naturaleza educación y ciencia



La reforma curricular y el magisterio (II parte) • Feynman: ¿Qué es la ciencia?
Ciencia, técnica y tecnología • A. Salam: Consideraciones sobre el nuevo orden económico • El clima de la sabana de Bogotá

número з

mayo-diciembre / 83

\$ 120

naturaleza educación y ciencia

ISSN 0120-4343

Revista cuatrimestral de divulgación científica y orientación didáctica registrada según Resolución 004685 de 1983 del Ministerio de Gobierno, Publicada por la Fundación Educación y Ciencia, personería jurídica aprobada según Resolución 2913 de 1983 del Ministerio de Justicia.

La responsabilidad de los artículos corresponde a los autores.

Director

Paul Bromberg

Comité Editorial José Granés Clara Camargo Jesús H. Pérez Jorge Charum Cristina Dimatté José L. Villaveces Luis A. Briceño Dino Segura Julián Betancourt Paul Bronberg Antanas Mockus Eduardo Zalamea Luis E. Andrade

Representantes en otras ciudades:

Cali: Pedro Prieto, Bucaramanga: Rafael Isaacs, Madellín: Rodrigo Covaleda, Yolanda Beltrán, Orlando Mesa, Regino Martínez, Manizales: Daniel Alberto Arias, Pereira: Diego López, Armenia: Andrés Granados, Florencia: Emiro Madero, Barranquilla: Antonio Martínez, Pasto: E. Cabrera, Montería: Armando Potes, Pamplona y Cúcuta: James Velasco, Neiva: Alvaro Avendaño, Sincelejo: Carmen Payares.

Dirección:

Universidad Nacional, Edificio de Matemáticas y Física, primer piso, Tel. 2442874, A.A. 101332, Bogotá

Dibujos:

Jorge Casas

Caricaturas:

Fernando Fernández Germán Fernández

Composición, Diagramación

y Armeda:

Merchán y Morales Calle 17 No. 10-16 Of, 703 Tel, 284 8009 Bogotá

Impresión:

Tecnilibros Editores

Editorial

EL ESTADO, LA COMUNIDAD CIENTIFICA Y LA INVESTIGACION

Colombia proyecta adquirir un reactor nuclear de investigación con instalaciones anexas por un valor cercano a los cuatro mil millones de pesos. Por la enorme suma involucrada, el amplísimo espectro de servicios que se prometen como justificación para su compra, la forma como se ha adelantado el proyecto hasta el momento, en fin, por tratarse de una decisión que de una u otra forma involucra a la comunidad científica y que puede afectar a la población, el proyecto tiene la virtud de obligar a reflexiones inaplazables sobre la orientación de los recursos asignados a ciencia y tecnología, el papel de la comunidad científica en la formulación de planes a mediano y largo plazo y, en general, sobre el papel de la ciencia y la tecnología en un país como el nuestro.

Hoy en día nadie duda que en estos países la infraestructura material y humana en ciencia y tecnología debe aparecer como resultado de planes trazados e implementados por el Estado. Recordemos que en Colombia las ciencias modernas y su infraestructura de aplicación actual son de alguna manera el fruto de una acción preconcebida del Estado, siguiendo reformas inscritas en programas de financiación externa dirigida, ejecutadas por grupos internos partidarios de cierta "modernización". La Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, las actuales universidades de Antioquia y Valle, la Universidad Industrial de Santander, buena parte de los institutos descentralizados de investigación y aplicación científica, así como los de planificación y fomento de la misma, fueron en sus inicios el resultado de este movimiento modernizador.

En la precaria inversión que el país hace en ciencia y tecnología (solamente el 0.15% del PIB, inferior al de otros países similares), la preponderancia del Estado es notable: el censo elaborado por Colciencias en 1978 mostraba que al sector público, clasificado en universidades, institutos de investigación, establecimientos de servicios científicos y otras entidades semejantes, correspondía el 78% de los proyectos de investigación detectados, y de este porcentaje el 72% pertenecía a las universidades públicas. Es de esperarse que un sector productivo como el nuestro, importador en su mayoría de tecnologías que no demandan investigación aplicada, no tenga más que una participación marginal en este aspecto.

Salta a la vista el papel central de las universidades públicas en lo que se clasifica como "investigación". Aún a pesar de los altibajos —presupuestales y de otro tipo— las principales universidades públicas concentran la mayor

NUESTRA PORTADA

Artefacto diseñado y construido por Chadwick en 1932, con ayuda del cual realizó un descubrimiento de gran trascendencia para la física nuclear: el neutrón. Contrasta lo rudimentario del aparato con las herramientas actuales de investigación, enormes aceleradores cuyos costos llegan a centenares de millones de dólares.

capacidad investigativa por su dotación, su personal calificado y en general por una organización universitaria que contempla alguna libertad de cátedra y ofrece de vez en cuando estímulos a la investigación y programas de especialización para los docentes. Ante la crisis que vive la universidad pública, síntoma de las dificultades que tiene la estructura política para sostener una democracia amplia en un país con agudas contradicciones sociales, los gobiernos mantienen hacia ella una política de *apartheid* y buscan reemplazarla con instituciones privadas que más que universidades son entidades de formación de personal calificado, y que por su propia naturaleza no pueden ni podrán—salvo contadísimas excepciones— conducirse como verdaderos centros académicos superiores.

Por otra lado, la mayoría de los institutos estatales de investigación científica y/o servicios científicos no han permanecido ajenos a los seculares problemas de nuestra administración pública. Nombramientos de personal científico viciados de influencias políticas están presentes allídonde debían primar evidentemente cubre las excelencias académicas; una administración ineficaz, ignorante de las especificidades de la actividad científica, pendiente de cambios de gobierno y hasta de crisis ministeriales; personal científico bajo un régimen de contratación inapropiado para su labor, sin remuneración adecuada ni estímulo y apoyo para el mejoramiento de sus calificaciones profesionales; engorrosos trámites para conseguir equipo, creados como excusa para mantener una nómina que sirve de premio electoral. A la luz de estas deficiencias no sería exagerado afirmar que Colombia está próxima a invertir en un proyecto científico una suma posiblemente mayor que el gasto acumulado en investigación desde la llegada de Colón, con vicios administrativos heredados de la Guerra de los Mil Días.

El orden de cosas descrito, tan conocido por todos, no desaparecerá espontáneamente; es aquí donde debe jugar un papel la comunidad científica nacional, a pesar de su carácter aún incipiente. Hasta ahora, ella no se ha hecho presente cuando se han tomado decisiones ligadas directamente con su actividad. Por ejemplo, no se pronunció sobre los contratos para la explotación del carbón, ni se comprometió tan ampliamente como era de esperarse en una posición sobre la recién aprobada reforma de la enseñanza de las ciencias en los niveles inferiores; tampoco se ha pronunciado sobre un proyecto de la envergadura del reactor nuclear, a pesar de que supuestamente se está adquiriendo para que ella lo utilice.

La comunidad científica debe pronunciarse. Si ella se descubre incapaz de adelantar una discusión profunda de este proyecto, el país está indudablemente inmaduro para llevarlo a cabo.

Esta publicación ha sido realizada con el patrocinio del Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas".

COLCIENCIAS

Establecimiento público adscrito al Ministerio de Educación Nacional cuyo objetivo principal es impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Colombia.

Para la publicación del presente número la Revista NATURALE-ZA contó con una contribución económica del Instituto de Asuntos Nucleares.

AGRADECIMIENTO

El Comité Editorial de la revista agradece en forma muy especial la colaboración que el Instituto de Asuntos Nucleares (IAN) le ha prestado en la elaboración del presente número. Además de una ayuda económica, el IAN le facilitó al Comité varios documentos importantes referentes al proyecto de compra del nuevo reactor. Esta colaboración merece destacarse porque se produjo con conocimiento de que en la revista aparecerían opiniones contrarias al mencionado proyecto y de que el mismo Comité, después del estudio realizado, había llegado a una posición que no era favorable al mismo.

