

## CAPÍTULO I

### CARACTERES Y TENDENCIAS

La Tercera Revolución, ya en despliegue por lo menos durante la Segunda Guerra Mundial y la primera fase de la posguerra, se identifica con un cambio científico y tecnológico sin precedentes, por su amplitud y su intensidad, su profundidad y su continuidad. Representa un conjunto de investigaciones científicas, de innovaciones tecnológicas y de multiplicación de formas productivas, en pleno desarrollo y con creciente vigencia. Ello sobre todo en lo que respecta a energía nuclear, electrónica, información y comunicaciones, telemática, biotecnología, materiales. La velocidad y la intensidad, la complejidad y los entrelazamientos, de los desarrollos científicos y técnicos, de sus impactos y de sus efectos directos e indirectos, se revelan en múltiples formas e indicadores.

La tasa de cambio científico, tecnológico y productivo es hoy más rápida que en toda la historia. Un 85% de todos los científicos que han vivido en el planeta están vivos hoy, con instrumentos avanzados y mayores potencialidades creativas. “Toda la Revolución Industrial —dice el Dr. Carver Mead, del California Institute of Technology— aumentó la productividad por un factor de alrededor de 100”, pero “la revolución microelectrónica ya ha aumentado la productividad en la tecnología de base informática por un factor de más de un millón, y aún no se divisa el final”.<sup>1</sup> El volumen de publicaciones, y el número de investigadores se duplica cada 10 años. Desde 1939 se gasta en ciencia el triple de dinero y esfuerzos dedicados para tal fin en toda la historia anterior. Los gastos gubernamentales de algunos países en investigación fundamental, en la década de 1950 y en la primera parte de la de los 60, se duplicaron cada 5 años. En las últimas décadas se han realizado más progresos científicos que en toda la historia anterior.

1 Walter B. Wriston, “Technology and Sovereignty”, *Foreign Affairs*, New York, Council on Foreign Relations, vol. 67, núm. 2, 1988.

Si la tasa de progreso científico desde Newton continuara por 200 años más, serían científicos todas las personas del planeta, el ganado y los perros.<sup>2</sup> El conocimiento científico se duplica ahora cada 13 a 15 años.

Durante la Segunda Guerra Mundial el desarrollo científico se aceleró vastamente como resultado del esfuerzo bélico. Entre los descubrimientos e invenciones que alcanzaron aplicación práctica como resultado de la guerra (aunque todos tenían raíces en la investigación de preguerra) se contaron el caucho sintético, el radar, el DDT, la penicilina, la fisión nuclear, el avión a chorro, el helicóptero, los proyectiles balísticos, y la computadora electrónica digital. Después de la guerra, esta tecnología alcanzó rápidamente al público en los países desarrollados. El impacto acumulativo de los avances cambió el medio ambiente en modos fundamentales. No ha existido otro período de cambio tecnológico comparativamente tan veloz desde la Revolución Industrial o quizás ni siquiera desde la adopción de la agricultura unos 10,000 años antes.

En algunos casos, las invenciones o los descubrimientos no directamente implicados con el esfuerzo de guerra se volvieron en realidad más lentos más que acelerarse. Un ejemplo es la televisión. Pero después de la guerra, cuando se reinició el crecimiento de la televisión, ésta se volvió rápidamente ubicua en los países avanzados.<sup>3</sup>

Particularmente en las ciencias físico-naturales, el reto fundamental ha sido la absorción de los nuevos enfoques y conocimientos alcanzados hacia 1939, comenzando por el desarrollo de proyectos ya muy estimulados por la guerra: armamento nuclear, aplicación de la energía atómica a fines pacíficos, cohetes, aviación, exploración del espacio. A ello debe agregarse muchos de los fenomenales cambios en tecnología y en ciencia que no fueron previstos por la mayoría de los innovadores e investigadores.

Las tecnologías avanzadas, con personalidad y naturaleza propia, sus híbridos o combinaciones complejas, sus interrelaciones y proyecciones, el subsistema tecnológico global, están en permanente movimiento. No parecen tener límites físicos o estar cerca de ellos. Sus ritmos de crecimiento no se ven amenazados de desaceleración o estancamiento, y por el contrario tienden a la aceleración, y a las convergencias tanto verticales como horizontales. El movimiento propio de cada área esti-

<sup>2</sup> Nigel Calder, *Technopolis-Social Control of the Uses of Science*, London, Panther Books, 1970.

