todavía exclusivamente el de la lógica formal, las variables mudas, el cálculo de entidades con identidad y el del análisis matemático, y su lenguaje profesional es el operativo y algorítmico, herramienta de trabajo mencionada en el § 1.

Este lenguaje operativo, que rápidamente se convirtió en un medio para imponer teleonomía artificial a algunos sistemas, con técnicas de base científica o tecnologías, pero que no resuelve, ni siquiera aborda, los problemas semánticos y a veces los posterga y hasta obstaculiza, ha per-

mitido el desarrollo prodigioso de bienes y riquezas de la actual civilización científico-tecnológica. No puede negarse que las ciencias físicas han producido muchos resultados concretos y socialmente aceptados, algunos a partir de la elaboración de sus cuerpos teóricos y de este particular lenguaje y aparato analítico excluyente de todo significado subjetivo, metafísico, sustantivo o cualitativo.

Sin embargo, el lenguaje operativo, que no deja lugar a lo inefable, puede ser también una traba para el desarrollo del pensamiento categórico, si se lo impone en etapas tempranas del crecimiento de la persona, cuando el desarrollo epigenético del cerebro no está completado, o sea hasta el término de la pubertad. El problema se discute en las referencias [3] a [6].

Es el simbolismo operativo –y no la ciencia física, que es una ciencia natural– mal entendido, usado prematuramente en el ciclo educativo y abusado en otras áreas no científicas ni tecnológicas, el que coadyuva a un vaciamiento semántico del lenguaje, que entre otras cosas se torna irreflexivo, y al consiguiente empobrecimiento del pensamiento. Marcus se ya escribió sobre este fenómeno hace años (véase ref. [11]), y menciona allí los comentarios de Bridgman sobre la lógica de la física moderna.

3. Comparaciones con las ciencias humanas

¿Cómo intervienen, si intervienen, estas hipótesis de trabajo de las ciencias físicas, en las ciencias humanas?, ¿o qué las sustituye?

3.1 Principio de objetividad

En primer lugar, el principio de objetividad de la naturaleza es por supuesto centro de atención y discusión entre físicos, deterministas e indeterministas, y filósofos y sus diversas escuelas. Pero en las ciencias humanas y/o sociales el principio de objetividad no es materia de mucha reflexión, al menos, pública. No se ve nada que se parezca mucho a una exigencia de covariancia e invariancia en las ciencias sociales; por el contrario, la multiplicidad y particularidad de las expresiones culturales históricas se consideran generalmente en un entorno hipotético opuesto a la noción de objetividad y de universalidad de las leyes a la replicación de sus formas. Si sus cuerpos teóricos tienen en cuenta algún invariante, queda a la ciencia social explicitarlo.

3.2 Universo legal

Por supuesto que en las ciencias sociales lo mágico y lo caprichoso está apartado de sus consideraciones teóricas, salvo el estudio de sistemas de creencias, tomados como hechos, datos objetivos. Sin embargo, habría que explicitar si en las ciencias sociales la legalidad que rige el desarrollo de las sociedades tiene la característica de “universal”, es decir si es una legalidad objetiva, o si está más bien ligada a propiedades culturales o regionales particulares, es decir si reviste carácter de legitimidad subjetiva.

3.3 Representación simbólica cuantitativa y lenguaje algorítmico

Existen grandes diferencias con sus formalismos, herramientas y lenguaje simbólico. El grado de matematización del aparato analítico es mucho menor, la cuantificación está poco desarrollada, el simbolismo está menos matematizado (por ejemplo, no hay uso de geometrías) y se usan menos algoritmos computables a nivel de teoría, es decir, al hacer postulados interpretativos y representarlos en el formalismo. Sintetizando, su aparato analítico es muy diferente, y está basado más en palabras y menos en variables matemáticas. Esto puede quizá tener consecuencias prácticas de frenado, o de menor aceleración en su desarrollo, pero ventajosas porque le confiere un escudo espontáneo contra el vaciamiento semántico e interpretativo de su lenguaje y de sus teorías, un peligro que acecha permanentemente a la física teórica moderna, en particular a la cuántica.

4. Los métodos de las ciencias fácticas y de las ciencias de la computación

4.1 Precisiones

Es conveniente apuntar algunas precisiones. Desde ciertos sectores del campo de las humanidades (¡y también desde sectores en las ciencias fácticas y ciencias de la computación!) se sostiene o se pretende que las computadoras ya sustituyen o sustituirán al pensamiento y rigor científicos (véanse referencias [8] y [9]).

Esta es la posición dura de la Inteligencia Artificial (IA), que supone a toda la actividad mental como sustituible (sino en el presente, en un futuro cercano...) por algoritmos computables y robots programados. En la

versión soft de la IA, la actividad mental sería “simulable” computacionalmente. Para la IA, el problema remanente es de programación y tamaño de memorias.