Dirección: Universidad Nacional, Edificio de Matemáticas y Física, Primer piso, Bogotá, D.E. Dirección Postal: Apartado Aéreo 101332 Bogotá Teléfono 2442874

Indice

- Editorial
- Cartas
- ¿Qué es la ciencia?
- El clima de la sabana de Bogotá
- Ideales y realidades

Por un nuevo orden económico internacional

29 Motivaciones para una política científica

Reflexiones sobre la necesidad de impulsar la ciencia en los países en vía de desarrollo

- 33 El análisis de la tradición cultural
- 39 Ciencia, técnica y tecnología
- 47 Un reactor nuclear para Colombia

Presentación Breve cronologia del proyecto Entrevistas con

- E. Villarreal, Director IAN
- H. Rodríguez, Profesor U. Nacional
- D. Buriticá. Profesor U. Nacional
- J. Londoño. Soc. Colombiana de Ingenieros Nuestra posición
- 81 La reforma curricular y el magisterio

Richard Feynman

Fabio González

Abdus Salam

Marcello Cini

Galileo Violini

Gabriel Restrepo

Antanas Mockus

CONFERENCIA INTERNACIONAL DE EPISTEMOLOGIA

Sociedad Colombiana de Epistemología ACIF Asociación Centro Internacional de Física

Universidad Nacional Bogotá

I. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS GENERALES DE LA CONFERENCIA

En países como Colombia, la preocupación por la epistemología ha desbordado hasta cierto punto el grado de desarrollo existente en materia de investigación científica. Una de las causas de este interés en la epistemología es el hecho de que estos países sufren actualmente grandes cambios culturales que tienden a colocar a las ciencias en un lugar destacado desde el punto de vista de la cultura y no sólo de la economía. En este proceso de reconocimiento social del lugar de las ciencias en las transformaciones de la cultura, la epistemología está llamada a jugar un papel fundamental de mediación reflexiva.

Por otra parte, el impulso dado a la investigación en la última década, y la formación de futuros investigadores en los más diversos campos, ha dado origen a debates sobre orientaciones, métodos prioridades. Estos debates se traducen con frecuencia en polémicas epistemológicas. En diverso grado según las diferentes disciplinas, las posiciones epistemológicas juegan un papel orientador en las decisiones sobre investigación.

La celebración de esta Primera Conferencia Internacional de Epistemología en Colombia tiene como finalidades las siguientes:

- Reconocer y consolidar el interés por la indagación epistemológica en nuestro medio, y favorecer el fortalecimiento de los grupos locales que vienen trabajando en el área de la epistemología.
- Permitir, mediante la invitación de importantes representantes de las diversas escuelas epistemológicas estrechamente vinculados a las discusiones más recientes en el campo, un conocimiento de primera manp del estado de la cuestión en debates que han tenido y que tienen gran eco en nuestro medio.
- Contribuir en la medida de lo posible al avance de las discusiones epistemológicas y a la difusión internacional de sus desarrollos.
- 4. A partir del reconocimiento de que toda posición epistemológica tiene importantes consecuencias sobre la educación en general y la enseñanza de las ciencias en particular, contribuir a explicitar y analizar la conexión fundamental, no siempre percibida, entre epistemología y educación.
- Propiciar la continuación del debate internacional sobre las relaciones entre ciencia y desarrollo y examinar, en particular, los alcances de una perspectiva epistemológica en ese debate,

La reunión se celebrará en homenaje al doctor Carlo Federici, destacado profesor de la Universidad Nacional, en reconocimiento a su importante papel en el desarrollo de la enseñanza de la matemática y de las ciencias y en la constitución de diversas sociedades científicas en Colombia, a sus trabajos en el campo de la educación y a su papel decisivo en el surgimiento de la reflexión epistemológica en nuestro medio.

II. TOPICOS ESPECIFICOS

El temario propuesto a continuación constituye un marco general para la conferencia. Se precisará a medida que los conferencistas invitados confirmen su participación e indiquen el tema específico que tratarán,

A. Cultura, Ciencia y Epistemología

Implicaciones culturales de las diversas imágenes del desarrollo científico. El significado cultural de la epistemología. El significado de la división del trabajo entre científicos y epistemólogos en las condicioness actuales de la investigación y de la cultura en general. La epistemología "intuitiva" de los científicos.

B. Epistemologías generales y epistemologías regionales

La metadisciplinariedad de la reflexión epistemológica. La especificidad de los modelos epistemológicos relativos a disciplinas particulares y su transferibilidad de unas a otras. Explicaciones y comprensión en las disciplinas científico-naturales y en las ciencias históricosociales,

C. Epistemología e historia de las ciencias

Autonomía relativa y vínculo recíproco entre reflexión epistemológica e investigación historiográfica. Nueva epistemología y nueva historiografía de la ciencia (los criterios de crecimiento del conocimiento, la metodología normativa, inconmensurabilidad y traductibilidad recíproca entre teorías rivales, etc.).

D. Epistemología y enseñanza de las ciencias

Implicaciones didácticas de las diversas perspectivas epistemológicas (valor didáctico de la lógica de la validación, de la metodología normativa, de la reconstrucción histórica, etc.; enfoques excluyentes o complementarios).

E. Ciencia y Desarrollo

Aproximaciones epistemológicas al problema de la relación entre ciencia, cultura y desarrollo. Incidencias de las políticas de fomento a la investigación y la enseñanza de las ciencias, en los aspectos culturales del proceso de desarrollo socioeconómico. Consecuencias culturales de los diversos procesos de difusión de resultados científicos y productos tecnológicos. Papel de la reflexión epistemológica en la comprensión de las transformaciones culturales determinadas por esos procesos.

La fecha límite para recibir solicitudes de participación es el 15 de enero de 1984 sin embargo para los participantes que soliciten cualquier tipo de financiación la fecha límite es el 15 de diciembre. Deben enviarse por correo *no recomendado* a: ACIF, A.A. 49490 Bogotá, Colombia.

Cartas

Crítica a la contracrítica

Señores MIEMBROS DEL COMITE DE REDACCION Revista Naturaleza

En la carta de la profesora Zamora, publicada en esta revista (Num. 2, pg. 6), relativa a "El problema del pozo" leo: "... la crítica no debe ir al método numérico propuesto sino a quien formuló el problema". Empiezo por considerar la primera afirmación contenida en la oración que precede: "... la crítica no debe ir al método numérico propuesto".

En mi artículo (Num, 2, pg. 19) digo: "la manera de resolver tal problema, y otros más, seguramente es buena" y la crítica que desarrollo explícita o implícitamente, es en primer lugar una contracrítica a la crítica tosca que el artículo del profesor Arenas (Num. 0. pg. 37, 38, 39) hace al método tradicional que consiste esencialmente en traducir un problema de su forma retórica a la simbólica (según la nomenclatura tradicional de Nebbelman), es decir de un sistema de proposiciones abiertas o condiciones que, transformando, dará a conocer las variables incógnitas, pedidas o no pedidas por el problema, en función de los parámetros (constantes o variables) del mismo y a la burda presentación del mismo. En efecto, pregunto ahora, ¿donde está el sistema, forma simbólica del problema?

Además hago notar que la fórmula (Num, 0, pg. 38):

$$h = (c^2/g)[(3/c + 1)$$

$$\pm \sqrt{(3/c + 1) - 9g^2/c^2)}]$$

presenta "serios errores de imprenta" y, lo que es grave en un problema de física, que "no se logra entender por qué en la fórmula sólo aparece un dato numérico (3, o sea, el tiempo total t + t') y no aparecen los valores numéricos de c y g'' y por lo tanto debo concluir, ahora sí, que dicha fórmula no es tradicionalista sino traicionalista

En segundo lugar mi crítica se refiere a la manera imprecisa de presentar, dentro del método numérico, la resolución "gráfica" (Num. 0, pg. 39) que acompañando la "numérica" habría debido hacerla evidente.

Por lo tanto mi crítica no se refiere de ninguna manera al método numérico (un método, según Whitehead, es una manera de socialización de la búsqueda) sino a la manera de presentarlo: un método, especialmente si es bueno como yo lo he afirmado en el caso en cuestión, hay que respetarlo y, si es posible, mejorarlo, indicando criterios de aplicación y no contentarse diciendo que "en ocasiones el tratamiento numérico de un ejercicio permite mantener la atención sobre la naturaleza (síc) y además hace interesante la solución del problema".

