

TRANSGREDIENDO LOS LÍMITES: HACIA UNA HERMENÉUTICA TRANSFORMADORA DE LA GRAVEDAD CUÁNTICA

Alan D. Sokal

«La transgresión de los límites disciplinarios... [es] una empresa subversiva, pues supone la violación de los santuarios que albergan las formas de percepción comúnmente aceptadas. Entre las fronteras más resguardadas se encuentran los límites que separan las ciencias naturales y las humanidades».

Valerie Greenberg, *Transgressive Readings* (1990, 1)

«La lucha por la transformación de la ideología en ciencia crítica... se basa en que la crítica a toda presuposición en el ámbito de la ciencia y la ideología debe ser el único principio absoluto de ciencia».

Stanley Aronowitz, *Science as Power* (1988b, 339)

Todavía hay numerosos científicos naturales, sobre todo físicos, que rechazan la idea de que las disciplinas interesadas en la crítica social y cultural puedan contribuir en algo a sus investigaciones —exceptuando, quizás, a nivel periférico—. Pero todavía hay menos que acepten la idea

La balsa de la Medusa, 45-46, 1998.

de que cualquier fundamento de su visión del mundo puede ser revisado o reconstruido a la luz de dicha crítica. Más bien, se adhieren al dogma impuesto por la larga hegemonía post-ilustrada sobre el panorama intelectual occidental, dogma que puede resumirse someramente como sigue: existe un mundo externo cuyas propiedades son independientes de cualquier ser humano individual e incluso de la humanidad en conjunto; esas propiedades están codificadas en leyes físicas «eternas»; los seres humanos pueden obtener un conocimiento fiable de estas leyes, aunque imperfecto y provisional, trabajando con los procedimientos «objetivos» y bajo las restricciones epistemológicas prescritas por el llamado método científico.

Pero esta metafísica cartesiana-newtoniana se ha visto minada por los profundos cambios intelectuales habidos en el ámbito de la ciencia a lo largo del siglo XX¹; los estudios revisionistas de historia y filosofía de la ciencia han arrojado bastantes dudas respecto a su credibilidad², y más recientemente, las críticas feministas y post-estructuralistas han desmitificado el contenido fundamental de la práctica científica occidental, revelando la ideología de dominación que se ocultaba tras su fachada de «objetividad»³. Por tanto, cada vez resulta más evidente que la «realidad» física, no menos que la «realidad» social, es en el fondo un constructo social y lingüístico; que el «conocimiento» científico, lejos de ser objetivo, refleja y codifica las ideologías y relaciones de poder dominantes de la cultura que los produce; que las pretensiones de verdad de la ciencia están cargadas de teoría de forma inherente y auto-referencial; y en consecuencia, que el discurso de la comunidad científica, a pesar de su valor innegable, no puede adoptar un estatus

¹ Heisenberg (1958), Bohr (1963).

² Kuhn (1970), Feyerabend (1975), Latour (1987), Aronowitz (1988b), Bloor (1991).

³ Merchant (1980), Keller (1985), Harding (1986, 1991), Haraway (1989, 1991), Best (1991).

El autor es Catedrático de Física de la Universidad de Nueva York (NYU) y ha ofrecido numerosas conferencias en Europa y América Latina: en la Università di Roma «La Sapienza» y en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua durante el gobierno sandinista, entre otras. Es co-autor, junto con Roberto Fernández y Jürg Frölich, de la obra *Random Walks, Critical Phenomena, and Triviality in Quantum Field Theory* (Primavera de 1992). [Este artículo se recibió en la revista *Social Text* el 28 de noviembre de 1994 y, en versión revisada, el 13 de mayo de 1995. Apareció en el número 46/47 de dicha revista.]

epistemológico privilegiado respecto a las narraciones contra-hegemónicas que emanan de las comunidades disidentes o marginales. Estos problemas pueden verse, aunque con algunas diferencias de hincapié, en varios estudios importantes: el análisis de Aronowitz sobre el entramado cultural que dio lugar a la mecánica cuántica⁴; el estudio de Ross sobre los discursos opositores de la ciencia post-cuántica⁵; la exégesis de Irigaray y Hayles de los códigos de género (masculino/femenino) implícitos en la mecánica de fluidos⁶ y la crítica exhaustiva de Harding a la ideología del género que subyace a la ciencia natural en general y la física en particular⁷.

Mi propuesta consistirá en llevar estos profundos análisis un paso más allá, teniendo en cuenta los últimos avances de la teoría de la gravedad cuántica: una rama reciente de la física donde la mecánica cuántica de Heisenberg y la relatividad general de Einstein son a la vez sintetizadas y superadas. En la gravedad cuántica, como veremos, la variedad espacio-tiempo deja de existir como realidad física objetiva, la geometría se convierte en algo relacional y contextual, y las categorías conceptuales fundamentales de la ciencia anterior –entre ellas, la propia existencia– se relativizan y problematizan. Argüiré que esta revolución conceptual posee profundas consecuencias en el contexto de la futura ciencia postmoderna y liberadora.

Este estudio adoptará la siguiente forma: primero repasaré brevemente algunos de los problemas filosóficos e ideológicos de la mecánica cuántica y la relatividad general clásica. A continuación, trazaré las líneas maestras de la reciente teoría de la gravedad cuántica y trataré algunas de las cuestiones conceptuales que suscita. Finalmente, comentaré las consecuencias políticas y culturales de estos avances científicos. Debe subrayarse que este artículo es, necesariamente, provisional y preliminar; no pretendo contestar a todas las cuestiones que propone. Mi intención es, más bien, llamar la atención de los lectores ante los importantes avances de la ciencia física, esbozando lo mejor posible sus consecuencias políticas y filosóficas. Me he propuesto reducir al mínimo el aspecto matemático, pero he tenido cuidado a la hora de proporcionar referencias para que los lectores interesados puedan encontrar todos los detalles necesarios.

⁴ Aronowitz (1988b, especialmente los caps. 9 y 12).

⁵ Ross (1991, introducción y cap. 1).

⁶ Irigaray (1985), Hayles (1992).

⁷ Harding (1986, especialmente los caps. 2 y 10); Harding (1991, especialmente el cap. 4).

Mecánica cuántica: incertidumbre, complementariedad, discontinuidad e interconectividad

No es mi intención entrar en el amplio debate sobre los fundamentos conceptuales de la mecánica cuántica⁸. Será suficiente decir que cualquiera que haya estudiado seriamente las ecuaciones de la mecánica cuántica estará de acuerdo con el resumen comedido (permítanme el juego de palabras) que da Heisenberg de su célebre *principio de incertidumbre*:

«ya no podemos hablar del comportamiento de la partícula independientemente del proceso de observación. Como consecuencia final, las leyes naturales formuladas matemáticamente en la teoría cuántica ya no tienen nada que ver con las propias partículas elementales, sino con nuestro conocimiento de las mismas. Tampoco es posible preguntarnos si estas partículas existen o no objetivamente en el espacio y el tiempo... [...] Cuando hablamos de la representación de la naturaleza en la ciencia exacta de nuestra época, no nos referimos tanto a una representación de la naturaleza cuanto a *una representación de nuestras relaciones con la naturaleza*. La ciencia ya no puede enfrentarse a la naturaleza como un observador objetivo, sino que debe contemplarse a sí misma como actor en la interacción entre hombre [*sic*] y naturaleza. El método científico que analiza, explica y clasifica es consciente de sus limitaciones, que surgen porque la ciencia, por su mera intervención, altera y remodela el objeto de investigación. En otras palabras, método y objeto ya no pueden ser independientes»^{9,10}.

⁸ Algunas muestras son Jammer (1974), Bell (1987), Albert (1992), Dürr, Goldstein y Zanghí (1992), Weinberg (1992, cap. IV), Coleman (1993), Maudlin (1994), Bricmont (1994).

⁹ Heisenberg (1958, 15, 28-9); la *cursiva* es del propio Heisenberg. Véase también, Overstreet (1980), Craige (1982), Hayles (1984), Greenberg (1990), Booker (1990) y Porter (1990) para algunos ejemplos del fértil cruce de ideas entre la teoría de la relatividad cuántica y la crítica literaria.

¹⁰ Desgraciadamente, el principio de incertidumbre de Heisenberg ha sido malinterpretado a menudo por filósofos principiantes. Tal y como señalan lúcidamente Gilles Deleuze y Félix Guattari:

«en la física cuántica, el demonio de Heisenberg no expresa la imposibilidad de medir la velocidad y posición de una partícula en base a la interferencia subjetiva de la medida respecto a lo medido, sino que mide exactamente un estado objetivo

Niels Bohr escribió, en la misma línea:

«no podemos atribuir una realidad independiente en el sentido físico ordinario... ni a los fenómenos ni a los agentes observadores»¹¹.

Stanley Aronowitz ha seguido la pista de esta perspectiva, de forma convincente, en la crisis que afectó a la hegemonía liberal en Europa Central durante los años anteriores y posteriores a la Primera Guerra Mundial^{12, 13}.

Un segundo aspecto relevante de la mecánica cuántica es su principio de *complementariedad* o *dialecticismo*. ¿Es la luz una partícula o una onda? La complementariedad es «la consciencia de que el comportamiento de una partícula y una onda es mutuamente excluyente, pero que ambas son necesarias para ofrecer una explicación completa de los fenómenos»¹⁴. A un nivel más general, Heisenberg afirma que:

de hechos que dejan la posición respectiva de dos de sus partículas fuera del campo de su realización, el número de variables independientes se ha reducido y el valor de las coordenadas tiene la misma probabilidad... El perspectivismo o relativismo científico nunca es relativo a un sujeto: no es una relatividad de la verdad sino, por el contrario, una verdad de lo relativo, es decir, de variables cuyos casos ordena de acuerdo con los valores que extrae de ellas en sus sistemas de coordenadas».

¹¹ Bohr (1928), citado en Pais (1991, 314).

¹² Aronowitz (1988b, 251-156).

¹³ Véase también Porush (1989), un análisis fascinante de cómo un segundo grupo de científicos e ingenieros –los cibernéticos– se dedicaron, con éxito considerable, a subvertir las consecuencias más revolucionarias de la física cuántica. La principal limitación de la crítica de Porush es que sólo está planteada en un plano cultural y filosófico; sus conclusiones tendrían mucha más fuerza insertas en un análisis de los factores económicos y políticos. (Por ejemplo, Porush no menciona que el ingeniero-cibernético Claude Shannon trabajó para el entonces monopolio telefónico AT&T.) Creo que un análisis más cuidadoso habría demostrado que la victoria de los cibernéticos sobre los físicos cuánticos en la década de los 40 y 50 puede explicarse en gran medida por el papel central que desempeñó la cibernética en el desarrollo del capitalismo hacia una automatización de la producción industrial, por comparación con la marginal relevancia de la mecánica cuántica para la industria.

