

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Eduardo H. Charreau

Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Ciencia de alguna clase ha existido en todas las sociedades y en todos los períodos de la historia humana. No puede haber acciones sobre los fenómenos, ya sean naturales o humanos, sin una cierta cuota de conocimiento empírico racional del mundo físico, vital y social. Tal conocimiento siempre tuvo un papel importante en el desarrollo de las sociedades, en sus logros culturales e institucionales. Sin embargo, es en las sociedades industriales modernas donde la ciencia y la tecnología se convirtieron en un factor crítico en el proceso de crecimiento y desarrollo económico.

Consecuentemente, el crecimiento económico se convirtió -para bien o para mal- en la base de las esperanzas de futuro de todas las sociedades; y la ciencia y la tecnología fueron instrumentos cada vez más necesarios para el cumplimiento de esas expectativas. Es en este marco que las políticas de actividades de investigación y desarrollo se volvieron indispensables en la concepción, elaboración e implementación de políticas más amplias y de objetivos geopolíticos.

La ciencia y la tecnología tienen importancia, y hoy en día más y más. Esto que debiera ser evidente, no lo es, y en numerosos países en desarrollo se da poca consideración a este hecho, fundamentalmente a nivel de los encargados de generar políticas públicas. En general, no se conoce o no se toma con-

ciencia de los beneficios que los recursos científicos y técnicos pueden brindar, en una estrategia de desarrollo coherente y bien intencionada.

Generalmente se pasa por alto el hecho de que la ciencia y la tecnología funcionan satisfactoriamente sólo dentro de un ambiente socio-político y económico que proporcione una combinación efectiva de incentivos no-técnicos e insumos complementarios al proceso de innovación. La ciencia y la tecnología no son factores exógenos que determinan la evolución de la sociedad, independientemente de su basamento histórico, social, político cultural o religioso.

Sin lugar a dudas el progreso científico tecnológico proporcionó numerosos beneficios a lo largo del tiempo a los países industrializados y, en épocas más recientes, a los países en desarrollo.

Esto constituye una razón más para tratar de mejorar la situación actual de la mayoría de los países en desarrollo, cuyas condiciones son tales que los beneficios del progreso científico y tecnológico no contribuyen a su desarrollo en el mismo modo, nivel o velocidad.

Por supuesto, existen lados más oscuros en este cuadro de balances compartidos entre la ciencia y la tecnología: desde la carrera armamentista y la creación de un arsenal nuclear hasta los temas globales de medio ambiente derivados de los procesos de industrialización que amenazan el futuro de toda la Tierra. Nadie puede compartir hoy en

Conferencia de honor del acto de entrega de premios, realizado el 10 de noviembre de 2000.

día el optimismo positivista del concepto de progreso iluminista; la vía directa hacia el mayor conocimiento y el progreso material no lleva de la misma manera hacia la "felicidad" y el "progreso moral".

Tanto como el sociólogo Herbert Marcuse o la escritora Simone de Beauvoir, podría verse a la tecnología como un medio de esclavitud y destrucción, o al igual que Adam Smith, considerarla como la fuerza liberadora de Prometeo.

Aunque lo intentemos, no es posible escapar de su impacto en nuestra vida cotidiana ni a los dilemas morales, sociales y económicos con los que nos confronta.

Los factores, culturales y sociales -las actitudes y creencias-subyacentes en la organización económica, política y social- tienen influencia sobre el papel que la ciencia y la tecnología juegan en la sociedad. A su tiempo, la diseminación de nuevos conocimientos, productos y procesos derivados de los progresos científicos y tecnológicos transforman las estructuras sociales, modos de comportamiento y actitudes mentales.

El papel del cambio técnico en el proceso de crecimiento económico es reconocido por todas las teorías de desarrollo. Pero, ¿cuál es precisamente ese papel? En particular, ¿qué papel tuvieron la ciencia y la tecnología en las transformaciones económicas y sociales que acompañaron la Revolución Industrial desde sus comienzos? Las respuestas de estas preguntas no pueden ser fáciles ni ligeras, y requieren un análisis muy sutil, una perspectiva a largo plazo y una referencia a los ejemplos derivados de diferentes ramas de las ciencias sociales.