En cuanto a la segunda afirmación "la crítica debe ir a quien formuló el problema" me parece comprenderla sólo si la ligo a esta otra: "Comparto eso sí, el comentario del profesor Federici: este no es un problema real, no hay ser humano que tenga calibrados sus reflejos con tanta finura como para que haya sentido en considerar el tiempo que tarda el sonido en subir" El comentario que hago yo se refiere a la afirmación (Num. 0, pg. 39): "se puede repetir los pasos ii) y iii) y hacerlo cuantas veces queramos obteniendo muchas cifras decimales" y dice (mi comentario): "¿En un problema real' estas 'muchas cifras decimales' serán todas significativas?" La pregunta es evidentemente retórica puesto que

transporta ella misma la respuesta: no. Me pregunto entonces: la búsqueda de "muchas cifras decimales" ¿no es también otra manera de olvidarse de la piedra, del pozo y de perder el contacto con la realidad? y si los datos numéricos son 3s, 9.8 m/s2, 340 m/s ¿cuántas cifras significativas es dable esperar para el valor de h, de t y de t'? Y, ¿cómo es posible pensar que un problema práctico en donde hay que fijar la tolerancia de los resultados en función de la tolerancia (explícita o implícita) de los datos "puede servir para dar piso . . . a conceptos de límite . . . "? Además el dato temporal se refiere al tiempo total t + t' es decir 3 s y no, como se sugiere en la carta, a "el tiempo que tarda el sonido en subir" y entonces, como es dable ver, en mi artículo de ninguna manera afirmo que el problema no es real.

Ahora voy a considerar la proposición ". . . es el método propuesto por el autor de este segundo artículo el ' método tradicional ' tan criticado y vituperado por el artículo del número 0? Ni de fundas! En quinto de bachillerato vemos álgebra ordinaria!". Atentamente he revisado mi artículo y encuentro que manipulo parámetros y variables haciendo uso solamente de las operaciones de adición y disminución, multiplicación y división, potenciación y radicación (de índice 2) de las relaciones de orden aditivo, algunas aplicaciones numéricas y (esto si no pertenece a lo tradicional) dos algoritmos de aproximaciones sucesivas, paramétricas y no numéricas, en búsqueda de una generalización del método numérico que usa el profesor Arenas.

De esta pequeña polémica me parece que se puede sacar algo positivo. En primer lugar es posible afirmar que la aplicación de uno u otro método depende no solamente del problema que hay que resolver (las incógnitas en función de los datos) sino de los objetivos anexos (a veces más importantes que la pura solución) que se quieren lograr a lo largo de la resolución del problema

mismo. Por ejemplo si en "El problema del pozo" lo que interesa primordialmente es el resultado numérico y no perder de vista la realidad es evidente que el método de aproximación numérica apoyado en una inicial y "precisa" resolución gráfica es el indicado. Pero si lo que se quiere (iy en algún momento hay que quererlo!) es mostrar un principio fundamental de metafísica: "las variables incógnitas son siempre el producto de dos factores: uno equidimensional con la incógnita y el otro cerodimensional o de forma", mientras se busca el resultado numérico o paramétrico, entonces el método tradicional es el indicado. En segundo lugar se ha hecho patente el problema pedagógico de cuáles deberían ser los ejercicios que afianzan de verdad los conocimientos que se "dan" en la escuela (de cualquier nivel): ¿problemas reales? ¿problemas posibles? La discusión sigue abierta.

Atentamente,

Carlo Federici Casa

Sres.
Comité Editorial
Revista NATURALEZA
Educación y Ciencia

Estimados señores:

Reciban mis sinceras felicitaciones por la revista que acabo de conocer por un azar y sin imaginar lo que llegaba a mis manos; realmente es este tipo de publicaciones lo que necesitarnos los docentes y es mi mayor interés seguir recibiéndola y hacerla conocer en este medio, en el cual es muy escaso todo tipo de publicaciones de divulgación científica.

Atentamente.

Nancy Cañizares de Albornoz Profesora Liceo Integrado U. Nariño □

¿Qué es la ciencia?

Esta es una versión traducida y adaptada por el Comité Editorial de una charla que el profesor Feynman ofreció en la decimocuarta convención anual de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de los Estados Unidos, en 1966. El texto completo fue publicado por la revista Physics Teacher en septiembre de 1969.

El tema de esta charla, qué es la ciencia, no lo escogí yo, sino el profesor DeRose, a quien agradezco la oportunidad de reunirme con ustedes, profesores de ciencias. Por dos razones quiero comenzar esta charla aclarando que no es lo mismo hablar de "que es la ciencia", que de "cómo enseñar la ciencia". Primero, porque por la forma como dictaré la conferencia podría intrepretarse que estoy tratando de decirles cómo enseñarla, y ese no es mi propósito. No sé nada de niños. He llegado a concluirlo porque tengo un hijo. Segundo, creo que en la mayoría de ustedes existe un sentimiento de desconfianza en sí mismos, alimentado por tantas conferencias de tantos expertos en este campo, los cuales les han insinuado de muchas maneras que las cosas no andan muy bien, que se debe enseñar mejor. Y no quiero inmiscuirme en un sistema que, de hecho, me parece que funciona bastante bien.

¿Qué es la ciencia? Indudablemente ustedes lo saben puesto que la enseñan. Si alguien no lo sabe, la guía del profesor de cualquier texto escolar ofrece una completa discusión sobre el asunto. Pero la ciencia no es lo que han dicho los filósofos y con toda seguridad, tampoco lo que dicen las guías del profesor. ¿Qué es? Ese fue el problema que me planteé cuando decidí dictar esta charla y al hacerlo recordé aquella fábula que dice:

Caminaba alegre un ciempiés cuando un sapito le preguntó: ¿Cuál pie tu pones primero y cuál colocas después?

Preguntándose el ciempiés ¿cómo hago yo al caminar? se le trabaron sus pies y a un hueco vino a parar.

Durante toda mi vida he hecho ciencia y sé lo que es, pero me siento incapaz de decirlo; no sé cuál pie pongo primero y cuál después. Me preocupa además que, en analogía con el poema, luego de esta charla no pueda ya emprender investigación alguna.

Debido a las dificultades que caracterizan el tema y a mi aversión por las exposiciones filosóficas, presentaré una conferencia especial; les contaré cómo aprendí lo que es la ciencia. Es un poco infantil, pues lo aprendí siendo niño y ha estado en mi sangre desde muy temprano; les contaré cómo fue, pero recalco, no pretendó decirles cómo enseñarla. Sólo quiero decirles qué es contándoles como lo aprendí yo.

Lo debo a mi padre. Me cuentan que cuando yo estaba por nacer decía: "Si es niño, será científico" ¿Cómo lo logró, si jamás me dijo que debería serlo? El no lo era, era un negociante que leía sobre la ciencia y la amaba. La ciencia no es lo que han dicho los filósofos y con toda seguridad, tampoco lo que dicen las guías del profesor. Durante toda mi vida he hecho ciencia, y sé lo que es, pero me siento incapaz de decirlo. Debido a mi aversión por las exposiciones filosóficas, les diré lo que es la ciencia contándoles cómo lo aprendí yo.

Richard P. Feynman es conocido en nuestro medio especialmente por sus tres tomos de Lecciones de Física, Obtuvo su doctorado en Física en 1942, Durante la segunda guerra mundial formó parte del Proyecto Manhattan para la elaboración de la bomba atómica, realizando contribuciones que se consideran fundamentales. En 1965 recibió el Premio Nobel de Física jurito con Sin-Itiro Tomonaga y Julian Schwinger por la creación de la teoría de la electrodinámica cuántica.

Cuando yo era aún muy pequeño mi padre solía jugar conmigo luego de comer. Un día trajo de alguna parte una gran cantidad de baldosines rectangulares. Los paramos verticalmente uno a continuación de otro; luego yo empujaba el último y observaba cómo caían todos. Hasta ahí todo iba muy bien. Más tarde se complicó el juego. Los baldosines eran de diferentes colores y yo debía colocar uno blanco. dos azules, uno blanco, dos azules, etc. Aunque quisiera colocar uno azul, debía colocar uno blanco si tocaba. Se vé claramente la ingeniosidad del proceso: agradar primero y luego involucrar suavemente actividades con contenido educativo. Mi madre cavó en cuenta de la intención del juego y anotó "Mel, deja al pobre chico colocar el azul si es eso lo que quiere". Mi padre contestó: "No, yo quiero que descubra las configuraciones, es lo único que se le puede enseñar de matemáticas a este nivel". Si esta conferencia fuese sobre qué es la matemática, va tendríamos una respuesta: la matemática es la búsqueda de configuraciones.