<sup>3</sup> Alexander Hellems y Bryan Bunch, *The Timetables of Science - A Chronology of the Most Important People and Events in the History of Science*, New York, Simon and Schuster, 1988, pp. 490 y ss.

mula o refuerza el de las otras, y con ello el del “frente tecnológico” en su conjunto. Las convergencias de los procesos de producción, difusión y uso de tecnologías está ya en pleno desarrollo, y apunta a un siglo XXI esencialmente tecnológico.<sup>4</sup>

La Ciencia, y sus relaciones con la economía, la sociedad, la política y el Estado van experimentando cambios significativos o trascendentes en cuanto a sus modos de realización, la dimensión, la especialización y categorización, la imagen de sus practicantes y de los otros actores individuales y colectivos. Ello confluye y se manifiesta en el ascenso de la llamada *Gran Ciencia*.

Desde los comienzos y durante el curso de la Tercera Revolución, un número creciente de proyectos de investigación tiene costos de equipos, y de su operación y mantenimiento, que exceden los salarios anuales de los científicos participantes. Frecuentemente, el equipo necesario para el trabajo de un científico excede de 1 a 2 millones de dólares. Algunos megaproyectos tienen costos totales de equipamiento entre 4 y 8 billones de dólares. La Megaciencia se da en escalas económicas, y plantea necesidades y requerimientos que exceden la capacidad tanto financiera como tecnológica y de recursos humanos incluso de potencias y países altamente desarrollados. Se vuelve ineludible sustituir los proyectos individuales por los grupales; compartir equipos; organizar esfuerzos multidisciplinarios y multinacionales con la coparticipación de científicos con diferentes especializaciones y orígenes nacionales.<sup>5</sup>

El modo en que la ciencia fue conducida [...] cambió después (en algunos ejemplos durante) la Segunda Guerra Mundial. Antes de esa época, casi todos los avances podían ser adscritos a un individuo trabajando por sí mismo o con un solo socio o maestro. Después de la Segunda Guerra Mundial, se volvió la excepción más que la regla que un concepto o artefacto sería desarrollado por un solo científico, excepto en estudios de organismos completos y sus conductas y en matemáticas, que siguieron siendo la reserva del individuo. En otras disciplinas, los equipos hicieron todo.

Hubo buenas razones para este desplazamiento. Después de 1945, ya no fue posible tener un gran programa en físicas de las partículas sin

4 Juan Rada, “Impacto del cambio tecnológico”, *Ciencia y Tecnología*, Buenos Aires. Boletín de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la H. Cámara de Diputados de la Nación, núm. 6, 1989.

5 Ver Kenneth H. Keller, “Science and Technology”, *Foreign Affairs*, Council on Foreign Relations, New York, vol. 69, núm. 4, 1990.

aceleradores y detectores de partículas muy costosos. En menor grado, las mismas necesidades de equipos se experimentaron en otras ciencias “duras”. El equipo caro debe ser compartido para ser costeable. Aun en las ciencias de la vida subió el costo de la investigación. [...] Por añadidura, un fenómeno necesita con frecuencia ser examinado desde muchos ángulos antes de ser comprendido. Equipos interdisciplinarios cumplieron este requerimiento.

La ciencia se volvió grande también de otro modo. Existen hoy muchos más científicos, en números absolutos y como porcentaje de la población mundial, que en todo el pasado. Las razones para este crecimiento son complejas. Por una parte, la población mundial es mayor, y mucho menos de ella se necesita para producir alimentos y bienes manufacturados, librando más de la población para otros fines. Más instituciones percibieron la necesidad de científicos en sus personales,

en negocios, industrias, gobierno, las propias universidades y centros de investigación.

Más aún, los científicos en las instituciones de investigación están escribiendo más. Antes de los años de 1970, los científicos de alto nivel solían escribir unas dos docenas de artículos en su vida científica. Al ir aumentando la competencia por empleos entre los científicos, cada persona sintió la necesidad de escribir más de modo de hacerse más atractivos para los empleadores. En muchos casos, los resultados de la investigación fueron descompuestos en pequeños trozos que cada uno publicaba separadamente en uno de los miles de publicaciones disponibles hacia los años de 1980. En algunos pocos casos, las mismas presiones resultaron en fraudes, cuando algunos científicos publicaron resultados sin tomarse el tiempo y el esfuerzo de reunir o analizar los datos.

