RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes

Universidad
Nacional
de Quilmes

Salomon, Jean-Jacques

La prospectiva de la ciencia y la tecnología

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:
Salomon, J. J. (1996). La prospectiva de la ciencia y la tecnología. Redes, 7(3), 79-99 Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/569

Puede encontrar éste y otros documentos en: https://ridaa.unq.edu.ar

Universidad
Nacional
de Quilmes

Roque Sáenz Peña 352 // Bernal
Buenos Aires // Argentina
t.: (+41 11) 4365 7100
f.: (+54 11) 4365 7101
info@unq.edu.ar

La prospectiva de la ciencia y la tecnología*

*Jean Jacques Salomon***

El presente artículo enfoca desde una perspectiva crítica la prospectiva en ciencia y tecnología. En primer lugar, describe cómo para la ciencia los nuevos avances, los descubrimientos y los cambios de paradigmas son tierras enteramente desconocidas. En segundo lugar, analiza la manera en que la previsión tecnológica se presenta como un arte aventurado, muy fecuentemente desmentido por la historia. En tercer lugar, explora los años del futuro y su relación con lo que los expertos definen como "tecnologías-clave" o "críticas", sobre las cuales los países industriales orientan actualmente la mayor parte de su I+D industrial. Finalmente, examina el futuro de las políticas de la ciencia y la tecnología.

El oficio del profeta si se lo toma al pie de la letra es muy ingrato, sobre todo en lo que respecta al futuro. Lo es mucho más cuando nos aventuramos en los dominios de la investigación científica y técnica, donde germinan los descubrimientos y las invenciones del mañana, donde se preparan y maduran las sorpresas de las que se nutren los cambios aún por venir. La moda de la previsión tecnológica en los años sesenta, con sus "máquinas de pensar" al estilo de la *Rand Corporation* o del *Hudson Institute,* produjo más decepciones -y mitos- que resultados convincentes, en particular desde el punto de vista de los métodos, inevitablemente basados en las opiniones también inevitablemente subjetivas de los especialistas de las diferentes disciplinas, cuya ponderación, como en el *método Delphi,* no anticipa jamás lo probable sino bajo beneficio de inventario. Esos métodos indican, en el mejor de los casos, líneas de fuerza, trayectorias posibles, transformaciones concebibles entre la ciencia-ficción y la utopía. Porque el futuro nunca está determinado y, cuando se trata de la ciencia y la tecnología, las promesas, para que puedan cumplirse, deben tener en

* Fecha de aceptación: abril de 1996.

** Centre Science, Technologie et Societé del Conservatoire National des Arts et Métiers, París, Francia. Traducción del francés de Claudia Gilman.

cuenta el contexto económico, social o político donde se juega, a más corto o largo plazo, el éxito de las innovaciones del mañana.

Una tierra enteramente desconocida

Para la ciencia, los nuevos avances, los descubrimientos en el sentido propio del término y, con mayor razón, los cambios de paradigmas en el sentido de Thomas Kuhn, son tierras enteramente desconocidas. Basta con recordar que el mundo físico de finales del siglo xix aparecía como resultado de una vasta síntesis en la cual, a los ojos de los mejores especialistas, no parecía que la ciencia debería aportar grandes conmociones. En la ilusión de que se estaba ante una arquitectura definitiva que las grandes disciplinas clásicas (mecánica, química, óptica) habían construido aparentemente sobre bases inquebrantables, parecía agotado el campo de los instrumentos intelectuales que podían cultivarse para comprender la naturaleza y el cosmos. Precisamente en ese momento aparecieron las fisuras del edificio (por ejemplo, la experiencia de Michelson) que Planck y Einstein iban a reconstruir sobre bases íntegramente nuevas. Nadie, en 1900, podía imaginar que la mecánica clásica no sería, dos décadas más tarde, sino una aproximación de la mecánica relativista, con un método de cálculo fundado sobre el indeterminismo.

No es necesario remontarse tan lejos. Daniel Kleppner, director de! laboratorio de electrónica del Massachusetts Institute of Technology (MIT), relata con humor cómo la previsión le infligió una lección de humildad.[1] Cada diez años, los físicos norteamericanos forman una comisión para evaluar el estado del arte e imaginar el futuro. Nombrado en 1985 como miembro de la comisión Brinkman (nombre de su presidente ese año), Kleppner se preparó para realizar su tarea consultando el informe de la precedennte comisión que se consagró a la física atómica, su disciplina. Lectura completamente deprimente: nadie pareció haber percibido que el láser estaba a punto de revolucionar la física atómica y de proyectar la óptica a la vanguardia de las investigaciones; por otra parte, tampoco fueron anticipados muchos otros progresos. "Se me hizo un nudo en la garganta, escribe, pensan-

[1] Kleppner, D., "A Lesson of Humility", *Physics Today,* diciembre de 1991, pp. 9-10.

do en los rústicos que tan poca justicia hacían a mi campo de investigación". Recorrió la lista de los miembros del subgrupo que habían sido consultados y, para su perplejidad, encontró su propio nombre.

La comisión Brinkman no obtuvo mejores resultados. *Solamente cinco años* después de su informe, avances científicos que ninguno de los miembros de esa comisión pudo imaginar ampliaron prodigiosamente el campo de la física: la teoría de la complejidad y del caos, la dinámica no lineal, el renacimiento de la mecánica clásica, la física mesoscópica, etc. De los descubrimientos ausentes de la lista, el más legendario es el de la superconductividad a muy baja temperatura, demostrada por dos investigadores (que casi inmediatamente recibieron el premio Nobel) que se interesaron por un tema que era tan excéntrico para el laboratorio IBM de Zurich en donde trabajaban, como la materia sobre la cual experimentaban. A pesar de los desarrollos de una ciencia cada vez más organizada, intensiva en capital, en equipamiento y en personal, este tipo de ejemplo sirve para alentar la gran tradición de los investigadores individuales que se entregan a la búsqueda de sus propios objetivos, con medios modestos y encontrando... lo que pueden y cuando pueden. Daniel Kleppner subraya que esos ejemplos no agotan el conjunto de las sorpresas que resultan de los trabajos realizados en física desde hace cinco años. "Los descubrimientos científicos exceden invariablemente todo lo que podemos imaginar", dice, antes de concluir: "Cuando observamos de cerca, lo único que los científicos pueden prever con gran precisión, es un eclipse".