¹⁴ Pais (1991, 23). Aronowitz (1981, 28) ha observado que la dualidad onda-partícula revela los enormes problemas del «deseo de totalidad de la ciencia moderna»:

«las diferencias en el ámbito de la física entre teoría de ondas o de partículas, el principio de indeterminación descubierto por Heisenberg, la teoría de la relati-

«... a pesar de que las distintas representaciones intuitivas que utilizamos para describir sistemas atómicos resulten adecuadas para ciertos experimentos, no obstante se excluyen mutuamente. Por ejemplo, el átomo de Bohr puede describirse como un sistema planetario a pequeña escala, con un núcleo atómico central alrededor del cual giran electrones. Sin embargo, en otros experimentos sería más conveniente imaginar que el núcleo atómico está rodeado por un sistema de ondas estacionarias cuya frecuencia es una característica de las radiaciones que emana el átomo. Finalmente, podemos considerar al átomo en su aspecto químico... Cada representación es legítima si la utilizamos en el caso adecuado, pero las distintas representaciones son contradictorias y, por tanto, podemos decir que se complementan mutuamente»¹⁵.

Bohr, una vez más:

«la completa elucidación de un solo objeto puede exigir diversos puntos de vista que desafían la descripción única. De hecho, y estrictamente hablando, el análisis consciente de cualquier concepto está en relación de exclusión con su aplicación inmediata»¹⁶.

dad de Einstein... no son más que concesiones ante la imposibilidad de llegar a una teoría de campo unificada, donde la «anomalía» de la diferencia para una teoría que postula la identidad pueda resolverse sin desafiar los presupuestos de la propia ciencia».

Véase Aronowitz (1988a, 524-525, 533), que ofrece un desarrollo más amplio de estas ideas.

¹⁵ Heisenberg (1958, 40-1).

¹⁶ Bohr (1934), citado en Jammer (1974, 102). El análisis del principio de complementariedad le lleva a realizar un estudio social que, para su época y lugar, fue notablemente progresista.

Considérese el siguiente extracto de una conferencia ofrecida en 1938 (Bohr 1958, 30):

«en este caso, quizá deba recordarles ciertas sociedades en las que los papeles del hombre y la mujer son los contrarios, no sólo en los deberes domésticos y sociales sino también en lo que respecta a comportamiento y mentalidad. Ante esta situación, incluso aunque algunos de nosotros pudiéramos atrevernos a admitir la posibilidad de que es un auténtico capricho del destino que estos pueblos en cuestión tengan su cultura específica, y no la nuestra, y que nosotros no tenemos

Este presagio de la epistemología postmoderna no es de ninguna manera casual. Las profundas conexiones entre complementariedad y deconstrucción han sido aclaradas recientemente por Froula¹⁷ y Honner¹⁸, y en mayor medida por Plotnitsky^{19, 20, 21}.

Un tercer aspecto de la física cuántica es la *discontinuidad* o *ruptura*, tal y como la explica Bohr:

«[la] esencia [de la teoría cuántica] puede expresarse en el denominado postulado cuántico, que atribuye a cualquier proceso atómico una discontinuidad esencial o, mejor, una individualidad

la de ellos sino la nuestra, es evidente que la más mínima sospecha en este sentido implica una traición a la satisfacción nacional inherente en cualquier cultura humana digna de sí misma».

¹⁷ Froula (1985).

¹⁸ Honner (1994).

¹⁹ Plotnitsky (1994). Esta impresionante obra también explica las conexiones íntimas que tiene con la prueba de Gödel de la incompletud de los sistemas formales, la construcción de modelos no estándar de aritmética por parte de Skolem y la economía general de Bataille. Véase Hochrot (1955) para una discusión más amplia sobre la física de Bataille.

²⁰ Podemos citar muchos otros ejemplos. Barbara Johnson (1989, 12) no hace referencia específica a la física cuántica, pero su descripción de la deconstrucción es un resumen escueto y exacto del principio de complementariedad:

«en vez de una simple estructura «y/o», la deconstrucción intenta elaborar un discurso que *no* dice «y/o», *ni* «también/y» ni tampoco «ni/ni», al tiempo que tampoco abandona totalmente este tipo de lógica».

Véase también McCarthy (1992); un estudio provocativo que plantea cuestiones problemáticas sobre la «complicidad» entre la física cuántica (no relativista) y la deconstrucción.

²¹ Permítaseme un recuerdo personal: hace quince años, cuando era un estudiante de doctorado, mi investigación sobre la teoría relativista de campos cuánticos me condujo a un análisis que titulé «de[con]structive quantum field theory» (Sokal, 1982). En aquella época yo no sabía nada de la obra de Jacques Derrida sobre la deconstrucción en el ámbito de la teoría literaria y la filosofía. En retrospectiva, sin embargo, existe una afinidad sorprendente: mi trabajo puede leerse como una investigación sobre la forma en que el discurso ortodoxo (p.e. Itzykson y Zuber, 1980) de la teoría escalar de campos cuánticos en el espacio-tiempo cuatridimensional (en términos técnicos, «teoría renormalizada de perturbaciones» para la teoría de ϕ_4^4) parece que afirma su propia desconfianza, minando por tanto sus propias afirmaciones. Desde entonces, mi obra ha versado sobre otras cuestiones más relacionadas con las transiciones de fase; pero pueden descubrirse homologías sutiles entre ambos campos, sobre todo en el tema de la discontinuidad (véase notas 22 y 81, a continuación). Para otros ejemplos de la deconstrucción en la teoría de campos cuánticos ver Merz y Knorr Cetina (1994).

completamente extraña a las teorías clásicas, simbolizada por el cuanto de acción de Planck»²².

Medio siglo después, la expresión «salto cuántico» (*quantum leap*) se ha introducido de tal forma en el vocabulario cotidiano del inglés que la utilizamos sin ser conscientes de sus orígenes físico-teóricos.

Finalmente, el teorema de Bell²³ y su reciente generalización²⁴ demuestran que un acto de observación aquí y ahora no sólo puede afectar al objeto observado –tal y como afirma Heisenberg– sino también a un objeto *arbitrariamente lejano* (por ejemplo, la galaxia Andrómeda). Este fenómeno –que Einstein denominó «fantasmal»– supone una reevaluación radical de los conceptos mecanicistas tradicionales de espacio, objeto y causalidad²⁵, y sugiere una visión alternativa donde el universo está caracterizado por la interconexión y la integralidad

²² Bohr (1928), citado en Jammer (1974, 90).

²³ Bell (1987), especialmente los caps. 10 y 16. Véase también Maudlin (1994, cap.1), un análisis claro que no precisa un conocimiento especializado previo que exceda del álgebra de la escuela secundaria.

²⁴ Greenberger et al. (1989, 1990), Mermin (1990, 1993).

²⁵ Aronowitz (1988b, 331) ha hecho una observación provocativa sobre la causalidad no-lineal en la mecánica cuántica y su relación con la construcción social del tiempo:

«la causalidad lineal asume que la relación causa-efecto puede expresarse como una función de sucesión temporal. Debido a los recientes desarrollos de la mecánica cuántica, podemos postular que es posible conocer los efectos de causas ausentes; hablando metafóricamente, los efectos pueden anticipar causas, por lo que nuestra percepción de ellos puede preceder al acontecimiento físico de una “causa”. La hipótesis que desafía nuestra concepción convencional de un tiempo y una causalidad lineales y que afirma la posibilidad de invertir el tiempo también plantea otro problema: hasta qué punto es inherente el concepto de “flecha del tiempo” a toda teoría científica. Si estos experimentos tienen éxito, las conclusiones de que el discurrir del tiempo como «tiempo de reloj» es algo constituido históricamente pueden ser cuestionadas. Habríamos “probado” mediante experimentos lo que filósofos, literatos y críticos sociales ya sospechaban desde hacía tiempo: que el tiempo es, en parte, una construcción convencional, que su segmentación en horas y minutos es un producto de la necesidad de disciplina industrial para organizar racionalmente el trabajo social en la primera época burguesa».

Los análisis teóricos de Greenberger *et al.* (1989, 1990) y Mermin (1990, 1993) son un ejemplo sorprendente de este fenómeno; véase Maudlin (1994) para un análisis detallado de las consecuencias en los conceptos de causalidad y temporalidad. En los próximos años es probable que aparezca confirmación experimental que amplíe la obra de Aspect *et al.* (1982).

((*W*)holism): lo que el físico David Bohm ha denominado «orden implicado»²⁶. Las interpretaciones que la Nueva Era ha dado de estas ideas de la física cuántica a menudo han sobrepasado la especulación gratuita, pero la solidez general del argumento es innegable²⁷. En palabras de Bohr, «el descubrimiento de Planck del *cuanto elemental de acción...* reveló un elemento de *totalidad* inherente en la física atómica, que va más allá de la antigua idea de divisibilidad limitada de la materia»²⁸.

Hermenéutica de la Relatividad General Clásica

En la mecánica newtoniana, espacio y tiempo son distintos y absolutos²⁹. En la teoría especial de la relatividad de Einstein (1905), las distinciones entre espacio y tiempo se disuelven: sólo hay una nueva unidad, un espacio-tiempo de cuatro dimensiones, y la percepción por parte del observador del «espacio» y el «tiempo» depende de su estado de movimiento³⁰. En las palabras ya famosas de Minkowski (1908):

²⁶ Bohm (1980). En la obra de Goldstein (1983, caps. 7 y 8) se discute la íntima relación existente entre la mecánica cuántica y el problema mente-cuerpo.

²⁷ De entre una bibliografía tan extensa, podemos recomendar la obra de Capra (1975) por su precisión científica y su accesibilidad para los profanos en el tema. Junto a ésta, la obra de Sheldrake (1981) que, aunque a veces resulta especulativa, en general es bastante sólida. Un análisis simpatizante aunque también crítico con las teorías New Age es Ross (1991, cap. 1). Para una crítica a la obra de Capra desde el punto de vista del Tercer Mundo véase Alvares (1992, cap. 6).

²⁸ Bohr (1963, 2); negrita en el original.

²⁹ El atomismo newtoniano trata las partículas como si estuvieran hiperseparadas en el espacio y tiempo, relegando sus interconexiones a un segundo término (Plumwood, 1933a, 125); de hecho, «la única “fuerza” permitida dentro de la estructura mecanicista es la de la energía cinética –la energía de movimiento por contacto–; otras fuerzas supuestas, incluyendo la acción a distancia, se consideran ocultas» (Mathews, 1991, 17). Para un análisis crítico de la visión mecanicista newtoniana véase Weil (1968, especialmente el cap. 1), Merchant (1980), Berman (1981), Keller (1985, caps. 2 y 3), Mathews (1991, cap. 1) y Plumwood (1993a, cap. 5).

³⁰ Según el análisis de los libros de texto tradicionales, la relatividad especial tiene que ver con las transformaciones de coordenadas que relacionan *dos* sistemas de referencia cuyo movimiento relativo es uniforme. Sin embargo, esto es una simplificación errónea, tal y como ha señalado Latour (1988):

«¿Cómo podemos decidir que la observación del comportamiento de una piedra que cae desde un tren puede hacerse coincidir con la observación de la misma

«por tanto, el espacio en sí y el tiempo en sí están condenados a convertirse en meras sombras y lo único que conservará una realidad independiente será cierto tipo de unión entre ambos»³¹.

Sin embargo, la geometría que subyace al espacio-tiempo minkowskiano sigue siendo absoluta³².

