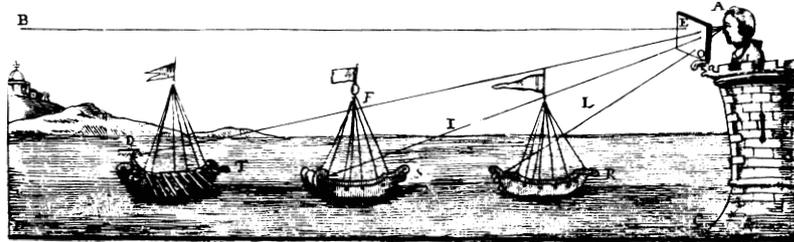


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



EDUCACIÓN CIENTÍFICA: EL REGRESO DEL CIUDADANO Y DE LA CIUDADANA *

DÉSAUTELS, JACQUES y LAROCHELLE, MARIE

Département d'Études sur l'Enseignement et l'Apprentissage. Faculté des Sciences de l'Éducation.

Université Laval & CIRADE. Québec, QC, G1K 7P4

jacques.desautels@fse.ulaval.ca

marie.larochelle@fse.ulaval.ca

Resumen. Este trabajo aborda la problemática de la educación científica desde el punto de vista de la formación ciudadana. Se presenta el concepto de *competencia profana*. La escuela debería dar a todos los estudiantes la oportunidad de iniciarse en la política de las tecnociencias, a fin de que ellos puedan participar en su elaboración y en su puesta en práctica tanto local como global, involucrándose en la solución de las controversias científico-tecnológicas que atraviesan la sociedad actual.

Palabras clave. Educación para la ciudadanía, tecnociencias, competencia profana, poder.

Summary. This paper focuses on science education from the point of view of citizen education. The concept of *profane expertise* is presented. Schools should give all students the opportunity to be initiated in technoscientific policies, so that they can participate in their elaboration and performance both locally and globally. Students need to get involved in the solution of the scientific and technological controversies that are present in contemporary society.

Keywords. Citizen education, technoscience, profane expertise, power.

EDUCACIÓN CIENTÍFICA: EL REGRESO DEL CIUDADANO Y DE LA CIUDADANA¹

Sábado 9 de junio de 2001, 9 de la mañana, hotel *Holiday Inn*, en las afueras de Québec. La señora X de la Asociación Canadiense de Salud Pública (ACSP)² declara abierta la sesión pública de uno de los seis foros ciudadanos organizados por este organismo con vistas a conocer la opinión de los y las canadienses a propósito de los xenotransplantes³. Dieciséis ciudadanos y ciudadanas «ordinarios», miembros del panel que debía preparar un informe sobre el tema, y cinco expertos y expertas provenientes de diversos campos participan en este foro⁴. La moderadora, encargada de coordinar las discusiones y debates, invita primero a los dos expertos médicos (transplante de órganos, inmunología) y al experto en derecho a presentar en quince minutos sus puntos de vista sobre la siguiente cuestión: «¿Debería Canadá autorizar los transplantes de animales a humanos?» Un breve período de tiempo (20-25 minutos) se dedica a las preguntas y comentarios de los «panelistas». A continuación, el experto en ética y el experto en derechos de los animales exponen sus puntos de vista y, de nuevo, los «panelistas» son invitados a hacerles preguntas. Finalmente, se reserva un corto período de tiempo para las preguntas del público general (por otra parte, muy exiguo, debido a la falta de una adecuada difusión).

Convendría efectuar un análisis crítico de este foro que, a semejanza de otras conferencias ciudadanas del mismo tipo, convocaba a expertos científicos que, muy evidentemente, compartían la misma opinión sobre el tema de estudio (Bereano, 1999). En efecto, exceptuando al experto en ética, los expertos convocados se manifestaron todos en favor de los xenotransplantes⁵; además, los expertos relacionados con la esfera médica se mostraron poco reflexivos en cuanto a las consecuencias de esta tecnología controvertida que, según muchos de sus colegas, comporta riesgos potenciales importantes para la salud de los individuos y de las poblaciones (Van Der Laan et al., 2000)⁶. Podríamos también criticar que la composición del grupo de expertos reproducía la división habitual del trabajo entre las ciencias duras y las ciencias humanas, perpetuando las dicotomías que la sostienen (tales como naturaleza/cultura, hechos/valores, ciencia/sociedad) y que conducen a poner las cuestiones éticas por debajo del proceso de producción de conocimientos, *after the fact*, como dirían nuestros colegas anglófonos.

Pero éste no es nuestro objetivo aquí. Mencionamos este caso porque permite inicialmente señalar que los ciudadanos y ciudadanas ordinarios pueden apropiarse, en un tiempo relativamente corto (tres días), de una problemática por lo menos compleja y revelarse como interlocutores astutos, detectando incluso ciertos elementos ocultos en los discursos de los expertos y expertas⁷. Por otra parte, el caso permite subrayar que este tipo de encuentros que reúnen ciudadanos y ciudadanas de todas las procedencias y todos los grados de competencia para tomar decisiones en materia de política científica, *ya que se trata justamente de esto*, no es un caso único (Bensaude-Vincent, 2000). Al contrario, si hacemos

caso a los trabajos del Instituto Loka (2001), habría una proliferación de estos encuentros⁸, de modo que se vería, como lo sostienen Callon, Lascoumes y Barthes (2001), un mayor índice de cambio en nuestras *sociedades inciertas*⁹. Pero podríamos objetar: ¿estos encuentros implican alguna conexión con la educación científica?

Desde hace ya algunos años, la educación científica para todos y todas, mejor conocida con el nombre de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, 1994), o también de *scientific literacy* en el universo anglófono, ha estado estrechamente ligada a la cuestión de la ciudadanía (De Boer, 2000; Kolsto, 2001). Los argumentos en favor de una tal educación estipulan que, en una «sociedad del conocimiento», según la expresión de moda, todo individuo debería adquirir un mínimo de cultura científica, bajo pena de no poder participar de manera informada en las decisiones ligadas a los diversos intereses (éticos, económicos, políticos, etc.) que generan las ciencias y las tecnologías; de este modo la gente quedaría a merced de los expertos y expertas científicos. A pesar de su interés, esta nueva retórica se articula la mayor parte del tiempo con representaciones más o menos clásicas, por no decir superadas, de las ciencias y las tecnologías en la sociedad. Además, como subrayan Eisenhart, Finkel y Marion (1996) a propósito de diversos proyectos estadounidenses (tales como el *Proyecto 2061* [Rutherford y Ahlgren, 1990]), cuando se trata de precisar las orientaciones pedagógicas y curriculares de esta educación, las mismas cuestiones obsesivas a propósito del contenido científico disciplinar tradicional que deben dominar los estudiantes reaparecen y ocupan el centro de la escena. Según Osborne y Collins (2001), una situación parecida tendría lugar en el Reino Unido. No sólo la integración al currículo de contenidos apoyados en los intereses sociales y tecnológicos no habría tenido el éxito esperado sino que, como son contenidos que se prestan mal a la medición, son los primeros en desaparecer ahora que la tendencia a evaluar el rendimiento del sistema educativo se vuelve preponderante. El «currículo-en-acción» retoma, entonces, su aire familiar y se vuelca a las nociones y contenidos tradicionales, en detrimento, no hace falta aclararlo, de una comprensión de la práctica de las ciencias: «Science curricula are then dominated by factual knowledge –knowledge “that” or knowledge “how”– material, which is readily assessed rather than material that seeks to imbue critical understanding of scientific reasoning or scientific practice.» (p. 442)

Sería una lástima que el destino de lo que se anunciaba como una promesa de renovación y de apertura de la educación científica fuera a terminar siendo un simple refuerzo del statu quo pedagógico. Nosotros pensamos que es importante llevar adelante el debate sobre el tema de educación científica y ciudadanía, dado que su importancia desborda ampliamente las clases de ciencias, ya que es la calidad de la vida democrática en nuestras sociedades la que está en juego (Désautels, 2001). Dicho de otra forma, y ése es el propósito de este texto, la institución escolar debería dar a todos los estudiantes la oportunidad de iniciarse en la política de las tecnociencias, a fin de que ellos puedan eventualmente participar

en su elaboración y en su puesta en práctica tanto local como global, involucrándose particularmente en la solución de las controversias sociotécnicas que atraviesan las sociedades actuales. Notemos que la educación científica clásica constituye igualmente una iniciación a la política de las tecnociencias, ya que contribuye frecuentemente a la reproducción de la jerarquía social de los conocimientos y al acceso al poder de los expertos y expertas científicos. En este sentido, la posición que nosotros defendemos debe ser entendida como un cambio de rumbo (explícito) en lo que se ha hecho siempre, a saber, iniciar a los estudiantes en una cierta política de las tecnociencias.

A fin de sostener esta posición, examinaremos brevemente algunos trabajos en sociología y antropología de la ciencia que permiten entender de forma diferente la *socialidad* de las tecnociencias y mostrar que éstas son no sólo productos de la sociedad sino también productos de la sociedad. Dicho de otra forma, al contribuir a la reconfiguración de las relaciones entre humanos y no humanos, las tecnociencias producirían lo social (Callon, 1999); convengamos que esto justifica que se vuelvan un asunto de todos y todas. A continuación, presentamos algunos casos que ilustran bien cómo los ciudadanos y ciudadanas ordinarios, lejos de sufrir del «déficit cognitivo» que se tiende a imputarles, contribuyen a la puesta en marcha de la política de las tecnociencias e incluso a veces la inician, cumpliendo un rol de «expertos profanos» que contribuyen de manera sustancial e innovadora a la investigación. Presentamos también algunas experiencias pedagógicas que testimonian que jóvenes estudiantes pueden seguir muy tempranamente esta vía y contribuir a «hacer entrar las ciencias en la democracia», según la bella expresión de Latour (1999). Pero inicialmente echemos una mirada sobre la emergencia de una cierta representación cientifista de las ciencias que ha contribuido a profundizar un poco más la demarcación entre los conocimientos elegidos y los demás conocimientos, desde luego en beneficio de los primeros.

LA HERENCIA CIENTIFISTA: LAS VERDADES CIENTÍFICAS UNIVERSALES TRASCENDEN A LA SOCIEDAD

Un breve recorrido sobre ciertos momentos históricos del desarrollo de las ciencias¹⁰ permite ver que la revolución científica¹¹ iniciada en el siglo XVI (en particular en los dominios de la astronomía y la física) estuvo acompañada de una reconfiguración de la jerarquía social de los conocimientos y de los poderes que éstos comportan, según la expresión de Foucault (1971). A través de una serie de episodios a menudo tumultuosos, algunas veces trágicos, en el transcurso de los cuales se enfrentaron distintos protagonistas que pretendían saber qué había en los cielos y cuál era su origen, no sólo el centro del mundo fue relegado al rango de planeta. También el lugar de la palabra *trascendente*, y del poder que ésta confiere, fue sacado de órbita y confiscado por nuevos funcionarios de la verdad. La verdad eterna y

teológica fue reemplazada por una verdad universal y racional, independiente de toda contingencia social, que será propiedad exclusiva de la ciencia en los siglos posteriores (Serres, 1989). Veamos algunos hechos sobresalientes de esta saga de la civilización de la cual somos herederos.

Pequeño esbozo de la cosmografía ptolemaica

En el momento en que el canónigo y astrónomo Nicolás Copérnico (1473-1543) muere, su obra está justamente en proceso de publicación. La tradición en vigor en el dominio de la astronomía se apoya, pues, esencialmente sobre la cosmografía geocéntrica desarrollada en la antigüedad por Ptolomeo (Aujac, 1993) y «revisitada» por las autoridades religiosas con el fin de hacerla compatible con las enseñanzas bíblicas (Kuhn, 1973).

Esta cosmografía describe un universo cerrado, formado por una serie de ocho esferas, unas dentro de otras, de las cuales la esfera de las estrellas fijas es llamada *bóveda celeste*. Estas esferas llevan los planetas y el sol en su curso alrededor de una Tierra inmóvil situada en el centro del Universo. Este universo o este cosmos está dividido en dos grandes regiones, el mundo «sublime» supralunar y el mundo «corruptible» sublunar, cuya frontera está evidentemente marcada por la órbita de la luna. La distinción entre estos mundos vendría dada por diferencias que les son intrínsecas. El mundo sublunar sería corruptible en virtud de la imperfección de los movimientos, de la vida y la muerte o de la mezcla continua de los elementos (tierra, agua, aire y fuego). Por el contrario, el mundo supralunar escaparía a estas vicisitudes. Constituiría así la región inmutable del cosmos, en la cual, sobre un fondo de éter (medio y sustancia incorruptible por excelencia), las esferas celestes se mueven a una velocidad uniforme sobre órbitas circulares perfectas; esta armonía y esta majestad de los cielos testimonian la perfección divina. Los teólogos y filósofos, en tanto que únicos intérpretes reconocidos de la palabra trascendente divina, son quienes aseguran la mediación entre el orden divino (y supralunar), creado en siete días, y el orden social (sublunar), que, por un proceso expiatorio, debe tender a reflejarlo.