La mayor parte de los científicos, sin embargo, han estado produciendo mucho conocimiento, al grado que ninguno ha podido ya mantenerse actualizado en los detalles, e incluso sólo unos pocos generalistas han podido seguir las tendencias fundamentales en todas las áreas de la ciencia.

Ello ha resultado en otras tendencias, a la especialización, a la fusión de disciplinas, al surgimiento de disciplinas nuevas.

Desde el Renacimiento, ciencias y científicos se han ido especializando cada vez más, y esta diferenciación y dicotomización se han acentuado y vuelto especialmente significativas en la posguerra. La fusión de disciplinas se ejemplifica cabalmente en la Astrofísica, la Biofísica, la Físicoquímica, la Bioquímica, la Ciencia de los Materiales. Disciplinas nuevas emergentes después de la Segunda Guerra Mundial

son: Ecología, Etología, Limnología, Cosmología, quizás la Ciencia del Espacio.<sup>6</sup>

Los avances de la ciencia, de su peso específico e influencia, de la profesionalización y especialización crecientes de sus prácticas y resultados, han llevado consigo efectos inquietantes y negativos de diverso tipo, ante todo en las relaciones entre científicos y no científicos, y entre aquellos mismos.

[...] Muchas actividades se han vuelto especializadas al punto en que superan la capacidad de cualquier lenguaje para comunicarse efectivamente más allá de las franjas exclusivas de iniciados y expertos. El hombre de fines del siglo XX podría habitar lo que Marshall McLuhan llamó “una aldea global”, donde el conocimiento podría recibir transmisión electrónica instantánea de continente a continente. Y sin embargo, paradójicamente, la magia que hizo esto posible correspondió a dominios científicos y tecnológicos que, desde otro punto de vista, ejemplificaron perfectamente la completa fragilidad de la comunicación en algún sentido más profundo.<sup>7</sup>

La cuestión ha sido planteada con frecuencia como la brecha entre las “dos culturas”, sobre todo a favor de la famosa *Rede Lecture* de C. P. Snow (1959). Los intelectuales, toda la vida intelectual y una gran parte de la vida práctica de la sociedad intelectual, se habrían ido dividiendo en dos grupos polares,

comparables en inteligencia, idénticos en raza, no muy diferentes en el origen social, que ganaban más o menos los mismos ingresos, que habían dejado casi totalmente de comunicarse, que tenían tan poco en común, como si los separara un océano.

Dos grupos polares: en un polo [...] los intelectuales literarios, en el otro los científicos, y como los más representativos, los físicos. Entre los dos un golfo de mutua incompreensión —a veces (especialmente los jóvenes)— hostilidad y disgusto, pero sobre todo falta de comprensión. Ellos tienen una imagen curiosamente distorsionada del otro. Sus actitudes son tan diferentes que, aun en el nivel de la emoción, no pueden encontrar mucho terreno en común.

Los no científicos tienden a pensar de los científicos como insolentes y presumidos [...] Los no científicos tienen la arraigada impresión que los científicos son superficialmente optimistas, sin conciencia de la condición humana. Del otro lado, los científicos creen que los intelectuales

6 Hellemans y Bunch, *The Timetables of Science...*, cit., pp. 490 y ss.

7 Michael D. Biddiss, *The Age of the Masses*. Penguin Books, 1977, pp. 338-339.

literarios carecen totalmente de previsión, peculiarmente despreocupados de sus prójimos, en un sentido profundo anti-intelectuales, ansiosos de restringir el arte y el pensamiento al momento existencial [...] De ambos lados hay algo que no carece totalmente de fundamento. Todo es destructivo. Mucho de ello se basa en malas interpretaciones que son peligrosas.<sup>8</sup>

El científico critica a los círculos supuestamente educados, por su ignorancia de las leyes físicas o biológicas; por su preferencia por el conocimiento fragmentario del arte o la literatura; por la ilusión de que se puede ser culto sin curiosidad por las ideas rectoras de la ciencia natural. Mientras tanto, la ciencia natural se ha caracterizado por la gran vitalidad, la capacidad de invadir las más importantes facetas de la vida cotidiana, y para estimular positivamente la creatividad en las ciencias sociales, la literatura y el arte.