Será la teoría general de la relatividad de Einstein (1915) la que suponga una ruptura conceptual radical: la geometría espacio-temporal se hace contingente y dinámica, codificando en sí misma el campo gravitatorio. Matemáticamente, Einstein rompe con la tradición euclidiana (¡que todavía se impone a los alumnos de enseñanza secundaria!), y emplea la geometría no euclidiana desarrollada por Riemann. Las ecua-

pedra que cae desde el andén? Si sólo hay un sistema de referencia, incluso *dos*, no puede haber solución posible, pues el hombre que esté en el tren afirmará que observa una línea recta y el que esté en el andén, una parábola... La solución de Einstein considera *tres* actores: uno en el tren, otro en el andén y un tercero, el autor [enunciador] de una de estas representaciones, que trata de sobreponerse a las observaciones codificadas que le envían los otros dos... Sin la posición del enunciador (oculto en el estudio de Einstein) y sin la noción de unos centros de cálculo, el propio argumento técnico de Einstein sería insostenible... [pp.1 0-11 y 35; subrayados en el original].

Al final, tal y como observó Latour ingeniosamente aunque con precisión, la relatividad especial se reduce a la proposición de que

«se puede acceder, reducir, acumular y combinar más estructuras de referencia con menos privilegio, se puede enviar a los observadores a más lugares en la extensión más grande (el cosmos) y en la más pequeña (electrones) y las lecturas que realizarán serán comprensibles. Su obra [la de Einstein] bien podría haberse titulado: “Nuevas instrucciones para hacer regresar a los viajeros científicos de larga distancia”» [pp. 22-3].

El análisis crítico que hace Latour de la lógica de Einstein es una introducción a la relatividad especial muy accesible para los profanos.

³¹ Minkowski (1908), traducido en Lorentz *et al.* (1952, 75).

³² Ni que decir tiene que la relatividad especial propone nuevos conceptos, no sólo de espacio y tiempo, sino también de mecánica. En la relatividad especial, tal y como ha señalado Virilio (1991, 136), «el espacio dromosférico, la velocidad-espacio, se describe físicamente mediante la denominada “ecuación logística”, resultado del producto de la masa desplazada por la velocidad de su desplazamiento, MxV ». Esta alteración radical de la fórmula newtoniana tiene profundas consecuencias, particularmente en la teoría cuántica; véase Lorentz *et al.* (1952) y Weinberg (1992) para una discusión más amplia.

ciones de Einstein son extremadamente no lineales, lo cual explica que los matemáticos tradicionales las encuentren tan difíciles de resolver³³. La teoría de la gravedad de Newton corresponde, sin más, a un truncamiento (conceptualmente erróneo) de las ecuaciones de Einstein, donde sencillamente se prescinde de la no linealidad. Por tanto, la relatividad general de Einstein resume todos los éxitos putativos de la teoría de Newton, al tiempo que va más allá de Newton prediciendo fenómenos radicalmente nuevos que surgen directamente de la no-linealidad: la curvatura de la luz de las estrellas por el sol, la precesión del perihelio de Mercurio y el colapso gravitatorio de las estrellas en los agujeros negros.

La relatividad general resulta tan misteriosa que algunas de sus consecuencias –deducidas por unos procedimientos matemáticos impecables y confirmadas cada vez más por la observación astrofísica– pueden considerarse propias de la ciencia-ficción. Los agujeros negros se han estudiado exhaustivamente en la actualidad y los agujeros de gusano están alcanzando la popularidad. Quizá sea menos conocida la construcción por parte de Gödel de un espacio-tiempo einsteiniano que admite curvas cerradas de tipo tiempo, esto es, un universo donde es posible viajar *¡a nuestro propio pasado!*³⁴

La relatividad general nos obliga a aceptar nociones de espacio, tiempo y causalidad radicalmente nuevas y en absoluto intuitivas^{35, 36, 37, 38};

³³ Steven Best (1991, 225) ha puesto el dedo en la llaga, que consiste en que «al contrario que las ecuaciones lineales empleadas en la mecánica newtoniana e incluso cuántica, las ecuaciones no-lineales [no] tienen la propiedad aditiva que permite construir soluciones encadenadas a partir de elementos simples independientes». Por esta razón, las estrategias de atomización, reduccionismo y descontextualización que subyacen en la metodología científica newtoniana, simplemente no funcionan en la relatividad general.

³⁴ Gödel (1949); para un resumen del trabajo reciente sobre este tema véase t'Hooft (1993).

³⁵ Estas nociones nuevas de espacio, tiempo y causalidad *en parte* ya se prefiguran en la relatividad especial. Alexander Argyros (1991, 137) ha señalado que

«en un universo dominado por fotones, gravitones y neutrinos, es decir, en el universo más primitivo, la teoría de la relatividad especial sugiere que cualquier distinción entre antes y después es imposible. Pues en el viaje de una partícula a la velocidad de la luz, o en el recorrido de una distancia en el orden de la longitud de Planck, todos los acontecimientos son simultáneos».

Sin embargo, no puedo estar de acuerdo con la conclusión de Argyros de que la deconstrucción derrideana es inaplicable a la hermenéutica de una cosmología del universo primordial: el argumento de Argyros en este sentido está basado en un uso injustificadamente totalizador de la relatividad especial (en términos técnicos, en el uso de

por tanto, no resulta sorprendente que haya tenido un profundo impacto no sólo en las ciencias naturales sino también en la filosofía, la crítica literaria y las ciencias humanas. Por ejemplo, en un simposio celebrado hace unas tres décadas, *Les Langages Critiques et les Sciences de l'Homme*, Jean Hyppolite planteó con agudeza una pregunta acerca de la teoría de Jacques Derrida sobre la estructura y el signo en el discurso científico:

«si, por ejemplo, tomamos las estructuras de ciertas construcciones algebraicas [conjuntos], ¿dónde está el centro? ¿Acaso es el centro el conocimiento de las reglas generales que, en cierto modo, nos permiten entender la interacción de los elementos? ¿O «coordenadas en el cono de luz»), en un contexto donde la relatividad *general* es ineludible. (Para un error similar pero menos inocente, véase nota 40, más adelante.)

³⁶ Jean-François Lyotard (1989, 5-6) ha señalado que la relatividad general y la física moderna de partículas elementales imponen nuevas nociones de tiempo:

«en la física y astrofísica contemporánea... una partícula tiene una especie de memoria elemental y, en consecuencia, un filtro temporal. Esta es la razón de que los físicos contemporáneos tiendan a pensar que el tiempo emana de la propia materia, y que no es una entidad exterior o interior del universo cuya función sería reunir todos los tiempos diferentes en una historia universal. Sólo en ciertas regiones pueden detectarse este tipo de síntesis -aunque parcialmente. En esta visión podrían encontrarse zonas de determinismo donde la complejidad aumenta».

Michel Serres (1992, 89-91) ha señalado que la teoría del caos (Gleick 1987) y la teoría de la percolación (Stauffer 1985) han impugnado el concepto lineal tradicional del tiempo:

«el tiempo no fluye siempre siguiendo una línea... o un plano, sino una multiplicidad extraordinariamente compleja, como si mostrara puntos de reposo, rupturas, sumideros [*puits*], embudos con una aceleración arrolladora [*cheminées d'accélération foudroyante*], desgarramientos, lagunas, todas ellas azarosas... El tiempo fluye de forma caótica y turbulenta: se filtra...».

Estas múltiples reflexiones sobre la naturaleza del tiempo, de diferentes ramas de la física, son la ilustración más del principio de complementariedad.

³⁷ Puede decirse que la relatividad general corrobora la deconstrucción nietzscheana de la causalidad (véase. e.g. Culler, 1982, 86-8), aunque algunos relativistas encuentran que esta interpretación es problemática. En la mecánica cuántica, por el contrario, este fenómeno está más firmemente establecido (véase nota 25, arriba).

³⁸ La relatividad general también es, por supuesto, el punto de partida de la astrofísica y la cosmología física contemporáneas. Véase Mathews (1991, 59-90, 109-116, 142-163), un análisis detallado de las conexiones entre la relatividad general (y su generalización denominada «geometrodinámica») y con un punto de vista ecológico. Otra especulación astrofísica en líneas similares véase en Primack y Abrams (1995).

bien reside el centro en ciertos elementos que disfrutan de un privilegio particular dentro del conjunto?... Con Einstein, por ejemplo, asistimos al final de un tipo de privilegio de la evidencia empírica. Y en ese contexto vemos que aparece una constante que es una combinación de espacio-tiempo, que no pertenece a ninguno de los experimentadores que viven la experiencia pero que, en cierto modo, domina todo el constructo. ¿Acaso es el centro esta noción de constante?»³⁹.

La perceptiva réplica de Derrida iba dirigida directamente al corazón de la relatividad general clásica:

«la constante einsteiniana no es una constante, no es un centro. Es el concepto mismo de variabilidad –es, en última instancia, el concepto del juego–. En otras palabras, no es el concepto de *cosa* alguna –de un centro a partir del cual el observador pueda dominar el territorio– sino el concepto mismo de juego...»⁴⁰.

En términos matemáticos, la observación de Derrida se relaciona con la invariancia de la ecuación de campo de Einstein $G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$ bajo difeomorfismos no-lineales del espacio-tiempo (autorepresentaciones de la variedad espacio-temporal que son infinitamente diferenciables pero no necesariamente analíticas). El punto clave es que este grupo de invariancia «actúa transitivamente»: esto quiere decir que cualquier punto de espacio-tiempo, si es que existe después de todo, puede transformarse en cualquier otro. En este sentido, el grupo de invariancia infinito-dimensional erosiona la distinción entre observador y observado; la π de Euclides y la G de Newton, concebidas inicialmente como constantes y universales, pueden contemplarse ahora en toda su historicidad ineludible; y el observador putativo se encuentra fatalmente descentrado, desconectado de cualquier vínculo epistemológico con un punto de espacio-tiempo que ya no puede ser definido únicamente por la geometría.

³⁹ Debate sobre Derrida (1970, 256-266).

⁴⁰ Derrida (1970, 267). Críticos de derechas como Gross y Levitt (1994, 79) han ridiculizado esta afirmación maltinterpretándola conscientemente como una afirmación sobre la relatividad *especial*, donde la constante einsteiniana c (la velocidad de la luz en el vacío) es, por supuesto, constante. Ningun lector que supiera algo de física moderna –excepto alguno que estuviera predispuesto ideológicamente– podría dejar de entender la referencia inequívoca de Derrida a la relatividad *general*.

Gravedad cuántica: cuerda, entramado o campo morfogenético

Si bien esta interpretación es adecuada en el ámbito de la relatividad general clásica, resulta incompleta en el ámbito de la emergente visión postmoderna de la gravedad cuántica. Si incluso el campo gravitatorio –la encarnación misma de la geometría– se convierte en un operador no-conmutativo (y por tanto no-lineal), ¿cómo podemos sostener la interpretación clásica de $G_{\mu\nu}$ como entidad geométrica? No sólo el observador, sino el concepto mismo de geometría se convierte en algo relativo y contextual.