Quiero señalar otra evidencia de que la matemática es sólo configuraciones. Cuando estuve en la universidad me fascinaba el conglomerado estudiantil. Parecía una mezcla diluida de algunas personas sensibles y una gran masa de personas atolondradas que estudiaban economía doméstica y cosas por el estilo, a la cual pertenecía gran cantidad de chicas. Me sentaba en la cafetería y procuraba enterarme furtivamente de sus conversaciones, tratando de identificar si comentaban algo inteligente. Ya podrán imaginarse mi sorpresa cuando descubrí algo que me pareció tremendo.

Escuché la conversación de dos chicas. Una explicaba que para conseguir una línea recta, por cada unidad que se suba debe avanzarse hacia la derecha cierta cantidad determinada. Este es un principio fundamental de geometría analítica; fue sorprendente, jamás había pensado que la mente femenina pudiese comprender geometría analítica. Y la chica añadía: "Suponte que saba tanto en él que opté por investi-

otra línea se acerca a la primera y que deseamos preveer dónde se intersectarán. Supongamos que una avanza dos a la derecha por cada unidad que sube y que la otra avanza tres por cada unidad que sube; si inicialmente están separadas veinte . . .", etc. Era increíble, preveía corractamente el sitio de la intersección. Más tarde me dí cuenta que le estaba explicando a su amiga cómo teier medias.

Volvamos a mis experiencias como joven matemático. Cuando mi padre me contó que la razón de la circunferencia a su diámetro es una constante independiente del tamaño del círculo. experimenté una sensación difícil de describir quizás porque no era muy obvio para mí. Ese cociente era una propiedad extraordinaria, el maravilloso número pi. Existía un misterio en torno a este número que en aquel entonces no comprendí muy bien, que lo hacía interesante y que me llevaba a buscarlo por todas partes. Lo menciono para ilustrar una motivación. Lo importante para mí no era el número sino la idea de que existía un misterio, algo maravilloso relacionado con él. Mucho después cuando experimentaba en el laboratorio -bueno era un laboratorio en mi casa, así que no experimentaba sino jugaba, construyendo radios y otros cacharros-, fui descubriendo en los libros y manuales que existían fórmulas en electricidad para relacionar, por ejemplo, la corriente y la resistencia. Encontré un día la fórmula para la frecuencia de un circuito resonante.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC}$$

Allí aparecía pi, pero ¿dónde estaba el círculo? Ustedes ríen, pero para mí el asunto era muy serio; pi es algo relacionado con círculos y aquí aparece en un circuíto eléctrico. ¿Dónde estaba el círculo? ¿Será que los que se están riendo saben de dónde sale este

Me enamoré tanto del asunto, pen-



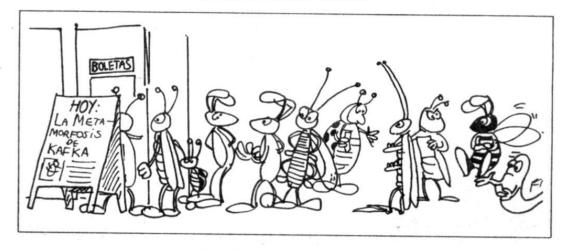
garlo. Así caí en cuenta de que las bobinas son circulares. Medio año después, encontré que en las expresiones de la inductancia para bobinas cuadradas también aparecía pi, luego no resultaba de las bobinas circulares. Hoy entiendo mejor el asunto; sin embargo en el fondo aún no sé muy bien dónde está el círculo y de dónde viene ese pi.

Aún era muy pequeño, no sé cuánto, cuando halaba un carrito con una esferita dentro; de pronto noté algo que corrí a decir a mi padre: "Cuando halo el carrito la bola corre hacia atrás, cuando corro con el carrito y paro, la bola corre hacia adelante, ¿por qué?" ¿Qué contestarían ustedes? Mi padre me dijo: "Eso nadie lo sabe", y añadió: "Es sin embargo general y sucede siempre y a todas las cosas. Lo que se esté moviendo tiende a seguir en movimiento. Si la cosa está quieta, tiende a seguir así. Si miras con atención observarás que la bola no se mueve hacia atrás con respecto al piso, sino hacia adelante, pero no tan rápido como el carrito, de manera que su parte trasera choca con ella. Para la bola es difícil iniciar el movimiento. A tal principio se le denomina inercia". Fui enseguida a comprobar lo que me había dicho. Mi padre estaba estableciendo la diferencia entre lo que sabemos de las cosas y los nombres que damos a ellas.

Respecto de los nombres y las palabras voy a contaries otra anécdota. Como vivíamos en Nueva York, en vacaciones íbamos a las montañas Catskill. Los pobres maridos tenían que trabajar pero regresaban a pasar los fines de semana con su familia. Frecuentemente, entonces, mi padre me llevaba al bosque para aprender cosas sobre la naturaleza. Mis amigos también querían ir pero mi padre se negaba a llevarlos aduciendo que yo era más avanzado. No estoy tratando de decirles cómo enseñar, porque lo que mi padre hacía. lo hacía con un único alumno; si hubiese tenido una clase con más de uno seguramente no hubiese podido hacerlo.

Así pues, en nuestras caminatas por el bosque íbamos solos pero en razón del gran poder de convicción de las madres, los otros padres tuvieron que llevar a sus chicos al bosque y así fue como un domingo todos fuimos a la caminata. Al día siguiente, lunes, cuando jugábamos un muchacho me dijo: "¿Sabes el nombre de ese pájaro que está sobre el trigo?". Yo le dije: "no tengo la más mínima idea"; entonces me respondió "es un tordo de garganta carmelita, no es mucha la ciencia que te enseña tu padre".

Reí para mis adentros, entendía que conocer el nombre no es saber mucho del pájaro. Mi padre ya me había



Aunque las definiciones no son ciencia, deben aprenderse. Convertir pulgadas a centímetros no es ciencia, pero es necesario saberlo. Las palabras son importantes para comunicarnos, y se deben enseñar, pero es muy importante saber cuándo estamos enseñando herramientas para la ciencia, como las palabras, y cuándo estamos enseñando ciencia.

dicho: "Mira ese pájaro, es un tordo carmelito; en Alemania lo Ilaman halzenflugel y en China chung ling, y aun cuando sepas todos estos nombres no sabes nada del animal, sólo sabes algo sobre la gente que lo Ilama así". Hay una gran diferencia entre lo que son las cosas y su nombre.

Aunque interrumpa el relato, voy a decir un par de cosas sobre las palabras y las definiciones. Aunque no son ciencia, deben aprenderse. No estamos hablando sobre qué se debe enseñar sino sobre qué es la ciencia. Convertir pulgadas a centímetros no es ciencia, pero es necesario saberlo. De la misma manera no es arte saber que un lápiz 3B es más suave que uno 2H, pero el profesor de arte debe enseñarlo y un artista debe saberlo (o descubrirlo a su debido tiempo, una vía científica que seguramente no utiliza el profesor de arte). Las palabras son importantes para comunicarnos y se deben enseñar. pero es muy importante saber cuándo estamos enseñando herramientas para la ciencia, como las palabras, y cuándo estamos enseñando ciencia.

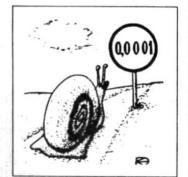
Para aclarar más aún mi punto de vista voy a criticar un libro de ciencias que desgraciadamente no es una excepción va que en otros se encuentran situaciones igualmente criticables. Un libro de primero de primaria comienza la primera lección de una manera desafortunada para enseñar ciencia, que da una idea errónea de lo que ella es. Ilustra un perrito de juguete de cuerda. luego una mano que lo acciona y finalmente al perrito en movimiento. Baio la última figura se pregunta: "¿Qué lo hace mover?". Luego aparece la foto de un perro verdadero y la misma pregunta, y así mismo después con una lancha de motor, etc. En un principio creí que la idea era que la ciencia tiene aspectos físicos, biológicos y químicos, pero no era esto. La respuesta que aparece en la "guía" del maestro es "la energía lo hace mover".