La discusión simplemente en términos de las dos culturas era sin embargo engañosa. En particular, la cuestión real era a menudo la detallada fragmentación causada por la especialización sin precedentes en muchas esferas de la mente. Ello ponía a prueba al científico más severamente que a cualquier otro. Pues era probable que aquél experimentara dificultades en la comunicación no meramente con los no científicos sino también con muchos colegas [...] El problema se relacionaba sobre todo con el puro ritmo de avance. Éste era con frecuencia tal que cualquier disciplina científica particular podría estar generando nuevas teorías, conceptos, una jerga técnica, a una tasa a la cual pocos científicos de otras especialidades podrían fácilmente adaptarse.<sup>9</sup>

Pese a la marea de avances y logros de la guerra y la posguerra,

la ciencia no ha satisfecho las expectativas, tan difundidas un siglo antes, sobre su capacidad para inspirar alguna estructura de síntesis. Asombrosas realizaciones en áreas particulares no fueron suficientes para producir el tipo de cuadro total que parecía haber ido emergiendo antes de la época de Planck y Einstein [...] Sobre todo, tanto la línea de investigación microcósmica como la macrocósmica continuaron presentando, no sólo por separado sino también en las relaciones de una con la otra, muchos problemas fundamentalmente misteriosos. Más aún, la persistencia de tales obstáculos al orden conceptual dentro de la ciencia misma no podía

8 C. P. Snow, *The Two Cultures: And a Second Look*, Cambridge University Press, 1964, pp. 2-5.

9 Michael D. Biddiss, *The Age of the Masses*, Penguin Books, 1977, pp. 338-339.

sino fortalecer las dudas sobre aspiraciones más audaces que ella podría tener respecto a la provisión de una brújula para el intelecto en general. No hubo razón sin embargo para que todo esto disminuyera el real anhelo de sistemas omnicomprendivos de explicación. Intentos sostenidos de síntesis, tendentes a recuperar algún sentido perdido de totalidad intelectual, podían encontrarse ahora menos comúnmente, y ser emprendidos usualmente con menos confianza y candidez que a mediados del siglo XIX. Sin embargo, existieron en la Europa de posguerra amplias evidencias que la búsqueda misma se hallaba lejos de estar muerta.

Expresión de esta expectativa ha sido la moda del estructuralismo y su difusión en Europa y América desde los años de 1960.<sup>10</sup>

La insatisfacción por el incumplimiento de las expectativas indicadas se integra en una inquietud más general sobre la naturaleza, el papel y las consecuencias del desarrollo científico y tecnológico. La misma se ha dado entre los científicos y tecnólogos directamente involucrados, y entre otros grupos y sectores.

Antes de 1945, casi todo el mundo parecía pensar que la ciencia era finalmente beneficiosa, y sólo unos pocos (Aldous Huxley y su *Brave New World*, 1932) tenían reservas y preocupaciones al respecto. Después de 1945, muchos ya no están seguros que la ciencia beneficie últimamente a la humanidad, y un número creciente se preocupa por las amenazas de destrucción. El asombroso crecimiento y los notorios triunfos de la ciencia suscitan reconocimientos de su papel positivo, pero también inquietudes sobre su papel negativo y sus efectos nocivos y destructivos, y sobre la existencia de dilemas morales y políticos.

Ante todo, ha pesado el desarrollo de armas nucleares (la bomba atómica primero, enseguida la de hidrógeno), el conocimiento de sus efectos destructivos y contaminantes, las posibilidades de aniquilamiento del mundo y de la especie. Ello ha dado lugar, por una parte, a la percepción de los científicos como meros buscadores de conocimiento y logros técnicos, amorales e irresponsables. Por la otra, ha provocado ansiedad y horror en los científicos por lo que cumplieron, produciendo o reforzando escrúpulos políticos o éticos. Muchos forman la Unión de Científicos Preocupados para trabajar contra el mal uso de la energía nuclear; o bien rehusan trabajar en proyectos relacionados con la defensa. La percepción pública de la energía nuclear como peligrosa, es intensificada por los accidentes en plantas de energía nuclear, el más espectacular Chernobyl (URSS). Los estudios interdisciplinarios de los