La síntesis de la teoría cuántica y la relatividad general es, por tanto, el principal problema sin resolver de la física teórica⁴¹; hoy en día, nadie puede predecir con seguridad cuáles serán el lenguaje y la ontología de esta síntesis, y mucho menos su contenido. No obstante, será de utilidad examinar históricamente las metáforas e imágenes que han empleado los físicos teóricos en su intento de entender la gravedad cuántica.

Los primeros esfuerzos por visualizar la geometría en la escala de Plank (unos 10^{-33} cm.) –esfuerzos que se remontan a comienzos de 1960– la retrataban como «espuma espacio-temporal»: burbujas de curvatura espacio-temporal que comparten una topología de interconexiones compleja y cambiante⁴². Pero los físicos fueron incapaces de ir más lejos, debido quizá al escaso desarrollo por aquel entonces de la topología y la teoría de variedades (véase arriba).

⁴¹ Luce Irigaray (1987, 77-8) ha señalado que las contradicciones entre la teoría cuántica y la teoría de campos son, de hecho, la culminación de un proceso histórico que comenzó con la mecánica newtoniana:

«la ruptura newtoniana ha acomodado a la empresa científica en un mundo donde la percepción sensible no merece demasiada confianza, un mundo que puede conducir a la aniquilación de los mismos puntales del objeto de estudio de la física: la materia del universo (cualesquiera sean sus predicados) y de los cuerpos que lo constituyen. Por lo demás [*d'ailleurs*], en esta ciencia existen escisiones: la teoría cuántica/teoría de campos, la mecánica de sólidos/dinámica de fluidos, por ejemplo. Pero la imperceptibilidad de la materia estudiada a menudo trae consigo el paradójico privilegio de la *solidez* en los descubrimientos y cierto retraso, incluso abandono, en el análisis sobre la infinitud [*l'in-fini*] de los campos de fuerza»

⁴² Wheeler (1964).

En los setenta, los físicos intentaron realizar un análisis aún más convencional: simplificaron las ecuaciones de Einstein pretendiendo que eran *casi lineales*, para aplicar después los métodos usuales de la teoría cuántica a estas ecuaciones super-simplificadas. Pero este método también fracasó: resultó que la relatividad general de Einstein es, en lenguaje técnico, «no-renormalizable perturbativamente»⁴³. Esto quiere decir que las no-linealidades extremas de la relatividad general de Einstein son intrínsecas a la teoría: cualquier intento de obrar como si las no-linealidades fueran débiles es simplemente contradictorio. (Algo que no nos sorprende, pues el análisis casi-lineal destruye los elementos más característicos de la relatividad general, como los agujeros negros.)

En los ochenta, se popularizó un análisis muy distinto conocido como teoría de cuerdas: los constituyentes fundamentales de la materia no son partículas puntuales, sino cuerdas diminutas (a escala de Planck) abiertas y cerradas⁴⁴. En esta teoría, la variedad espacio-temporal no existe como realidad física objetiva, sino que el espacio-tiempo es un concepto derivado, una aproximación sólo válida a escalas enormes (¡donde «enorme» quiere decir «muy superior a 10^{-33} cm.»!). Los entusiastas de la teoría de cuerdas pensaron por un momento que estaban muy cerca de la Teoría de Todo —la modestia no es una de sus virtudes— y algunos todavía siguen pensándolo. Pero las dificultades matemáticas de la teoría de cuerdas son enormes, y todavía no está nada claro que puedan resolverse en un futuro próximo.

Más recientemente, un pequeño grupo de físicos ha retomado la plena no-linealidad de la relatividad general de Einstein y —empleando un nuevo simbolismo matemático inventado por Abhay Ashtekar— han intentado visualizar la estructura de la teoría cuántica correspondiente⁴⁵. El resultado obtenido es intrigante: al igual que en la teoría de cuerdas, la variedad espacio-temporal sólo es una aproximación válida para distancias largas, no una realidad objetiva. A pequeñas distancias (a escala de Planck), la geometría del espacio-tiempo es un *entramado*: una compleja interconexión de fibras.

Finalmente, la colaboración interdisciplinaria que matemáticos, astrofísicos y biólogos han venido manteniendo desde hace unos cuantos años ha dado como resultado una propuesta excitante: la teoría del

⁴³ Isham (1991, sec. 3.1.4).

⁴⁴ Green, Schwarz y Witten (1987).

⁴⁵ Ashtekar, Rovelli y Smolin (1992), Smolin (1992).

campo morfogenético⁴⁶. Las evidencias que se han obtenido desde mediados de los ochenta revelan que este campo, conceptualizado por primera vez por biólogos del desarrollo⁴⁷, está estrechamente ligado al campo cuántico *gravitatorio*⁴⁸: (a) satura todo el espacio; (b) interactúa con toda materia y energía, independientemente de si están cargadas magnéticamente o no; y lo que es más importante, (c) constituye lo que matemáticamente se denomina un «tensor simétrico de segundo orden». Estas tres propiedades son características de la gravedad, y hace unos años se demostró que la única teoría *no-lineal* consistente del campo de un tensor simétrico de segundo orden es precisamente, al menos a niveles bajos de energía, la relatividad general de Einstein⁴⁹. De hecho, si se confirma (a), (b) y (c), podemos inferir que el campo morfogenético es la contrapartida cuántica del campo gravitatorio de Einstein. Hasta hace muy poco, esta teoría ha sido ignorada e incluso repudiada por el consenso de los físicos de altas energías, que tradicionalmente se han sentido ofendidos por la intrusión en su «territorio» de los biólogos (por no hablar de los humanistas)⁵⁰. Sin embargo, algunos físicos teóricos han comenzado recientemente a revisar esta teoría, y parece que hay esperanzas de progreso en un futuro próximo⁵¹.

⁴⁶ Sheldrake (1981, 1991), Briggs y Peat (1984, cap. 4), Granero-Porati y Porati (1984), Kazarinoff (1985), Schiffmann (1989), Psarev (1990), Brooks y Castor (1990), Heinonen, Kilpeläinen y Martio (1992), Rensing (1993). Un estudio en profundidad del contexto matemático de esta teoría es el de Thom (1975, 1990); y un análisis breve pero interesante de los postulados filosóficos de este estudio y otros, Ross (1991, 40-2, 253n).

⁴⁷ Waddington (1965), Corner (1966), Gierer *et al.* (1978).

⁴⁸ Algunos investigadores anteriores pensaron que el campo morfogenético podría estar relacionado con el campo electromagnético, pero ahora se ha descubierto que simplemente era una analogía sugerente: véase Sheldrake (1981, 77, 90) que ofrece una exposición más clara. Véase también el punto (b), más adelante.

⁴⁹ Boulware y Deser (1975).

⁵⁰ Para otro ejemplo del efecto del «territorio» véase Chomsky (1979, 6-7).

⁵¹ Para ser justo con el consenso de los físicos de altas energías, mencionaré que su oposición a esta teoría también responde a una razón intelectual honesta: en la medida en que la teoría postula unos modelos de interacción subcuántica a través del universo se convierte, en terminología física, en una «teoría de campo no-local». Hoy en día podemos interpretar la historia de la física teórica clásica desde comienzos de 1800, desde la electrodinámica de Maxwell a la relatividad general de Einstein, en un sentido mucho más profundo, como un alejamiento de las teorías de la acción a distancia y un acercamiento a las *teorías de campo local*: en términos técnicos, teorías expresables en ecuaciones diferenciales en derivadas parciales (Einstein e Infeld 1961, Hayles, 1984). Así, una teoría de campo no local es decididamente contraria al objetivo. Por otro lado,

Todavía es demasiado pronto para afirmar si la teoría de cuerdas, del entramado espacio-temporal o del campo morfogenético podrían ser confirmadas en el laboratorio: los experimentos no son fáciles de realizar. Pero resulta intrigante que estas tres teorías posean características conceptuales similares: un acusada no-linealidad, un espacio-tiempo subjetivo, un fluir inexorable y cierto énfasis en la topología de interconectividad.

Topología y homología diferenciales

Es posible que muchos no lo sepan, pero en la década de los setenta y los ochenta, la física teórica experimentó una transformación importante –aunque sin llegar a un auténtico cambio de paradigma kuhniano–: las herramientas tradicionales de la física matemática (análisis real y complejo), que tan sólo localmente tienen que ver con la variedad espacio-temporal, se complementaron con análisis topológicos (más concretamente, con métodos de topología diferencial)⁵² que respondían a la estructura holística (global) del universo. Podemos ver este cambio en el análisis de las anomalías de las teorías «gauge»⁵³, en la teoría de las transiciones de fase mediadas por un vórtice⁵⁴; y en las teorías de cuerdas y supercuerdas⁵⁵. Durante aquellos años, se publicaron numerosos libros y artículos sobre «topología para físicos»⁵⁶.

tal y como han sugerido convincentemente Bell (1987) y otros, la propiedad clave de la mecánica cuántica es, precisamente, esta *no localidad* expresada en el teorema de Bell y sus generalizaciones (véanse las notas 23 y 24, arriba). Por tanto, una teoría de campo no localizado, aunque sea desagradable para la intuición clásica de los físicos, no sólo es natural sino también *preferible* (y posiblemente *obligatoria*) en el contexto cuántico. Esta es la razón de que la relatividad general clásica sea una teoría de campo local, mientras que la gravedad cuántica (bien cuerdas, trama o campo morfogenético) sea inherentemente no-local.

⁵² La topología diferencial es una rama de las matemáticas que estudia las propiedades de las superficies (y variedades de dimensiones mayores) que no se ven afectadas por deformaciones continuas (suaves). Las propiedades que estudia son, por tanto, esencialmente cualitativas más que cuantitativas, y sus métodos son holísticos más que cartesianos.

⁵³ Álvarez-Gaume (1985). El lector atento se habrá dado cuenta de que las anomalías en la «ciencia normal» son el precursor habitual de un cambio paradigmático *futuro* (Kuhn, 1970).

⁵⁴ Kosterlitz y Thouless (1973). El desarrollo de la teoría de transiciones de fase en la década de los setenta refleja probablemente un énfasis cada vez mayor en la discontinuidad y ruptura de la cultura dominante: véase nota 18, arriba.

⁵⁵ Green, Schwartz y Witten (1987).

⁵⁶ Un libro típico al respecto es el de Nash y Sen (1983).

En esos momentos, Jacques Lacan subrayaba desde el ámbito de las ciencias psicológicas y sociales el papel clave que desempeñaba la topología diferencial:

«este diagrama [la banda de Möbius] puede considerarse como la base de una especie de inscripción esencial en el origen, en el nudo que constituye el carácter fundamental del sujeto. Esto es mucho más importante de lo que pudiera creerse en un principio, ya que podemos buscar el tipo de superficie capaz de recibir estas inscripciones. Se verá que la esfera, ese viejo símbolo de la totalidad, no resulta adecuada. Un toro, una botella de Klein o una superficie cortada por la mitad pueden recibir este tipo de corte. Esta diversidad es muy importante, pues explica en gran medida la estructura de la enfermedad mental. Si este corte fundamental puede simbolizar al sujeto, también podemos demostrar que un corte en un toro corresponde al sujeto neurótico, y en una superficie cortada por la mitad a otro tipo de enfermedad mental»^{57, 58}.