El concepto de energía es muy sutil y de difícil comprensión. Es decir, no es fácil entender la energía lo suficientemente bien como para utilizar el concepto en forma tan correcta que se pueda deducir algo a partir de él; escapa a nivel de primero de primaria. Esto es equivalente a decirle al niño cosas como "Dios lo hace mover" o "el espítu lo hace mover", o "la movilidad lo hace mover"; más aún, se podría decir igualmente "la energía lo hace parar".

Veamos otro aspecto. Si se trata de definir energía, el asunto puede invertirse; podemos decir que si algo se mueve posee energía, pero no que lo que lo hace mover es la energía; es una diferencia tan sutil como en aquel enunciado de la inercia. Quizás se puede aclarar más de la siguiente manera: si se pregunta a un niño qué hace que el perro de cuerda se mueva, debe pensarse en lo que respondería una persona común y corriente; podría ser: "el resorte enrollado trata de desenrollarse, con lo cual acciona el mecanismo". iQué buena forma de iniciar un curso de ciencia! Desbaratemos el juguete, veamos cómo funciona, observemos el mecanismo, los engranajes, la forma como fue armado, la ingeniosidad de los que diseñan estos y otros juguetes; esto sería excelente. Pero la respuesta del texto es desafortunada pues pretende enseñar una definición y no enseña nada. Supóngase que un estudiante dijera: "yo no creo que sea la energía lo que lo hace mover". ¿Hacia donde se orientaría la discusión después de esta respuesta?

Lo que considero grave es que en la primera lección se enseñe una fórmula mística para responder preguntas. El libro trae otras semejantes: "la gravedad lo hace caer", "la suela de los zapatos se gasta por la fricción". Decir simplemente que es por la fricción es triste, eso no es ciencia.

Algunas veces mi padre utilizó en sus conversaciones el término energía pero solo después de que yo tenía alguna idea acerca de ésta. Lo que él hubiera hecho con el perrito de juguete para dar la misma lección, habría



sido decir: "Se mueve porque el sol brilla". Yo hubiese respondido: "No. ¿Qué tiene que ver en esto el brillo del sol? Se mueve porque yo he enrollado el resorte". "Muy bien, pero ¿por qué has podido moverte para enrollar la cuerda?".

"Me alimento".
"Bien. ¿Qué comes?"
"Plantas"
"Y ¿cómo crecen las plantas?"
"Pues porque el sol brilla".

Lo mismo sucede con el perro y con la gasolina, en la cual la energía de sol es capturada por las plantas y preservada en la tierra. Muchos otros ejemplos terminan con el sol y vemos cómo la misma idea que el texto trata de enseñar se puede exponer en forma motivante: todas las cosas que vemos se mueven, lo hacen porque el sol está brillando. Así se explica entonces la relación de una fuente de energía con otra. Puede que el niño lo niegue y diga: "yo no creo que sea porque el sol brilla". Se iniciaría entonces una discusión, esta es la diferencia, después podría retarlo con las mareas y con lo que hace que la Tierra gire, y nuevamente tendríamos algo misterioso que afrontar.

Esto es sólo un ejemplo de la diferencia entre las definiciones (que son necesarias) y la ciencia. La única objeción en este caso particular es que se trataba de la primera lección; lo que es la energía debe ser tema posterior y no la respuesta a una pregunta tan simple como qué hace que el perro se mueva. A un niño debe respondérsele como niño que es: i Abrelo y mira dentro!

Durante aquellas caminatas por los bosques aprendí muchas cosas. En vez de enseñarme los nombres de los pájaros mi padre me decía por ejemplo: "Mira, observa que el pájaro siempre pica sus plumas, las pica mucho, ¿qué crees que está picando en ellas?" Contesté que quizás estaban despeinadas y las trataba de peinar. Me dijo: "Bien, cuándo y por qué se despeinarán las plumas?

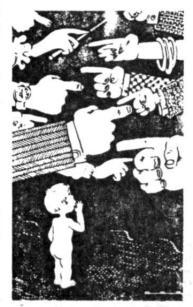
"Cuando vuela, cuando camina no lo creo, se despeinarán mientras vuela". A esto me dijo: "Supones entonces que las picarán más cuando acaba de aterrizar que cuando ya lleva un buen tiempo caminando por ahí. Bien, entonces observa". Y observamos, concluyendo que picaba sus plumas con igual frecuencia. sea que acabase de aterrizar o que ya hubiese caminado por un buen tiempo. Así pues mi suposición era errónea y como no pude aproximarme a la razón de la conducta de los pájaros mi padre me lo explicó. "Lo que pasa es que los pájaros tienen piojos, en sus plumas se forman unas lanillas que son alimento para los piojos y a su vez en las articulaciones de las extremidades de los piojos se secreta una cera de la que se alimenta un ácaro que vive allí mismo. Estos ácaros tienen tanta comida que no logran digerirla completamente y es por esto que de su parte posterior sale un líquido muy rico en azúcar en el cual vive una pequeña criatura la cual . . . "

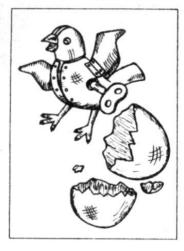
La información no es correcta, pero el espíritu de ella si. En primer lugar aprendí algo sobre parasitismo: el uno vive del otro, otros de aquellos, etc.; además, que donde exista una fuente de algo que pueda ingerirse para mantener la vida, alguna forma de vida la utilizará y que cualquier excedente será aprovechado por otro ser.

Lo importante de todo esto es que aun cuando yo no fuese capaz de llegar a la conclusión, las observaciones se convertían en una vivencia extraordinaria con un resultado maravilloso. Sí realmente era maravilloso....

Creo que es muy importante si se quiere enseñar a alguien a observar—por lo menos lo que fue para míque de la observación pueden resultar cosas maravillosas. Aprendí entonces en qué consistía la ciencia. Se necesitaba paciencia. Si se observa, si se pone mucha atención, casi siempre se logran recompensas fabulosas. Como resultado, siendo ya un hombre maduro trabajé con dedicación en algunos problemas, hora a hora, a veces durante años,

Decirle al niño que la "energía" hace mover un perro, es equivalente a decirle cosas como "Dios lo hace mover", o "el espíritu lo hace mover", o "la movilidad lo hace mover".





a veces por períodos cortos. Hubo muchas equivocaciones, muchas cosas fueron a parar al cesto de la basura, pero de vez en cuando aparecía una perla, una nueva comprensión; esto era algo que me había acostumbrado a esperar de las observaciones desde cuando era un niño. Y esto, porque se me enseñó que las observaciones valían la pena.

Aprendimos muchas otras cosas en el bosque. Veíamos las regularidades, conversábamos sobre distintos temas: el crecimiento de la plantas, cómo buscan los árboles la luz tratando de ir lo más alto posible y cómo consiguen llevar agua hasta la alturas de 10 o 12 metros, cómo las plantas que crecen muy poco aprovechan los escasos rayos de luz que les llegan, etc.

Un día, luego de ver todas estas cosas, regresamos al bosque y mi padre me dijo: "Hasta el momento sólo hemos visto la mitad del bosque, exactamente la mitad". "¿Cómo así?" pregunté. Y me dijo "Hemos observado cómo crecen las cosas, pero por cada ejemplo de crecimiento, existe otro de decaimiento (muerte); de no ser así, la materia se acabaría. Si los árboles luego de consumir todo lo existente de aire y de tierra no devolvieran al suelo o al ambiente lo que han tomado, no quedaría nada disponible para que otras cosas pudieran crecer. De cada "poquito" de crecimiento debe existir una cantidad exactamente igual de decaimiento.

Después siguieron muchas caminatas por el bosque; rompimos troncos viejos, vimos insectos y observamos el crecimiento de los hongos. Mi padre no pudo mostrarme las bacterias pero sí observamos sus efectos sobre algunas cosas. Contemplé el bosque como un proceso constante de intercambio de materia.

En ocasiones las charlas comenzaban de una manera bien extraña: "Supongamos que llegara un marciano a la Tierra". Un punto de vista interesante para analizar el mundo. Una vez cuando yo jugaba con mis trenes eléctricos me contó que muy lejos una rueda enorme giraba en una caída de agua. De la rueda salen miles de hilos de cobre que se extienden en todas las direcciones. Y al final de ellos otras ruedas pequeñas, como la de mi tren, dadaban vueltas cuando la rueda grande giraba. Y no había partes móviles que conectaran la rueda grande con las pequeñas, solamente hierro y cobre. i Este era el mundo maravilloso que mi padre me describía!