Dicho de otra forma, en esta época, la única cosmogonía, la única explicación aceptable de la formación del universo y de los objetos celestes provenía del relato bíblico. Los astrónomos debían atenerse a una astronomía de posición, es decir, a cosmografías matematizadas que permiten identificar y predecir las posiciones de los astros. En ningún caso debían pretender una descripción realista del cosmos ni interesarse por las causas de los fenómenos. Esto sólo competía a los filósofos y teólogos. Por el contrario, los astrónomos jugaban un rol social importante, estableciendo calendarios y confeccionando horóscopos asociados a la influencia de los astros sobre los destinos individuales y colectivos. De esta manera eran convocados para aconsejar a los príncipes, tanto los de la corte real como los de la iglesia, sobre los asuntos del mundo¹². En suma, parece que las relaciones entre las enseñanzas religiosas y las enseñan-

zas científicas surgían de una cierta geopolítica que regulaba su cohabitación, haciendo posible la producción de una imagen de universo finito y cerrado de inspiración aristotélica, pero cuya perfección testimoniaba su origen divino.

El modelo de Ptolomeo, inicialmente fuente de inspiración para los astrónomos, se vuelve fuente de problemas debido a las transformaciones que sufre y que tornan compleja su manipulación (sólo resulta posible para algunos iniciados). Por ejemplo, las trayectorias de los planetas se mostraron más caprichosas y menos circulares de lo previsto; esto ponía en peligro la perfección del mundo supralunar. Para mantener esa perfección y dar cuenta de los movimientos retrógrados de los planetas hizo falta introducir epiciclos (órbitas circulares en el interior de las órbitas circulares). También hacía falta un punto virtual del espacio, el *ecuante*, a partir del cual un observador podría notar la continuidad de los movimientos. Por otra parte, los datos astronómicos divergían a menudo de los cálculos efectuados a partir del modelo; esto impedía la correcta elaboración de los calendarios, que se volvían menos fiables. Esta situación motivará los trabajos de Copérnico, entre otros.

La historia clásica de los acontecimientos en cuestión

Los manuales de ciencias cuentan a su manera cómo, a consecuencia de los trabajos de científicos geniales y finos observadores (de Copérnico a Lemaître y Hubble pasando por Galileo, Brahe, Kepler, Newton, Laplace y otros), esta imagen del mundo fundada sobre una amalgama de creencias religiosas y de conocimientos antiguos fue derruida y reemplazada por una representación que sería verídico reflejo de una realidad indudable. El universo se volvió así infinito y sin centro, potencialmente expansionista después de una enigmática explosión primitiva; el sol se volvió una estrella cualquiera dentro de una galaxia y ocupó uno de los focos de las trayectorias elípticas de los planetas; la luna perdió su estatuto de planeta para pasar a ser nada más que un satélite que gira alrededor de la Tierra, antiguo centro del Universo. La materia, idéntica en todas partes, circulaba ahora en un espacio tanto vacío como lleno; la palabra *éter* designará más tarde un óxido ordinario cuyos vapores pueden ser tóxicos. Ya no había más necesidad de ángeles y arcángeles para dar cuenta de los movimientos celestes; la fuerza gravitatoria era suficiente para cumplir esta tarea titánica. ¿Pero es todo así de simple? ¿Es suficiente comparar dos representaciones fácticas del mundo separadas por tantos siglos de distancia para comprender lo que hay detrás y poder decir algo sobre su «verdad»?

Los autores de manuales o los científicos que, al escribir sus memorias, se vuelven con nostalgia hacia el pasado de su profesión son quienes dan crédito a este relato hagiográfico. Más allá de las discusiones entre escuelas en historia de la ciencia, recordemos que la versión recapitulacionista de la marcha histórica de las ciencias según la cual el presente está prefigurado en el pasado no se sostiene. También queremos subrayar que no es posi-

ble comprender los trabajos de un Copérnico o de un Kepler suponiendo que eran independientes de la cultura local y de los presupuestos metafísicos en los fundamentos de su visión del mundo (Burke, 2000). La figura del héroe solitario, trabajando al margen de las redes de colegas y contando con los recursos de su intelecto para combatir en nombre de la razón la superstición (particularmente religiosa), se ha vuelto una quimera (García, 2001). Así, como mostró Kuhn (1973), no se encuentra en los escritos de Copérnico ninguno de los elementos típicos de una concepción moderna del cosmos (espacio infinito y vacío, un sol-estrella, etc.). Por el contrario, Copérnico habría enfatizado muchas veces (particularmente en el libro primero de *De Revolutionibus*) su apego a los conceptos y leyes aristotélicas y escolásticas, mostrando así que formaba parte de su época. También habría reconocido, en una carta dirigida al Papa, su deuda con los Antiguos, al justificar el uso de las ideas de ellos a propósito de la localización y del movimiento de la Tierra. Hay allí una pista, como lo sugiere Goldstein (1997), para interpretar el apoyo de un movimiento circular uniforme que no estaría, de alguna manera, corrompido por el uso del artificio de la técnica del ecuante. Finalmente, siempre según Kuhn (1973), al intentar resolver el problema de las trayectorias planetarias, Copérnico habría sido llevado a plantear la hipótesis heliocéntrica y no, como quiere la leyenda, a partir de una voluntad *a priori* de transformar la cosmografía de su época.

También podríamos mostrar que cada héroe o heroína de la hagiografía clásica era, de hecho, un ciudadano o ciudadana de su tiempo, inmerso en una sociocultura particular que, a la vez, limitaría y posibilitaría sus acciones y sus innovaciones. Por ejemplo, al estudiar las trayectorias de los cometas, Tycho Brahe contribuyó a poner en duda la existencia de los dos mundos ptolemaicos (sublunar y supralunar), aunque mantuvo la Tierra en el centro del mundo. Durante mucho tiempo, Kepler, convencido de la armonía divina de las esferas, no pudo abandonar la idea de la circularidad de las órbitas planetarias. Incluso Newton, cuyos trabajos sobre alquimia, por mucho tiempo ocultos, forman ahora parte de toda historiografía seria, otorgaba a Dios un gran poder en la organización y la evolución de las cosas del mundo (Thuillier, 1993; Stengers, 1993). Shapin (1996) subraya así que los cálculos de Newton (1642-1727) lo habían llevado a suponer que el sistema solar tenía tendencia con el tiempo a derrumbarse sobre sí mismo; era, pues, necesario, de alguna forma, volver a poner periódicamente los relojes de péndulo en hora y restablecer el equilibrio roto, lo que para Newton era prerrogativa de un dios (voluntarista) que podía intervenir directa o indirectamente, mediante los cometas, por ejemplo. En otros términos, lo que retrospectivamente aparece como un triunfo de la razón constituye una realización ciertamente importante, pero que no prefigura el estado actual del conocimiento. Poco a poco, el mundo sublunar, las trayectorias perfectas, la esfera de las estrellas y, a partir de Laplace (1749-1827), la idea misma de dios cedieron paso a otras nociones, a otras hipótesis y a otras cosmogonías que, a semejanza de las cosmogonías precedentes, no podían ser comprendidas más que en relación con

el trabajo erudito que las especificaba y con aquello tenido por un conocimiento admisible y razonable en una sociedad y en una época dadas.

Galileo y la cuestión del poder

La historiografía galileana es muy probablemente una de las más documentadas; con razón se puede hablar, siguiendo a Stengers (1989), del «caso Galileo». Según el punto de vista adoptado por quien se interesa por Galileo, éste será descrito, a veces, como un personaje mítico, héroe de la historia de la emergencia del pensamiento racional y fundador de una nueva ciencia, que los jesuitas pérfidamente habrían hecho trastabillar a falta de poder conducirlo a la hoguera (Redondi, 1991); a veces como un personaje orgulloso que suscita una confrontación con los teólogos católicos para ganar cierta gloria al negarse a considerar sus especulaciones como hipótesis, tal como le sugería astutamente el cardenal Bellarmino (Koestler, 1980); a veces, como una víctima ingenua dentro de una intriga política internacional que involucraba las relaciones entre una España conservadora, una Francia libertaria y el papado; a veces, como un oportunista y un anarquista epistemológico que, contra todo método, utiliza los recursos retóricos a su disposición para imponer su punto de vista sobre la caída de los «graves» (Feyerabend, 1979); a veces, y ésta es la visión que nos interesa aquí, como un cortesano que encarna bien la relación estrecha entre saber y poder (Biagioli, 1993).

Galileo, cortesano. Los científicos son, como todos los demás ciudadanos y ciudadanas, hijos e hijas de sus sociedades. Ejercen un oficio, una profesión, que los lleva a incluirse en ciertos órdenes de problemas particulares en el contexto de la jerarquía social de los conocimientos que prevalece en su época. En este sentido, según Biagioli (1993), podemos interpretar la trayectoria académica del sabio italiano como una lucha incesante por hacer reconocer las matemáticas como un conocimiento creíble en las universidades de su época, así como por sostener la legitimidad epistemológica de su discurso en astronomía y en física. Dicho de otra forma, esta versión del caso Galileo es la del «saber/poder», que iniciará la larga lucha entre los clérigos y los científicos para asegurarse el monopolio del discurso verdadero sobre *el mundo* y, por supuesto, del poder que él confiere sobre la marcha ordinaria de los asuntos de *este mundo*. ¿Pero qué se ha de entender por la expresión *saber/poder*?

En la terminología de Foucault (1971), esta expresión permite dar cuenta de un proceso que produce no sólo objetos de conocimiento contingentes y rituales de verdad, sino más globalmente un orden social disciplinar (Messer-Davidov et al., 1993). Así, en una sociedad determinada, sólo ciertos discursos gozan de un grado de legitimidad apreciable y son considerados como conocimientos válidos en lugar de simples creencias (Barnes, 1990). El prestigio social de un discurso particular varía en función de su posición en la jerarquía de los conocimientos promovidos en una sociedad, generando así una

distribución desigual del poder sociopolítico entre los ciudadanos y ciudadanas. En el «caso Galileo», Biagioli (1993) sostiene esta tesis apoyándose sobre los argumentos que siguen. En la Italia del siglo xvii, las matemáticas eran consideradas como un arte mecánico o un saber técnico que se aprendía junto a maestros, como otros oficios. Las matemáticas ocupaban entonces un escalón inferior en la jerarquía de las disciplinas universitarias. Por otra parte, contrariamente a la filosofía y a la teología, no se les otorgaba ninguna credibilidad como fuente de verdad sobre el mundo; aquí se ve la apuesta política en la posición del Galileo matemático:

«Copérnico y algunos de sus sucesores [entre ellos Galileo] afrontaron un obstáculo crucial cuando intentaron legitimar su trabajo no sólo como modelo matemático computacional, sino también como representación física [o real] del cosmos. La jerarquía disciplinar reconocida constituía tal obstáculo. De acuerdo con esta jerarquía (justificada por una concepción escolástica de las disciplinas y de sus metodologías), las matemáticas estaban subordinadas a la filosofía y a la teología. Los matemáticos no debían (o no se suponía que debían) pronunciarse a propósito de las dimensiones propiamente físicas de los fenómenos naturales que, como las causas del movimiento, pertenecen al dominio de los filósofos. En consecuencia, los filósofos estimaban que Copérnico no hacía más que proponer un nuevo modelo planetario: invadía su dominio disciplinar o profesional. De manera general, consideraban esta invasión inaceptable y, gozando de un estatus disciplinar más elevado, poseían los recursos para controlarla. La táctica habitual (que funcionaba bien en las instituciones que aceptaban la jerarquía de las disciplinas en vigor) consistía simplemente en deslegitimar las pretensiones de los matemáticos presentándolas como producto de una disciplina que ocupa los escalones más bajos de la jerarquía.» (pp. 5-6)