Tal y como ha comentado Althusser acertadamente, «Lacan aporta por fin al pensamiento de Freud los conceptos científicos que éste necesitaba»⁵⁹. Más recientemente, la *topologie du sujet* de Lacan ha sido apli-

⁵⁷ Lacan (1970, 192-3). De una conferencia dada en 1966. Para un análisis en profundidad del uso que hizo Lacan de ideas procedentes de la topología matemática véase Juranville (1984, cap. VII), Granon-Lafont (1985, 1990), Vappereau (1985) y Nasio (1987, 1992); Leupin ofrece un breve resumen (1991). Véase Hayles (1990, 80), que ofrece una curiosa conexión entre la topología lacaniana y la teoría del caos; desgraciadamente no lo desarrolla. Véase también Žižek (1991, 38-9, 45-7), que ofrece algunas homologías más entre la teoría lacaniana y la física contemporánea. Lacan también utilizó con profusión los conceptos de la teoría de números; véase p.e. Miller (1977/8) y Ragland-Sullivan (1990).

⁵⁸ En la psicología social burguesa, las ideas topológicas fueron utilizadas por Karl Lewin a comienzos de 1930, pero su obra fallaba por dos razones: primero, por sus preconcepciones ideológicas individualistas; segundo, porque creía en una topología puntual pasada de moda y no en la topología diferencial moderna y en la teoría de las catástrofes. Respecto al segundo punto, véase Back (1992).

⁵⁹ Althusser (1993,50): «il suffit, à cette fin, de reconnaître que Lacan confère enfin à la pensée de Freud les concepts scientifiques qu'elle exige». Este famoso ensayo sobre «Freud y Lacan» se publicó por primera vez en 1964, antes de que la obra de Lacan hubiera alcanzado un mayor rigor matemático. Fue reeditado en inglés en 1969 (*New Left Review*).

cada con éxito a la crítica de cine⁶⁰ y al psicoanálisis del SIDA⁶¹. En términos matemáticos, Lacan subraya que el primer grupo homológico⁶² de la esfera es trivial, mientras que el de otras superficies es más profundo; y esta homología está vinculada a la conexión o desconexión de la superficie tras uno o más cortes⁶³. Es más, tal y como sospechaba Lacan, existe una conexión íntima entre la estructura externa del mundo físico y su representación psicológica interna *qua* teoría de nudos: esta hipótesis ha sido confirmada recientemente por Witten, que ha derivado invariantes de nudo (en concreto el polinomio de Jones⁶⁴) a partir de la teoría cuántica de campos tridimensional de Chern-Simons⁶⁵.

En la gravedad cuántica también aparecen estructuras tipológicas análogas, pero en la medida en que las variedades en cuestión son multidimensionales en vez de bidimensionales, aparecerán grupos homológicos mayores. Estas variedades multidimensionales ya no son visualizables en el espacio cartesiano convencional de tres dimensiones: por ejemplo, el espacio proyectivo RP^3 que surge de la 3-esfera común por identificación de antípodas, necesitaría al menos un espacio euclidiano embebido de dimensión mínima 5⁶⁶. No obstante, los grupos homoló-

⁶⁰ Miller (1977/8), especialmente, pp. 24-5). Este artículo ha ejercido una influencia notable en la teoría del cine. Véase p.e. Jameson (1982, 27-8) y las referencias allí citadas. Tal y como indica Strathauer (1994, 69), el artículo de Miller es difícil de leer y además no está muy versado en las matemáticas de la teoría de conjuntos. Pero el esfuerzo es bastante digno. Para una introducción poco dolorosa a la teoría de conjuntos, véase Bourbaki (1970).

⁶¹ Dean (1993, especialmente pp. 107-108).

⁶² La teoría homológica es una de las dos ramas principales del campo matemático denominado *topología algebraica*. Una introducción excelente a la teoría homológica es la de Munkres (1984); un estudio más divulgativo, Eilenberg y Steenrod (1952). Se debate sobre una teoría homológica completamente relativista en p.e. Eilenberg y Moore (1965). Para un análisis dialéctico de la teoría homológica y su dualidad, la teoría co-homológica, véase Massey (1978). Para un estudio cibernético de la homología véase Saludes i Closa (1984).

⁶³ Para una relación entre la homología y los cortes véase Hirsch (1976, 205-208); y para la aplicación de la teoría cuántica de campos a movimientos colectivos véase Caracciolo *et al.* (1993, especialmente ap. A.1).

⁶⁴ Jones (1985).

⁶⁵ Witten (1989).

⁶⁶ James (1971, 271-272). Sin embargo, debe mencionarse que el espacio es homeomórfico respecto al grupo de simetrías de rotación del espacio tridimensional euclidiano convencional. De hecho, algunos aspectos de la tridimensionalidad euclidiana todavía se conservan (aunque de forma modificada) en la física postmoderna, del mismo modo

gicos mayores sí pueden ser percibidos, al menos aproximadamente, mediante una lógica multidimensional (no-lineal) adecuada^{67, 68}.

Teoría de variedades: huecos ((W)holes) y bordes

Luce Irigaray señalaba en su famoso artículo, «Is the Subject of Science Sexed?», que:

«en la teoría de conjuntos [*théorie des ensembles*] las ciencias matemáticas tienen que ver con espacios abiertos y cerrados... Apenas se ocupan de la cuestión de lo parcialmente abierto, de las totalidades que no estén delineadas claramente [*ensembles flous*], de cualquier análisis del problema de los bordes [*bords*]...»⁶⁹.

En 1982, cuando se publicó por primera vez el ensayo de Irigaray, esto suponía una dura crítica: tradicionalmente, la topología diferencial había dado prioridad al estudio de lo que técnicamente se conocía como «variedades sin borde». Sin embargo, algunos matemáticos de la década pasada, ante el ímpetu de la crítica feminista, prestaron una atención nueva a la teoría de las «variedades con borde» [fr. *variétés à bord*]⁷⁰. Quizá no sea coincidencia que estas variedades también estén

que algunos aspectos de la mecánica newtoniana también se conservaron en la forma modificada de la física einsteiniana.

⁶⁷ Kosko (1993). Véase también Johnson (1977, 481-482), que ofrece un análisis de los esfuerzos de Derrida y Lacan por trascender la lógica espacial euclidiana.

⁶⁸ En una línea parecida, Eve Seguin (1994,61) ha señalado que «la lógica no dice nada del mundo y además le atribuye propiedades que no son más que constructos del pensamiento intelectual. Esto explica por qué, desde Einstein, la física se ha basado en lógicas alternativas, como la lógica trivalente, que rechaza el principio del tercio excluido». Una obra pionera (e injustamente olvidada) en esta dirección, inspirada también en la mecánica cuántica, es la de Lupasco (1951). Véase también Plumwood (1993b, 453-459), que ofrece una perspectiva específicamente feminista sobre la lógica no-clásica. Para un análisis crítico de la lógica no-clásica («lógica del límite») y su relación con la ideología del ciberespacio véase Markley (1994).

⁶⁹ Irigaray (1987, 76-7), ensayo aparecido originalmente en francés en 1982. La frase de Irigaray «*théorie des ensembles*» puede entenderse como «teoría de conjuntos», y «*bords*» se traduce normalmente en contexto matemático por «contornos». Su frase «*ensembles flous*» puede referirse al nuevo campo matemático de los «conjuntos difusos» (Kaufmann 1973, Kosko 1993).

⁷⁰ Véanse p.e. Hamza (1990), McAivty y Osborn (1991), Alexander, Berg y Bishop (1993) y las referencias citadas en estas obras.

presentes, precisamente, en la nueva física de la teoría de campos conforme, la teoría de supercuerdas y de la gravedad cuántica.

En la teoría de cuerdas, la amplitud mecánico-cuántica de la interacción de cuerdas abiertas o cerradas está representada por una integral funcional (básicamente una suma) sobre los campos que actúan en una variedad bidimensional con borde⁷¹. Podemos suponer una representación similar en la gravedad cuántica, exceptuando que la variedad bidimensional con borde se verá reemplazada por otra multidimensional. Desgraciadamente, al pensamiento matemático lineal convencional se le hace cuesta arriba la multidimensionalidad y por ello puede decirse que la teoría de las variedades multidimensionales con borde, a pesar de la reciente apertura de actitudes (notablemente relacionada con el estudio de fenómenos multidimensionales no lineales por parte de la teoría del caos) continúa sin desarrollar. No obstante, el estudio físico sobre el análisis funcional-integral de la gravedad cuántica progresa rápidamente⁷², estudio que parece estimular la atención de los matemáticos⁷³.

Tal y como anticipaba Irigaray, la cuestión fundamental de todas estas teorías es: ¿se pueden transgredir (cruzar) los bordes, los límites? Y, si es así, ¿qué ocurre entonces? Técnicamente, esto se conoce como el problema de las «condiciones de contorno». A un nivel exclusivamente matemático, el aspecto más sobresaliente de las condiciones de contorno es la enorme diversidad de sus posibilidades: por ejemplo, «c.c. libres» (no hay obstáculo para pasar), «c.c. reflejadas» (un reflejo especular, como la imagen en un espejo), «c.c. periódicas» (re-entrada en otra zona de la variedad) y «c.c. anti-periódicas» (re-entrada con un giro de 180°). La cuestión que plantean los físicos es: de todas las condiciones de contorno concebibles, ¿cuál es la que aparece en la representación de la gravedad cuántica?, o mejor, tal y como sugiere el principio de complementariedad, ¿aparecen *todas* ellas simultáneamente y en condiciones de igualdad?⁷⁴

⁷¹ Green, Schwartz y Witten (1987).

⁷² Hamber (1992), Nabutosky y Ben-Av (1993), Kontsevich (1994).

⁷³ En la historia de las matemáticas ha existido una dialéctica perenne entre el desarrollo de su ramas «pura» y «aplicada» (Struik, 1987). Es evidente que las «aplicaciones» que tradicionalmente se han visto favorecidas en este contexto han sido aquellas beneficiosas para los capitalistas y útiles para sus fuerzas militares: por ejemplo, la teoría de números se ha desarrollado en gran medida por sus aplicaciones en la criptología (Loxton, 1990). Véase también Hardy (1967, 120-1, 131-2).

⁷⁴ La representación igual de todas las condiciones de límite también viene sugerida por la teoría *bootstrap* de «democracia subatómica» de Chew: véase Chew (1997) para una introducción y Morris (1988) y Markley (1992) para un análisis filosófico.

Llegados a este punto, debo concluir este sumario de los avances de la física por la simple razón de que las respuestas a estas cuestiones –si es que hay alguna respuesta unívoca– todavía son desconocidas. En el resto de este ensayo, tomaré como punto de partida aquellos elementos de la teoría de la gravedad cuántica que sí están relativamente bien definidos (al menos según los criterios de la ciencia convencional) y trataré de entresacar sus consecuencias filosóficas y políticas.