Hoy en día, la forma en que los cambios técnicos transforman las actitudes, instituciones y sociedades, no se puede reducir a una simple relación lineal automática o determinista. La tecnología es un proceso social entre otros. No es una cuestión de desarrollo técnico por un lado y desarrollo social por el otro, como si fueran dos entidades o procesos enteramente diferentes. La sociedad está configurada por el cambio tecnológico, quien a su vez, está determinado por la sociedad. Concebida por el hombre, la tecnología elude su control, en la medida en la que quie-

ra hacerlo. En este sentido la sociedad es definida no tanto por aquellas tecnologías que es capaz de crear sino por las que elige para usar y desarrollar en detrimento de otras.

Además, la situación actual es muy diferente a la del comienzo de la expansión de la mecanización alentada por el desarrollo de las herramientas y el motor a vapor en siglo XIX. La difusión de las nuevas tecnologías (electrónica, informática, telecomunicaciones, así como los nuevos materiales sintéticos y las biotecnologías) crean disparidades mayores que las que existían entre los países europeos al comienzo de la revolución industrial. Además involucra desafíos mayores que los enfrentados por las sociedades europeas del siglo XIX. Por un lado, la situación geopolítica en el mundo de hoy es más compleja, con eventos y actores en movimiento a escala continental, incrementada por la explosión de los medios de comunicación. Por otra parte, las herramientas -conceptuales y prácticas- que nos permiten al menos en parte, comprender el mundo en que vivimos y manipularlo se han sofisticado, en gran medida gracias al progreso espectacular de la ciencia y la tecnología, convirtiéndose en elementos difíciles de manejar sin poseer calificaciones o habilidades especiales.

Los países industrializados, tanto como aquellos en vías de desarrollo, fueron influidos por la complejidad de problemas y de métodos provocados por el avance de las nuevas tecnologías.

Para los primeros, cualesquiera sean los costos sociales que experimentan, pertenecen de todas formas a sociedades cuyas necesidades básicas están satisfechas y por lo tanto, los recursos disponibles para entrenar la mano de obra son considerables.

No es casual que se las denomine sociedades posindustriales, caracterizadas por el predominio del sector servicios, el crecimiento de las actividades relacionadas con la información y la inversión en educación e investigación a gran escala.

Por el contrario, para la mayoría de los países en desarrollo las necesidades básicas de subsistencia -comida, salud, vivienda y educación- aún no han sido cubiertas, de forma tal que las cosas que los países ricos

ven como esenciales, para los pobres es un lujo o un despilfarro de una sociedad consumista. Es más, dada la interdependencia de las economías y la internacionalización del comercio, así como las oportunidades de modernización ofrecidas por las nuevas tecnologías, parece inconcebible que un país pudiera elegir quedarse al margen de los productos e infraestructura que definen la médula del mundo contemporáneo. No se puede desestimar la relevancia de la aplicación de las nuevas tecnologías para actualizar, modernizar y explotar recursos tradicionales causando el mínimo impacto socioeconómico posible.

La difusión de las nuevas tecnologías no implica un rápido crecimiento social, pues intervienen factores económicos, educativos, grupos de interés, hábitos sociales y valores tradicionales. Es necesario resaltar que la ciencia y la tecnología no constituyen variables independientes en el proceso de desarrollo. Son parte de una trama cultural, social y económica delineada por la historia. Es esto lo que determina las posibilidades de aplicación del conocimiento científico a las necesidades reales de un país. No existen los sistemas separados, ciencia y tecnología por una parte, y sociedad por la otra, unidos en una fórmula magistral. Por el contrario, la ciencia y la tecnología existen en una sociedad como un sistema capaz de realizar ósmosis, asimilación, innovación o rechazo según las realidades humanas, sociales históricas y culturales.

Después de todo, no hay determinismos en el cambio tecnológico: ni su ritmo, ni su dirección están prefijadas -aun cuando no se puede desestimar la presión de los lobbies y las industrias para imponer sus productos- ni el éxito de una innovación está asegurado.

La tecnología tiene influencia sobre la economía y la historia, pero es a su vez el producto de la cultura. Las mismas innovaciones producen impactos distintos según el país y la época de la historia. No pueden ser envasadas ni rotuladas como bienes, su proceso no es neutral, demanda niveles de habilidad sin los cuales se convierten en una caja de sorpresas.

Es desde este punto de vista que se debe focalizar el vínculo entre la ciencia, la

sociedad y la tecnología en los países en desarrollo. Más allá de un cierto umbral de recursos, la acumulación de capital no es garantía de crecimiento. La organización de la sociedad y de la producción determinan que un país sea capaz de explotar su potencial científico tecnológico.