4.1.1 Teorema de Gödel

Para los sostenedores de estas posiciones, el teorema de Kurt Gödel, demostrado en “On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems” (véase ref. [10]), es una enorme y sólida incomodidad. De él se desprende el corolario de que existen proposiciones no decidibles lógicamente y no computables, en las que la comprensión o entendimiento humano no es sustituible por algoritmos, incluso en el campo de las estructuras matemáticas. Otro de sus corolarios expone que las estructuras matemáticas básicas no son constructos de la razón ni de la imaginación humana, sino que tienen existencia propia anterior, para cuyo acceso el entendimiento no puede recurrir a razonamientos lógicos desde dentro de sistemas formales cerrados.

El teorema, que es en realidad un metateorema, demuestra que no toda la naturaleza es computable. El principio de objetividad puede encontrarse con ámbitos en los que no es válido. Acá vemos cuánto ha re-dituado a la ciencia física, hasta ahora algorítmica y haciendo uso de métodos computables siempre, haberse autoexcluido del área de estudio de la actividad mental. Una prudencia que las ciencias de la computación no exhiben.

4.1.3 Computadoras

La ciencia de la computación es una ciencia formal. Partiendo de las referencias citadas, puede decirse que las computadoras no pueden realizar un *by-pass* liso y llano de los fundamentos y requisitos del rigor científico en ciencias naturales y particularmente de la física, tanto en el trabajo teórico como en el de laboratorio, y no pueden sustituir al sistema nervioso central en todas sus competencias lingüísticas, volitivas, de descubrimiento y de entendimiento.

La existencia de las computadoras surge como consecuencia del conocimiento científico (parcial) del comportamiento de la materia y de su manejo tecnológico; no sustituyen al rigor científico (o a la comprensión humana) más que el ábaco o la polea. Las computadoras, sus periféricos posibles como distintos soportes de memoria, visores, impresoras, adqui-

sidores de datos, módems, faxes, graficadores, todo tipo de interfaces, sensores, actuadores y robots programados, etc., es decir todo aquello que se conoce como *hardware* (productos del rigor científico-tecnológico y no sus sustitutos), y los programas o *software*, con su enorme capacidad y velocidad de cálculo y su bajo consumo energético, liberan y ahorran tiempo y energía humana para pensar y decidir en otras cosas más divertidas en lugar de realizar el extenuante trabajo de cálculo, organización y movimientos. Son bienvenidas, apreciadas, usadas. Son cosas –máquinas– y algoritmos.

Los modelos computacionales no son provistos por la ciencia natural, sino por ciencias formales. La investigación operativa también aplica parte del método científico a prácticas gerenciales y a otros campos; pero desde la investigación operativa no hay agregado de hipótesis interpretativas sustanciales y su contenido semántico es nulo, y sin éstos no hay más que teorías formales o lógicas, no teorías científicas fácticas.

Reducir la ciencia física natural a su método analítico y a una de sus herramientas de cálculo es simplificar la cosa hasta hacerla desaparecer. Es apartar su actual fundamento epistemológico y el formalismo que demanda, la filosofía involucrada, sus cuerpos de hipótesis, sus postulados interpretativos y semánticos (acá conviene recordar que las reglas lógicas nunca producen nueva semántica, por el contrario, prescinden o parten de ella), su argumentación deductiva (lo único que puede estar incorporado en un programa), sus exigencias de verificabilidad (que es diferente de performatividad que sí se peticiona a la tecnología) y su apertura axiológica permanente, guste o no, a ampliaciones o revisiones completas de la teoría y hasta de los principios fundamentales. El rigor científico exige todo eso, y semejantes revisiones no son actividades mentales meramente computables.

4.2 Comentarios finales

A pesar del formalismo menos algorítmico u operativo, las ciencias sociales no se limitan a la búsqueda de cobertura explicativa teórica de los fenómenos inmensamente complejos que estudian. Integran entre sus especialidades a las ciencias políticas, gerenciales y económicas, y a la ingeniería y antropología social y ambiental. Y estas últimas usan teorías, concepciones, métodos y aplicaciones a la realidad social, objetivadas para y/o por el poder político, sea éste real o virtual, y en las que el carácter y la búsqueda de lo performativo son inmediatos, aunque no estén tan ligadas a una matematización ni partan claramente de un principio de objetividad.