Transgrediendo los límites: hacia una ciencia liberadora

Durante las dos últimas décadas se ha producido un amplio debate entre los teóricos críticos sobre las características de la cultura moderna, por comparación con la postmoderna; en los últimos años, estos diálogos han comenzado a prestar una atención especial a los problemas específicos suscitados por las ciencias naturales⁷⁵. En particular, Madsen and Madsen han ofrecido hace poco un resumen muy claro de las características de la ciencia moderna frente a la postmoderna. Proponen dos criterios para definir la ciencia postmoderna:

«un criterio simple para calificar a una ciencia como postmoderna es que debe estar libre de cualquier tipo de dependencia del concepto de verdad objetiva. Por ejemplo, según este criterio, la interpretación de la complementariedad de la física cuántica de Niels Bohr y la escuela de Copenhague puede considerarse postmoderna»⁷⁶.

⁷⁵ Entre la ingente cantidad de obras de perspectivas políticas progresistas muy diversas, las obras de Merchant (1980), Keller (1985), Harding (1986), Aronowitz (1988b), Haraway (1991) y Ross (1991) han ejercido una influencia notable. Véanse también las referencias citadas a continuación.

⁷⁶ Madsen y Madsen (1990, 471). La principal limitación del análisis de Madsen y Madsen es que resulta esencialmente apolítico; casi no es necesario señalar que las disputas sobre lo que es *verdad* pueden ejercer un efecto profundo, y también pueden verse afectadas profundamente, por las disputas sobre *proyectos políticos*. Markley (1992, 270) dice algo similar a Madsen y Madsen pero lo sitúa adecuadamente en su contexto político: «las críticas radicales de la ciencia que pretenden escapar a las constantes de la dialéctica determinista también deben proporcionar debates concebidos claramente sobre el realismo y la verdad, para investigar qué tipo de realidades –realidades políticas– pueden crear un *bootstrapping* dialógico. En un entorno dialógicamente agitado, los debates sobre la realidad se convierten, en términos prácticos, en algo irrelevante. La “realidad”, en última instancia, es un constructo histórico».

Remitimos a Markley (1992, 266-272) y Hobsbawm (1993, 63-49) para un examen más detallado de las consecuencias políticas.

En este sentido, es evidente que la gravedad cuántica es una ciencia postmoderna arquetípica. En segundo lugar:

«el otro concepto que puede considerarse fundamental para la ciencia postmoderna es el de *esencialidad*. Las teorías científicas postmodernas están construidas a partir de elementos teóricos esenciales para la consistencia y utilidad de la teoría»⁷⁷.

De hecho, en la teoría no deben introducirse cantidades o cosas que en principio sean inobservables –como los puntos de espacio-tiempo, la posición exacta de las partículas, los quarks o los gluones–⁷⁸. Si bien este

⁷⁷ Madsen y Madsen (1990, 471-472).

⁷⁸ Aronowitz (1988b, 292-93) hace una crítica ligeramente diferente, pero igualmente lógica, de la cromodinámica cuántica (la teoría actualmente hegemónica, que representa a los nucleones como estados permanentemente ligados de quarks y gluones): refiriéndose a la obra de Pickering (1984) dice:

«en su análisis [el de Pickering], el nombre de quarks se asigna a fenómenos (ausentes) más coherentes con teorías de partículas que con teorías de campo, que, en cada caso, ofrecen explicaciones diferentes, aunque igualmente plausibles, para la misma observación (inferida). Que la mayoría de la comunidad científica haya elegido una u otra está en función de la preferencia científica por la tradición y no de la validez de la explicación.

Sin embargo, Pickering no se remonta lo bastante en la historia de la física para encontrar la base de la tradición investigadora de la que surgió la explicación del quark. No se encuentra en la tradición sino en la ideología de la ciencia, en las diferencias entre campos *versus* partículas, explicaciones simples *versus* explicaciones complejas, el sesgo en favor de la certeza en lugar de la indeterminación».

En una línea muy similar, Markley (1992, 269) observa que la preferencia de los físicos por la cromodinámica cuántica sobre la teoría *bootstrap* de Chew de «democracia subatómica» (Chew, 1977) es un resultado ideológico, más que de los datos:

«en este sentido, no resulta sorprendente que la teoría *bootstrap* haya caído en desgracia relativa entre los físicos que buscan una GUT (Grand Unified Theory [Gran Teoría Unificadora]) o una TOE (Theory of Everything [Teoría de Todo]) para explicar la estructura del universo. Las teorías exhaustivas que explican “todo” son producto de la preferencia por la coherencia y el orden de la ciencia occidental. La elección entre teoría *bootstrap* y las teorías de todo a que se enfrentan los físicos *no* tiene que ver inicialmente con el valor de verdad ofrecido por los análisis de los datos disponibles, sino con las estructuras narrativas -indeterminadas o deterministas- en las que estos datos se incluyen y mediante las cuales son interpretados».

Desgraciadamente, la gran mayoría de los físicos todavía no es consciente de estas críticas incisivas a uno de sus dogmas más fervientemente queridos.

criterio excluye a gran parte de la física moderna, la gravedad cuántica vuelve a pasar la prueba: en el paso de la relatividad general clásica a la teoría cuántica, los puntos de espacio-tiempo (e incluso la propia variedad espacio-temporal) han desaparecido de la teoría.

Estos criterios, aun siendo admirables, resultan insuficientes para una ciencia *liberadora* postmoderna: liberan al ser humano de la tiranía de la «verdad absoluta» y la «realidad objetiva», pero no necesariamente de la tiranía de otros seres humanos. En palabras de Andrew Ross, necesitamos una ciencia «que sea públicamente responsable y preste algún servicio a los intereses progresistas»⁷⁹. Kelly Oliver construye un argumento similar desde un punto de vista feminista:

«... para ser revolucionaria, la teoría feminista no puede pretender describir lo que existe, «los hechos naturales». Más bien, la teoría feminista debe ser una herramienta política, una estrategia para superar la opresión en situaciones específicas y concretas. Por tanto, la meta de la teoría feminista debería ser el desarrollo de teorías *estratégicas* -ni teorías verdaderas ni teorías falsas, sino teorías estratégicas—»⁸⁰.

Pero, ¿cómo hacerlo?

En los siguientes párrafos me gustaría tratar de las líneas principales de una ciencia liberadora postmoderna a dos niveles: primero, en relación con temas y actitudes generales; segundo, en relación con metas y estrategias políticas.

Una característica de la reciente ciencia postmoderna es su énfasis en la no-linealidad y la discontinuidad: esto resulta evidente, por ejemplo, en la teoría del caos y en la de transiciones de fase, así como en la de la gravedad cuántica⁸¹. Al mismo tiempo, los autores feministas han

Véase otra crítica a la ideología oculta de la física de partículas contemporánea en Kroker *et al.* (1989, 158-162, 204-7). El estilo de esta crítica es demasiado baudrillardiano para mi anticuado gusto, pero el contenido (excepto por algunas inexactitudes menores) da plenamente en el blanco.

⁷⁹ Ross (1991,29). Un ejemplo divertido de cómo esta modesta exigencia ha producido ataques de apoplejia a los científicos de derechas («aterradoramente estalinista» es el epíteto que le dedican) es Gross y Levitt (1994, 91).

⁸⁰ Oliver (1989, 146).

⁸¹ Si bien la teoría del caos ha sido estudiada en profundidad por los analistas culturales —véase p.e. Hayles (1990, 1991), Argyros (1991), Best (1991), Young (1991, 1992), Assad (1993), entre otros— la teoría de transiciones de fase ha pasado en gran medida

indicado la necesidad de un análisis adecuado de los fluidos, en particular la turbulencia de los fluidos⁸². Estos dos temas no resultan tan contradictorios como podría parecer en un primer momento: la turbulencia se relaciona con una marcada no-linealidad y la suavidad-fluidez a veces se relaciona con la discontinuidad (p.e. la teoría de las catástrofes)⁸³; por tanto, una síntesis no resulta tan descabellada.

En segundo lugar, las ciencias postmodernas deconstruyen y trascienden las distinciones metafísicas cartesianas entre humanidad y naturaleza, observador y observado, Sujeto y Objeto. A comienzos de este siglo, la mecánica cuántica ya había acabado con la ingenua fe newtoniana en un mundo objetivo y pre-lingüístico de objetos materiales que «están ahí»; tal y como dice Heisenberg, ya no podemos preguntar si «las partículas existen objetivamente en el espacio y el tiempo». Pero la formulación de Heisenberg todavía presupone la existencia objetiva del espacio y el tiempo como un escenario neutral y no problemático donde las ondas-partículas cuantizadas interaccionan (aunque de forma indeterminada); éste es, precisamente, el escenario que problematiza la gravedad cuántica. En la medida en que la mecánica cuántica nos informa de que la posición y el momento de una partícula sólo existen a través del acto de observación, la gravedad cuántica nos informará de que el propio espacio-tiempo es contextual, y su significado sólo está definido en relación a un modo de observación⁸⁴.

desapercibida. (Una excepción es el examen del grupo de renormalización en Hayles (1990, 154-8).) Esto es una pena, porque la discontinuidad y la aparición de escalas múltiples son los elementos centrales de esta teoría; sería interesante saber cómo se conecta el desarrollo de estos temas en la década de los setenta, y posteriormente, con las tendencias de la cultura de masas. Sugiero, por tanto, que esta teoría será un campo fructífero para la investigación futura de los analistas culturales. Algunos teoremas sobre la discontinuidad que pueden resultar importantes para este análisis pueden encontrarse en Van Enter, Fernández y Sokal (1993).

⁸² Irigaray (1985), Hayles (1992). Véase, sin embargo, Schor (1989), que ofrece una crítica de la deferencia indebida de Irigaray hacia la ciencia convencional (masculina), y particularmente hacia la física.

⁸³ Thom (1975, 1990), Arnol'd (1992).

⁸⁴ Respecto a la metafísica cartesiana/baconiana, Robert Markley (1991, 6) ha observado que:

«las explicaciones del progreso científico dependen de oposiciones binarias –verdadero/falso, correcto/incorrecto– sobre el conocimiento teórico y experimental, favoreciendo al significado frente al ruido, a la metonimia frente a la metáfora, a la autoridad monológica frente a los contenidos dialógicos... Estos intentos de fijar la naturaleza son ideológicamente coercitivos y descriptivamente limitados.

En tercer lugar, las ciencias postmodernas acaban con lo estático de las categorías ontológicas y jerarquías características de la ciencia moderna. En lugar del atomismo y el reduccionismo, las nuevas ciencias subrayan el tejido dinámico de relaciones entre la parte y el todo; en lugar de esencias individuales fijas (p.e. las partículas newtonianas), conceptualizan la interacción y los fluidos (p.e. los campos cuánticos). Es curioso que estos elementos aparezcan en numerosos ámbitos aparentemente dispares de la ciencia, desde la gravedad cuántica, la teoría del caos o la biofísica de los sistemas organizados. En este sentido, las ciencias postmodernas parecen converger en un nuevo paradigma epistemológico que podemos denominar perspectiva *ecológica*, entendida en el sentido más amplio como «la consciencia de la interdependencia fundamental de todos los fenómenos y de la inclusión tanto de individuos como de sociedades en los modelos cíclicos de la naturaleza»⁸⁵.