En cuanto a la tecnología, en el curso de este último cuarto de siglo, habremos aprendido al menos, gracias a los trabajos de los historiadores, economistas y sociólogos (Braudel, Rosenberg, Nelson, Freeman, Kransberg, etc.) que en el pasaje de los descubrimientos a las innovaciones,, nunca hay *proceso lineal.* La lógica del descubridor o del inventor es con frecuencia muy diferente de la de las funciones que ejercen las aplicaciones sobre el mercado, y el tiempo de difusión de las innovaciones es siempre más largo e incierto de lo que anticipan los investigadores y promotores. Para imponerse, una nueva tecnología no debe ser solamente funcional, también debe ser competitiva. Desde hace más de medio siglo se nos habla de la generalización de los robots, pero las inversiones que éstos exigen excluyen la posibilidad de que se instalen en las pequeñas y medianas empresas. La máquina cosechadora-trilladora existía en los Estados Unidos desde 1830; sin embargo, se necesitarán al menos cuarenta años para verla triunfar por sobre el trabajo humano, porque el costo de la mano de obra era inferior al de las inversiones que exigía la máquina.

Comparando la historia de los robots contemporáneos de la electrónica con la historia de la cosechadora-trilladora de Me Cormick, Paul A. David ha mostrado todos los problemas que plantea su difusión: el salario de la mano de obra, el riesgo de la inversión, el de la transformación de los talleres y de la reorganización del trabajo, el reacondicionamiento de los equipamientos auxiliares, sin hablar de las incertidumbres ligadas al contexto económico; de modo que "ante la elección entre construir una nueva fábrica equipada con robots y la de proseguir la explotación de una fábrica existente con un grado menor de automatización, *es el robot el que está en desventaja".* En suma, continúa estando en situación de subempleo.[2] El día en que, en un siglo xxi que haya generalizado la automatización de la industria y de los servicios, los robots se conviertan efectivamente en las máquinas-esclavos de todo el sistema de producción y de consumo, las cuestiones que nos planteamos hoy sobre el tiempo o las condiciones del trabajo parecerán tan anacrónicas como las de las corporaciones amenazadas por el impulso de la industrialización. Sabremos entonces, cuando se extinga el trabajo asalariado, si los "robots en el poder" pondrán a la mayor parte de la humanidad en situación de desempleo o de vacaciones...

Por otra parte, la funcionalidad, al igual que el costo, no es el único requisito previo para la difusión de una nueva tecnología. Es preciso además que el entorno institucional, social e incluso cultural, no ponga obstáculos y que esté, por lo tanto, preparado para recibirla: pensemos en las reticencias que ha provocado la píldora anticonceptiva en los países de tradición católica en comparación con los países de tradición protestante; en la resistencia que enfrenta la energía nuclear desde hace más de un decenio en los Estados Unidos y en muchos países europeos; o en las dificultades que se presentan a la televisión de alta definición cuyo perfeccionamiento no basta para asegurar su éxito en el mercado, debido no solamente a su costo (¿por qué comprar nuevos aparatos de televisión después de haber pasado del blanco y negro al color?), sino también a la escasez de programas específicamente adaptados a sus *performances* técnicas.

Ni siquiera los esfuerzos gubernamentales -como por ejemplo la ley recientemente sancionada por el Congreso norteamericano- para estimular el impulso de los multimedia, unión de imagen, sonido y com-

[2] David, P. A., "La moissonneuse et le robot", *Les enjeux du changement technologique* (bajo la dirección de J. J. Salomón y G. Schméder), París, Económica, 1986, p. 123 (subrayado por el autor).

putadora, por sobre los algoritmos de lo numérico, pueden garantizar que se conquistará a corto plazo un público masivo para las redes planetarias de Internet. La ley norteamericana, apenas firmada por el presidente Clinton, está ya siendo recusada ante la Corte Suprema debido a la censura que se propone ejercer sobre los mensajes considerados "inmorales" (que van desde la información sobre el aborto hasta los intercambios pornográficos). En el plano internacional será aún necesario, dado el *forcing* de las desregulaciones a escala mundial, ponerse de acuerdo sobre nuevas normas y, sobre todo, que los consumidores se dejen seducir por abonos a un costo más atractivo.

Hay, además, otro aspecto que vale la pena tener en cuenta cuando nos arriesgamos a la previsión tecnológica: ¿estamos en condiciones de identificar lo que se considerará importante mañana? Una encuesta reciente efectuada por un equipo del MIT bajo la dirección de Lester Thurow revela que la percepción de la importancia de ciertas invenciones para el gran público es muy diferente de la de los especialistas.[3] Sobre mil adultos encuestados, 34% respondieron que el automóvil era el invento más importante y que no podrían vivir sin él, pero sólo el 8% respondió que no podrían prescindir de la computadora -¡el mismo porcentaje que se pronunció por el secador de pelo!-. Sólo el 5% respondió que la televisión era un invento muy importante y el 22% que no podría vivir sin ella. Después del automóvil, campeón de todas las categorías en la apreciación de las maravillas del siglo xx, la lamparita eléctrica ocupa el segundo lugar. Le sigue el teléfono, pero la computadora personal está en cuarta posición, *ex-aequo* con... ¡la aspirina! Esto relativiza, según Lester Thurow, la importancia que la mayoría de los consumidores concede a las invenciones de nuestra vida cotidiana.

Las fantasías de la previsión tecnológica

"A menudo, el hombre sabe lo que ha hecho, dice Paul Valéry, pero no sabe jamás qué hace lo que él ha hecho." ¿Cómo sabría entonces qué ha hecho lo que él hará? Por eso mismo, la previsión tecnológica es un arte aventurado, muy frecuentemente desmentido por la historia. Cuando se relee el *best-sellr Herma*n Kahn, publicado en 1967, como una "trama de especulaciones para los próximos treinta y

[3] Informe del Lemelson-MIT Prize Program, presidido por Lesler Thurow, MIT *Tech Talk,* vol. 45, Nro. 18, 31 de enero de 1996.