Se comprenden entonces las dificultades que acompañan toda tentativa de alterar el interior de esta jerarquía social de conocimientos (dificultades que están en el espíritu de la época pero asociadas a otras disciplinas). Galileo, que no tenía el prestigio social que la leyenda le atribuirá, no dispone de los recursos necesarios para llevar adelante tal transformación institucional. Su estrategia, que lo conduce a dejar su puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Padua, consiste entonces en reclutar aliados en otras esferas, es decir, enrolar el poder y el prestigio de la corte de los Médicis y, eventualmente, la del papa Urbano VIII, a fin de lograr sus propósitos. Se volverá, entonces, cortesano. Ciertamente, volverse cortesano oficial y filósofo-matemático del gran duque de Toscana después de unos comienzos muy modestos como profesor de matemáticas privado del joven príncipe Cosme supone que Galileo supo asimilar las tácticas, las reglas y la etiqueta que gobiernan las relaciones entre los clientes, de los cuales él era uno, y los patrones, pequeños y grandes, que gravitaban en la corte. Y, sin duda, no es por azar ni candor que Galileo dedica a Cosme II sus descubrimientos astronómicos concernientes a los satélites de Júpiter nombrándolos *astros mediceos*. Se trata de una táctica que forma parte del sistema de intercambios entre los cortesanos y

el príncipe, que, a cambio, podía otorgar regalos y privilegios simbólicos y materiales. Era, por otra parte, una táctica hábil, dado que los Médicis tenían influencia sobre la orientación de la universidad, principalmente en la atribución de puestos. Pero lo que más importa al proyecto de Galileo es que la corte constituye un foro de discusiones donde son debatidas bastante libremente nuevas ideas, como las suyas. Ciertamente, la estrategia de Galileo tenía fallas, y podemos ver el proceso que le sigue la Inquisición como consecuencia de éstas. Sus ideas conocerán de todas maneras un enorme éxito en toda Europa, principalmente gracias al apoyo activo de redes informales y de lectores eruditos que las difundieron ampliamente, traduciéndolas a la lengua de intercambio de la época, el latín (García, 2001). Rápidamente, como subraya García, Galileo se volvió el símbolo de la libertad de filosofar, y esto «después de una condena que no sólo no pudo impedir, sino que más bien favoreció el esplendor europeo que conocemos» (p. 75). Galileo y sus colegas habían entonces perdido una batalla pero, a su tiempo, ganarán la guerra. Serres (1989) sitúa este tiempo alrededor del 1800, en un lugar en particular, París. No París como capital de Francia, sino París como nudo importante dentro de la red científica europea. Los sucesores de los científicos que contribuyeron a cuestionar la jerarquía social de los conocimientos comienzan a recoger los frutos políticos de esta lenta transformación de una visión del mundo, a menudo llamada, paradójicamente, *la revolución científica*. La jerarquía de los conocimientos sufrirá transformaciones drásticas y el monopolio de la verdad cambiará de manos.

Hecho notable, en medio de la revolución francesa, los científicos tomarán por asalto la estructura política y ocuparán puestos de alcalde, diputado, senador, ministro. Los nombres son bien conocidos: Arago, Bailly, Berthollet, Carnot, Condorcet, Lagrange, Laplace, Lavoisier y tantos otros. De todas formas, más allá de la pequeña política, forzosamente partidista e ideológica, se organiza la gran política, vía la producción de tratados científicos y de la *Enciclopedia* y la creación de nuevas instituciones: «Se trata nada menos que del dominio, por parte del conocimiento, encarnado por el colectivo de científicos, del estado de cosas. Amo y poseedor de la naturaleza en el siglo XVII, el saber busca hacerse poseedor y amo de los hombres» (Serres, 1989, p. 343). Que este proyecto haya tomado más de un siglo en realizarse no cambia verdaderamente la cosa, ya que de hecho se cumplió en nombre de la razón universal, en perjuicio de los románticos, y sobrevivió a pesar de las protestas vehementes de los postmodernos. Así, como lo hemos indicado más arriba, el orden teológico antiguo controlado por los clérigos y fundado sobre una verdad revelada será sustituido por un orden secular controlado por los sabios y fundado sobre una verdad desvelada pero también transcendente. En un caso y en otro, se opera el mismo tipo de milagro: los conocimientos producidos por seres humanos se vuelven independientes de toda contingencia social y portadores privilegiados, en el caso que nos ocupa, de un estatuto de conocimientos objetivos y universales, con el poder no sólo de poner fin a las discusiones en la sociedad sino también de justificar, naturalizándola, una cierta distribución social del poder.

TRANSICIÓN: EL TIEMPO DE LAS INCERTIDUMBRES

No se puede, desde luego, reducir la historia de Occidente a la sola historia de la ciencia. Pero tampoco es posible negar la influencia creciente de esta última sobre la conformación del imaginario social y sobre la separación estricta entre las cuestiones de sociedad y las cuestiones de naturaleza que subyacen. Latour (1999), retomando a su modo la alegoría de la caverna de Platón, ilustra cómo esta demarcación, que sólo los expertos ajenos a las contingencias sociales podían franquear hacia uno y otro lado, estableció una frontera entre dos cámaras o asambleas entre las cuales se repartieron los poderes de la sociedad:

«La primera reúne a la totalidad de los seres humanos, que se juntan sin otro poder que el de ignorar en común, o el de crear por consenso ficciones vacías de toda realidad exterior. La segunda se compone exclusivamente de objetos reales que tienen la propiedad de definir lo que existe pero que no tienen el don de la palabra. De un lado, la palabra de las ficciones, del otro, el silencio de la realidad. La sutileza de esta organización reposa enteramente sobre el poder dado a aquellos que pueden pasar de una a otra cámara. Los pocos expertos elegidos cuidadosamente y capaces de ir y venir entre los dos conjuntos tendrían el poder de hablar—dado que son humanos—, de decir la verdad—dado que escapan al mundo social gracias a la ascesis del conocimiento— y, por fin, de poner orden en la asamblea de los humanos haciéndolos callar—dado que pueden volver a la cámara baja a fin de reformar a los esclavos que viven encadenados en la sala. Estos pocos elegidos podrían verse dotados de la más fabulosa capacidad política jamás inventada: *hacer hablar al mundo mudo, decir la verdad sin ser discutidos, poner fin a los debates interminables por una forma indiscutible de autoridad que sostendría las cosas mismas.*» (pp. 27-28)

Desde esta óptica, el progreso de las tecnociencias se vuelve de alguna manera el progreso general, representando el advenimiento de un mundo mejor. Por ejemplo, en la Exposición Universal de París de 1900, que simbolizaba justamente este advenimiento, las promesas de la ciencia estaban presentes; entre otras, la primera cinta deslizante, bautizada *calle del porvenir*. Por otro lado, al integrarse de maravilla al sistema militar-industrial de la entreguerra, las tecnociencias participaron desde entonces en la definición de los intereses económicos y políticos del planeta; tanto que filósofos, sociólogos, antropólogos y economistas están de acuerdo en definir nuestra época en términos de sus relaciones con estos conocimientos (Burke, 2000). El uso de expresiones tales como *la sociedad del conocimiento, la sociedad de la información o la economía del saber*, que se han vuelto moneda corriente tanto en los medios como en los textos gubernamentales, constituye un índice de esta preocupación política.

De todas formas, al margen de esto que se da por sentado, otras voces se hacen oír clamando que nuestras sociedades estarían, por el contrario, en plena mutación. Así lo atestiguan los trabajos cada vez más numerosos que

destacan que vivimos dentro de sociedades de riesgo, más específicamente, de sociedades de riesgo manufacturado (Beck, 1992), tal como se manifiesta en los casos ya célebres de la sangre contaminada y la epidemia de encefalitis espongiforme bovina, y en las incertidumbres fundamentales relacionadas, por ejemplo, con la diseminación de los organismos genéticamente modificados (OGM) (Berlan y Lewontin, 2000; Testard, 1998). Según Beck (1997). Estos riesgos estarían estrechamente asociados a las tecnociencias en la medida en que estas últimas literalmente han transformado la sociedad en laboratorio a fin de poner a prueba sus hipótesis, tanto si se trata de centrales nucleares como de cultivos en el campo: «Las plantas y frutos modificados genéticamente deben ser cultivados a fin de poner a prueba las teorías subyacentes. Se ha abandonado el control estrecho de la experiencia en laboratorio. La sociedad misma se ha vuelto el laboratorio. Esto trae consecuencias muy graves.» (p. 24)

Para decirlo de otra forma, la sociedad maravillosa que prometían las tecnociencias se desvanece al pulverizarse la confianza en un porvenir radiante. Por el contrario, lo que era impensable hace algunos decenios podía devenir la regla. Notemos que es cada vez más frecuente que, en virtud del principio de precaución, las innovaciones técnicas sean sometidas a discusión pública, sin que quienes expresan su desconfianza al respecto sean aislados y acusados de irracionales o reaccionarios (Latour, 2001). Podemos ver allí una transformación importante en nuestra manera de conjugar el hecho de estar juntos en una sociedad reflexiva y autocrítica (Beck, 2000), ya que el peso de la prueba, que incumbía a quienes sufrían daños, fue transferido a quienes potencialmente podían causarlos. Podemos ver allí una extensión interesante de la participación democrática. Pero no debemos creer que la partida está ganada, a juzgar por el contenido del texto del llamado de Heidelberg firmado por más de cuatrocientos científicos (entre ellos, una cincuentena de premios Nobel) durante la apertura de la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. En ese texto que milita en favor de una ecología científica y contra lo que se califica como ideología irracional típica de una visión idealizada de una naturaleza original, se repite el escenario de la división entre la ciencia y la sociedad, con un aire de humanismo con connotaciones paternalistas, como subraya Bensaude-Vincent (2000):

«En la larga tradición de los manifiestos racionalistas, este texto es de una excepcional riqueza, ya que superpone muchas nociones que estructuran la cultura occidental. La línea de demarcación entre ciencia y no-ciencia, puesta como axioma, como evidencia incontestable, no sólo es redoblada por la oposición clásica entre razón y prejuicios, sino también puesta en conexión con el tema filosófico de naturaleza y artificio. Este gesto magnánimo de salvar una racionalidad en peligro moviliza así la continuidad de una tradición que comienza con Descartes «amo y poseedor de la naturaleza» y se extiende hasta los Premios Nobel del siglo XX.» (p. 166)

Sobre este fondo de malestares e incertidumbres sociales, nos parece fecundo examinar ciertas aportaciones de

los trabajos en antropología y sociología de la ciencia a fin de clarificar la problemática de educación científica y ciudadanía¹³.

LAS TECNOCIENCIAS: DEL IMPACTO SOBRE LO SOCIAL A LA CONSTRUCCIÓN DE LO SOCIAL

Podemos interpretar buena parte de las producciones en filosofía y epistemología de la ciencia en el siglo XX como un intento de documentar y, en cierta manera, justificar aquello que Bimber y Guston (1995) llaman el *excepcionalismo epistemológico* de las ciencias y que tendría que ver con la capacidad de éstas de escapar a toda contingencia y, entonces, producir conocimientos verdaderos y universales. Si esta perspectiva que participa del positivismo lógico ocupó durante muchos años un lugar preeminente en el dominio, hay acuerdo actualmente en que sus principales tesis han sido seriamente cuestionadas. Recordemos que los trabajos de Duhem, Quine, Hanson, Popper, Bachelard y Feyerabend, por nombrar sólo algunos, han permitido mostrar que no puede existir un lenguaje observacional neutro; que los hechos no son descubiertos sino contruidos; que las teorías, estando inevitablemente subdeterminadas por los hechos, no pueden ser objeto de prueba; y, por fin, que la evolución de las teorías científicas no es lineal ni progresiva. Dicho de otra forma, el proyecto de conseguir la unidad de las ciencias alrededor de un mismo lenguaje, de un único método y de una estructura conceptual a la vez reductora, integradora e infinitamente perfectible se reveló irrealizable (Pestre, 2001). Si bien será Kuhn (1983) quien relance el debate epistemológico dando espacio al carácter social de la producción de conocimiento científico, podemos pensar que este relanzamiento no habría tenido tal efecto catalítico si algunos colegas no hubieran preparado el terreno. Por ejemplo, el médico Ludwick Fleck publicó en 1935 un libro que ponía en evidencia el carácter a la vez construido y social de los hechos científicos, proponiendo así ideas que tienen más de un lazo con las que presenta Kuhn (1983) en la estructura de las revoluciones científicas. Pero sea cual fuera, el debate estaba generado y los historiadores, sociólogos y antropólogos explorarán más adelante el carácter social de las ciencias, pero esta vez sobre el terreno, más que en la quietud de los despachos universitarios.