Un cuarto aspecto de la ciencia postmoderna es el énfasis consciente en el simbolismo y la representación. Tal y como señala Robert Markley, las ciencias postmodernas transgreden cada vez más los límites disciplinarios, adoptando características que hasta entonces habían sido propias de las humanidades:

«la física cuántica, la teoría de *bootstrap* hadrónico, la teoría de los números complejos y la teoría del caos comparten las premisas básicas de que la realidad no puede ser descrita en términos lineales, que las ecuaciones no-lineales –e irresolubles– son los únicos medios posibles para describir una realidad caótica, compleja y no determinista. Estas teorías postmodernas son –significativamente– metacríticas, en el sentido en que funcionan como metá-

Sólo prestan atención a un reducido abanico de fenómenos –es decir, la dinámica lineal– que parece ofrecer formas fáciles y a menudo idealizadas de modelar e interpretar las relaciones humanas con el universo».

Esta observación está inspirada en primer lugar por la teoría del caos –y sólo secundariamente por la mecánica cuántica no relativista–, pero resume de forma muy hermosa el desafío radical a la metafísica modernista que postula la gravedad cuántica.

⁸⁵ Capra (1988, 145). Una advertencia: tengo muchas reservas ante el uso que hace Capra de la palabra «cíclico» que, interpretada de forma demasiado literal, podría promover un quietismo políticamente regresivo. Hay un análisis más amplio de estos problemas en Bohm (1980), Merchant (1980, 1992), Berman (1981), Prigogine y Stengers (1984), Bowen (1985), Griffin (1988), Kitchner (1988), Callicott (1989, caps. 6 y 9), Shiva (1990), Best (1991), Haraway (1991, 1994), Mathews (1991), Morin (1992), Santos (1992) y Wright (1992).

foras más que como descripciones «precisas» de la realidad. En términos más conocidos por los teóricos literarios que por los físicos teóricos, podemos decir que estos esfuerzos científicos por desarrollar nuevas estrategias de descripción son anotaciones con vistas a una teoría de las teorías, de cómo la representación —atemática, experimental y verbal— es intrínsecamente compleja y problematizadora, no es una solución sino parte de la semiótica de la investigación del universo»^{86, 87}.

Desde un punto de partida diferente, Aronowitz sugiere que la ciencia liberadora debe surgir de un compartir epistemologías interdisciplinario:

«... los objetos naturales también están contruidos socialmente. No es una cuestión de si estos objetos naturales, o, para ser más precisos, estos objetos del conocimiento científico natural, existen independientemente del acto de conocer. Esta cuestión está contestada con la premisa del tiempo “real”, por oposición a la presunción, común entre los neo-kantianos, de que el tiempo siempre posee un referente, de que la temporalidad es una categoría relativa y no una categoría no condicionada. Sin duda, la tierra ha existido mucho tiempo antes de que hubiera vida sobre ella. La cuestión es si los objetos del conocimiento científico natural están contruidos fuera del ámbito social. Si esto es posible, podemos decir que la ciencia o el arte pueden desarrollar procedimientos que neutralicen finalmente los efectos que emanan de los medios para producir conocimiento/arte. El arte en acción (*performance art*) puede ser un intento de este tipo»⁸⁸.

Por último, la ciencia postmoderna proporciona una refutación poderosa del autoritarismo y elitismo inherentes a la ciencia tradicional, así como una base empírica para un análisis democrático del trabajo cientí-

⁸⁶ Markley (1992, 264). Una objeción menor: no me parece claro que la teoría de los números complejos, una rama nueva y bastante especulativa de la física matemática, merezca el mismo estatus epistemológico que las tres ciencias firmemente establecidas citadas por Markley.

⁸⁷ Véase Wallerstein (1993, 17-20), un estudio incisivo y muy análogo a éste sobre la forma como la física postmoderna está tomando prestadas ideas de las ciencias históricas y sociales; véase también Santos (1989, 1992) para un desarrollo más detallado.

⁸⁸ Aronowitz (1988b, 344).

fico. Como ha señalado Bohr, «la completa elucidación de un sólo objeto puede exigir diversos puntos de vista que desafíen una descripción única» —lo cual es sencillamente un hecho del mundo, por mucho que los que se autodenominan empiristas en la ciencia moderna prefieran negarlo—. Ante esta situación, ¿cómo puede un clero secular autoperpetuante de «científicos» con credenciales conservar el monopolio de la producción de conocimiento científico? (Me gustaría subrayar que no me opongo de ningún modo a la enseñanza científica especializada; tan sólo me opongo a que una casta elitista pretenda imponer su canon de «gran ciencia» con la idea de excluir *a priori* formas alternativas de producción científica realizada por personas que no son miembros de la casta⁸⁹.)

El contenido y la metodología de la ciencia postmoderna han supuesto un importante soporte intelectual para el proyecto político progresista, comprendido en su sentido más amplio: transgresión de los límites, ruptura de barreras, democratización radical de todos los aspectos de la vida social, económica, política y cultural⁹⁰. Inversamente,

⁸⁹ Llegados a este punto, la respuesta científica tradicional es que la obra que no entra en los modelos evidentes de la ciencia convencional es, en esencia, *irracional*, esto es, lógicamente imperfecta y por tanto indigna de crédito. Pero esta refutación es insuficiente: como Porush (1993) ha observado con lucidez, las matemáticas y la física modernas han admitido *por sí mismas* una intensa «intrusión de lo irracional», en la mecánica cuántica y en el teorema de Gödel —aunque, comprensiblemente, los científicos modernos, al igual que los pitagóricos hace veinticuatro siglos, han intentado exorcizar este elemento irracional no deseado lo mejor que han podido—. Porush hace un llamamiento vigoroso en favor de «una epistemología post-razional» que retendría lo mejor de la ciencia convencional occidental al tiempo que valoraría otras formas alternativas de conocimiento.

Nótese que Jacques Lacan, aunque con un punto de partida diferente, llegó a una apreciación similar del papel inevitable de la irracionalidad en las matemáticas modernas:

«si me permiten usar una de esas fórmulas que me vienen a la cabeza mientras escribo mis notas, la vida humana podría definirse como un cálculo en el que cero es irracional. Esta fórmula es una imagen, una metáfora matemática. Cuando digo «irracional», no me refiero a un estado emocional indescriptible sino, precisamente, a lo que se denomina número imaginario. La raíz cuadrada de menos uno no corresponde a nada susceptible de nuestra intuición, a nada real —en el sentido matemático del término— y, sin embargo, debemos conservarlo en toda su función».

[Lacan (1977, 28-9), seminario ofrecido en 1959].

Otras reflexiones sobre la irracionalidad en las matemáticas modernas pueden verse en Solomon (1988, 76) y Bloor (1991, 122-5).

⁹⁰ Véase p.e. Aronowitz (1994) y el debate que ha suscitado.

parte de este proyecto debe consistir en la construcción de una ciencia nueva y verdaderamente progresista que pueda servir a las necesidades de este tipo de sociedad democratizada. Tal y como observa Markley, parecen existir dos posibilidades más o menos excluyentes para la comunidad progresista:

«por un lado, los científicos políticamente progresistas pueden intentar recuperar las prácticas existentes para los valores morales que defienden, argumentando que sus enemigos de la derecha están mutilando la naturaleza y que ellos, el movimiento contrario, poseen el camino que lleva a la verdad. [Pero] el estado de la biosfera –la contaminación del aire, del agua, la desaparición de las selvas tropicales, miles de especies al borde de la extinción, grandes extensiones de tierra cultivada por encima de su capacidad, bases nucleares, armas nucleares, claros donde antes había bosques, sequías, malnutrición, humedales desaparecidos, prados inexistentes, y todo un cúmulo de enfermedades provocadas por el medio ambiente– sugieren que el sueño realista del progreso científico, el de volver a apropiarse, en vez de revolucionarlas, de las metodologías y tecnologías existentes, es irrelevante para la lucha política, que busca algo más que una reiteración del socialismo de estado»⁹¹.

La alternativa es un replanteamiento profundo de la ciencia y la política:

«... la baza dialógica encaminada a redefinir sistemas, a ver al mundo no sólo como un conjunto ecológico sino también como un juego de sistemas competitivos –un mundo que se mantiene unido gracias a la tensión entre los diversos intereses naturales y humanos–, ofrece la posibilidad de redefinir qué es la ciencia y cuál es su cometido, de reestructurar los esquemas deterministas de la educación científica en favor de diálogos abiertos sobre las formas de nuestra intervención en el entorno»⁹².

⁹¹ Markley (1992, 271).

⁹² Markley (1992, 271). En una línea parecida, Donna Haraway (1991, 191-2) ha argumentado elocuentemente en favor de una ciencia democrática que comprenda «conocimientos parciales, localizables, críticos, que presenten la posibilidad de tejidos de conexiones dirigidas a la solidaridad en política y que dialoguen con la epistemología», y

Ni que decir tiene que la ciencia postmoderna se inclina inequívocamente por este último análisis más profundo.

Junto a la redefinición del contenido de la ciencia, también es imperativo reestructurar y redefinir los lugares institucionales donde se desarrolla la labor científica –universidades, laboratorios gubernamentales y corporaciones– para reestructurar un sistema de retribuciones que hoy lleva a los científicos a convertirse, a menudo a pesar suyo, en pistoleros a sueldo del capitalismo y el ejército. Tal y como ha señalado Aronowitz, «un tercio de los 11.000 estudiantes de física de tercer ciclo en los Estados Unidos se dedican a la física del estado sólido y todos ellos podrán obtener empleo en este subcampo»⁹³. En contraste, hay pocos empleos disponibles en el ámbito de la gravedad cuántica o la física ambiental.

Pero todo esto sólo es un primer paso: la meta fundamental de cualquier movimiento emancipatorio debe ser la desmitificación y democratización de la producción del conocimiento científico para romper las barreras artificiales que separan la «forma científica» de la «pública». A un nivel práctico, esta tarea debe comenzar con la generación más joven, mediante una reforma profunda del sistema educativo⁹⁴. Se deben eliminar las características autoritarias y elitistas de la enseñanza de matemáticas y ciencia⁹⁵, y se debe enriquecer el contenido de estos temas con la incorporación de reflexiones procedentes de la crítica feminista⁹⁶, homosexual⁹⁷, multicultural⁹⁸ y ecológica⁹⁹.

fundada «en una doctrina y práctica de objetividad que favorezca la contestación, la deconstrucción, la construcción apasionada, conexiones múltiples y una esperanza de poder transformar los sistemas de conocimiento y las formas de ver». Estas ideas están más desarrolladas en Haraway (1944) y Doyle (1994).

⁹³ Aronowitz (1988b, 351). Aunque esta observación apareció en 1988, hoy todavía es más correcta.

⁹⁴ Freire (1970), Aronowitz y Giroux (1991, 1993).

⁹⁵ Para un ejemplo en el contexto de la revolución sandinista véase Sokal (1987).

⁹⁶ Merchant (1980), Easlea (1981), Keller (1985, 1992), Harding (1986, 1991), Haraway (1989, 1991), Plumwood (1993a). Véase Wylie *et al.* (1990), con extensa bibliografía. Como cabía esperar, la crítica feminista de la ciencia ha sido objeto de los contra-ataques mordaces de la derecha. Para una muestra de ello, véase Levin (1988), Haack (1992, 1993), Sommers (1994), Gross y Levitt (1994, cap. 5) y Patai y Koertge (1994).