10 Biddiss, *The Age of the Masses*, cit., p. 345.

efectos de la guerra nuclear llevan a predecir periodos de oscuridad total, de lluvia ácida y de lluvia radioactiva.<sup>11</sup>

Las preocupaciones por la energía nuclear, proyectan la sospecha respecto al papel de la ciencia a otras partes de la actividad científica. Los viajes espaciales pueden afectar el clima. Los trabajos en Biología plantean interpelaciones sobre los principios éticos a seguir en las investigaciones sobre trasplante de órganos humanos, manipulación genética, guerra bacteriológica, drogas inductoras de conducta artificial, bioquímica del pensamiento y la emoción. La ingeniería genética puede soltar accidentalmente plagas en la tierra. Las computadoras o los aviones supersónicos amenazan la privacidad, la tranquilidad, la libertad, personales. Surgen los interrogantes sobre las áreas de la ciencia que se puede o debe restringir en detrimento del ejercicio de la incesante curiosidad intelectual que ha caracterizado a la modernidad.

La sospecha de que muchos científicos ven a la humanidad como materia prima para experimentos ingeniosos está presente en diversos sectores y movimientos sociales participativos. Los movimientos ecologistas expresan la creciente preocupación sobre ciertos rasgos y tendencias de la moderna sociedad de masas, como el ruido, la sobrepoblación, la polución del aire y el agua, la explotación desaprensiva de los recursos naturales. Se reconoce, aunque sea tardía e incompletamente, que la ciencia moderna buscó la dominación sobre la naturaleza, más de lo que estimuló la conciencia de las responsabilidades hacia aquélla. Se presiona para considerar el *medio ambiente* como sistema general de relaciones delicadamente entrelazadas, y para restringir los pretendidos avances que perturban severamente el equilibrio del conjunto. Se da en fin, de modo general, un cuestionamiento de los grandes supuestos del iluminismo sobre la existencia de una simbiosis necesaria y fluida entre el progreso intelectual y el mejoramiento de la civilización en general.

De todas maneras, las observaciones y reservas precedentes no cancelan la existencia de los grandes desarrollos cuantitativos y cualitativos en la ciencia en sí, y en su irradiación sobre la sociedad. El siglo XX ha presenciado el desarrollo acelerado y la convergencia general de todas las ciencias. El campo del saber adquiere un diseño cada vez más preciso, desde las disciplinas físico-naturales a las sociales. Se van adquiriendo nociones más exactas de lo que se sabe, lo que no se sabe y lo que quizá no llegue a saberse. Se acentúan la actitud y la práctica

11 Ver Robert Jungk, *Brighter than Thousand Suns-A Personal History of the Atomic Scientists*, Penguin Books, 1987.

del provisionalismo en los conocimientos, las interpretaciones y las explicaciones.

La ciencia va adquiriendo una mayor independencia relativa. Como actividad creativa, construye un mundo propio de conocimientos y artefactos, integra cada vez más las fuerzas productivas de las naciones y los grupos. El saber cómo técnico se apoya más y más en el saber qué científico, para el mantenimiento, la reproducción y el desarrollo de las sociedades.

Ciencia y tecnología, sus cambios y sus logros, afectan a todas las sociedades en varios aspectos y niveles de las sociedades, los grupos y los individuos. Se introducen en todas las formas de actividad práctica y de pensamiento. Ello se da tanto más cuanto más aumenta la rapidez en la realización, cuanto más se reduce el lapso entre la invención y el aprovechamiento productivo. La ciencia va asumiendo un papel clave en el crecimiento cuantitativo y en el desarrollo integral, en la supervivencia y el progreso de sociedades, grupos e individuos. Lleva consigo y proyecta la promesa de solución para los problemas materiales, de liberación de las tareas mentales y corporales de pesadez entorpecedora y degradante, de esperanzas de vida mejor. Nuevos conocimientos, tecnologías, procesos de desarrollo y productos de la ciencia y la tecnología pueden aliviar o agobiar las vidas individuales y colectivas.

En el seno del continuo identificado con la sucesión y entrelazamiento de las Tres Revoluciones, a partir y a través del mismo, se ha ido perfilando cada vez más la dimensión de la Revolución Científica, más veloz y prodigiosa en sus resultados, ejemplificada sobre todo por la aplicación de la ciencia a la industria, no sólo ni predominantemente por la prueba y el error y por las ideas de “inventores” idiosincráticos.