Estos factores definen el rol fundamental que este potencial juega en el impulso del proceso de desarrollo y no viceversa.

Si la ciencia y la tecnología no son ajenas al proceso es porque no pueden ser desarrolladas fuera de un marco social determinado.

El extremo subdesarrollo se define como el estadio de desarrollo que no incentiva a la estructura social a formar parte de la investigación científica. Y, a falta de una estructura socioeconómica favorable, aun los países con un nivel mejor pueden ser incapaces de tomar ventaja de la ciencia y la tecnología.

Si hemos de aprender la lección del pasado de la historia, especialmente de la ciencia, es que las vías que facilitan la transmisión y el desarrollo del conocimiento en una sociedad y a través de las fronteras interculturales, nunca son lineales o automáticas.

No se puede asumir que la mayor conciencia pública de la ciencia y la tecnología implique necesariamente el apoyo del público a la investigación. El potencial de aplicación de las nuevas investigaciones para mejorar el bienestar humano será influido tanto por el ambiente social en el que los avances científicos tienen lugar, y en el que deban aplicarse, como por el progreso de la investigación per se. Facilitar al público en general la participación en el debate de los objetivos de ciencia y tecnología es fundamental, porque los ciudadanos están cada vez más hábitos de obtener respuestas simples para problemas complejos, y generalmente obtienen información de medios sensacionalistas que prometen hallazgos instantáneos o catástrofes inminentes.

Los organismos sólo se pueden entender plenamente desde el punto de vista de su interacción con el medio ambiente, y para sobrevivir deben adaptarse a su entorno, aun cuando los organismos en cuestión sean los científicos en un mundo cambiante. Una pu-

blicación científica reciente se refería a esta tendencia como "ecología cambiante de la ciencia" en la cual el principal desafío que enfrentaban los responsables de la política científica era el establecer prioridades en las inversiones en ciencia y tecnología para optimizar la transferencia tecnológica, manteniendo al mismo tiempo una base científica competitiva frente a la escasez de fondos y al aumento de los costos.

La importancia de desarrollar estrategias innovativas y marcos de referencia para capitalizar la ciencia y la tecnología y desarrollar coherencia en el sector de las políticas públicas, no puede ser soslayada.

El efecto a largo plazo del descuido pasivo de la infraestructura en ciencia básica será una incapacidad para competir a corto plazo, mientras que los productos tecnológicos innovativos estarán a la altura de la excelencia global. El descuido de una infraestructura académica implica una falta de aprecia-

ción por parte de los políticos de la importancia de la ciencia moderna en la competitividad industrial, o una decisión de que la ciencia no es una materia de prioridad nacional, o en el peor de los casos, ambas.

Deseo finalizar esta presentación con un párrafo de Víctor Weisskopf, presentado en la introducción del libro "The Uncertain Quest. Science, Technology and Development", que dice así: "Todas las partes y todos los aspectos de la ciencia están interrelacionados. La ciencia no puede desarrollarse a menos que se la impulse con el fin del conocimiento puro y la introspección. No podrá sobrevivir a menos que se use intensa y sabiamente para el progreso de la humanidad, y no como instrumento de dominación de un grupo sobre otro. La existencia humana depende de la compasión y la curiosidad. La curiosidad sin compasión es inhumana, la compasión sin curiosidad es ineficiente".

IV

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS

EDUCACIÓN, CIENCIA Y TÉCNICA

Horacio C. Reggini

Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Este escrito se refiere a la necesidad de integrar las dimensiones científico-técnicas de la cultura en el ámbito de la educación, dejando de lado el tema de la aplicación de recursos técnicos para apoyar el proceso educativo, de lo que me he ocupado específicamente en otras ocasiones. Aspiro tan sólo a bosquejar ciertas ideas y no a delinear un detallado plan de acción. Por eso, procederé primero a fijar pautas sociales y culturales que considero prioritarias para discutir con responsabilidad la introducción de la ciencia y la técnica en el proyecto educativo.

Estamos acostumbrados a pensar separando, aislando nuestros saberes en compartimientos estancos. Así, por un lado nos encontramos con una notable indiferencia de la sociedad respecto de la ciencia y la técnica, una falta de valoración rayana a veces en su menoscabo y postergación frente a los diversos campos del entramado cultural. Por otro lado, simétricamente, es conocida la desconfianza que suscita en los ambientes científico-técnicos la veta literaria, artística o filosófica que alumbra en las llamadas ciencias del espíritu. Es preciso que las personas de las llamadas ciencias duras adviertan que los otros saberes son diferentes formas ineludibles de comprensión del mundo y que provienen de las mismas fuentes en las que también se abrevan el saber científico y el ingenio técnico.