dos años", se puede medir qué porción del camino ha quedado sin recorrer. Pongamos un manto de silencio a los numerosos escenarios de guerra nuclear entre los Estados Unidos y la ex Unión Soviética que han hecho la gloria de Herman Kahn: obviamente, nadie imaginó que el fin de la guerra fría y la caída del muro de Berlín tendrían lugar sin un solo disparo de fusil, por la simple implosión del sistema comunista. ¿Hay que sorprenderse entonces de que en el capítulo consagrado precisamente a la electrónica y a la informática no apareciera la idea del CDRom y de multimedia? Todavía más; Herman Kahn fue uno de los que anunciaron la generalización de los robots para el año 2000: no solamente en las fábricas sino también en todos los hogares, bajo la forma de "colaboradores domésticos" entrenados "con el propósito de realizar un trabajo particular en cada casa". Esos robots-esclavos "tan incapaces de emoción como un automóvil", poseerían "una memoria para registrar las órdenes" y "podrían dirigir perfectamente otras máquinas más especializadas como la aspiradora o el lavarropas".[4]

Aún más revelador -aquello que mejor demuestra hasta qué punto la previsión tecnológica está vinculada con las fantasías de quienes la hacen pasar por un método riguroso, a la manera de los augures y de los harúspices de la Antigüedad- es el carácter *esencialmente* apocalíptico (el término es de Kahn) de los usos y de los efectos sociales anticipados de la difusión de la informática. Obsesionado por la estrategia y las relaciones de poder, sin poder concebir el mundo sino en términos de violencia, delincuencia y por lo tanto de policía, el fundador del Hudson Institute ha retenido, sobre todo en el tratamiento de la información, las amenazas que ésta significaría para la vida privada: centralización de los archivos individuales, escucha de conversaciones telefónicas por parte de individuos y gobiernos, rastreo de automovilistas peligrosos o de criminales en potencia, etc. En suma, no previo otro mundo que el que imaginó Orwell, con la única diferencia de que el sistema generalizado de vigilancia se apoyaría, nos dice, en "calculadoras simples", cuyos

> [...] criterios podrían ser, o bien ciertas palabras: jerga, obscenidades, apuesta, carrera de caballos, matar, subversión, revolución, infiltrar, poder Negro, organizar, oponerse; o bien combinaciones más complejas [...] sensibles ante informaciones no verbales tales como el tono amenazante o colérico de una voz.

[4] Kahn, H. y Wiener, A. J., *L'an 2000: Un canevass de spéculations pour les 32 prochaines anees,* París, Robert Laffont, 1967, pp. 143 y 144-148.

Escenario plausible, seguramente, puesto que la ¡nformatización creciente de la sociedad coloca a los individuos cada vez más bajo el control del fichaje electrónico: ya podemos seguir el rastro de todos los que usan una tarjeta de crédito como prueba de su paso a tal hora, tal día, por tal barrio de la ciudad, en tal país. El día de mañana, los documenntos de identidad o de seguridad social provistos de *microchips* incrementarán aún más las capacidades panópticas del *Big Brother,* vigilando la vida privada y amenazando las libertades individuales. Pero ese escenario es pertinente sólo si hacemos abstracción de los contra-poderes que podremos instituir o reforzar, al menos en un régimen democrático (como la "Comisión Informática y Libertades") para protegernos contra ese tipo de derivas orwellianas. Y se trata especialmente de aprovechar todos los nuevos recursos que la informática ha multiplicado y promete multiplicar todavía más en todas las áreas, de la economía a la cultura, tanto para la producción y la gestión de bienes y de servicios como para la creación artística. Basta con "navegar" en la *World Wide Web* para darse cuenta de las herramientas nuevas que nos provee el multimedia, independientemente de frivolidades tales como los juegos o mensajes publicitarios, las transacciones financieras, la museología y la investigación científica.

Después de tantas advertencias, se comprenderá que vacile antes de arriesgarme, a mi vez, en un arte tan incierto como el de la previsión tecnológica. Sin jugar al profeta y, básicamente, absteniéndose de tratar a la prospectiva como una previsión, podemos por lo menos designar las áreas que "están en movimiento" -sin que por otra parte sea un gran mérito el identificarlas, ya que son aquellas que los especialistas coinciden más frecuentemente en señalar-. Sin embargo, una vez más, esto no quiere decir que no haya otras en gestación que puedan mañana cambiar todavía más radicalmente el universo imprevisible de lo posible, tanto nuestra visión del mundo como su decorado. Comparando las posibilidades tecnológicas "con un mar cuyo mapa no ha sido trazado", Schumpeter no dejaba por ello de subrayar en 1942, en su último libro, que nos encontrábamos "en el vacío de la ola de iniciativas que creó las centrales eléctricas, la industria eléctrica, la electrificación de las viviendas y las zonas rurales y la industria automotriz".[5] Veía en la industria química, no sin razón, una tierra pro-

[5] Schumpeter, J., *Capitalisme, socialisme et democratie,* Petite Bibliothéque Payot, 1969, p. 167. [Hay traducción castellana: *Capitalismo, socialismo y democracia,* Madrid, Aguilar, 1968.]

misoria, admitiendo sin embargo que "las invenciones que duermen todavía en el regazo de los dioses pueden ser más o menos productivas que aquellas que nos han sido reveladas hasta ahora".

Bajo sus ojos se preparaban las metamorfosis del campo nuclear, aeroespacial, de la electrónica, de la informática, de la biología, de los nuevos materiales, cuyas aplicaciones el próximo siglo seguirá viendo expandirse. Pero es el mismo hombre, pionero como Marx de la historia económica de la innovación, quien no ha cesado de profetizar el fin del capitalismo -igual que Marx, aunque ciertamente por diferentes razones pero, al contrario que éste, con una perspectiva de largo plazo... Lo que duerme todavía en el regazo de los dioses está, pues, naturalmente excluido de las reflexiones que siguen acerca de las rutas del porvenir -rutas muy selectivas, sobre un mapa que incluye muchísimas otras-, al igual que todo lo que podamos aventurar sobre la fase final (si la hay) del capitalismo.