Las tecnociencias como prácticas sociales

Concebir las tecnociencias como prácticas sociales no tiene nada de original o novedoso. Incluso Bachelard (1987), que hacía de la ciencia la punta del vector de la evolución de la razón, subrayó en más de una ocasión que la objetivación es un proceso eminentemente social animado por los trabajadores de la prueba. La objetividad, decía, «no puede separarse de los caracteres sociales de la prueba. No se puede llegar a la objetividad más que exponiendo de manera discursiva y detallada una metodología de objetivación» (p. 16). Lo mismo sugiere

un artículo muy refrescante de Shapin (1999), en el cual él parafrasea ligeramente opiniones de científicos (Bohr, Einstein, Lewontin, etc.) que no pueden en ningún caso ser sospechosos de profesar una posición anticencia o relativista nihilista:

«No existe nada que podamos llamar el *método científico*.

Las ciencias actuales viven al día; se parecen más a la especulación en la bolsa que a una búsqueda de la verdad sobre el mundo.

Los nuevos conocimientos no forman parte de la ciencia hasta tanto no son socializados.

No se puede jamás asignar realidad independiente, en el sentido habitual del término en física, a los fenómenos observados, no más que al observador.

Los científicos no descubren orden en la naturaleza, lo ponen.

La imagen del científico dotado de un espíritu abierto, sopesando los pros y los contras en los datos, es una famosa sandez.

En todo momento de la historia, lo que pasa por una explicación científica aceptable es a la vez socialmente determinado y socialmente funcional.» (p. 73)

Ciertamente, estas opiniones no pueden constituir un argumento en apoyo de la idea de que las tecnociencias son prácticas sociales. Pero la idea parecerá quizás menos extraña para muchos, más susceptible por lo menos de constituir un objeto legítimo de discusión. Y, por otra parte, si lo pensamos, ¿qué tiene de inquietante o de escandaloso pensar las tecnociencias como prácticas sociales? Nada, o casi nada, si creemos a Pestre (2001), quien, al comentar los trabajos de origen británico conocidos con el nombre de *social studies of knowledge*, remarca que, cuando se desacralizan las ciencias, se puede ver uno de los límites de la condición humana. También así se pueden comprender las palabras del físico francés Lévy-Leblond (1992) cuando comenta las protestas de los biólogos respecto de los controles que el gobierno quería instaurar sobre la utilización y la diseminación de los organismos genéticamente modificados.

«Ahora la ciencia, mejor regocijarse que deplorarlo, *no* es esta fuente sagrada e infalible de verdad teórica y de eficacia práctica. Ninguna esencia epistemológica la previene de la multiplicidad de contingencias y contradicciones de toda actividad social. La especificidad de sus objetivos y de sus métodos es suficientemente incontestable como para que no sea necesario separarla, en una torre de marfil, de las demás gestas y hechos de la ciudad.» (p. 71)

Pero, ¿en qué son las tecnociencias prácticas sociales?

Así como en la sección precedente no pudimos presentar más que un esbozo histórico, no podemos pretender aquí sintetizar en algunos párrafos las investigaciones en

sociología de la ciencia de los últimos treinta años. Sin embargo, las numerosas publicaciones (libros, revistas, *newsletters*, páginas de internet), entre las cuales se cuenta el *Handbook of Science and Technology Studies* (Jasanoff et al., 1995), la organización de congresos nacionales e internacionales bajo la égida de la *Society for Social Studies of Science*, así como la creación de plazas y de departamentos en las universidades, indican que estamos en presencia de un campo disciplinar (Bourdieu, 1997) que, a semejanza de los otros campos, reviste un carácter agonístico, guerrero. No debemos, pues, sorprendernos de la presencia de desacuerdos a veces importantes entre los partidarios de los diversos paradigmas que luchan por la autoridad científica dentro de una lógica competitiva (Pickering, 1992), en la cual los colegas son también enemigos y los compañeros son amigos muy particulares (Larochelle y Désautels, 2001).

En los «social studies» podemos ver un conjunto de trabajos que consideran las tecnociencias como prácticas sociales, es decir, como actividades, como cursos de acción cuyo desarrollo requiere la movilización de una diversidad de actores (grupos, conocimientos incorporados, instrumentos, textos, etc.) y da lugar a producciones variadas (políticas científicas, hechos, artefactos, etc.) (Geertz, 1986; Latour, 1996). Ciertamente, los sociólogos habían estudiado desde hacía mucho tiempo la organización y el funcionamiento de las tecnociencias de la misma manera que lo hacían con otras instituciones sociales (financiamiento, comercialización, luchas de poder académico, sistema de promoción, «facultades invisibles», normas cognitivas y éticas, etc.), manteniendo una línea de demarcación entre las ciencias y la sociedad, entre los conocimientos elegidos y los demás conocimientos (Gieryn, 1995). Se admitía así que las tecnociencias podían ser influenciadas hasta un cierto punto por factores sociales pero, salvo excepciones, el núcleo duro de ellas (teorías, conceptos, leyes, hechos, etc.) escapaba a toda contaminación ideológica, metafísica o política. Los procedimientos, los métodos y la ascesis intelectual de los científicos aseguraban el carácter universal y objetivo de los conocimientos; de aquí que se relegaran las cuestiones de moral y ética a las meras aplicaciones (buenas o malas) que se podían hacer. Pero cuando comenzó el interés por las «tecnociencias-en-acción», principalmente en los laboratorios, y por intentar entender cómo se producen los conocimientos, la barrera protectora erigida en nombre del excepcionalismo epistemológico cayó. De ahí en adelante, se podía describir e interpretar la fabricación de conocimientos como la puesta en marcha de un conjunto de prácticas heterogéneas por parte de colectivos de actrices y actores sociales, sin que fuera necesario recurrir a alguna fuerza o trascendencia misteriosa para explicar su mayor o menor generalización.

Disponemos así de un conjunto impresionante de estudios de casos efectuados en los mismos lugares de elaboración de conocimientos (se trate de laboratorios o de controversias científicas) y con una gran diversidad de dominios (de la microbiología a la física de partículas, pasando por la bioquímica, la astronomía, la oceanografía, etc.) (Biagioli, 1999). Lo que se daba por sentado,

al menos en la versión estándar de las tecnociencias, se ha vuelto muy problemático en varios aspectos. Por ejemplo, Collins (1989) mostró que, en ausencia del conocimiento tácito necesario para la construcción de un láser, muchos científicos no lograron fabricar una réplica que funcionase, incluso disponiendo de un protocolo escrito. La réplica de experiencias se revela, por otra parte, más difícil cuando los criterios ligados a los que serán considerados como resultados probados o concluyentes son objeto de controversia (por ejemplo, la existencia misma de ondas gravitacionales), dado que no es posible utilizarlos más para juzgar la calidad de la experiencia. En este caso, los científicos deben negociar los criterios para decidir qué será tenido como una experiencia exitosa, un resultado o una interpretación válidos, y también para estimar el valor que debe ser dado a un trabajo de investigación, como lo subraya Lenoir (1993):

«A closely related genre of recent studies has emphasized understanding the evidentiary context, the socially negotiated conventions and criteria for coming to local agreement about the outcome of experiments, about the technical and performative conditions for replicating experiment, agreement about what constitutes competent performance and about the standard of trust and evaluation.» (p. 70)

La realización de experiencias por parte de equipos de investigación está, por otro lado, marcada por contingencias de diversos órdenes (materiales, discursivas, económicas) que son constitutivas de las condiciones locales de producción del conocimiento. De hecho, cada una de las experiencias realizadas en laboratorio convoca vastos sectores de la red de las tecnociencias. Las informaciones que se sacan en conversaciones con colegas de otros laboratorios (Watson, 1984), lo mismo que las discusiones surgidas en el café, pueden a menudo evitar a los científicos meterse en vías sin salida. La lectura de artículos permite estimar los errores de los otros o la fecundidad de un camino de investigación incluso si, en muchos casos, es difícil reproducir las experiencias que se presentan. La puesta en cuestión del valor de las técnicas, protocolos o estándares de referencia por parte de una técnica o un técnico de laboratorio con experiencia puede salvar meses de trabajo. La ejecución de manipulaciones que hacen intervenir la «habilidad», este saber incorporado e implícito desarrollado por un investigador o investigadora de oficio, puede hacer la diferencia entre una experiencia que funciona y otra que no. La apreciación de la calidad de los animales y de los productos comprados a menudo a altos precios es muchas veces determinante al llevar a cabo investigaciones. La calibración de instrumentos, esas teorías materializadas, según las palabras de Bachelard, necesita a veces la colaboración de científicos que están empleados por las compañías que los fabrican. La estabilización de las experiencias vía un proceso de resistencia y de acomodación involucra una redefinición constante de los objetivos y una transformación de los dispositivos materiales (Pickering, 1995). Las discusiones entre científicos a fin de interpretar los resultados experimentales que se presentan bajo la forma de inscripciones (gráfi-

cas, tablas, cuadros, etc.) dan lugar a negociaciones en el curso de las cuales los conocimientos son constantemente remodelados y modificados. La producción colectiva de artículos sin los cuales la credibilidad del laboratorio es cuestionada apela a conocimientos establecidos y a recursos retóricos sutiles que pretenden sembrar la duda sobre el valor de los resultados de un equipo competidor y destacar no sólo los resultados del propio equipo sino también los de otros equipos que valoran estos resultados. La redacción de la versión final de un artículo conduce de alguna manera a negociar indirectamente con los pares que lo han evaluado. La participación en coloquios y congresos bien elegidos a fin de difundir los resultados de investigación y crear alianzas en el seno de la comunidad asegura la estabilidad de los hechos y la viabilidad del laboratorio. La redacción de pedidos de subvención y la negociación de contratos con firmas privadas pretenden obtener los recursos financieros sin los cuales no se pueden mantener las actividades de fabricación de los hechos científicos. En suma, todos estos cursos de acción perfectamente descriptibles ilustran, por una parte, cómo los actores humanos y no humanos coproducen conocimientos en interacción y, por otra parte, cómo los límites entre el interior y el exterior del laboratorio son constantemente redefinidos por la circulación de recursos discursivos y materiales. Pero podría objetarse: ¿Cómo un conjunto tal de prácticas diversificadas y superpuestas puede conducir a la producción de hechos científicos? ¿Cómo explicar que estos productos circunstanciales y contingentes, publicados bajo la forma de enunciados que hacen referencia a sus condiciones de producción (si a, b, c , entonces x, y, z), adquieren una cierta robustez y una aceptabilidad regional o, en algunos casos, internacional?

Según Fourez y otros (1997), lo que se llama *universalidad de los conocimientos científicos* resulta de un proceso similar al que consiste en imponer la lengua inglesa como lengua universal:

«La universalidad de los conocimientos científicos se parece a la del inglés: después de múltiples relaciones de fuerzas, resistencias, negociaciones e imposiciones, esta lengua se ha vuelto un pasaje obligado (e impuesto) para quienes quieren participar en ciertos intercambios. Así ocurre con las conceptualizaciones de la ciencia que, poco a poco, eliminan otros conocimientos en favor de aquéllos que la comunidad científica ha estandarizado.» (p. 17)

En esta línea, lo que puede dar esta impresión de universalidad a los conocimientos científicos tiene que ver con el hecho de que los científicos contribuyen a la construcción y al mantenimiento de la red de actores y actrices humanos y no humanos que acaba por capturar en sus mallas casi a la totalidad de las sociedades, como es el caso de la red de estaciones meteorológicas que cubre actualmente todo el planeta. Estas redes aseguran una cierta perennidad a los enunciados y a las prácticas tecnocientíficas desde el momento en que, al participar, los científicos en Barcelona, Pekín, Moscú o Boston se ponen de acuerdo, por ejemplo, para pensar que las ondas electromagnéticas viajan en el vacío o que el planeta se calienta. En este caso, se vuelve necesario,

según Callon (1999), sustituir la noción de universalidad por la de generalidad mayor o menor de los conocimientos, generalidad que es estimada en función de la extensión de las redes que permiten la reproducción o la movilización en lugares diferentes. Dicho de otra forma, la generalidad de los conocimientos científicos se sostendría en la posibilidad de imponerlos transportándolos, como este autor nos recuerda:

«Los conocimientos son siempre producidos localmente, y su transporte depende del transporte de los dispositivos materiales, humanos y técnicos con los cuales están relacionados. La generalidad del conocimiento se construye paso a paso por desplazamiento; cada desplazamiento enriquece y transforma los conocimientos en sí mismos. Se duplican los laboratorios y no los enunciados.» (p. 73)

Pensar las tecnociencias como prácticas sociales vuelve caduco el recurso a una capacidad misteriosa que permitiría a los científicos trascender las contingencias sociales que marcan la producción de conocimientos y describir aquello que es, podríamos decir, la *verdad*. Al haber desaparecido este otro mundo «supralunar», se hace posible mirar de otra manera la socialidad de las tecnociencias.