“El fechado de la Revolución Científica es en gran medida una cuestión de gusto. Algunos preferirían retroceder a las primeras industrias químicas o mecánicas en gran escala, unos 60 años atrás”. Otros, como C. P. Snow, pondrían la fecha mucho más tarde, —unos 30 ó 40 años atrás— y como definición gruesa, tomarían el tiempo en que se hizo el primer uso industrial de las partículas atómicas [...]. La sociedad industrial de la electrónica, la energía atómica, la automación, es en aspectos cardinales diferente en especie de cualquiera otra que la precedió, y cambiará el mundo mucho más. Esta transformación merece, en mi opinión, el nombre de “revolución científica”.<sup>12</sup>

12 C. P. Snow, *The Two Cultures...*, pp. 29-30.

Bien llamada Revolución de la Inteligencia, la Tercera Revolución requiere, incorpora y suscita una inversión fuerte y masiva en materia gris; modificaciones en las relaciones del instrumental tecnológico y del aparato/proceso científico con la producción económica, la estructura y el cambio sociales, la cultura y la ideología, la política y el Estado, el derecho, las relaciones internacionales.

Implicada la ciencia en la civilización, en los aspectos materiales, sociales, intelectuales, psicológicos y éticos de sociedades, grupos e individuos, se convierte en factor decisivo en la configuración del modelo de pensamiento, de las aptitudes, actitudes y conductas. Es también factor decisivo de cambios rápidos, relativamente más conscientes y previsible, por una parte, pero también, como se verá, de consecuencias no intencionales, imprevisibles, indeseables, por la otra; de todos modos, en ambos casos, factor de rápidas transformaciones en las estructuras, situaciones y procesos que condicionan o determinan la vida humana. Conocimientos, procedimientos, procesos y productos de la ciencia y la tecnología producen efectos más o menos profundos sobre las fuerzas y estructuras, los actores, los valores y normas, las instituciones, los patrones y procesos de decisión de toda sociedad en su conjunto, sobre el Estado y sus políticas internas e internacionales.

La aceleración exponencial de la ciencia y la técnica hace que la vida y los problemas de una generación tiendan a diferir cada vez más de las de sus predecesoras. Las experiencias y soluciones anteriores se vuelven insuficientes para nuevas situaciones específicas. Los viejos problemas se modifican, se crean otros nuevos y, con éstos, aparecen nuevos desafíos, amenazas y oportunidades, y aumenta la necesidad de nuevas respuestas con el recurso de métodos científicos y aparatos técnicos. Ello se da en términos de la economía y de la sociedad, de los regímenes y procesos políticos internos, de los modos de organización y funcionamiento, los fenómenos y dinámicas de tipo internacional o mundial.

La Tercera Revolución perfila una fase histórica de múltiples y veloces mutaciones parciales, que quizás tienden a integrar una totalidad identificable con una mutación global; incluso una metamorfosis antropológica, parcial o total, de la naturaleza humana.

La expansión global de la ciencia y la técnica va acompañada por su distribución no uniforme, desigual, polarizada, entre clases y grupos, regiones y países, y en el interior de unas y otros. Ello se da en términos de ubicación y de capacidad y goce de controles grupales y nacionales de los focos de emergencia y de producción, de los itinerarios de su propagación, de las tasas de productividad y de los usos de los

resultados. Intereses sectoriales y nacionales en competencia, y brechas en el desarrollo científico y tecnológico, se presuponen, entrelazan y refuerzan mutuamente. Lo que ocurre con la ciencia y la tecnología es uno de los factores centrales de la viabilidad, supervivencia y competitividad de las naciones en la economía internacional; de las coacciones que sus Estados y gobiernos sufren; de las posibilidades de que disponen; de las opciones que enfrentan, al representar y promover sus intereses globales y de seguridad nacional en el sistema internacional, al diseñar y aplicar sus estrategias políticas, diplomáticas y militares, y sus planes militares.

El examen de estas cuestiones y de sus implicaciones para el Estado y el derecho, requiere ante todo considerar los avances y logros en las principales ciencias y tecnologías, sus rasgos, entrelazamientos y efectos.