Tecnologías-clave y áreas del futuro

No por casualidad las áreas del futuro coinciden con lo que los expertos definen como "tecnologías-clave" o "críticas" sobre las cuales los países industriales orientan actualmente la mayor parte de su I+D industrial: tecnologías de la información y de la comunicación, componentes eléctricos y electrónicos, biotecnologías y productos farmacéuticos, nuevos materiales, transportes, energía y medio ambiente. Esta lista surge como resultado de la unión entre la definición de las necesidades tecnológicas sugeridas por la evolución de los mercados *(market pulí)* y la dinámica propia de los progresos científicos percibida por los especialistas *(technology push).*[6] Son sin duda las ciencias de la información las que ocupan el primer lugar en la escena, en principio a causa de su prodigioso impulso, pero también porque condicio-

[6] Véase en particular "Les cents technologies-clés pour l'industrie frangaise á l'horizon 2000", París, Ministére de l'industrie, Direction genérale des stratégies industrielles, 1995; "La prospective aus Etats-Unis", *Technologies internationales,* Estrasburgo, ADIT, No. 19, noviembre de 1995; la investigación que prepara la tercera conferencia de directores norteamericanos de investigación: *A Gateway to Technologies for the 21st Century* (Cambridge, 18-19 de abril de 1996), cuyos resultados preliminares aparecieron en "¿What's the Hottest Research?", *The* MIT *Report,* vol. xxiv, No. 2, febrero de 1996) y "Technology 1996: Analysis and Forecast Issue", *Spectrum* (revista del Institute of Electrical and Electronics Engineers), Nueva York, enero de 1996.

nan cada vez más todos los restantes sectores de la investigación. Cada una de las tecnologías-clave, llamadas a afectar otros sectores de actividades, debe ser considerada, además, no solamente como la fuente de innovaciones que transformarán mañana las industrias existentes, sino como el origen mismo de nuevos emprendimientos aun desconocidos cuyo mercado es por definición imprevisible.

La revolución introducida a partir de la explotación de las corrientes débiles, del telégrafo y del teléfono a la radio, al cine y a la televisión, se prosigue y se profundiza a través de la generalización del lenguaje numérico que permite transmitir por ósmosis, en tiempo real y a escala planetaria, todas las formas de información, imagen, sonido o algoritmo. Las investigaciones sobre la infraestructura de los sistemas de información (la "ferretería") ponen la mira en capacidades que están mucho más allá de las que hoy conocemos, con redes ópticas que funcionan a 100 gigabites por segundo y lásers de alta velocidad que transmiten 100 mil millones de impulsos por segundo, que dejan entrever tecnologías considerablemente más operativas para el futuro de INTERNET. Inmediatez del mensaje, supresión del espacio y de los intermediarios, constituyen el horizonte más previsible del multimedia. Allí se encuentra, a la escala de la economía mundial, la herramienta de diversión y de propaganda, pero también de educación y de cultura, cuyos desarrollos no cesarán de afectar los modos de vida y de trabajo. A diferencia de la radio y del cine, la información circulará esta vez sobre soportes interactivos que tendrán acceso a todos los bancos de datos y de películas que no sólo estarán disponibles a través del mundo sino, lo que es más todavía, serán consumibles a voluntad.

Ya estamos viendo, sin recurrir a los milagros de la ciencia-ficción, todo lo que se puede esperar en el mediano plazo a partir de la difusión del multimedia: por un lado, la extensión del espacio mediante la reducción del tiempo, es decir, el telemensaje; y por otra parte, la interactividad, es decir, la supresión de toda distancia geográfica en todas las formas de intercambio -teleconferencias, videófono, acceso mediante solicitud a todas las formas de emisión televisadas a través del mundo, compra directa de mercaderías mediante la televisita de las estanterías de los negocios y depósitos, acceso generalizado a las cuentas bancarias y a los servicios financieros, servicios médicos a distancia que van desde el diagnóstico hasta el tratamiento de las enfermedades, acceso a nuevos estilos de formación a través de la estimulación a domicilio de las prácticas profesionales o técnicas, generalización de la enseñanza a distancia, extensión del teletrabajo que podrá realizarse en cualquier lugar del planeta a pedido de cualquier usuario.

El ejemplo de la telecirugía es indudablemente el más sorprendente: el mundo quirúrgico está ávido de imágenes; su carácter numérico permjte ya numerosas aplicaciones. Las técnicas endoscópicas controladas a distancia dan lugar a modelizaciones del campo operatorio que ayudan al practicante en el momento de la operación. La imaginería virtual puede incluso hacer posibles operaciones efectuadas por instrumentos-robots, cuyas secuencias preprogramadas reproducen los gestos del cirujano. Algunas salas de cirugía ya incluyen cámaras que sirven para filmar la operación, y sus imágenes pueden transmitirse en tiempo real a expertos eventualmente alejados de una a otra orilla del Atlántico. Mañana, esas cámaras estarán conectadas en redes con estaciones de visualización que permitirán concebir diferentes escenarios de intervención, cuyos riesgos mismos serán modelizados.

En ese campo predomina la visión de una inmensa multiplicidad de informaciones y de accesos multiformes a una infinidad de bancos de datos, en una convergencia de los servicios telefónicos por cable o por satélite, ligados a las imágenes que circulan a través de las pantallas del televisor o la computadora. El progreso de los componentes promete hacer de cada microchip un sistema en sí mismo, el de las técnicas de compresión promete acumular los datos a un costo cada vez más bajo. Los protocolos actuales de INTERNET tienen una capacidad de 32 bits de direcciones; pronto multiplicarán por cuatro su capacidad y sumarán aún mucha más a mediano plazo. Y aún quedan por resolver los problemas de interferencia que surgen ya de esta multiplicación prodigiosa de informaciones que circulan en un abanico de bandas movilizadas vertiginosamente a ultranza; las primeras se cruzan en el infinito, las segundas son limitadas. Ya mismo sentimos inquietud ante la interferencia con los aceleradores cardíacos e incluso los *air-bags* de los automóviles; sin mencionar su influencia sobre las bandas protegidas para las investigaciones en astronomía.

Nos inquietamos aún más por los problemas de seguridad que plantean las transacciones cuyo teatro es el *ciberespacio:* los algoritmos más refinados que se emplean en las más potentes computadoras con el fin de proteger la confidencialidad de las informaciones, no están al abrigo de los *hackers,* esos aniquiladores de programas (algunos de los cuales no son sino jóvenes aficionados) que experimentan con las claves que permiten acceder a las informaciones. A los especialistas en criptología que se esfuerzan por detener ese proceso de desciframiento de datos o la falsificación de firmas y documentos los espera sin duda un futuro promisorio.

En cuanto a las computadoras, se trabaja sobre arquitecturas masivamente paralelas, con componentes cuánticos, fotónicos, moleculares, discos "flópticos" que combinan propiedades ópticas y magnéticas. Las investigaciones realizadas sobre los polímeros, que, según se ha descubierto, son conductores de electricidad, prometen sustituir los costosos materiales cristalinos con materiales plásticos, especialmente la silicona, cuyo precio, sin embargo, continúa bajando. El laboratorio Philips de Eindhoven ya ha puesto a punto "microchips orgánicos" de diez transistores, luego de los éxitos obtenidos por el laboratorio CNRS de Thiais y la Ecole supérieure d'électricité de Gyf sur Yvette en la elaboración de los primeros polímeros semi-conductores.