Del impacto a la construcción

La fosa abisal y secular entre *la* sociedad y *la* ciencia no podía conducir a pensar la socialidad de las tecnociencias más que en términos de impactos sociales. Los hechos y los artefactos provenientes de un mundo exterior no podían más que entrar en colisión con una sociedad más o menos pasiva que se adaptaba en nombre del progreso. Ahora que las tecnociencias se conciben como prácticas sociales que producen objetos conectados con las condiciones locales de su fabricación, se dibuja una concepción de su socialidad totalmente diferente. Los colectivos de científicos y tecnólogos, por el camino de prácticas experimentales, teóricas, materiales y discursivas, llegan a la existencia de entidades nuevas (sustancias, organismos, artefactos, dispositivos, conceptos, teorías, etc.), más o menos inciertas, más o menos controvertidas. Se erigen así en portavoces de estas entidades y se involucran, a semejanza de otros colectivos, en operaciones de construcción (*performance*) de la realidad, según la expresión utilizada por Callon (1999). Haciendo esto, contribuyen a la reconfiguración de las relaciones sociales, es decir, de las relaciones que podemos o no decidir mantener con los seres humanos y los no humanos local y globalmente. Así, un mundo común con o sin ondas electromagnéticas, con o sin radiaciones nucleares, con o sin rayos ultravioletas, con o sin amianto, con o sin inconsciente, con o sin cociente intelectual, con o sin clases sociales, con o sin antibióticos, con o sin bacterias, con o sin genes, con o sin clones, etc. no es el mismo mundo común.

Tal es el caso, por ejemplo, del virus VIH, presumiblemente implicado en la propagación del SIDA. A pesar de la controversia suscitada a propósito de los lazos posibles entre el SIDA y el VIH (Goodman, 1995), este virus

constituye una entidad cuya existencia, testimoniada por las tecnociencias, le ha conferido el estatuto de actor no humano. A este respecto, ha contribuido a transformar de manera significativa las relaciones sociales en el plano tanto local como global. Después de una fase homófoba que tuvo consecuencias para la comunidad gay en el plano de la identidad, se reconoció que la propagación del SIDA en nuestras sociedades revestía un carácter casi epidémico. En este contexto, aquello que algunos llamaban la liberación sexual se volvió una amenaza social. El placer se tornaba terriblemente peligroso; los otros podían asumir la figura de una amenaza de muerte. Las enfermedades contagiosas o venéreas eran conocidas; pero frente a este nuevo actor cuyo modo exacto de transmisión se ignoraba, uno se sentía indefenso. Los portadores del virus eran a menudo considerados como los apestados de otras épocas, dando ocasión a reacciones histéricas. A pesar de una cierta compasión hacia ellos, se vio a ciudadanos y ciudadanas protestar enérgicamente contra la presencia de albergues para enfermos de SIDA en su entorno. Y además hubo los escándalos de la sangre contaminada que, al menos en Canadá, dieron lugar a una importante reacomodación institucional y procedimental en el dominio de la recolección y la distribución de productos sanguíneos.

Alrededor del fenómeno SIDA-VIH, se generó un vasto conjunto de actividades sociales (científicas, médicas, económicas, legales, institucionales, políticas) que evidentemente no podemos describir en este artículo. Recordemos simplemente que se consagraron grandes sumas de dinero a la investigación, tanto por parte de los gobiernos como de las compañías farmacéuticas que, obviamente, veían una fuente de ganancias; las prácticas médicas fueron modificadas en función de los peligros de la contaminación por sangre; se formularon campañas publicitarias con el fin de sensibilizar a los jóvenes y no tan jóvenes acerca de los peligros potenciales de las relaciones sexuales sin protección; las asociaciones de enfermos se volvieron a su vez actores en la investigación sobre el SIDA; en suma, nuestro mundo común quedó transformado en todos los niveles a consecuencia de tener en cuenta este nuevo actor no humano. Su presencia se manifestó también en el plano internacional. Se realizó un número impresionante de congresos internacionales, y la Organización Mundial de la Salud ha hecho del SIDA uno de los temas mayores de sus políticas. Esta presencia, por otra parte, se ha sentido mucho recientemente, como lo evidencia el embrollo político y científico que tuvo lugar durante la última conferencia sobre el SIDA en Durban (África del Sur) en julio de 2000. Con posterioridad a las intervenciones del presidente del país, Thabo Mbeki, dando eco al punto de vista de científicos disidentes a propósito de las presuntas relaciones causales entre VIH y SIDA, una declaración publicada en el número del 6 de julio de 2000 de la revista *Nature* y firmada por alrededor de cinco mil científicos, sostenía, por el contrario, que las investigaciones llevadas a cabo en el transcurso de diecisiete años habían mostrado concluyentemente la existencia de tal conexión causal. Este actor camaleón, cuya identidad molecular mutante parece modificarse continuamente, ¿se encontrará otra vez en medio de una controversia

científica después de haber estado implicado en la alteración de tantas relaciones sociales? Continuará...

TRANSICIÓN: INICIAR A LOS ESTUDIANTES DE SECUNDARIA EN LA POLÍTICA DE LAS TECNOCIENCIAS

Las tecnociencias, al promover la existencia de protagonistas no humanos y al establecerse como su portavoz, construyen la realidad y contribuyen así, como otras prácticas, a la reconfiguración de las relaciones sociales. En consecuencia, tal como hemos sugerido en la introducción de este artículo, se vuelven un asunto de todos los ciudadanos y ciudadanas. Por ejemplo, la decisión de realizar investigaciones y ensayos clínicos en el dominio de los xenotransplantes ya no puede ser tomada sólo por los expertos científicos, habida cuenta de los intereses y riesgos que éstos representan para los individuos y las poblaciones. En este contexto, corresponde a los educadores y educadoras crear las condiciones para que los estudiantes se inicien en la política de las tecnociencias, a fin de que puedan eventualmente participar plenamente en su orientación entre otras cosas, involucrándose en los debates sociotécnicos que marcan nuestras sociedades. Esta toma de postura en cuanto a las finalidades de la educación científica necesita algunos comentarios.

Notemos en primer lugar que, en cierta forma, esto es lo que la educación científica clásica ha hecho siempre sin formularlo explícitamente. Reforzando de alguna manera el modelo clásico fundado sobre el excepcionalismo epistemológico de las tecnociencias, así como la jerarquía social de los conocimientos que éste funda, esta forma de educación favorece, entre los estudiantes, la construcción de una relación con los conocimientos y con quienes los detentan, que no los autoriza en absoluto a estructurarse como interlocutores competentes aptos para discutir la palabra de los expertos y expertas científicos. Haciendo eso, esta forma de educación científica contribuye al exceso de poder de los expertos y expertas en nuestras sociedades, promoviendo así una cierta visión de la política de las ciencias fingiendo el apolitismo.

Pero a partir del momento en que la educación científica encara la formación de ciudadanos y ciudadanas aptos para participar plenamente en la mejora de la vida democrática en nuestras sociedades, asistimos a una iniciación de aquéllos en la política de las ciencias, pero en otra dirección. No son la transmisión de una hipotética cultura científica ni la formación de nuevos científicos, ni incluso la alfabetización científica en el sentido tradicional del término, las que ocupan el centro de las preocupaciones educativas. Dicho de otra forma, la educación científica reviste un valor instrumental en relación con las finalidades educativas y depende de un proyecto sociopolítico explícito.

Desde esta perspectiva, no se puede razonar como si la necesidad de educar científicamente fuese incuestionable; esto, sin embargo, parece instituido desde hace tiempo en nuestros sistemas educativos. Se torna nece-

sario mostrar cómo la educación científica, según la orientación, la forma y el contenido que se le dé, aporta una contribución significativa a la educación ciudadana, dando por entendido que hay mucho que apostar y que los límites de esta educación no serán los mismos que prevalecen actualmente en los establecimientos escolares. No nos corresponde a nosotros precisar estos límites, pero nos parece que esta proposición puede servir de instrumento para iniciar un debate sobre la cuestión, y de ahí su interés.

En otro plano, si tomamos en consideración el hecho de que, por un lado, los ciudadanos y ciudadanas ordinarios no han esperado que se les diera permiso para participar de manera fundamentada –por no decir experta– en la política de las tecnociencias y, por otro lado, que experiencias educativas llevadas a cabo en muchos países indican que los estudiantes incluso muy jóvenes pueden hacer otro tanto, entonces esta forma de educación que puede parecer a primera vista idealista se vuelve plausible, y las cuestiones ligadas a su factibilidad pueden ser encaradas serenamente.

LA EMERGENCIA DE LA COMPETENCIA PROFANA

La participación de grupos de ciudadanos y ciudadanas ordinarios en la orientación de la política científica ha sido adquirida luchando, después de confrontaciones a veces violentas con grupos de expertos científicos. Sin embargo, la proliferación de tales experiencias de participación en el transcurso de los últimos treinta años constituye el índice de una transformación importante en nuestra manera de conjugar «el estar-juntos» y de elaborar un mundo común (Durant, 1999). Estos foros híbridos, como los llaman Callon y otros (2001), han trazado el contorno de un espacio inédito en el cual nuevos procedimientos democráticos han sido puestos a prueba en el establecimiento colectivo de controversias sociotécnicas, contribuyendo así al enriquecimiento de la vida democrática. En este contexto podemos hablar de la emergencia de una competencia (*expertise*) profana, y los ejemplos que siguen permiten apreciar su calidad y extensión.

Un caso ejemplar de este fenómeno es, sin duda, la participación de grupos de enfermos de SIDA en la investigación científica, documentada por Epstein en un libro aparecido en 1996 con el título de *Impure science: AIDS, activism and the politics of knowledge*. Aquí, el enfrentamiento con el poder médico no ha podido ser más directo. No sólo las diversas asociaciones de enfermos de SIDA estaban en posesión de informaciones clínicas sistemáticas que hacían falta a los expertos científicos, sino que también un cierto número de enfermos, adquiriendo las nociones técnicas y escrutando los protocolos de investigación, desarrollaron la competencia necesaria para discutir, en tanto que representantes de sus asociaciones, de igual a igual con los miembros del cuerpo médico. Así, estos colectivos llegaron a poner en cuestión los protocolos de investigación

«doble ciego» en los cuales uno de los grupos experimentales recibe un placebo, destacando que era inadmisiblemente que algunos pacientes no recibieran un medicamento que, potencialmente, les podía resultar beneficioso. Llegaron así a hacer valer maneras más sensatas de concebir los protocolos de investigación, que tendrían en cuenta, por ejemplo, que, contrariamente a los habituales sujetos experimentales, los enfermos que recibían los medicamentos habían utilizado terapias alternativas y no eran entonces sujetos «no contaminados». Además, asociaciones de enfermos condujeron con éxito investigaciones clínicas sobre medicamentos para curar ciertas enfermedades que sufrían los enfermos de SIDA, tales como la neumocistosis. En otros términos, estos grupos de activistas bien organizados participaron de lleno en la orientación de la investigación científica.

Un segundo caso, igualmente ejemplar, es el de la Asociación Francesa contra las Miopatías (AFM), descrito minuciosamente por Rabeharisoa y Callon (1999). Originalmente, la amiotrofia espinal infantil (ASI), enfermedad neuromuscular incurable, era considerada como una enfermedad rara. En muchos casos, los médicos incluso no sabían dar un nombre a la enfermedad y mucho menos sugerir cuidados paliativos. Son entonces los padres, gradualmente reunidos en asociación, quienes asumieron la tarea difícil de documentar los casos, establecer comparaciones y clasificaciones, proveer las primeras descripciones de los recorridos evolutivos de los enfermos y de los estadios de la enfermedad. En este sentido podemos decir que produjeron los primeros conocimientos sobre esta terrible enfermedad. Paralelamente, la Asociación llevó a cabo toda una serie de operaciones destinadas a alertar al medio médico y a convencer a los equipos e instituciones de investigación para interesarse por esta enfermedad particular. A medida que se establecen colaboraciones entre la Asociación y el medio científico, más y más padres y enfermos se involucraron en la orientación de la investigación que desembocará más tarde en la identificación de las mutaciones genéticas asociadas a las diversas miopatías. Una vez más, lo que se desprende claramente de este caso es la capacidad de los ciudadanos y ciudadanas ordinarios de convertirse en expertos profanos que, en este caso, no solamente contribuyeron a la definición del problema sino que también construyeron a través de su asociación una nueva relación de fuerzas con el *establishment* científico. En efecto, gracias a los fondos recaudados en una telemaratón anual, la Asociación se volvió un financiador con gran peso en la orientación de la investigación francesa en genética.