Desde la escuela nos han enseñado a no mezclar los tantos, a cultivar un pensamiento disyuntivo y reductor. Pero ya hace más de trescientos años el genio de Pascal

supo advertir que la realidad es más compleja. Pascal dijo: "Todas las cosas son ayudadas y ayudantes, todas las cosas son mediatas e inmediatas, y todas están ligadas entre sí por un lazo que conecta unas con otras, aún con las más alejadas. En esas condiciones considero imposible conocer las partes si no conozco el todo, pero considero imposible conocer el todo si no conozco las partes".

Ajena a la sabiduría pascaliana, la precozmente aprendida división del cosmos nos divide también como individuos y discrimina en nosotros al *homo demens* en beneficio del *homo sapiens* o, a la inversa. Es decir, desde nuestras primeras incursiones por las operaciones elementales de suma y resta, se nos clausura en el odio a las matemáticas, o en el desprecio de las destrezas del lenguaje a partir de la conjugación del verbo amar. Sin embargo, así como el cosmos es un todo interrelacionado, el hombre singular es a su vez un cosmos: es a la vez *sapiens* y *demens*. Nuestro contemporáneo Edgar Morin dirá: "En ese hombre que es *sapiens* y *demens* hay una mezcla inextricable, un pensamiento doble: un pensamiento que yo llamaría racional, empírico, técnico (...) y también un pensamiento simbólico, mitológico, mágico. Vivimos permanentemente en ambos registros".

No olvidemos, además, que esta simultaneidad nos viene dada desde siempre. Quisiera recordar como ejemplo la pregunta que se formuló Wittgenstein cuando leyó los escritos de James Frazer, porque con esa pregunta demolió las aberraciones antropológicas de principios de siglo XX, según las cua-

les ciertos pueblos denominados “primitivos” desconocían la racionalidad y vivían en un estado de permanente participación mística. Wittgenstein se preguntó lo siguiente: “¿Cómo es posible que estos salvajes que pasan el tiempo ejecutando danzas, cantos, hechizos, rituales y actos de magia sepan tan bien cazar con flechas verdaderas, con una estrategia verdadera y con un conocimiento verdadero del mundo exterior?” El filósofo mostró así con elegancia la ceguera de los “especialistas”, que no habían comprendido que en esas sociedades prehistóricas coexistían magia y racionalidad.

Entonces, de parte nuestra queremos dejar sentado que, sin descontar sus diversas resignificaciones, adherimos con humildad a las palabras de Heráclito de Efeso, que vivió a comienzos del siglo V antes de Cristo: todo es uno, dice Heráclito. Lo dice de muchas maneras, por ejemplo en el fragmento 60: “El camino hacia arriba y el camino hacia abajo son uno y el mismo”.

Volviendo al escurridizo presente, con lo anticipado hasta ahora quisiera insistir en que debemos todos alentar la convergencia de la ciencia y de la reflexión artística y filosófica, y comprender que el eclipse o la ausencia de cualquiera de las “dos culturas” implica una grave mutilación de nuestra humanidad.

Lamentablemente, aún no disponemos de planes que eduquen en y para la diversidad; que eduquen con el acento puesto en la complejidad humana.

La idea de progreso, su caída y el advenimiento de ideas nuevas

La sociedad occidental moderna profesó una fe ciega en los avances de la ciencia y la técnica. Se creía que el futuro estaba garantizado, ya que el desarrollo científico implicaba el de una racionalidad subyacente que se iba perfeccionando en una suerte de proceso que nada podía detener. Es decir, el porvenir garantizado tuvo sustento en la concepción de la sociedad como un cuerpo compacto que evolucionaba merced a los logros de la ciencia (su movimiento ascendente involucraba el de las superestructuras del espíritu).

Semejante planteo, alentado por los

optimistas del siglo XIX, se reveló lamentablemente utópico. Hace setenta años José Ortega y Gasset había lanzado la alarma: “Es pura inercia mental del ‘progresismo’ suponer que conforme avanza la historia crece la holgura que se concede al hombre para poder ser individuo personal”. Hoy, un pensador de la complejidad, Edgar Morin, se refiere a la ambivalencia de la ciencia, a la incapacidad de la sola racionalidad para incrementarse por sí misma e infiere, gravemente, que “Esta es la crisis y el duelo del futuro”. “Estamos en una época -dice- en que las viejas fórmulas, como ‘el futuro nos pertenece’ o ‘hay que seguir este camino’, se han desmoronado...”.