La revolución de las biotecnologías, esbozada a partir de los primeros logros de la biología molecular, se encuentra recién en la fase inicial en cuanto a sus aplicaciones. Ya se ha dicho todo sobre las posibilidades que ésta abre; podemos prever que éstas van a repercutir enormemente no sólo en las condiciones de prevención y tratamiento de las enfermedades sino incluso en el equilibrio mundial (o los desequilibrios) de la producción agrícola y alimentaria.[7] No insistiré, pues, sobre la cuestión, incluso si el pasaje de los descubrimientos a la difusión de las prácticas y de los agentes de la ingeniería de lo viviente demanden, también aquí, más tiempo del que parecería esperar la prensa especializada y, sobre todo, del que parecería anticipar la abundancia de nuevas empresas creadas con capitales de riesgo, algunas de las cuales ya han desaparecido.

Asociando la microbiología, la bioquímica, la genética, la ingeniería bioquímica y química en la producción de agentes de catálisis, las investigaciones bio-médicas se desarrollan simultáneamente en el campo de la "ingeniería de los tejidos", que intenta reemplazar antes que curar los órganos enfermos (por ejemplo, la córnea) y en el de la terapia genética, que permite actuar sobre enfermedades específicas por medio de los micro-organismos que resultan de las manipulaciones genéticas. Se puede anticipar un mayor control de un número también mayor de enfermedades por medio de vacunas o tratamientos ligados a las biotecnologías y a la bioingeniería, pero absteniéndonos de predecir que el siglo XXI habrá derrotado al cáncer, el sida o el mal de Alzheimer, contra los cuales tantos laboratorios trabajan actualmente.

[7] Véase Sasson, A., *Biotechnologies in perspective,* París, Unesco, 1991; y Pereira, P. R., "Opportunités et menaces technologiques", en Salomón, J.-J., Sagasti, F. y Sachs-Jeantet, C. (eds.), *La quête incertaine: Science et technologie pour le développement,* París, Económica, 1995.

Las repercusiones de esas mutaciones en la farmacopea, los métodos de diagnóstico, ei tratamiento de las enfermedades y todas las formas de intervención sobre el capital genético tendrán la misma extensión en duración que las de la revolución pasteuriana, es decir, una conmoción no sólo de las condiciones de la salud sino incluso de las condiciones de vida y medio ambiente. Los problemas planteados, tanto en el nivel demográfico como en el ético, tendrán sin embargo un alcance de otro orden. Basta con pensar en las consecuencias que pueden resultar de la elección de los sexos o de la identificación de individuos "de riesgo" que las técnicas de reproducción asistida, la genética y la decodificación del genoma humano prometen hacer posibles en un futuro no tan lejano: los fantasmas del eugenismo se recortan en el horizonte de las prácticas embriológicas y los contratos de seguros. Y no debería excluirse la posibilidad de accidentes producidos como consecuencia de la difusión de virus o retrovirus manipulados en los laboratorios. Desde ese punto de vista, se puede garantizar que la revolución biotecnológica dará lugar, en el siglo XXI, a importantes debates que implicarán reglamentaciones y oposiciones análogas a las que han surgido a propósito de la energía nuclear en sus aspectos más controvertidos, desde el armamento atómico hasta los deshechos radiactivos de larga duración.

Las técnicas de recombinación del ADN se aplicarán cada vez más a la agroindustria, que dependerá, para incrementar su producción, mucho más de las investigaciones que de la extensión de las tierras cultivadas: clonaciones, cultura de los tejidos, nuevos procesos de fermentación, vacunas y hormonas de crecimiento; todas esas prótesis o sustituciones orgánicas asegurarán una mejor resistencia a las enfermedades de las plantas y de los animales, condiciones de selección y reproducción a la vez más eficaces y menos costosas, mientras ya comenzamos a preocuparnos por los peligros de una reducción de la diversidad de las especies a través de la "erosión genética" y por la alteración de la composición de los organismos. En ese cuerno de abundancia de promesas, tenemos razón al inquietarnos por los efectos negativos que derivarán de esas prácticas para la mayoría de los países en desarrollo: sus productos primarios competirán con los de los países que podrán incrementar su productividad mediante el recurso de las biotecnologías. Los términos de los intercambios, que la mecanización del trabajo ha trastornado desde finales del siglo XIX, se exponen a nuevos desequilibrios por la "biologización" creciente de la producción agroalimentaria.

En química, aparte de los polímeros en los que se juega el futuro de los transistores, las investigaciones se orientan particularmente

hacia los catalizadores, sustancias que aceleran las reacciones sin consumirse ellas mismas. El conocimiento de los principios fundamentales que gobiernan su proceso ocupa un lugar central en la mayoría de los procedimientos que afectan a las industrias de la química, del petróleo, de la farmacia, de los fertilizantes, de la energía, del medio ambiente: la apuesta económica es considerable. En física, las investigaciones se movilizan en torno a la "materia coherente", un fenómeno previsto desde 1925 por Einstein y por el físico de origen indio Satyendra Bose, que se ha podido reproducir recientemente gracias al progreso de las técnicas de láser. Así como los electrones pueden comportarse como ondas, los átomos poseen propiedades ondulatorias en temperaturas cercanas a cero, propiedades que muchos consideran aplicables en metrología.

En otro campo, la creación reciente de nueve átomos de "antimateria" permite entrever fuentes de energía aún más concentradas que las de la energía nuclear. Esa primera demostración de la antimateria, que ha durado solamente treinta nanosegundos (treinta mil millonésimos de segundo), puede permitir testear leyes fundamentales de la química y comprender mejor el origen del universo (qué ocurrió después del *"big bang").* Algunos ven en este desarrollo la posibilidad de un nuevo tipo de armamento, mil veces más poderoso que el que produce una reacción termonuclear.

Estamos aquí en las fronteras de la ciencia ficción: el pasaje de la experimentación a las aplicaciones entrañaría dificultades mucho más serias que las del control de la fusión, que fue el espacio privilegiado, cada diez años desde 1960, para las predicciones incumplidas, pese a ciertos logros e inversiones realizadas. En este sentido, los resultados de la investigación fundamental no conducen todavía, en un proceso lineal, a aplicaciones previsibles, excepto en la perspectiva de un muy largo plazo. Y se requeriría, además, que el contexto económico, social y político fuera favorable: como lo ilustra *Syperphénix,* el destino de los supergeneradores, máquinas concebidas para producir más combustible del que gastan, muestra hasta qué punto el éxito de un sistema técnico depende de las modificaciones de ese contexto tanto como de los problemas no resueltos de la tecnología.