De hecho, la lista de casos que testimonian la emergencia de tal competencia profana es impresionante. Por ejemplo, los criadores de ovejas del Distrito de los Lagos en el norte de Inglaterra obligaron a los científicos a rehacer sus deberes y revisar sus explicaciones a propósito de la contaminación de sus bestias por el cesio radiactivo presuntamente ligado al accidente de Chernobyl (Wynne, 1996). En Woburn (Massachusetts) ciudadanos y ciudadanas inquietos y enojados se volvieron epidemiólogos competentes y reconstruyeron la cadena causal que permitió identificar el depósito de desechos

tóxicos como la fuente de la tasa anormal de leucemia en su comunidad (Brown, 1992). Como resultado, los efectos nocivos y eventualmente mortales de las mutaciones genéticas asociadas al tricloroetileno fueron puestos en evidencia. Otros ciudadanos y ciudadanas, participando en *focus groups*, conferencias ciudadanas, paneles y otros tipos de foros híbridos influyeron de manera significativa en la política científica en cuanto a los desechos nucleares, la terapia génica, los alimentos modificados genéticamente, la seguridad alimentaria, los xenotransplantes, la calidad del agua, los desarrollos hidroeléctricos, etc. (Einsiedel et al., 2001; Irwin, 2001).

Las formas que puede tomar la participación de los ciudadanos y de las ciudadanas en la orientación de la política científica son numerosas, variadas y complejas, desde la definición de los problemas hasta la colaboración en la realización de investigaciones, pasando por la formulación de críticas y de nuevos caminos de investigación. Por otra parte, tanto como la competencia científica, la competencia profana tiene generalmente un carácter a la vez colectivo y distribuido. Este carácter puede, como lo hemos visto, articularse alrededor de la identidad de un grupo (enfermos, habitantes de una región, etc.) pero, en todo caso, es un colectivo el que se hace responsable –si se puede decir así. En este sentido, la competencia profana constituye una propiedad emergente de las interacciones sociales en el seno de un colectivo y no una habilidad o una cualidad individual ubicada «bajo la piel y entre las dos orejas», como diría Mehan (1996). Sin embargo, hace falta no perder de vista que la emergencia de la competencia profana constituye una apuesta de «saber/poder» en el seno de nuestras sociedades, y quienes son detentores de conocimientos científicos no se dejarán convencer fácilmente de la necesidad de instaurar nuevas formas de colaboración con los demás ciudadanos y ciudadanas y de hacer entrar así las tecnociencias en democracia.

LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA Y LA POLÍTICA DE LAS TECNOCiencias

Una de las lecciones que podemos extraer de los trabajos en el campo de la comprensión pública de la ciencia es que los ciudadanos y ciudadanas para los cuales la participación en una acción colectiva tiene una significación profunda pueden desarrollar en interacción con los otros un nuevo tipo de relación con el conocimiento así como un conjunto de competencias distribuidas necesarias para su participación en la política de las tecnociencias. Dicho de otra forma, su grado de movilización es tal que lo que antes les parecía imposible (discutir de igual a igual con científicos o dominar ideas en un dominio especializado) se vuelve perfectamente realizable. Por ejemplo, como indica Epstein (1996), en un primer encuentro con activistas enfermos de SIDA en San Francisco, una militante creyó que ella nunca llegaría a comprender la cuestión. Pero después de que se le enviaron unos folletos que trataban del factor estimulante de una colonia de granulocitos y que ella los leyera varias veces, revisó su punto de vista: «¡Oh! Es como una subcultura,

como la del surf o la de la medicina, y se trata justamente de dominar la jerga. Pero no es tan complicado si uno se mete. Desde que comencé a comprender el lenguaje me sentí mucho menos intimidada.» (p. 231)

Numerosas personas cuya formación científica se reducía a vagos recuerdos de sus años de escuela se dotaron de instrumentos útiles para su participación en el colectivo de investigación, dado que es necesario llamarlo así, transformando de golpe sus relaciones con los conocimientos científicos. En un sentido, puede verse allí una respuesta a la objeción frecuentemente formulada en el dominio de la educación científica que estipula que, para involucrarse en proyectos sobre el terreno, es necesario adquirir primero algunas ideas básicas. ¿Cómo —objetarán estas personas— es posible para los jóvenes estudiantes participar de manera fundamentada en discusiones sobre los OGM o sobre la irradiación de los alimentos antes de haber asistido a los cursos escolares de biología y de física? Sin embargo, un cierto número de experiencias pedagógicas tienden a mostrar que esto, al contrario, es totalmente posible y da lugar en ocasiones a acciones sociales notables, como lo atestigua el caso que sigue (Greenall et al., 1993) y que uno de nosotros ya ha tratado en otra parte (Désautels, 1998a, 1998b).

Construir conocimientos en el fuego de la acción

La decisión del ministro de medio ambiente de una de las provincias de Australia, Tom Roper, de obligar a las autoridades de una población costera a llevar a cabo, con un costo de cinco millones de dólares, trabajos para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento de las aguas potables sin duda regocijó a los estudiantes y profesores de la escuela Queensclift. Esta decisión ponía término a una controversia sociotécnica en la cual ellos habían jugado un papel fundamental, en el contexto de un proyecto de educación ambiental¹⁴.

La voluntad de habilitar (*empower*) a los estudiantes para participar en la mejora de la calidad de la vida democrática en su medio estaba inscrita dentro del proyecto educativo de la escuela secundaria Queensclift asociada a la Universidad Deakin. Las actividades educativas, inspiradas en la corriente de la pedagogía crítica, debían proveer a los estudiantes la ocasión de construir colectivamente instrumentos y acciones con vistas a participar en la vida comunitaria. La realización de un proyecto de investigación dirigido a evaluar la calidad del agua en las playas oceánicas daría la ocasión a los profesores y a los estudiantes (15-17 años) para poner a prueba la viabilidad de tal proyecto educativo.

Interesarse por la calidad del agua podía revestir significación para los estudiantes, quienes, a semejanza de otros miembros de esta población costera, habían notado una degradación de la limpieza de las playas. Todos habían advertido por lo menos que el mar lanzaba sobre las playas objetos insólitos (jeringas, botellas de plástico, preservativos, etc.). La cuestión de la salubridad del agua emergió entonces gradualmente como preocupación colectiva, tanto más cuanto que podía constituir una

cierta amenaza para la economía estival de esta estación balnearia. Así, el análisis sistemático de la calidad del agua, particularmente con respecto al contenido bacteriano, fue elegido como proyecto de educación ambiental.

Los estudiantes, en colaboración con los profesores, concibieron un plan de acción que comportaba una variedad de actividades a realizar. El plan comprendía, entre otras, las actividades siguientes: reconocimiento y delimitación del problema, relevamiento de los conocimientos y técnicas pertinentes, elaboración de un plan de muestreo, consulta a expertos en bacteriología, elaboración de un protocolo de análisis, etc. La primera operación consistió en recolectar de manera sistemática muestras de agua a lo largo de las playas. Con este espíritu, se decidió solicitar la colaboración de la dirección de la planta de tratamiento de las aguas a fin de obtener una ayuda técnica y tener acceso a datos concernientes a la calidad del agua.

Para sorpresa de todos, la dirección de la planta se negó a prestar esta ayuda y envió a los estudiantes de nuevo a sus deberes y lecciones. Esto no impidió que el proyecto prosiguiera. El trabajo de análisis se efectuó entonces en la escuela bajo la dirección de los profesores. El éxito de esta operación, como se adivina, supone que los estudiantes abordan contenidos típicos de los cursos de ciencias (química, biología) y asimilan técnicas de laboratorio relativamente sofisticadas. Por ello, los profesores solicitaron la ayuda de especialistas en la materia, en la que se mostraron más complacidos de trabajar con los estudiantes. Después de muchos meses de trabajo se obtuvieron los primeros resultados. Uno de ellos, si resultaba correcto, prometía suscitar emociones: según los datos recogidos, la tasa de bacterias coliformes presentes en el agua era cuarenta veces superior a la norma aceptable para asegurar la seguridad de los bañistas. ¿Era eso posible?

Después de haber recibido una segunda negativa de parte de la dirección de la planta de tratamiento de las aguas para colaborar en este trabajo, se decidió informar a la población sobre los peligros potenciales de bañarse en las playas del entorno. Los resultados se difundieron por medio de los periódicos locales; luego la noticia se extendió como un reguero de pólvora por la acción de los otros medios, entre ellos la televisión. Por otra parte, otros grupos de interés (surfistas, centro local de salud, etc.) se unieron al movimiento iniciado por los estudiantes y profesores. Así poco a poco, la presión política se fue acumulando hasta que el ministro de medio ambiente ordenó al ayuntamiento arreglar el problema.

De todas maneras, más allá del carácter espectacular de esta experiencia, es pertinente preguntarse a propósito de las adquisiciones de los estudiantes en términos de competencias intelectuales y potenciales de acción. De manera similar a los estudiantes que frecuentan otro tipo de cursos, estos estudiantes construyeron conocimientos y asimilaron técnicas ligadas a los dominios de la biología y de la química, pero dándoles inmediatamente un

significado. También produjeron y negociaron conocimientos inéditos en lugar de reproducir resultados conocidos, con todos los riesgos que esto comporta. Debían, por ejemplo, ser capaces de mostrar que los resultados obtenidos tenían un grado de robustez tal que los científicos y los técnicos empleados en la planta de depuración de las aguas no pudieran cuestionar su valor. Dicho de otra forma, atravesaron la experiencia de lo que significa producir conocimientos científicos in situ en vez de realizar dentro de la escuela, como los otros estudiantes, simulacros de experimentación. La diferencia entre las dos situaciones es clara, pero se corre el riesgo de inducir en unos y otros estudiantes una relación con los conocimientos científicos que no tiene parámetros comunes. Los primeros saben a qué atenerse si desean participar en la producción inevitablemente social de tales conocimientos, mientras que los segundos corren el riesgo de idealizar y mistificar en cierta medida esta actividad. Por otra parte, aprendieron a planificar una actividad compleja y a trabajar en grupo, lo cual no es un aprendizaje trivial. Pero hay más: aprendieron a analizar el funcionamiento de las estructuras sociales locales y a negociar con los grupos de protagonistas; tomaron conciencia del rol de los medios en el funcionamiento de estas estructuras y de la posibilidad de ejercer un poder político, y así influir en el curso de los hechos. Podemos pensar que, para ellos, el aprendizaje de las ciencias no se reducirá a un banal ejercicio académico efectuado para un futuro sin horizonte y después de haber adquirido la madurez necesaria para ejercer los derechos y deberes inherentes a la ciudadanía dentro de una sociedad democrática.

Podemos recordar otros casos que muestran que estudiantes incluso muy jóvenes pueden involucrarse en acciones cívicas asociadas a controversias ambientales o sociotécnicas sin haber recorrido previamente el sistema educativo tradicional (Aikenhead, 1992, 1996; Crawford et al., 1999). La experiencia relatada por Roth y Lee (2001) testimonia todo esto. Estudiantes que iniciaban sus estudios secundarios participaron en colaboración con otros grupos en el seno de su comunidad (activistas, residentes, granjeros) en un estudio de la cuenca hidrográfica. Al término de una fase introductoria en el curso de la cual los estudiantes hicieron una excursión exploratoria a lo largo de un arroyo, se decidió que el proyecto de la clase consistiría en intentar responder la siguiente pregunta: «¿Existe una relación entre el tipo y la población de organismos y la velocidad del agua?» Los estudiantes recolectaron especímenes en diferentes lugares, los examinaron al microscopio a fin de clasificarlos en función de referencias, midieron la velocidad del agua, construyeron representaciones gráficas, formularon hipótesis a propósito de la tasa de oxigenación del agua, etc. Concibieron luego una presentación de sus resultados de investigación en forma de un cartel expuesto durante su participación en una jornada de «puertas abiertas» en el ayuntamiento. Tuvieron la ocasión de explicar a los numerosos invitados, entre los cuales había un buen número de padres, el contenido y la procedencia de sus resultados, pero sobre todo contribuyeron a la producción de conocimientos en el colectivo de investigación con

objeto de preservar la calidad ecológica de la cuenca hidrográfica.