Podríamos preguntarnos ¿qué obtuvo mi padre de todo esto? Bien, fui a la universidad, luego estudié en Princeton y cuando regresé a casa me dijo: "Yo siempre he querido que me expliquen algo que nunca he entendido; tú has recibido una educación científica y creo que podrás hacerlo". Asentí, y me dijo: "Según entiendo, un átomo emite luz cuando pasa de un estado excitado a uno de menor energía", y comenté "eso es correcto". El continuó: "La luz es una clase de partícula llamada fotón, creo. Así pues, del átomo sale un fotón cuando pasa de un estado excitado a uno de menor energía y por consiguiente el fotón se debe encontrar en el átomo excitado". "Bueno, no", respondí. "¿Cómo se puede entender entonces que salga un fotón de allí si no estaba?". Reflexioné unos minutos y dije "Lo siento, no lo sé, no puedo explicártelo". Fue decepcionante para él, había pasado muchos años tratando de enseñarme cosas y los resultados eran muy pobres.

Pienso que podría definir la ciencia más o menos así: la evolución en este planeta llegó a una etapa en la cual aparecieron animales inteligentes, no me refiero solo a los seres humanos, sino también a animales que juegan y pueden aprender cosas a partir de la experiencia, como los gatos. En esta etapa sin embargo, cada animal aprendería de su experiencia propia. Un desarrollo gradual condujo a que alguna especie pudiese aprender más rápidamente; aun más, que aprendiese de las experiencias de otros, bien sea observándolos o porque otro le ense-

Quiero darle confianza al maestro de la base, decirle que debe confiar en sí mismo, en su sentido común y en su inteligencia. Los expertos que lo están dirigiendo pueden estar equivocados. Existe una increíble dosis de tiranía intelectual en nombre de la ciencia.

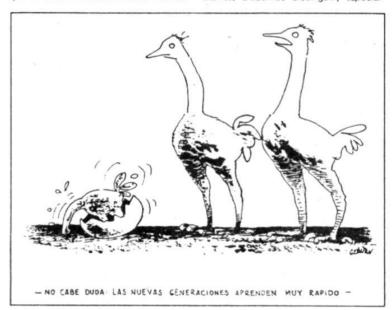
nase. Se presentó entonces la posibilidad de que todos aprendiesen, pero que debido a una transmisión ineficienteunageneración muriera antes de lograr transmitir a la siguiente lo que aprendió. Y entonces apareció la siguiente cuestión: ¿Será posible aprender más rápidamente lo que alguien aprendió por accidente antes de que se olvide, por mala memoria o por la muerte del aprendiz o de los inventores?

Quizás llegó entonces una época en la cual, para alguna especie se aumentó la rapidez del aprendizaje en tal medida que sucedió algo completamente nuevo: lo que un animal individual lograba aprender se pasaba a otro y a otro, con una rapidez tal, que la raza en su conjunto no perdía lo aprendido. Se dió entonces la posibilidad de acumulación del conocimiento. Se trata de un enlazamiento temporal. No sé quién lo llamó así por primera vez, el caso es que aquí estoy ante un conjunto de estos individuos que mientras están sentados, tratan de enlazar experiencias aprendiendo entre sí unos de otros.

El que la raza tuviese memoria, el que existiese una acumulación de co-

nocimientos transmisibles de una generación a otra era un fenómeno nuevo en el mundo. Pero esta situación implicaba un peligro. Así como era posible transmitir ideas provechosas para la raza también se podían transmitir ideas que no lo eran. Vino entonces una época en la que, a pesar de ser muy lenta la acumulación no era siempre de cosas útiles y prácticas sino de todo tipo de prejuicios y de creencias absurdas y extrañas. Finalmente se descubrió una forma de evitar este mal. Dudar de la veracidad de lo que nos es trasmitido del pasado y tratar de determinar ab initio nuevamente esas situaciones a partir de la experiencia, en vez de admitir las experiencias del pasado tal como nos llegan. Esto es la ciencia, es el resultado de descubrir que es valioso volver a comprobar lo logrado mediante las experiencias pasadas de la raza. Así lo veo y es mi mejor definición.

Otra cualidad de la ciencia es que nos enseña el valor del pensamiento racional y la importancia de la libertad de pensamiento. Son resultados positivos que provienen de poner en duda la veracidad absoluta de las lecciones. Debemos distinguir, especialDudar de la veracidad de lo que nos es transmitido del pasado y tratar de determinar ab initio nuevamente esas situaciones a partir de la experiencia, esto es la ciencia; es el resultado de descubrir que es valioso volver a comprobar lo logrado mediante experiencias pasadas.



La ciencia enseña que se debe dudar de los expertos. Podríamos definirla de esta manera: la ciencia es el convencimiento de la ignorancia de los expertos. mente al enseñar, la ciencia de las formas y procedimientos que se utilizan a veces para desarrollarla. Es muy fácil decir "escribimos, experimentamos, observamos y hacemos esto y lo otro". Esto se puede copiar exactamente. Sin embargo, grandes religiones han desaparecido por contentarse con la forma olvidando el contenido real de las enseñanzas de los maestros. De la misma manera, es posible seguir la forma y llamarla ciencia, pero eso es pseudo ciencia. Estamos padeciendo una especie de tiranía en algunas instituciones que han caído bajo la influencia de consejeros pseudocientíficos.

Tenemos hoy en día muchos estudios sobre la enseñanza en los cuales se detallan observaciones, se hacen listas. estadísticas y cosas por el estilo. Pero no por eso estos estudios constituyen ciencia establecida, conocimiento establecido. Son solamente formas imitativas de la ciencia. El resultado de esta imitación pseudocientífica es producir expertos. Tal vez los maestros aquí presentes que enseñan en el nivel elemental dudan de vez en cuando de los expertos. La ciencia enseña que se debe dudar de los expertos. Podríamos definirla de esta manera: la ciencia es el convencimiento de la ignorancia de los expertos.

Cuando alguien afirma que "la ciencia nos enseña esto y lo otro", está utilizando la palabra incorrectamente. La ciencia no nos enseña nada, nos enseña la experiencia. Si dicen "la ciencia ha mostrado que . . . "hay que pregun-

tar: "¿Cómo lo mostró? ¿Cómo lo encontró la ciencia? ¿Cómo? ¿Qué? ¿Dónde?". En vez de la ciencia ¿no será "este experimento, este efecto muestra que . . ."? Y cualquiera de ustedes, todos ustedes, tienen derecho como cualquier otro a juzgar si se ha llegado a conclusiones razonables a partir de la evidencia (eso sí, hay que ser pacientes y escuchar todas las evidencias).

En un campo tan complicado que la verdadera ciencia no ha llegado aún a nada debemos dejarnos guiar por la sabiduría tradicional, por una especie de decisión de "echar para adelante". Quiero darle confianza al maestro de la base, decirle que debe confiar en sí mismo, en su sentido común y en su inteligencia. Los expertos que lo están dirigiendo pueden estar equivocados.

Creo que estoy arruinando el sistema y que los próximos estudiantes que lleguen a la universidad posiblemente ya no serán tan buenos. Pienso que vivimos en una edad acientífica en la cual casi todo lo que ofrecen las comunicaciones, la televisión, las palabras y los libros, es acientífico. Y como consecuencia existe una increíble dosis de tiranía intelectual en nombre de la ciencia.

Finalmente, respecto al enlazamiento temporal debo decir que un hombre no puede vivir más allá de la tumba. Cada generación debe transmitir los descubrimientos que logra a partir de su experiencia, pero debe transmitirlos buscando un equilibrio sutil de respeto e irrespeto, de manera que no descargue sus errores en forma demasiado inflexible sobre la juventud sino que permita la transmisión de la sabiduría acumulada y además la sabiduría que reconoce que lo transmitido podría no ser muy sabio. Es necesario enseñar a aceptar y a rechazar el pasado en una especie de equilibrio que exige gran habilidad. Solamente la ciencia contiene en sí misma la enseñanza del peligro que reside en creer en la infalibilidad de los grandes maestros de las generaciones anteriores.

Es necesario enseñar a aceptar y a rechazar el pasado en una especie de equilibrio que exige gran habilidad. Solamente la ciencia contiene en sí misma la enseñanza del peligro que reside en creer en la infalibilidad de los grandes maestros de las generaciones anteriores.