Sí, en cambio, nada es simple sino que todo es complejo e irreductible como lo vio Pascal, debemos hacer frente al desmoronamiento con ideas diferentes, remozadas. Y vuelvo a citar a Morin, que con espíritu alentador, pocas líneas después de haber denunciado “la crisis y el duelo del futuro”, escribirá: “Tenemos sin duda una gran lucha entre las antiguas formas de pensamiento, duras y resistentes a fuerza de resacas y esclerosadas, y las nuevas formas de pensamiento que son aún embrionarias (lo que es embrionario es, por lo tanto, frágil, y arriesga la muerte). Estamos en ese punto y creo que en este dominio hemos entrado en un nuevo comienzo”.

Más allá de una adhesión plena a destacados pensadores contemporáneos, lo que pretendo aquí es insinuar la coincidencia de todos ellos en que la crisis es fuente de novedad y creación; que en la declinación de las viejas ideas se abonan almacigos de insospechada riqueza.

Las fuerzas que impulsan a la ciencia y a la técnica

Contra todo determinismo y reduccionismo, debemos cobrar conciencia de que son múltiples las fuerzas que impulsan y dan forma a la ciencia y a la técnica; de que esas fuerzas provienen de necesidades y apetencias sociales e incluyen las metas y aspiraciones de los individuos que, en general, no coinciden con las de instituciones, empresas, naciones y regiones. En síntesis, en la conformación de ciencia y técnica gravitan también las

interrelaciones de aquella multiplicidad que las origina, operando en diversos niveles y escalas de espacio y tiempo. Tener conciencia de todo esto, por lo tanto, evita la predicción fácil y proclive a extravagancias y utopías. Hacia el año 1940 se habló, por ejemplo, de una era venidera en la que la energía atómica permitiría la generación ilimitada de energía eléctrica a costos irrisorios y también la construcción de represas y túneles, y la desaparición de montañas inútiles.

La verdad -que se debe difundir en las aulas- es que toda innovación puede, con independencia del beneficio respectivo, acarrear imprevisibles o indeseables consecuencias. Una de las causas del excesivo optimismo que suele acompañar a las técnicas nuevas reside en la inclinación a pasar por alto que sus efectos principales no derivan de sus específicos atributos científicos y técnicos, sino más bien de la manera en la que ellos se entretejen con los deseos y las restricciones de la sociedad. Las innovaciones no acaecen en el vacío; se producen en un medio que las signa con sus valores y sus sueños. "Estamos hechos de la misma materia de los sueños", escribió Shakespeare con certera visión de poeta.

El "determinismo tecnológico" -errada hipótesis del racionalismo a ultranza, según la cual las ideas y realizaciones de la técnica son la causa del cambio social- subyace en buena parte del mensaje de los medios. Así, con frecuencia nos anuncian "revoluciones" que determinarán efectos dramáticos e, inversamente, es raro enterarse por los diarios o la TV que los juicios y prejuicios del momento configuran el desarrollo de la técnica. Si uno recuerda que en las antiguas ciudades sumerias fue la necesidad de registrar los tributos provenientes del campo la que llevó a la invención de la escritura sobre arcilla, se le hace difícil que ciencia y técnica evolucionasen independientemente del medio social que las generaba.

Las nuevas ideas incluyen la incertidumbre y lo aleatorio

"Debemos trabajar con el desorden y la incertidumbre, y nos damos cuenta de que trabajar con el desorden y la incertidumbre

no significa dejarse sumergir por ellos; implica, en fin, poner a prueba un pensamiento energético que los mire de frente", dice Morin. Por su parte, Bruno Latour y Paul Feyerabend han denunciado diversos resabios de las categorías vetustas en autores que reducen la historia de la ciencia y la técnica a investigaciones ideales en la hermética intimidad del laboratorio. Latour y Feyerabend subrayan que en la experiencia real de búsqueda científica y desarrollo de las investigaciones tecnológicas e inventos, lo aleatorio y lo inesperado juegan un papel en nada secundario.