En el área de la energía se ve precisamente el desarrollo de las investigaciones vinculadas a las preocupaciones que suscita la degradación del medio ambiente: tratamiento de los hidrocarburos no convencionales, conversión fotovoltaica, fuentes duraderas de energía. La globalización de las economías va acompañada por una globalización de los efectos de la industrialización: las externalidades acumu-

ladas pueden obligar a los gobiernos del siglo próximo a realizar acuerdos, de los cuales la "agenda 21" de la conferencia de Río no es sino un esbozo más que tímido.[8] Las normas del paradigma de la "ecopolítica", aún en su fase inicial, pueden afectar las orientaciones de investigación tanto como las condiciones de la economía. El efecto invernadero parece cada vez más fundado, según los trabajos de Mario Molina y de Paul Crutzen, premios Nobel 1995, por su demostración de los vínculos entre los efluentes químicos de la producción industrial y la reducción de la capa de ozono que protege la Tierra. Las investigaciones en ese campo se concentran en la "transición energética", la reducción del CO_2, el mejoramiento de la combustión del carbón y del gas.

Uno de los grandes problemas planteados por la abundancia de computadoras y la explosión de la producción de semi-conductores es el de los solventes y ciertas drogas *(dopants,* gases extremadamente tóxicos, a menudo inflamables) utilizados para la fabricación de "panales", sin mencionar las enormes cantidades de agua utilizadas para limpiar los microchips (de 5.000 a 15.000 litros por panal). La industria electrónica, cuya imagen *high tech* se imponía en sus comienzos como la de una industria "limpia", no puede seguir ignorando el volumen de deshechos nocivos que produce; es la primera en tomar en cuenta la noción de desarrollo durable, que obliga a las industrias contaminantes a recuperar y reciclar los productos usados. El futuro pertenece, indudablemente, a las "industrias ecológicas", cuyos investigadores asocian una estrategia de reciclaje de los productos a las apuestas técnicas de una producción al mismo tiempo menos contaminante y menos consumidora de los recursos naturales no renovables.

El futuro de las políticas de la ciencia

Los desafíos, tanto como las incertidumbres que plantea la compleja realidad mundial del medio ambiente, incitan a un nuevo llamado a la precaución en esta prospectiva, por más parcial que sea, en relación con las actividades de investigación científica y técnica. Decir que este fin de siglo, posguerra fría y "posmodernista", es un período de

[8] Véase en particular Nazli Choucri (ed.), *Global Accord: Envlronment, Challenges and International Responses,* Cambridge, Mass., MIT Press, 1993.

transición no nos aclara nada acerca de las formas que adoptará la nueva modernidad. Sin embargo, es claro que, en esta transición, el apoyo público que ha recibido la investigación a partir de la Segunda Guerra Mundial, en razón misma de la guerra fría que la sucedió, no puede considerarse un derecho adquirido. Los movimientos anticiencia, como los movimientos anticultura de 1968, pueden encontrar en la ecopolítica una base para la oposición que conduce a la sociedad civil al rechazo de ciertos programas de investigación. Pero, además, las dificultades presupuestarias de los gobiernos que se sitúan en el umbral del nuevo siglo, sumadas a las nuevas condiciones de la competencia internacional, obligan a compromisos muy diferentes para la asignación de los recursos públicos para la investigación-desarrollo.

La rivalidad entre las superpotencias y la escalada armamentista dieron como resultado una aproximación de la esfera de los intereses públicos y la de los interesas privados, al punto de "socializar", incluso en los países que pretendían guiarse por las doctrinas más liberales, los sistemas de investigación y de educación. De modo que todo lo que era bueno para la ciencia se consideraba también bueno para la sociedad; un artículo de fe que el informe de Vannevar Bush, asesor científico del presidente de los Estados Unidos, fue el primero en difundir en 1945: *Science, the Endless Frontier*-\a ciencia, "frontera sin límites", última frontera después de la conquista del Oeste y la industrialización- no sólo fundó la legitimidad de la intervención del poder federal en el sistema privado de las industrias y las universidades, sino que fue también el origen de las ideas formuladas sobre el proceso lineal de innovación, al afirmar que la ciencia es, *por ella misma,* el acelerador del progreso técnico y la instancia decisiva para el logro de los objetivos nacionales en todas las áreas de competencia gubernamental. La movilización de los científicos y de los laboratorios, que había rendido tantos frutos desde la Segunda Guerra Mundial, debía pues perpetuarse en tiempos de paz -hasta el punto de que, en los Estados Unidos, un tercio de los científicos e ingenieros trabajó en problemas y con contratos vinculados con la Defensa-. Siguiendo el ejemplo de los Estados Unidos, los más grandes países industrializados (excepto Alemania y Japón) establecieron las mismas prioridades: Defensa, átomo, espacio, electrónica.

A raíz del fin de la guerra fría y de los déficits presupuestarios, todos los países industrializados reducen las inversiones públicas de I+D y ponen en cuestión el apoyo sin reservas del que se benefició la investigación fundamental en momentos en que se avizoraban escenarios de apocalipsis nuclear. La Asociación Norteamericana para el

Avance de las Ciencias (AAAS) calculó que el presupuesto de la I+D norteamericano disminuiría en más de un tercio para los próximos siete años, lo cual implica una reducción drástica del reclutamiento tanto de estudiantes como de profesores de las mejores universidades. (Los profesores norteamericanos no estaban obligados a jubilarse; actualmente, las universidades se ocupan de incentivarlos para que se jubilen a partir de los 60 años de edad.)

Pero son sobre todo las nuevas condiciones de la competencia mundial, las batallas por la competitividad y los éxitos tecnológicos del Sudeste asiático -del Japón a los "pequeños dragones", Corea del Sur, Singapur y Formosa, sin contar los recién llegados a la carrera, China, India, Indonesia o Malasia- los que incitan a concentrar los esfuerzos de I+D en políticas industriales antes que en políticas científicas, con el objetivo de producir innovaciones. El modelo del MITI, que asocia en su origen los desafíos tecnológicos a los del comercio exterior, se impone por sobre el modelo norteamericano surgido del "informe Bush", que otorgaba preminencia a la producción de nuevos conocimientos.