El clima de la sabana de Bogotá

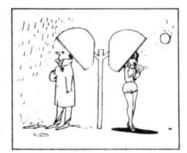
Con frecuencia se escuchan opiniones de este tenor sobre el clima en Bogotá: "el tiempo ha cambiado tanto que ya no se puede predecir nada", "antes era distinto, ahora llueve mucho". Estas y otras expresiones que se repiten una y otra vez en la obligatoria conversación de los bogotanos sobre el tiempo de hoy representan el sentir espontáneo ante las variaciones de las condiciones atmosféricas, pero son producto por una parte del desconocimiento de sus causas y por otra de las campañas de la prensa que se empeña en hacer ver "crudos inviernos" y "azotado res veranos".

El propósito del presente artículo es proporcionar al lector algunos elementos de juicio que le permitan comprender las causas y los componentes del clima, tomando como caso particular el clima de la sabana de Bogotá y al mismo tiempo llamar la atención sobre la importancia que tienen campos de aplicación de la física como la radiometría, la física de la atmósfera y la meteorología.

El Sol y su influencia sobre el clima

La energía que se libera en el interior del Sol por la fusión nuclear de 600 millones de toneladas de hidrógeno en helio cada segundo, asciende a la superficie del astro y se esparce por todo el espacio cobijando el sistema solar en forma de ondas electromagnéticas. Después de viajar una distancia de alrededor de 150 millones de kilómetros -distancia promedio entre el Sol y la Tierra-incide sobre la superficie terrestre, siendo en parte reflejada hacia el espacio y en parte absorbida por el sistema Tierra-atmósfera. produciendo el calor necesario tanto para la vida como para los procesos meteorológicos, y acumulándose en distintas formas sobre la superficie, como carbón, petróleo, madera, etc.

La energía de estas ondas electromagnéticas conforma lo que se denomina la radiación solar, y en su espectro es posible distinguir tres regiones que aportan diferentes cantidades de energía, a saber: el 7% de la radiación que incide sobre la atmósfera superior corresponde al ultravioleta, el 47% al visible y el 46% al infrarrojo. En su tra-yectoria hacia la superficie esta radiación es atenuada por la atmósfera y sufre (igualmente alteración en su composición espectral, debido a la absorción por gases como ozono (O₃), oxígeno (O₂), vapor de agua, gas carbónico (CO₂), nubes, partículas de polvo, aerosoles y otros contaminantes. Así, la radiación que finalmente llega a la superficie puede considerarse parte proveniente directamente del Sol sin cambio de dirección (radiación direc-



Fabio González Departamento de Física Universidad Nacional Bogotá

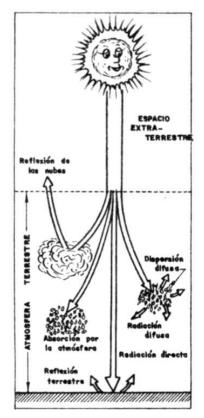


Figura 1. Distribución de la radiación solar.

- Si bien es cierto que existen cambios en la intensidad de los inviernos y los veranos, estos obedecen casi siempre a algún tipo de periodicidad. De tal forma que las inundaciones en zonas urbanas de Bogotá no son índice del recrudecimiento del invierno sino más bien una consecuencia de la invasión de zonas inhabitables por estar a un nivel inferior al del río Bogotá o sencillamente por carecer de alcantarillado, y los racionamientos de agua y energía eléctrica se deben más a la insuficiente capacidad instalada con respecto a la creciente demanda que a las variaciones del tiempo.
- Este ha sido uno de los inconvenientes más grandes que se ha encontrado para evaluar los datos de radiación solar tomados en varios sitios del país con actinómetros tipo Robitchz durante varios años, puesto que estos aparatos no fueron calibrados y las medidas no se pueden comparar ni siquiera entre ellas mismas.

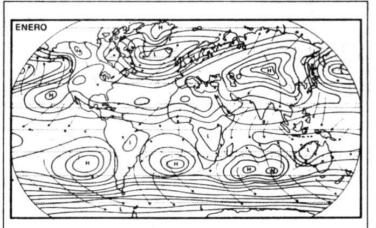


Figura 2. Distribución de vientos y presiones en enero. Les líneas gruesas son líneas de igual presión (isobaras) y las flechas señalan la dirección de los vientos. H: zonas de alta presión; L: zonas de baja presión.

ta) y parte proveniente del cielo en todas las direcciones (radiación difusa. Ver fig. 1). El balance de la energía solar en la superficie, junto con las variaciones de la energía que intercepta la Tierra debidas a la rotación sobre su propio eje y en torno al Sol dan origen al invierno y al verano y en general determinan el clima de las distintas regiones del globo terráqueo.

La circulación de la atmósfera sobre la Tierra se debe a los contrastes de temperatura entre las regiones ecuatorial y polar producidos por la desigual cantidad de energía solar incidente en cada latitud del globo, En este sentido puede verse a la Tierra como una gran máquina termodinámica cuyo evaporador es la superficie en los trópicos y cuyo condensador está en la atmósfera superior de las medias y altas latitudes, con temperaturas de 30°C y -30°C respectivamente, y con aire y vapor de agua como fluido de trabajo. Esta máquina es capaz de convertir alrededor del 2% de la energía solar incidente sobre el globo en energía cinética generando de esta manera los vientos, que influidos por la rotación de la Tierra corren en una distribución más o menos compleja, que que varía según la época del año (ver fig. 2).

Clima y Tiempo

La condición de la atmósfera en cualquier tiempo o lugar, es decir, el tiempo meteorológico se expresa como la combinación de varios elementos, principalmente radiación solar, brillo solar, temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos, o sea, los llamados elementos del tiempo y el clima. El tiempo en cualquier lugar es la suma total de las condiciones atmosféricas en un período corto; en este sentido hablamos del tiempo hoy, o del tiempo la semana pasada, El clima por su parte es un compendio o generalización estadística de las condiciones de tiempo que se presentan día a

Hallar el clima de una región es llegar, por medio de observaciones meteorológicas, a un conocimiento más o menos perfecto de lo que hay de periódico en la temperatura, la humedad relativa, los vientos, etc. Ahora bien. estos elementos climáticos son regulados en primera instancia por el Sol. Así que el conocimiento de los componentes que inciden directamente sobre la superficie terrestre, es decir, la radiación directa, la radiación difusa y su suma o radiación global en una localidad es indispensable para la determinación del clima y de gran utilidad en el estudio de los distintos procesos que se efectúan en la superficie terrestre, y que tienen que ver en general con la vida animal y vegetal.

E

que

) (ver

ra en

cir, el

como entos, brillo

n, hu-

a, los

y el

gar es

atmos-

en este

hoy, o

I clima o gene-

indicio-

n día a

n es lle-

nes me-

o más o

de pe-

umedad

ra bien,

Para la determinación del clima de una región debemos referirnos al comportamiento espacio-temporal de cada una de las variables climáticas sobre la base de promedios estadísticos. Este comportamiento se expresa como la suma de varios componentes:

$$E = E_o + C_A + C_d + C_x$$

E = variable climática

E_o = promedio histórico anual en ese punto

C_A = ciclo climático anual

C_d = ciclo climático diario C_v = otros factores influyentes.

 otros factores influyentes, como variaciones aleatorias debidas a procesos meteorológicos.

El promedio histórico, el ciclo anual y el ciclo diario son predecibles, mientras que el valor de $C_{\rm x}$ no se conoce y está afectado por gran cantidad de procesos que se suceden en la atmósfera a cada instante.

La medición de la radiación

Para la medición de la radiación global, directa y difusa, se requiere un instrumental más o menos sofisticado y personal técnico especializado en su manejo y en el análisis de los resultados. Por otra parte, para poder comparar los datos obtenidos con los de otras partes del mundo se requiere calibrar periódicamente los aparatos con patrones internacionales².

RELACION ENTRE LA RADIACION SOLAR Y EL BRILLO SOLAR

La variable más utilizada para la estimación de la radiación solar es el brillo solar, por la facilidad para instalar una red suficientemente densa y la relativamente fácil evaluación de su registro, por un lado, y debido a la gran correlación que presentan sus datos con los de radiación solar, por el otro.