A propósito, creo oportuno contar algunos casos ilustrativos. Samuel Finley Morse, inventor del telégrafo eléctrico, no era específicamente un técnico sino pintor de fama -el retrato que hizo al presidente James Monroe de los Estados Unidos se puede ver hoy en la Casa Blanca-. Fue a la vez impulsor de la fotografía y organizador en 1826 de la sociedad que dio origen a la Academy of Design. Mientras Morse trabajaba en el retrato del marqués Marie Joseph Lafayette, en Washington, obra que actualmente se exhibe en el Metropolitan Museum de Nueva York, a quinientos kilómetros de distancia su mujer enfermaba y moría. La mala noticia demoró siete días en llegarle. Fue su dolor, su pena y no una aséptica especulación teórica, el factor que lo impulsó a pensar en un modo de eliminar barreras de espacio y tiempo e inventar el telégrafo.

Otro caso: Alexander Graham Bell, a quienes debemos la maravilla del teléfono, se dedicaba a la educación de sordos y, en virtud de su exhaustivo conocimiento de los órganos auditivos y vocales, en 1873, la Universidad de Boston lo nombró profesor. Paralelamente, esta *rara avis* crea el gigantesco imperio "Bell". James Clerk Maxwell definió sagazmente al personaje: "Bell -dijo-, el inventor del teléfono, no fue un electricista que encontró la manera de hacer hablar a un disco de latón, sino alguien que por querer hablar a distancia con propósitos personales, se convirtió en electricista".

No hay duda de que todo individuo debería poseer conocimientos generales y actualizados de la ciencia y que, por lo tanto, habría que impartírselos dentro del conjunto

de sus estudios.

El entretendido de todo con todo, anticipado como ya les dije por Pascal y muchos siglos antes por Heráclito en su doctrina, exige entonces integrar la educación de quienes trabajarán en el ámbito científico-técnico dentro de contextos amplios, según principios que impidan la vieja desarticulación o fragmentación del saber. No puedo dejar de insistir en el balance prudente que debe regular la preparación de los alumnos en ciencia y técnica por un lado y en "humanidades" -por así decirlo- por el otro.

No debemos caer en suposiciones como las que afirman, por ejemplo, que si se aplicara un enfoque estrictamente científico-técnico a las maneras de gobernar a los países, desaparecerían los problemas del planeta. Creo que ese pensamiento revela un punto de vista ingenuo y equivocado. Supone que el universo complejo de las emociones y las acciones colectivas puede ser entendido y controlado por una serie de principios todavía no descubiertos. Los métodos científicos acostumbra a simplificar una situación descomponiéndola en partes. Admiten que muchos factores pueden afectar un resultado, pero que siempre sería posible llegar a detectarlos en etapas sucesivas.

Sin embargo, el universo de los hechos científico-técnicos contrasta con la realidad azarosa de las instituciones y de los individuos. Una parte considerable del mundo real no puede encuadrarse fácilmente dentro de las reglas y los métodos de la ciencia. Cuando es necesario resolver algunas cuestiones personales o determinados problemas sociales, ayuda sin duda una formulación simplificada de todos los aspectos en discusión, pero resulta utópico creer que existe una única solución óptima exacta. No nos olvidemos de que regímenes sociales apoyados en bases específicamente técnicas y sobrevaloradas por el mito del progreso indefinido y la hipótesis de que es posible transformar el orden social igual que el orden natural, nunca condujeron a los paraísos prometidos. A riesgo de pecar de reiterativo quisiera enfatizar una vez más en la integración de ciencia y tecnología con otras disciplinas como primer mandato en este mundo complejo en que nos manejamos.

Sólo en la integración de lo complejo comprenderemos -punto central de una profunda reflexión que trasciende los límites de esta charla- que lo que conocemos no es el mundo en sí, sino el mundo en nuestro conocimiento. Con elocuencia proclama Edgar Morin: "(...) es una locura creer que se pueda conocer desde el punto de vista de la omnisciencia, desde un trono supremo a partir del cual se contemplaría el universo". Por su lado dirá Niels Bohr: "Es imposible separar el mundo que conocemos de las estructuras de nuestro conocimiento".

Educación para la vida. Cuestiones de método

Todos los estudiantes tienen interés en la repercusión social, la historia y la evolución de las innovaciones. Recíprocamente es atractivo para el docente contextualizar los temas científico-técnicos dentro de coordenadas políticas y sociales. Ningún tema en la educación debería aislarse de sus implicaciones sociales y morales, ya que, gracias a la integración de sus conocimientos, el alumno, aparte de ganar eficacia en su praxis cotidiana, comprenderá mejor a sus semejantes y sabrá apreciar el modo en que las máquinas y los procesos afectan vitalmente a todos.