⁹⁷ Trebilcot (1988), Hamill (1994).

⁹⁸ Ezebasili (1977), Van Sertima (1983), Frye (1987), Sardar (1988), Adams (1990), Nandy (1990), Alvares (1992), Harding (1994). Al igual que en el caso de la crítica feminista, la perspectiva multicultural ha sido ridiculizada por los críticos de

Finalmente, el contenido de cualquier ciencia se halla profundamente constreñido por el lenguaje en el que se formulan sus discursos; la corriente principal de la ciencia física occidental ha sido formulada, desde Galileo, en el lenguaje de las matemáticas^{100, 101}. Pero ¿qué matemáticas? Esta cuestión es fundamental pues, tal y como ha observado derechas con tal condescendencia que a menudo bordea el racismo. Véase p.e. Ortiz de Montellano (1991), Martel (1991/2), Hugues (1993, cap. 2) y Gross y Levitt (1994, 203-14).

⁹⁹ Merchant (1980, 1992), Berman (1981), Callicott (1989, caps. 6 y 9), Mathews (1991), Wright (1992), Plumwood (1993 a), Ross (1994).

¹⁰⁰ Para una deconstrucción de la retórica de Galileo véase Wojciehowski (1991), que concierne en particular a sus afirmaciones de que el método científico-matemático puede conducir a un conocimiento directo y «creíble» de la realidad.

¹⁰¹ Una contribución importante y muy reciente a la filosofía de las matemáticas es la obra de Deleuze y Guattari (1994, cap. 5). En esta obra introducen la fructífera noción filosófica de un «funtivo» [fr. *fonctif*], que no es ni una función [fr. *fonction*] ni una funcional [fr. *fonctionnelle*], sino una entidad conceptual más básica:

«el objeto de la ciencia no son los conceptos sino las funciones que están presentes como proposiciones en los sistemas discursivos. Los elementos de las funciones se llaman *fonctifs*» [p. 117]

Esta idea, tan simple en apariencia, tiene consecuencias sorprendentemente sutiles y de gran alcance; su elucidación requiere un desvío hacia la teoría del caos (véase también, Rosemberg, 1993, y Canning, 1994):

«... la primera diferencia entre ciencia y filosofía reside en sus respectivas actitudes respecto al caos. El caos está definido no tanto por su desorden como por la velocidad infinita en que cada forma se conforma y se desvanece. Se trata de un vacío que no es más que *virtual*, que contiene todas las partículas posibles y representa todas las formas posibles de movimiento, que surge sólo para desaparecer inmediatamente sin consistencia o referencia, sin consecuencia. El caos es una velocidad infinita de nacimiento y desaparición» [pp. 117-8].

Pero la ciencia, al contrario que la filosofía, no puede hacer frente a velocidades infinitas:

«... se realiza ralentizando este problema, del mismo modo que el pensamiento científico es capaz de penetrar en él [*sic*] con proposiciones. Una función es un Movimiento retardado. Es evidente que la ciencia avanza con constantes aceleraciones, no sólo en catálisis sino también en aceleradores de partículas o las expansiones que alejan las galaxias. Sin embargo, para estos fenómenos, el movimiento retardado primordial no es un instante-cero sino, más bien, una condición co-extensa con el conjunto de su desarrollo. Retardar supone fijar una frontera en el caos que determina todas las velocidades posibles, por lo que éstas forman una variable determinada por abscisas, al mismo tiempo que el límite forma una constante universal que no puede ser sobrepasada (por ejemplo, un grado máximo de contracción). *Los primeros funtivos son, por tanto, el límite y la*

Aronowitz, «ni la lógica ni las matemáticas pueden escapar a la “contaminación” de lo social»¹⁰². Tal y como han señalado repetidamente las autoras feministas, esta contaminación de la cultura actual es, en proporciones abrumadoras, capitalista, militarista y patriarcal. «Se ha retratado a las matemáticas como una mujer cuya naturaleza desea ser conquistada por el Otro»^{103, 104}. De hecho, una ciencia liberadora no puede estar completa sin una profunda revisión del canon de las matemáticas

variable, y la referencia es una relación entre valores de la variable o, más en profundidad, la relación de la variable, como abscisa de velocidades, con el límite» [pp 118-9, la cursiva es mía].

Un análisis bastante complejo (demasiado largo para citarlo) conduce a una conclusión de enorme importancia metodológica para las ciencias basadas en modelos matemáticos:

«la independencia respectiva de las variables aparece en las matemáticas cuando una de ellas tiene más poder que la anterior. Esta es la razón por la que Hegel muestra que la variabilidad en la función no está confinada a los valores que puedan ser transformados ($2/3$ y $4/6$) o quedar infradeterminados ($a = 2b$), sino que requiere que una de las variables tenga una potencia mayor ($y^2/x = P$)» [p. 122].

(Nótese que la traducción inglesa dice inadvertidamente $y^{2x} = P$, un divertido error que altera por completo la lógica del argumento).

Sorprendentemente, tratándose de una obra filosófica técnica, este libro (*Qu'est-ce que la philosophie?*) fue uno de los más vendidos en Francia en 1991. Ha aparecido una traducción reciente al inglés, pero por desgracia no es probable que compita con Rush Limbaugh y Howard Stern en las listas de los libros más vendidos de este país.

¹⁰² Aronowitz (1988b, 346). Un ataque virulento de la derecha a esta proposición es Gross y Levitt (1994, 52-4). Véase Cope-Kasten (1989), Nye (1990) y Plumwood (1993b), críticas feministas lúcidas a la lógica matemática convencional (masculina), en particular al *modus ponens* y los silogismos. Respecto al *modus ponens*, véase también Woolgar (1988, 47-8) y Bloor (1991-182); respecto al silogismo, véase Woolgar (1988, 47-8) y Bloor (1991, 131-5). Un análisis de la imagen social que subyace en las concepciones matemáticas del infinito es Harding (1986, 50). Para una demostración de la contextualidad social de las afirmaciones matemáticas véase Woolgar (1988, 43) y Bloor (1991, 107-130).

¹⁰³ Campbell y Campbell-Wright (1993, 11). Véase Merchant (1980), un análisis detallado sobre el control y dominación de la ciencia y las matemáticas occidentales.

¹⁰⁴ Mencionaré de pasada otros dos ejemplos de sexismo y militarismo en el ámbito de las matemáticas que, por lo que sé, no se han citado previamente.

El primer ejemplo se refiere a la teoría de los procesos de división genealógica, que surgió en la Inglaterra victoriana a partir del problema de la «extinción de familias», y que ahora desempeña un papel clave *inter alia* en el análisis de las reacciones nucleares en cadena (Harris, 1963). En el texto seminal (y esta palabra sexista resulta adecuada) sobre el tema, Francis Galton y el reverendo H. W. Watson escribieron (1874):

cas¹⁰⁵. Hasta ahora no ha habido unas matemáticas emancipadas, por lo que sólo podemos especular sobre su contenido eventual. Podemos rastrear alguna pista en la lógica multidimensionalidad y no-linealidad de las lógicas difusas¹⁰⁶, pero éstas todavía se encuentran profundamente influidas por sus orígenes en la crisis de las relaciones de producción del capitalismo tardío¹⁰⁷. Es indudable que la teoría de las catástrofes¹⁰⁸, con su hincapié dialéctico en la suavidad/discontinuidad y metamorfosis/desdoblamiento, desempeñará un papel importante en las

«la decadencia de las familias de hombres que ocuparon posiciones destacadas en épocas pasadas ha sido un tema frecuente de investigación, y ha dado lugar a varias conjeturas... Hay ejemplos muy numerosos de lugares donde apellidos que una vez fueron comunes ahora son escasos o han desaparecido por completo. Esta tendencia es universal y, como explicación, la conclusión a la que se ha llegado precipitadamente es que el aumento de las comodidades físicas y de la capacidad intelectual está acompañado necesariamente de una disminución de "fertilidad"...

Sean p_0, p_1, p_2, \dots las respectivas probabilidades de que un hombre tenga 0, 1, 2... hijos, y tenga cada hijo la misma probabilidad de tener hijos propios, etc... ¿Cuál es la probabilidad de que la línea masculina se extinga tras r generaciones?; y, en general, ¿cuál es la probabilidad de cualquier número dado de descendientes de línea masculina en cualquier generación dada?»

No podemos más que sonreír ante la curiosa consecuencia de que los hombres se reproducen asexualmente; no obstante, el clasismo, el darwinismo social y el sexismo del pasaje son obvios.

El segundo ejemplo es de la obra de Laurent Schwartz, *Radon Measures*, de 1973; si bien el libro resulta técnicamente interesante, también está imbuido, tal y como revela claramente su título, de la visión pro energía nuclear tan característica de la ciencia francesa desde comienzos de 1960. Desgraciadamente, la izquierda francesa —especialmente el PCF, aunque no ha sido el único— ha sido tradicionalmente tan entusiasta de la energía nuclear como la derecha (véase Touraine *et al.*, 1980).

¹⁰⁵ Al igual que las feministas liberales se contentan a menudo con un programa mínimo de igualdad social y legal de las mujeres y con la «pro-elección», los matemáticos liberales (e incluso socialistas) suelen contentarse con trabajar en los confines del marco hegemónico Zermelo-Fraenkel (que, por reflejo de sus orígenes liberales decimonónicos, ya incorpora el axioma de igualdad), añadiéndole tan sólo el axioma de elección. Pero este marco es extremadamente insuficiente para unas matemáticas liberadoras, tal y como Cohen demostró hace tiempo (1966).

¹⁰⁶ Kosko (1993).

¹⁰⁷ La teoría de los sistemas difusos ha sido desarrollada en gran medida por compañías transnacionales —primero en Japón y después en todo el mundo— para resolver problemas prácticos de eficacia en la automatización, con la consiguiente pérdida de puestos de trabajo.

¹⁰⁸ Thom (1975, 1990), Arnol'd (1992).

matemáticas futuras, pero todavía queda mucho por hacer para que pueda convertirse en una herramienta concreta de la praxis política progresista¹⁰⁹. La teoría del caos –que nos proporciona las reflexiones más profundas sobre el fenómeno omnipresente y misterioso de la no-linealidad– también será central en cualquier tipo de matemáticas futuras. Con todo, estas imágenes de unas matemáticas futuras no pueden ser más, hoy por hoy, que una luz muy remota e indistinta, pues, junto a estas tres jóvenes ramas del árbol de la ciencia, surgirán nuevas ramas y nuevos troncos -estructuras teóricas completamente nuevas que nosotros, en nuestra ceguera ideológica actual, todavía no podemos concebir siquiera.

Me gustaría agradecer a Giacomo Caracciolo, Lucía Fernández-Santoro, Lia Gutiérrez y Elizabeth Meiklejohn sus amistosas discusiones, que tanto han contribuido a este artículo. No es necesario decir que sus opiniones no tienen por qué coincidir en absoluto con los puntos de vista científicos y políticos aquí expresados, y que tampoco son responsables de ningún error o confusión que pudiera haber pasado inadvertido.

¹⁰⁹ Schubert (1989) supone un punto de partida interesante.