Si la seguridad nacional fue el objetivo prioritario de la política de la ciencia y la tecnología de los Estados Unidos, Japón ha recorrido exactamente el camino inverso: la política de la ciencia y la tecnología fue el objetivo prioritario de su seguridad. Durante mucho tiempo, los Estados Unidos -y los países europeos que adoptaron el modelo de sus prioridades, Francia y el Reino Unido- pudieron sacar partido de los "retornos" de la investigación militar en el área de la economía civil *(spin-off).* Ciertos observadores, sin embargo, venían subrayando desde hacía tiempo que la tasa de crecimiento de la productividad de los países que invertían principalmente en ese tipo de investigación era menos elevada o estaba estancada.[9] Además, la evolución de la investigación militar conduce a la creación de productos de rendimientos extremos, "esotéricos", cuyo volumen de producción es por defini-

[9] Robert A. Solo fue el primero en llamar la atención sobre la ausencia de vínculos entre las inversiones de I+D para la Defensa y la aceleración del crecimiento económico: "Gearing Military R&D to Economic Growth", *Harvard Business Revue,* noviembre-diciembre de 1962. Sobre el mismo tema, véase en particular Rosenberg, N., "Civilian 'Spillovers' from Military R&D Spending: The U.S Experience since World War n", en Lakoff, S. y Willoughby, R. (eds.) *Strategy, Béfense and the Western Alliance,* Lexington, Mass., Lexington Books, 1987. Para el caso de Francia, véase Salomón, J.-J., *Le Gaulois, le Cow Boy et le Samourai: La politique francaise de la technologie,* París, Económica, 1986, y Cohén, E., *Le Colbertisme High Tech,* París, Hachette, 1992.

ción muy limitado, su costo muy elevado y, por lo tanto, sus retornos son cada vez menos explotables en el mercado civil.

A pesar de las centenas de miles de dólares invertidos en la investigación militar, los Estados Unidos han perdido su liderazgo tecnológico en numerosas áreas. Y a pesar de la limitación de sus gastos en el área de Defensa, Japón lleva ventaja creciente en la producción de innovaciones "duales", accesibles a la vez al mercado civil y al mercado militar. La fórmula japonesa del *spin-on* se impone por sobre la del *spin-off* para designar la transferencia de las aplicaciones civiles a las aplicaciones militares de productos y de procesos tecnológicos "ya hechos". Por ejemplo, el Pentágono admite que dos de los sistemas de armas más críticos en desarrollo, basados en la furtividad (estructuras que permiten no ser detectadas por los radares) y sobre las técnicas multiespectrales, dependen de procedimientos de concepción y de fabricación que se encuentran en el sector comercial. Y lo que es aún peor para la ambición norteamericana de autonomía en materia de Defensa, varios sistemas de armas (el cohete *Patriot,* por ejemplo, utilizado durante la guerra del Golfo) requieren componentes producidos por subcontratistas japoneses, que los habían comercializado inicialmente en el mercado civil.[10]

Nada indica, sin embargo, que la "guerra económica" conduzca a los laboratorios e industrias privadas a tomar el relevo de las inversiones públicas, que no han cesado de aumentar en el contexto de la guerra fría. La carrera-concurso* por el poder y el prestigio no encontró mejor estimulante que el temor de cada uno de los Supergrandes a ser tecnológicamente superado por el otro. El estímulo del comercio y de la competitividad internacional no ejercerá jamás la misma presión, con la misma urgencia, con más razón si se trata de los países que reivindican con mayor convicción la ortodoxia liberal. Además, la conversión de las industrias y de los laboratorios orientados hacia las investigaciones militares está lejos de haberse producido: ello requeriría una cultura empresaria completamente diferente, orientada hacia el mercado, dispuesta a prestar atención a los clientes. En los Estados

[10] Véase en particular Samuels, R. J., *Rich Nation, Strong Army: National Security and the Technological Transformation of Japan,* Cornell University Press, 1994; y Mowery, D. C, *Science rrid Technology Policy in Interdependent Economies,* Boston-Amsterdam, Kluwers, 1994.

* Juego de palabras. En francés *"course-concours".* [N. de la T.]

Unidos, como en los otros países cuyo esfuerzo tecnológico estaba supeditado a las opciones estratégicas, queda por ver si la recomendación dada a las agencias gubernamentales para que imiten el modelo del *spin-on* tendrá el mismo éxito que en Japón: adquirir tecnologías duales del sector privado y explotar las tecnologías militares en los mercados comerciales.[11]

A menos que se produzcan nuevas crisis mundiales equivalentes a las que este siglo ha conocido (¿y cómo excluirlas del próximo?), el sistema de la investigación no obtendrá los mismos beneficios que otrora por parte de los gobiernos, y no hay ningún elemento que garantice que la comunidad científica se preste, el día de mañana, en las mismas condiciones, cualesquiera fueren sus necesidades, a las orientaciones y, por lo tanto, a las servidumbres de la "alianza" pactada inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial entre la ciencia y los poderes políticos. Si es cierto, como decía McNamara, que los buenos cerebros se dirigen hacia donde hay dinero, de la desmovilización de los investigadores puede resultar, sin embargo, que el pasaje del descubrimiento a las aplicaciones y a la producción misma de innovaciones no siga *el mismo ritmo ni la misma escala* que los del tiempo de las urgencias determinadas por los conflictos de la guerra fría.

Lo vemos claramente en el área del espacio: el éxito de la operación Apollo permitía entrever otros vuelos con tripulación humana dirigidos hacia la luna u otros planetas. ¡Los sueños de la NASA llegaban incluso a imaginar cruceros para el *Club Mediterranée* en el siglo XXI! Pero, contrariamente a esas fantasías, las investigaciones se orientan en lo sucesivo hacia el perfeccionamiento de los vuelos sin tripulación, la recuperación de los lanzadores y la puesta a punto de satélites de usos múltiples. La necesidad hace la ley; "más pequeño, más rápido, más barato" se convierte en el lema de la industria aeroespacial. En el año 2000, la NASA debe suprimir casi 4.000 puestos y más de 25.000 empleos vinculados con sus contratos (31% de su mano de obra). La posibilidad de nuevos vuelos con tripulación implica acuerdos de cooperación con la Agencia espacial europea. Y no está en absoluto establecido que el interés de ésta sea apostar a esa carta en lugar de

[11] Véase *National Securíty Science and Technology Strategy,* OSTP, Washington DC, 1995, y *Second to None: Preserving America's Military Advantage* (informe conjunto del Consejo Nacional para la Economía, del Consejo Nacional de Seguridad, de la Oficina de la Ciencia y la Tecnología y de la Oficina Ejecutiva del Presidente), Doc. ADA 286-779, Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, Virginia, 1995.

jugarse por la de los vectores y los satélites orientados hacia el mercado civil.