Así, en la integración de lo complejo está inscripta la de la propia ciencia con su historia que por ello se reivindica como parte de la cultura y como dimensión vital en la educación de futuros ciudadanos responsables. Es verdad que los avances científicos y técnicos suscitan a veces dificultades para el saber medio del cuerpo social. ¿Cómo admitir y asimilar ciertas novedades? Sólo la familiaridad con la ciencia desde la edad escolar allanará el paso a la opinión crítica sobre su repercusión.

La articulación de un proyecto completo para la integración de las dimensiones científico-técnicas de la cultura en la educación significa una tarea de envergadura, desde que engloba múltiples cuestiones, entre las cuales la capacitación docente, la individualización y enumeración de áreas y temas de influencia, el diseño del sistema de organización que convenga para administrar y condu-

cir todas sus fases, etc. -aspectos que omitimos analizar en este bosquejo introductorio-. Se trata, repito, de una tarea de gran magnitud que exige planes adecuados para canalizar el cúmulo existente de iniciativas dispersas. Tengamos presente que las ejecuciones incorrectas llevan al fracaso y al desprestigio de la idea. Esto último sucede a menudo en la educación cuando el sistema vigente "abraza y asfixia" propuestas nuevas y valiosas al incorporarlas con criterios errados.

Creo que es oportuno señalar que un científico no es la persona que sólo entiende de hechos científicos, como no es un poeta ése que eruditamente entiende de métrica. *Entender* es ejercer en abstracto el principio de no contradicción. *Comprender*, en cambio, es abrazar con el pensamiento. La comprensión abarca lo heterogéneo y contradictorio, la complejidad del mundo, en fin, y actúa. Comprender es fundamentalmente *hacer*; es el pensamiento que sale de sí al encuentro de lo que le hace frente. Un científico, lo mismo que un poeta, un compositor o un ingeniero se distinguen por el hacer (*poiein*) antes que por el solitario entender analizando.

En este sentido, existe disparidad en el ambiente educativo. El niño, con frecuencia, es alentado en las clases de arte y en las de lengua, dándose por sentada su capacidad creativa. Pero no sucede lo mismo en matemáticas, física o biología. De ahí que sea imperativo crear ambientes donde se brinden a los niños las condiciones para *hacer ciencia*, en vez de conformarse con impartirles nociones abstractas, a veces inconexas. El proyecto educativo debe incluir actividades prácticas que revaloricen las experiencias de laboratorio, actualmente postergadas por el frenesí de las nuevas tecnologías de la información y por el decaimiento o carencia de los talleres de ciencias que impulsaron ilustres educadores argentinos, entre ellos, Víctor Mercante. El mundo no está hecho de "bits" sino de entidades altamente complejas, en el límite entre lo material y lo no material. La educación debe asomar a los estudiantes a esta práctica en talleres y observatorios escolares bien pertrechados o en otros centros abiertos para dichos fines.

Importancia de la ciencia y la técnica en la sociedad

Ciencia y técnica no pueden ser desplazadas en el orden nacional. Estaremos empobrecidos pero, como dijo el líder hindú Nehru, "los países pobres no pueden darse el lujo de no hacer ciencia e investigación". Sarmiento, por su parte, se anticipó a Nehru y en 1870, al inaugurar el Observatorio Astronómico Nacional de Córdoba apostrofó a quienes consideraban inoportuna la inversión con estas palabras: "Es cruel ilusión del espíritu llamarnos pueblos nuevos. Es de viejos que pecamos. Los pueblos modernos son los que resumen en sí todos los progresos que en las ciencias y en las artes ha hecho la humanidad, aplicándolas a la más general satisfacción de las necesidades del mayor número".

No hay que tenerle miedo a los resultados de la ciencia aunque a veces desconcierten, ya que siempre dichos resultados están sujetos a "conjeturas y refutaciones", como señaló sabiamente Karl Popper. Debemos contribuir a la difusión social de la ciencia, por ejemplo, dar a conocer cómo buena parte de los factores que determinan la moderna calidad de vida -la salud, la nutrición, las comunicaciones, etc.- tienen origen en los hechos y los descubrimientos de la ciencia y la técnica. En un pasado relativamente cercano enfermedades hoy curables segaban millares de vidas jóvenes. Basta pensar en la precoz desaparición de grandes científicos y artistas (Torricelli, Pascal, Hertz, Mozart, Schubert, Chopin, Modigliani y tantos otros).