EPÍLOGO

Estas pocas prácticas pedagógicas no agotan todo lo que puede significar una iniciación de los estudiantes en la política de las ciencias. Pueden proponerse muchas otras actividades para ayudarlos a explorar otras dimensiones de esta política. Por ejemplo, una colega prepara actualmente un proyecto en el cual dos clases de secundaria, situadas en dos provincias canadienses, estudiarán una controversia sociotécnica, principalmente vía internet y usando el *software* libre Linux. Mantendrán debates sobre el tema y, a continuación, organizarán dentro de sus comunidades respectivos encuentros con los otros estudiantes, los profesores, los padres y el público general a fin de sensibilizarlos sobre las consecuencias de dicha controversia, animándolos, si cabe, a involucrarse ellos mismos en el proceso. De hecho, no hay ninguna dimensión de la política de las ciencias que no pueda ser abordada por los estudiantes de secundaria, como lo muestran nuestras propias investigaciones. En efecto, en un estudio sobre los puntos de vista de los estudiantes con respecto a las controversias científicas, hemos podido observar que los estudiantes, cuando conversan entre ellos, son capaces de hacerse cargo de tales controversias, ya se refieran al uso de los datos generados por los científicos nazis a propósito de la hipotermia, la cuestión del componente genético en el estudio de la conducta humana o, incluso, el calentamiento global (Bader, 2001; Larochelle y Désautels, 2001). De todas formas, la sola participación de los estudiantes no es suficiente para revertir la educación clásica. Se requieren otras condiciones si se quiere poner en marcha una educación científica más ciudadana. A modo de epílogo, presentamos algunas de ellas.

Un cambio de identidad profesional. Buena parte de quienes trabajan en el dominio de la educación científica han forjado su identidad profesional frecuentando inicialmente las facultades de ciencias. A menudo, después de esta iniciación generalmente muy breve en el universo de las ciencias, muchos de ellos deciden, por una variedad de razones, cambiar de carrera profesional e interesarse, a través de diversos títulos (profesor, didacta, etc.), por la enseñanza de las ciencias. Pero, a pesar de este cambio de carrera, es frecuente que la referencia a la disciplina para definir la identidad profesional siga siendo dominante en ellos. La gente se presenta como enseñante de una disciplina o, en algunos casos, como físico, biólogo o químico que se interesa por la didáctica. El mantenimiento, dentro de la escuela, de la jerarquía social de los conocimientos refuerza este proceso de identidad. Entonces, conectar la educación científica con la formación de ciudadanos y ciudadanas informados se acomoda mal a esta forma de identidad: no estamos más para enseñar tal o cual disciplina, sino más bien para proveer las condiciones que animen a los jóvenes a volverse ciudadanos y ciudadanas plenos y a hacer un «buen uso» de los conocimientos disciplinares.

Y lo hacemos como educadores y educadoras dentro de un proyecto sociopolítico fundado sobre la noción de democracia pluralista y participativa. Sin esta transformación de identidades, es poco probable que podamos poner en cuestión la jerarquía social de los conocimientos y de los poderes que a ellos se asocian.

Una apertura a la multirreferencialidad. La realización de proyectos alrededor de controversias sociotécnicas o ambientales comporta la mayor parte del tiempo una pluralidad de dimensiones dependientes del derecho, la ética, la estética, la comunicación, la economía, la política y el análisis social tanto como de los conocimientos profanos o tecnocientíficos. Por lo tanto, la solución de los problemas no puede confinarse a un acercamiento disciplinar o pluridisciplinar clásico; al contrario, los problemas deben ser abordados dentro de una perspectiva multirreferencial que reconoce la complejidad de las situaciones y multiplica las perspectivas para abordarlas (Ardoino, 1993). En este sentido, una de las estrategias interesantes consiste en formar colectivos de investigación que conjuguen una variedad de especialistas; especialistas profanos que, como usuarios, han desarrollado conocimientos de la experiencia. Desde esta perspectiva, Fourez (1997) toma en consideración la construcción de islotes de racionalidad, es decir, de modelos o representaciones que son pertinentes en relación con la especificidad de una situación o de un proyecto. Se trate de interesarse por el uso de herbicidas en el césped y sus efectos sobre la salud, por la calidad del aire en los municipios, por el sobreconsumo de medicamentos entre las personas mayores o, incluso, de tomar una postura sobre asuntos ligados a las controversias a propósito de los alimentos transgénicos, las terapias génicas o los xenotransplantes, la representación de la situación o del

problema será siempre multirreferencial. Ciertamente, la intervención de un especialista de tal o cual disciplina podrá ser útil para abrir una «caja negra» (por ejemplo, presentar los conocimientos estandarizados a propósito del desarrollo embrionario), pero es el colectivo el que, después de haber considerado el conjunto de parámetros multirreferenciales, optará por una posición negociada y revisable. En este contexto, el profesor no puede contar más solamente con los recursos de su disciplina. Debe participar, como los estudiantes, en la fabricación de un mundo común.

Una apertura a la ciudad. La apertura a la multirreferencialidad conduce a fomentar la colaboración entre profesores que, habitualmente, son especialistas disciplinares caseros. Por otra parte, la necesidad de que los estudiantes practiquen aquí y ahora su oficio de ciudadanos y ciudadanas exige además que la escuela se abra a la ciudad. Esto no significa que los estudiantes deban constantemente recorrer las calles del barrio. Es, sin embargo, necesario ayudarlos a pensar proyectos que los lleven regularmente ya sea a integrarse en proyectos locales en curso, ya sea a iniciar ellos mismos, como miembros de un colectivo, proyectos que desemboquen en una acción comunitaria. Por ejemplo, un colectivo (estudiantes, profesorado, personas de la tercera edad, médicos, farmacéuticos, trabajadores sociales, investigadores, etc.) puede muy bien realizar un estudio acerca del sobreconsumo de medicamentos entre las personas mayores en su medio y concebir, a continuación, un plan de intervención en colaboración con los servicios locales de salud comunitaria. Sin minimizar las dificultades inherentes a tal proceso, podemos pensar que, en ocasiones semejantes, los estudiantes podrán transformarse en catalizadores de la vida democrática en la ciudad, iniciándose en la política de las ciencias.

NOTAS

* Ponencia presentada en el VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Barcelona, 12 al 15 de septiembre de 2001). Ha sido traducida del francés por Agustín Adúriz-Bravo.

¹ La redacción de este artículo ha sido posible en parte gracias a una subvención del Consejo de Investigación en Ciencias Humanas de Canadá.

² La ACSP (2001a) se presenta como una asociación benefactora nacional sin fines de lucro que colabora con los ministerios federales y provinciales, los organismos internacionales, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado para llevar a cabo investigaciones y poner en marcha programas para los servicios de salud. La realización de foros sobre los xenotransplantes fue posible mediante una ayuda económica del Ministerio Federal de Salud.

³ Este foro involucraba también sesiones cerradas (ACSP, 2001b), una de las cuales incluía a los dieciséis «panelistas» y a los expertos y expertas que participaron en la sesión pública.

⁴ Una persona transplantada debía también presentar su punto de vista, pero tuvo que rechazar la invitación por razones de salud. Según los dos expertos médicos, esta persona habría logrado convencer mejor que cualquier otra de la importancia de la investigación sobre los xenotransplantes.

⁵ Como sugieren los trabajos de Edwards y Potter (1995), esta casi unanimidad no favorece el debate y hace ingrata la tarea de los eventuales opositores. Éstos corren el riesgo de tener que defender su punto de vista *contra* aquello que es tenido por razonable, *contra* un conocimiento de especialistas; este último aspecto es particularmente importante en vista de la jerarquía social de los conocimientos. Los conocimientos de los especialistas

son en general tenidos como más creíbles que los demás conocimientos.

⁶ Es notable que ninguno de los expertos médicos presentes haya reaccionado ante el discurso del experto en derecho, quien habló de dos casos controvertidos recientes, la muerte del joven Jesse Gilsinger durante un ensayo clínico de terapia génica en un instituto de la Universidad de Pennsylvania y la muerte de pacientes durante tratamientos experimentales contra la leucemia en el *Fred Hutchinson Cancer Institute* de Seattle.

⁷ Dos cuestiones son particularmente instructivas en este aspecto. Porejemplo, como el animal privilegiado para los xenotransplantes es el cerdo, una mujer preguntó a los expertos y expertas si conocían la duración de la vida de este animal; ninguno de los expertos pudo responder. Un jubilado que había participado en la administración de un hospital exigió a los expertos que sacaran a la luz su «agenda oculta», ya que en su experiencia había aprendido que los científicos siempre ocultan algo.

⁸ El Instituto Loka (2001) ha contabilizado cuarenta y cinco conferencias ciudadanas recientes en por lo menos trece países. Según Rowe y Frewer (2000), las modalidades con que se convoca a los ciudadanos y ciudadanas en este tipo de reuniones son variadas; algunas de ellas ya tienen un largo camino recorrido: referéndum, audiencia pública, sondeo de opiniones, conferencia ciudadana, comité asesor, *focus group*, etc.

⁹ En efecto, hasta hace relativamente poco, este tipo de decisiones eran tomadas esencialmente por comités de expertos que, encerrados en los ministerios, negociaban las orientaciones de la política científica. De la misma forma, hasta hace poco no era raro que se tachara de irracionales, o incluso de irresponsables, a quienes promovían un principio de precaución y alertaban a la población de los peligros asociados con las radiaciones que emanan de las centrales nucleares, o a quienes denunciaban las consecuencias de la industrialización galopante sobre el equilibrio ambiental. ¿Acaso no corrían el riesgo de hacer nacer un pánico injustificado en el seno de la población? Además, ¿qué

credibilidad podía darse a las palabras de estos contestatarios, mejor o peor informados, mejor o peor formados, dado que los propios expertos científicos no podían pronunciarse sobre temas tan complejos sino al término de largos estudios universitarios? Por otra parte, incluso si podían ocurrir accidentes eventualmente, ¿no se debía tener confianza en la capacidad de los científicos y de los ingenieros de inventar las tecnologías apropiadas para resolver los problemas? Claramente, los tiempos han cambiado y el presidente estadounidense Bush sabía sin duda que estaba caminando sobre arenas movedizas cuando, al tener que decidir sobre el financiamiento de la investigación sobre las células madre extraídas de embriones congelados, consultó estratégicamente al papa Juan Pablo II.

¹⁰ Se hace aquí una aproximación a la historia y no un trabajo riguroso de historia de la ciencia. Nos basamos en una selección de elementos e interpretaciones que pueden, de una manera plausible, dar cuenta del estatuto epistemológico privilegiado del cual gozan los conocimientos científicos en nuestras sociedades.

¹¹ Señalemos que el advenimiento mismo de esta revolución científica no es objeto de consenso desde el punto de vista de los historiadores. Así, en una obra consagrada a la revolución científica, Shapin (1996) sostiene justamente que no hubo una tal revolución; agrega incluso que muchos «historiadores rechazan actualmente la noción de la existencia, en el siglo XVII, de una entidad cultural llamada *ciencia* que hubiera podido sufrir un cambio revolucionario» (p. 3). Para un itinerario histórico de la noción de *revolución*, (consultar, Orvas (1997).

¹² La profesión de astrólogo constituirá durante mucho tiempo la prerrogativa de los astrónomos. Brahe (1546-1601) y Kepler (1571-1630) la ejercieron en su tiempo (Segonds, 1993).

¹³ Ver también Roth y McGinn (1998).

¹⁴ Esto indica que la participación de los estudiantes en tales controversias puede conducirlos a elaborar conocimientos útiles para la acción social, y a aprender sobre el terreno su rol de ciudadanos y ciudadanas en una sociedad democrática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION CANADIENNE DE SANTÉ PUBLIQUE, (2001a). *Énoncé de mission*. <<http://www.cpha.ca/francais/indexf.htm>> (12 juin 2001).

ASSOCIATION CANADIENNE DE SANTÉ PUBLIQUE, (2001b). *Consultation publique sur la xénotransplantation*. <http://www.xeno.cpha.ca/francais/index_f.htm> (12 juin 2001).

AIKENHEAD, G.S. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, 27, pp. 1-52.

AIKENHEAD, G.S. (1992). L'approche sciences-technologies-société et l'apprentissage des sciences: une perspective de recherche. *Courrier du Cethes*, 16, pp. 3-40.

ARDOINO, J. (1993). L'approche multiréférentielle des situations éducatives et formatives. *Pratiques de Formation*, 25-26, pp. 15-34.

AUJAC, G. (1993). *Claude Ptolémée: astronome, astrologue, géographe*. Paris: Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, Ministère de l'Enseignement Supérieur.