Los otros sectores ligados a la Defensa o al prestigio -objetivos que las pujas de la guerra fría había asociado como si se tratara de hermanos siameses- también integran el rubro de ambiciones truncas: la nueva generación de portaaviones ya no será necesariamente nuclear; la marina norteamericana tiene en estudio un modelo propulsado por motores de combustión fósil, dado que el inconveniente de los portaaviones nucleares es que necesitan rodearse de escoltas tan numerosas como dispendiosas. Incluso en el área de la investigación fundamental los Estados Unidos, que eran hasta ayer reacios a pedir cooperación internacional, siguen actualmente con atención los proyectos que se discuten en el seno del "Foro Megaciencia" de la OCDE.

En todo caso, una cosa es segura: esos cambios de orientaciones de las políticas de la ciencia y la tecnología afectarán el futuro de la investigación universitaria, que dependerá cada vez más de su asociación con la industria privada. El sistema universitario de la investigación está condenado a desarrollarse en un contexto dominado por el imperativo de las aplicaciones, un arco de programas que trasciende las fronteras disciplinarias, un "mercado de conocimientos" condicionado por la demanda social y las colaboraciones internacionales, vínculos más estrechos entre las ciencias "duras" y las ciencias humanas en función misma de los problemas de orden social -del medio ambiente a la gestión de las megápolis y los barrios marginales- que todas las sociedades, industrializadas o en desarrollo, deberán afrontar en el siglo XXI.

Precisamente cuando la vocación tradicional de las universidades se encuentra trastornada por la educación de masas, tendiente a proveer formaciones de corto plazo, cada vez más profesionalizadas, una dinámica nueva tiende a transformar la concepción, el reclutamiento, las prácticas y las orientaciones de la investigación universitaria. El libro preparado bajo la dirección de Michael Gibbons, que pasó desapercibido en Francia, podría perfectamente representar esa nueva dinámica: allí vemos cómo los "nuevos modos de producción de conocimientos" afectan ya el funcionamiento de las instituciones de investigación.[12] Los efectos de esos cambios en el marco institucional, el

[12] Gibbons, M. *et al., The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societes,* Londres, Sage, 1994. Michael Gibbons dirigió el Science Policy Research Unit (SPRU) en la Universidad de Sussex.

financiamiento y las prácticas de la investigación universitaria se difundirán bastante más allá de la actual generación de investigadores.

La prospectiva de la ciencia y de la tecnología no debe tomarse bajo beneficio de inventario sólo a causa de las incógnitas que subyacen a los desarrollos de la investigación. Debe tomar también en cuenta, como en cualquier otro campo de previsión, los escenarios de ruptura que modifican el panorama de las condiciones económicas, sociales e incluso culturales. Con más razón si pretende postularse en el largo plazo. ¿Cómo es posible una historia *a priori*, se preguntaba Kant. "Respuesta: si el adivino hace y organiza él mismo los acontecimientos que anuncia previamente."[13] Una respuesta cuyo buen sentido puede parecer un ardid de racionalista.

Desde ese punto de vista, sin embargo, hay algunas excepciones —muy infrecuentes—, ilustradas por grandes innovadores que son, simultáneamente, grandes empresarios. Fue seguramente el caso de Edison, cuando convocó a banqueros y periodistas en Nueva York, antes de consagrarse al problema del filamento de la lamparilla eléctrica, para desafiar públicamente a las compañías de gas: el "mago de Menlo Park" no necesitó más que diez años para crear en todos sus detalles e imponer su sistema de iluminación. Es —tal vez— hoy el caso de Bill Gates, símbolo de la generación joven de los capitanes de la industria nacida con las computadoras, como lo fue Edison de la generación nacida con el telégrafo, al invertir de aquí en adelante todas sus fuerzas y los recursos de Microsoft en las "autopistas informáticas".[14]

Cuando se trata de investigación fundamental, obviamente, no existe ningún equivalente de esos empresarios-augures, campeones de la *self-fulfilling prophesy* (profecía autocumplida). Al contrario, podemos hacer una lista, tal como lo hiciera recientemente Charles Vest, presidente del MIT, de todo lo que ignoramos o no sabemos hacer. Y esa lista misma, inevitablemente parcial (incompleta) y parcial (interesada)* señala apenas un puñado de islas en un mar en el que continentes enteros "duermen aún en el regazo de los dioses"; que va de la físico-química asociada a las ciencias cognitivas (la naturaleza del almacenamiento de la información en el cerebro, los vínculos entre len-

[13] Kant. E., "Le conflit des facultés", La philosophíe de l'histoire, Paris. Aubier-Montaigne, 1947, p. 216.
[14] Gates, B., *La route du futur*, París, Robert Laflont, 1995.
* Juego de palabras. En francés "*partialle et parliale*" [N. de la T.]

guaje y pensamiento) a la biología (los mecanismos de los genes y los virus que provocan o inhiben ciertos tumores), pasando por la energía (cómo conservar la energía solar o quemar un combustible sin perder parte de la energía emitida), la cosmología (la existencia de otras estrellas diferentes de nuestro Sol, con planetas parecidos o no a la Tierra), la climatología (los elementos caóticos que impiden toda previsión a mediano plazo), la economía (los factores que condicionan el crecimiento, cuyo conocimiento podría inspirar correctamente las políticas económicas) y, más prosaicamente, la sociología (cómo la masividad de informaciones almacenadas e inmediatamente disponibles será comprendida, utilizada o rechazada por las generaciones futuras).[15]

Muchos son los investigadores y los laboratorios que, a lo largo y a lo ancho del mundo, se consagran a esos problemas, cuya resolución no está asegurada ni en el próximo siglo ni en los siguientes. La imaginación, para retomar la fórmula de Pascal, se encargará más rápidamente de concebirla que la naturaleza de proveerla.

[15] Reproducido en "Deux ou trois choses qui restent á connaitre", *Courrier international,* 9-14 de febrero de 1996.