En su libro *El ascenso del hombre*, Joseph Bronowski despliega una propuesta optimista que arraiga en la convicción de que "el destino de la humanidad es el descubrimiento de conocimientos". Si bien Bronowski pone el acento en la ciencia y la técnica, no se olvida en ningún momento del arte y las demás manifestaciones del hombre. Esta idea de unidad en ascenso se encuentra también en las obras de Neil Postman. Edgar Morin se pronuncia asimismo por el ascenso estratégico a miradores desde donde observar y alumbrar con *ideas-faro*. Quisiera consignar aquí la preciosa metáfora de la crisálida, tam-

bién de Morin, que lo dice todo:

"Para que la oruga se convierta en mariposa debe encerrarse en una crisálida. Lo que ocurre en el interior de la oruga es muy interesante; su sistema inmunitario comienza a destruir todo lo que corresponde a la oruga, incluido el sistema digestivo, ya que la mariposa no comerá los mismos alimentos que la oruga. Lo único que se mantiene es el sistema nervioso. Así es que la oruga se destruye como tal para poder construirse como mariposa. Y cuando ésta consigue romper la crisálida, la vemos aparecer, casi inmóvil, con las alas pegadas, incapaz de desplegarlas. Uno empieza a inquietarse por ella, a preguntarse si podrá abrir las alas, y, de pronto, la mari-

posa alza el vuelo".

Con esta cita retomo lo escrito al comenzar respecto del advenimiento de las ideas nuevas en lugar de las del arcaico pensamiento disyuntor, es decir, subrayo la importancia de comprender -con el riesgo que implica- que todo está en relación en el universo y propongo una educación consistente. Estimo así que la educación actual, además del uso disciplinario del lenguaje, de la compenetración con el arte, del sentimiento religioso y del saber histórico, debe incluir un modo de pensamiento y un saber que, a fuer de revelador, valore en toda su dimensión el mundo científico-técnico que nos rodea.

MOLECULAR GENETICS OF TRANSPORT AND METABOLISM OF SULFUR COMPOUNDS IN YEAST

James R. Mattoon and José A. Chávez

Biotechnology Center, University of Colorado, Colorado Springs 80933-7150, U.S.A.

Abstract

Sulfur compounds have many biochemical functions including protein structure, enzyme catalysis, biological oxidation and detoxification. Glutathione is an essential reductant that protects against oxidative damage. In addition, glutathione may be conjugated with toxic substances such as cadmium ions and arsenite to produce compounds of low toxicity. A mutant of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* defective in transport of L-cysteine was isolated utilizing a strain already deficient in the general amino acid permease and the transport of inorganic sulfate. Cells were mutagenized with ethylmethanesulfonate, and mutants capable of utilizing methionine but not cysteine as sulfur source were selected. Quantitative growth studies showed that one mutant exhibited defective growth on low cysteine, but normal growth on high cysteine. The mutant gave normal growth when glutathione was used as sole sulfur source. Results suggest that *Saccharomyces cerevisiae* contains two cysteine permeases, one of high affinity and one of low affinity. The mutant described appears to lack only the high-affinity permease. Cloning of the putative cysteine permease gene is in progress.

Key words: Yeast, Cysteine transport, Glutathione.

Sulfur in protein structure and enzyme catalysis

Sulfur compounds have many very important functions in biology and biochemistry. Two protein amino acids, methionine and cysteine are found in almost all proteins. Cysteine is particularly important in many structural proteins because two cysteine resi-

dues residing on different polypeptide chains or at different locations on the same chain can cause cross linking by forming disulfide bonds. For example, the A and B chains of the hormone insulin are covalently linked by two disulfide bonds. In addition, two cysteine residues in the A-chain form a loop (Figure 1).

Fibrous proteins like hair are cross linked by many such disulfide bonds.

The sulfhydryl groups of cysteine residues are key components of the catalytic sites of many enzymes. The -SH group is a nucleophile, and a number of enzymes catalyzing hydrolysis and acyl group transfer utilize this property of sulfhydryl groups. Moreover, sev-

Conferencia pronunciada por el Dr. James R. Mattoon (Académico Correspondiente en Colorado Springs, Colorado, Estados Unidos), el 31 de marzo de 2000.