BACHELARD, G. (1987). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: Presses universitaires de France.

BADER, B. (2001). «Étude de conversations estudiantines autour d'une controverse entre scientifiques sur la question du réchauffement climatique.» Tesis doctoral. Québec: Université Laval.

BARNES, B. (1990). Sociological theories of scientific knowledge, en Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J.R R. y Hodge, M.J.S. (eds.). *Companion to the history of modern science*, pp. 60-73. Londres: Routledge.

BECK, U. (2000). *What is globalization?* Cambridge: Polity Press.

BECK, U. (1997). Global risk politics, en Jacobs, M. (ed.) *Greening the millennium*, pp. 18-33. Oxford, UK: Blackwell Publishers.

BECK, U. (1992). *Risk society*. Londres: Sage.

BENSAUDE-VINCENT, B. (2000). *L'opinion publique et la science*. Paris: Institut d'Édition Sanofi-Synthélabo.

- BEREANO, P. (1999). *Report on Danish 'Citizen Consensus Conference' on genetically engineered foods*. Retrieved July 17, 2001 from the World Wide Web: <http://www.loka.org/pages/DanishGeneFood.htm>.
- BERLAN, J.P. y LEWONTIN, R. (1998). La menace du complexe génético-industriel: racket sur le vivant. *Le Monde Diplomatique*, 537, pp. 1, 22-23.
- BIAGIOLI, M. (ed.) (1999). *The science studies reader*. Nueva York: Routledge.
- BIAGIOLI, M. (1993). *Galileo courtier. The practice of science in the culture of absolutism*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- BIMBER, B. y GUNSTON, D. H. (1995). Politics by the same means: Government and science in the United States, en Jasanoff, S., Markle, G. E., Petersen, J.C. y Pinch, T. (eds.). *Handbook of science and technology studies*, pp. 554-571. Thousand Oaks, CA: Sage.
- BOURDIEU, P. (1997). *Méditations pascaliennes*. Paris: Seuil.
- BROWN, P. (1992). Popular epidemiology and toxic-waste contamination: Lay and professional way of knowing. *Journal of Health and Social Behavior*, 33(5), pp. 267-281.
- BURKE, P. (2000). *A social history of knowledge. From Gutenberg to Diderot*. Cambridge: Polity Press & Blackwell Publishers.
- CALLON, M. (1999). Ni intellectuel engagé, ni intellectuel dégage: la double stratégie de l'attachement et du détachement. *Sociologie du travail*, 41, pp. 65-78.
- CALLON, M., LASCOUMES, P. y BARTHE, Y. (2001). *Vivre dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Paris: Seuil.
- COLLINS, H. (1989). The meaning of experiment: replication and reasonableness, en Lawson, H. y Appignanesi, L. (eds.). *Dismantling truth: reality in the post-modern world*, pp. 82-92. Nueva York: St. Martin's Press.
- CRAWFORD, B., KRAJCIK, J. y MARX, R. (1999). Elements of a community of learners in a middle school science classroom. *Science Education*, 83(6), pp. 701-723.
- DE BOER, G.E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, pp. 582-601.
- DÉSAUTELS, J. (2001). Rapport aux savoirs technoscientifiques et citoyenneté: un point de vue. *Cahiers du Cirade*, 2, pp. 49-68.
- DÉSAUTELS, J. (1998a). Une éducation aux sciences pour l'action. *Recherche en Soins Infirmiers*, 52, pp. 4-11.
- DÉSAUTELS, J. (1998b). Une éducation aux technosciences pour l'action sociale, en *La recherche en didactique au service de l'enseignement*, pp. 9-27. Journées internationales de didactique des sciences de Marrakech, Marraquech (Marruecos). Université Cadi Ayyad. Faculté des sciences Semlalia.
- DURANT, J. (1999). Participatory technology assessment and the democratic model of the public understanding of science. *Science and Public Policy*, 26(5), pp. 313-319.
- EDWARDS, D. y POTTER, J. (1995). Attribution, en Harré, R. y Stearns, P. (eds.). *Discursive psychology in practice*, pp. 87-119. Londres: Sage.
- EINSIEDEL, E., JELSOE, E. y BRECK, T. (2001). Publics at the technology table: The consensus conference in Denmark, Canada, and Australia. *Public Understanding of Science*, 10, pp. 83-98.
- EISENHART, M., FINKEL, E. y MARION, S.F. (1996). Creating the conditions for scientific literacy: A re-examination. *American Educational Research Journal*, 33(2), pp. 261-295.
- EPSTEIN, S. (1996). *Impure science: Aids, activism and the politics of knowledge*. Berkeley, CA: University of California Press.
- FEYERABEND, P. (1979). *Contre la méthode: esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris: Seuil.
- FLECK, L. (1935, 1979). *Genesis and development of a scientific fact* (Thaddeus, J.T y Merton, R.K. (ed.); Bradley, F. y Thaddeus, J.T. trans.). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- FOUCAULT, M. (1971). *L'ordre du discours*. Paris: Gallimard.
- FOUREZ, G. (1997). Scientific and technological literacy as a social practice. *Social Studies of Science*, 27, pp. 903-936.
- FOUREZ, G., ENGLEBERT-LECOMPTE, V. y MATHY, P. (1997). *Nos savoirs sur nos savoirs: Un lexique d'épistémologie pour l'enseignement*. Bruxelles: De Boeck Université.
- FOUREZ, G. (con la col. de Englebert-Lecomte, V. Grootaers, D., Mathy et P. Tilman, F.) (1994). *L'alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*. Bruselas: De Boeck Université.
- GARCÍA, S. (2001). Les réseaux au service de Galilée. *Les Cahiers de Science et Vie*, 61, pp. 72-75.
- GEERTZ, C. (1999). *Savoir local, savoir global. Les lieux du savoir* (D. Paulme, trad.) (2e édition). Paris: Presses Universitaires de France.
- GIERYN, T. (1995). Boundaries of science, en Jasanoff, S., Markle, G.E., Petersen, J.C. y Pinch, T. (eds.). *Handbook of science and technology studies*, pp. 393-444. Thousand Oaks, CA: Sage.
- GOLDSTEIN, B.R. (1997). Si la terre était une planète. *Les Cahiers de Science et Vie*, 39, pp. 26-37.
- GOODMAN, B. (1995). A controversy that will not die: the role of HIV in causing AIDS. *The Scientist*, 9(6), p. 1.
- GREENALL GOUGH, A. y ROBOTOM, I. (1993). Towards a socially critical environmental education: Water quality studies in a coastal school. *Journal of Curriculum Studies*, 25(4), pp. 301-316.
- IRWIN, A. (2001). Constructing the scientific citizen: Science and democracy in the biosciences. *Public Understanding of Science*, 10, pp. 1-18.
- JASANOFF, S., MARKLE, G.E., PETERSEN, J.C. y PINCH, T. (eds.) (1995). *Handbook of science and technology studies*. Thousand Oaks, CA: Sage.

- KOESTLER, A. (1980). *Les somnambules: Essai sur l'histoire des conceptions de l'univers*. Paris: Calman-Lévy.
- KOLSTO, S. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85(4), pp. 291-310.
- KUHN, T.S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- KUHN, T.S. (1973). *La révolution copernicienne*. Paris: Fayard.
- LAROCHELLE, M. y DÉSAUTELS, J. (2001). Les enjeux socioéthiques des désaccords entre scientifiques: un aperçu de la construction discursive d'étudiants et étudiantes. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et de la technologie*, 1(1), pp. 39-60.
- LAROCHELLE, M. y DÉSAUTELS, J. (2001, en prensa). On peers, those «particular friends». *Research in Science Education*.
- LATOURET, B. (2001). Faut-il conserver le principe d'imprudence? *La Recherche*, 343, p. 90.
- LATOURET, B. (1999). *Les politiques de la nature. Comment faire entrer les sciences en démocratie*. Paris: La Découverte.
- LATOURET, B. (1997). Crise des valeurs? Non, crise des faits, en *Éthique et environnement*, pp. 95-104. Actes de colloque, Paris: La Documentation Française.
- LATOURET, B. (1994). *Pasteur: une science, un style, un siècle*. Paris: Perrin & Institut Pasteur.
- LENOIR, T. (1993). The discipline of nature and the nature of disciplines, en Messer-Davidov, E., Shumway, D.R y Sylvan, D.J. (eds.). *Knowledges: Historical and critical studies in disciplinaryity*, pp. 70-102. Charlottesville, VA: University Press of Virginia.
- LÉVY-LEBLOND, J.M. (1992). En méconnaissance de cause. *Le Genre Humain*, 26, pp. 62-74.
- LOKA INSTITUTE (2001). *Danish style, citizen-based deliberative «Consensus Conferences» on science & technology policy worldwide*. Retrieved July 17, 2001 from the World Wide Web: <<http://www.loka.org/pages/worldpanels.htm>>.
- MEHAN, H. (1996). Beneath the skin and between the ears: A case study in the politics of representation, en Chaiklin, S. y Lave, J. (eds.). *Understanding practice. Perspectives on activity and context*, pp. 241-268. Nueva York: Cambridge University Press.
- MESSER-DAVIDOV, E., SHUMWAY, D.R. y SYLVAN, D.J. (1993). *Knowledges: Historical studies and critical studies in disciplinaryity*. Charlottesville, VA: University Press of Virginia.
- ORVAS, G. (1997). D'une révolution, l'autre. *Les Cahiers de Science et Vie*, 2, pp. 74-84.
- OSBORNE, J. y COLLINS, S. (2001). Pupil's views of the role and value of the science curriculum: A focus group study. *International Journal of Science Education*, 23(5), pp. 441-467.
- PESTRE, D. (2001). Études sociales des sciences, politique et retour sur soi. *Revue du MAUSS*, 17, pp. 180-196.
- PICKERING, A. (1995). *The mangle of practice*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- PICKERING, A. (ed.) (1992). *Science as practice and culture*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- RABEHARISOA, V. y CALLON, M. (1999). *Le pouvoir des malades*. Paris: Les Presses de l'École des Mines.
- REDONDI, P. (1991). Le mythe Galilée. *Les Cahiers de Science et Vie*, 39, pp. 80-88.
- ROTH, W.M. y LEE, S. (2001). Breaking the spell: Science education in a free society, en Roth, W.M. y Désautels, J. (eds.). *Science education as/for social action*. Nueva York: Peter Lang.
- ROTH, W.M. y MCGINN, M.K. (1998). Knowing researching, and reporting science education: Lessons from science and technology studies. *Research in Science Education*, 35(2), pp. 213-235.
- ROWE, G. y FREWER, L.J. (2000). Public participation methods: A framework for evaluation. *Science, Technology & Human Values*, 25, pp. 3-29.
- RUTHERFORD, J. y AHLGREN, A. (1990). *Science for all Americans*. Nueva York: Oxford University Press.
- SEGONDS, A. (1993). Tycho Brahé, Képler. Les astrologues de la cour. *Ciel et espace*, 6, pp. 14-19.
- SERRES, M. (1989). Paris 1800, en Serres, M. (ed.). *Éléments d'histoire des sciences*, pp. 337-361. Paris: Bordas.
- SHAPIN, S. (1999). Être ou ne pas être antiscientifique. *La Recherche*, 319, pp. 72-79.
- SHAPIN, S. (1996). *The scientific revolution*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- STENGERS, I. (1993). Newton redécouvert. *Les Cahiers de Science et Vie*, 13, pp. 78-85.
- STENGERS, I. (1989). Les affaires Galilée, en Serres, M. (ed.). *Éléments d'histoire des sciences*, pp. 223-249. Paris: Bordas.
- TESTARD, J. (1998). Espèces transgéniques: ouvrir la boîte de Pandore? *Manière de Voir*, 8, pp. 15-17.
- THUILLER, P. (1993). Newton. La tentation de l'alchimie. *Ciel et espace*, 6, pp. 22-27.
- VAN DER LAAN, L., LOCKEY, C., GRIFFETH, B., FRASIER, F., WILSON, C., ONIONS, D., HERING, B., LONG, Z., OTTO, E., TORBETT, B. y SALOMON, D. (2000). Infection by porcine endogenous retrovirus after islet xenotransplantation in SCID mice. *Nature*, 407, pp. 90-94.
- WATSON, J. (1984). *La double hélice*. Paris: Hachette.
- WYNNE, B. (1996). Misunderstood misunderstandings: Social identities and public uptake of science, en Irwin, A. y Wynne, B. (eds.). *Misunderstanding science? The public reconstruction of science and technology*, pp. 19-46. Londres: Cambridge University Press.