Estas ramas de las ciencias humanísticas y sociales tienen muy obviamente incorporada la petición de performatividad para sus resultados. Buscan, tan activamente como la tecnología física (véase ref. [9]), la superposición de una teleonomía externa artificial a los fenómenos que estudian, quizá hasta ahora con mayores dificultades: por eso no podemos todavía hablar de una acabada tecnología social o ingeniería antropológico-social, que en cuanto a eficiencia performativa está en la etapa de una pretecnología.

Pero el lograr una tecnología específica altamente performativa figura sin duda con toda lucidez en el programa de las ciencias sociales y antropológicas, y en este objetivo se asemeja al programa de las tecnologías que parten de las ciencias físicas. Difiere de las mismas, como se mencionó, en el lenguaje y en el aparato analítico específico, y quizá en la suposición de legalidad universal, no estando además claramente adoptado, rechazado o criticado como postulado científico el principio de objetividad de la naturaleza.

La novedad es que tanto las ciencias humanas, antropológicas y sociales, como la ciencia física más actual, ya han comenzado a buscar la forma de evaluar cuáles teleonomías artificiales son compatibles con las naturales de la biosfera y con su conservación y no degradación, preocupación común de la cual deben surgir sin duda normas éticas y prácticas globales más inteligentes, urgentemente necesarias. La naturaleza está comenzando a surgir como sujeto, y no sólo como objeto, de nuestras conjeturas.

Bibliografía

- [1.a] Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*, Siglo XXI, (Primera edición: 1948).
- [1.b] Bachelard, G., *Le matérialisme rationnel*, París, Presses Universitaires, 1953.
- [2] Bunge, M., *Controversias en Física*, Editorial Tecnos, 1983.
- [3] Casas de Peralta M. T., "Un problema ético de la educación en la sociedad democrática de mercado. Diagnóstico a partir de la enseñanza de Física en carreras de Ingeniería", *Actas, IV Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, septiembre de 1993.
- [4] Casas de Peralta, M. T., "Diagnóstico de problemas lingüísticos y cognitivos a partir de la enseñanza de Física en carreras de Ingeniería", *Revista de Enseñanza de la Física*, 1996, vol. 9, #1, pp. 7-13, y *XI Congreso Regional y III Congreso Mundial de Mass Media y Salud Mental*, World Psychiatric Association, Bariloche, marzo de 1995. Enviado al Museo de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, provincia de Santa Fe, para consulta pública en su biblioteca, diciembre de 1994.

- [5] Casas de Peralta, M. T., "La axiomática en la educación temprana y el desarrollo del cerebro", *Encuentro Latinoamericano "La ciencia como modelo teórico y como realidad institucional"*, Universidad Nacional de Rosario, junio de 1994; *XI Congreso Regional y III Congreso Mundial de Mass Media y Salud Mental*, World Psychiatric Association, Bariloche, Argentina, marzo de 1995. Enviado al Museo de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, provincia de Santa Fe, Argentina, a su solicitud, para consulta en biblioteca, diciembre de 1994.
- [6] Casas de Peralta M. T., "La enseñanza actual de la Física en las carreras de Ingeniería. El problema ético de la educación en la sociedad democrática de mercado. Diagnóstico", *Revista de Ciencia y Tecnología*, Secretaría de Ciencia y Técnica, serie Divulgación, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Nº 1, diciembre de 1994.
- [7] Cauwerghe, M. R., *Journal de Physique*, Nº 8, p. 303, 1929. (Primera Medición en Laboratorio de la Corriente de Desplazamiento, comentarios de la autora.)
- [8] Cernea, M. M., "Using Knowledge from Social Sciences in Development Projects", *World Bank Discussion Papers*, # 114.
- [9] Funtowics, S. y Ravetz, J., "Riesgo global, incertidumbre e ignorancia" en *Epistemología Política, Ciencia con la Gente*, Buenos Aires, CEAL, 1993.
- [10] Gödel, K., "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme", *Monatshefte für Mathematik und Physik*, vol. 38, pp. 173-198, Leipzig, 1931. [Primera versión traducida al inglés, comisionada por la Edinburgh Philosophy of Science Group en 1959: *On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems*, Basic Books, Inc. New York, 1962; primera edición, sin modificaciones: Dover, 1992. Hay traducción castellana: "Sobre sentencias formalmente indecibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines", en Gödel, K., *Obras completas*, Madrid, Alianza, 1981, pp.55-89]
- [11] Marcusse, H., *El Hombre unidimensional*, Biblioteca Breve de Bolsillo, Seix Barral, 1970.
- [12] Monod, J., *Le hasard et la nécessité, (Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne)*, Editions de Seuil, 1970. [*El azar y la necesidad*, Barcelona, Tusquets Editores, 1985.]
- [13] Penrose, R., *The Emperor's New Mind*, Oxford University Press, 1989.
———, *The Shadows of the Mind*, Oxford University Press, 1994. □