El brillo solar es el tiempo en horas durante el cual el Sol está expuesto en el cielo, y por lo tanto hay radiación directa. El aparato más empleado en su medición es el Campbell-Stokes, el cual contiene una esfera de cristal que comportándose como un lente concentra los rayos solares sobre una cinta de papel, quemándola durante el tiempo que el Sol está incidiendo directamente sobre el aparato.

La forma general de la relación entre brillo solar y radiación solar fue propuesta por A. Angstrom en 1924, y se basa en las siguientes suposiciones: la radiación solar directa que llega a la superficie en días despejados es algo menor que la radiación solar fuera de la atmósfera, en un factor \boldsymbol{b} . O sea,

b X (radiación fuera de la atmósfera)

sería la radiación medida en la superficie, si el sol alumbrara todo el día. Como sólo alumbra el número de horas dado por el brillo solar,

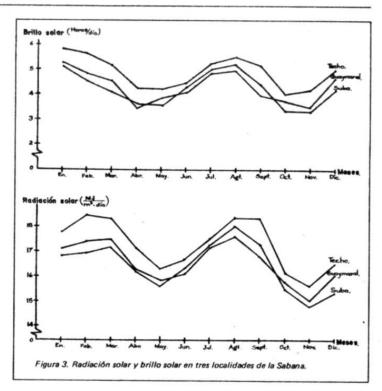
A esto hay que sumarle la radiación cuando el sol no aparece directamente, o radiación difusa. Esta es una fracción **a** de la radiación solar fuera de la atmósfera. El resultado final es entonces:

$$\frac{\text{Radiación solar medida en la superficie}}{\text{Radiación solar fuera de la atmósfera}} = a + b \left(\frac{\text{Brillo Solar}}{\text{Duración del día}} \right)$$

La radiación solar fuera de la atmósfera y la duración del día se calculan a partir de factores astronómicos y geográficos. Los valores de a y b dependen de las características atmosféricas y debe realizarse una correlación estadística para determinarlos en cada región.



- Actualmente en el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Bogotá se adelanta un programa para la medición de la radiación solar global, directa, difusa, las componentes ultravioleta e infrarroja del espectro y el balance de la misma en la superficie, contando para ello con los instrumentos adecuados y debidamente calibrados. Programas como este deberían iniciarse en todas las universidades del país como un primer paso para el conocimiento de este parámetro. Además del HIMAT, otras instituciones interesadas en la medición de la radiación solar son el IAN, la Federación de Cafeteros y el Inderena.
- A. Barrero P. y colaboradores: Régimen de precipitación en la sabana de Bogotá, Himat, Sección de Investigación y Aplicaciones Meteorológicas, Mimeo, 1977.
- A. Barrero P. y colaboradores: Temperaturas máximas y mínimas en la sabana de Bogotá. Himat, Sección de Investigación y Aplicaciones Meteorológicas, Mirreo, 1977.
- A. Barrero P. y colaboradores: Régimen de vientos en superficie de la sabana de Bogotá. Himat (Mimeo), 1978.
- A. Barrero P. y colaboradores: Régimen de brillo solar en la sabana de Bogotá. Hirnat (Mirneo), 1978.
- EAAB: Boletines informativos hidrometeorológicos 1954-1978. Bogotá, Col. 1978.
- CAR: Boletines estadísticos de hidrología y meteorología, Bogotá, Col.
- ICA, Himat: Archivo de datos hidrológicos y meteorológicos, Bogotá, Col.
- J. Garavito A: El clima de Bogotá. Anales de Ingeniería 11, 131, pg. 181 ss; 132 - 133, pg. 224 ss, 1899.
- J. Alvarez Lleras: La radiación solar en la sabana de Bogotá, Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. III, 8 y 9, pg. 112, 1939.
- R. C. Eidt: La climatología de Cundinamarca, Revista de la Academia de Ciencias III, 22, pg. 489, 1952.



Ahora, es muy difícil, si no imposible, llevar a cabo la instalación de una red suficientemente densa de este instrumental, que permita conocer la distribución espacial de la radiación solar³. Es necesario recurrir a métodos indirectos, que son de naturaleza estadística y están basados en la correlación que existe entre la radiación solar y otros parámetros meteorológicos como el brillo solar, la humedad relativa, la temperatura, etc. (ver recuadro).

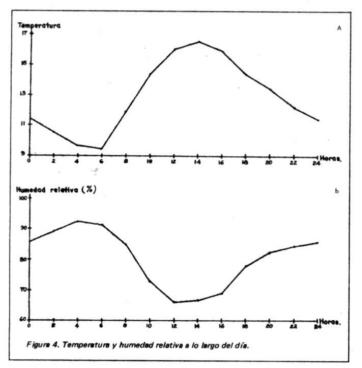
ALGUNOS ELEMENTOS DEL CLIMA DE LA SABANA DE BOGOTA

Un equipo de trabajo en la división de Meteorología del HIMAT bajo la dirección del ingeniero A. Barrero P. en 1977 y 1978 realizó la evaluación, revisión y análisis de los datos de precipitación⁴, temperatura⁵, vientos⁶ y brillo solar⁷ tomados en la sahana de

Bogotá por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá⁸, CAR⁹, Instituto Geofísico de los Andes e HIMAT¹⁰ durante más de 10 años. De estos análisis, de los estudios realizados anteriormente por J. Garavito Armero en 1899¹¹, J. Alvarez Lieras en 1939¹², Robert C. Eidt en 1952¹³, y de su posterior complementación y ampliación realizada en el Departamento de Física de la Universidad Nacional, se pueden obtener las siguientes conclusiones.

Radiación solar y el brillo solar

La regresión propuesta por Angstrom se hizo para Bogotá con los datos diarios de 7 años tornados en el Obsertorio Meteorológico Nacional (OMN) y resultaron los coeficientes a = 0.29 y b = 0.45 con los cuales se puede trazar el régimen de radiación solar en la sabana de Bogotá basado en los los datos de brillo solar. La figura 3 muestra la



variación anual del promedio mensual sa que bordea la sabana al oriente y al de la radiación solar y el brillo solar en tres localidades de la sabana. Se observan dos máximos, alrededor de enero y febrero y alrededor de julio y agosto y dos mínimos, uno alrededor de abril y el otro en octubre, coincidiendo los máximos con la temporada seca y los mínimos con la lluviosa.

En promedio sobre la sabana, y exceptuando los meses de mayo y junio, se recibe mas energía en las horas de la mañana que por la tarde, lo que se explica por la dirección de los vientos. En el área al pie de la montaña al oriente la situación cambia un poco, recibiéndose más energía en la tarde que en la mañana de mayo a septiembre.

Por otra parte, a pesar de que la sabana se considera un homoclima, la radiación solar no está igualmente distribuida, sino que presenta un gradiente creciente desde la cadena montañonoroccidente hacia la parte suroccidental, siendo esta última la zona que más energía recibe durante todo el año.

Evidentemente el brillo solar tiene el mismo ciclo anual y diario que la radiación solar. El promedio histórico del total de horas de sol al mes está entre 100 y 150 horas dependiendo de la localización.

Nubosidad

El cielo de la sabana de Bogotá es considerado como esencialmente nuboso, puesto que según las estadísticas apenas el 3.3% de los días del año corresponden a días con cielo completamente limpio.

Las figuras 4a y 4b muestran la variación diurna y anual de la nubosidad y la humedad relativa. Se observa que



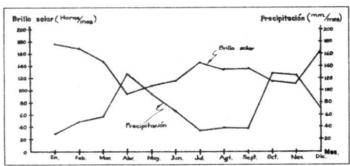


Figura 6. Brillo solar y precipitación a lo largo del año.

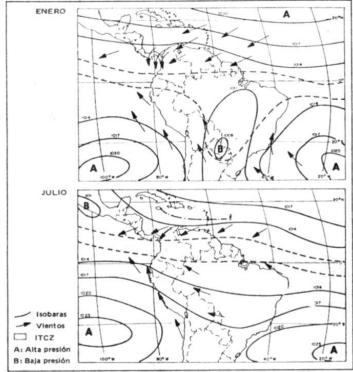


Figura 5. Zona de convergencia intertropical (ITCZ).

En la zona ecuatorial, por ser la región de más alta temperatura, confluyen vientos procedentes del norte y del sur los cuales, influidos por la rotación de la Tierra tienen una componente hacia el occidente. El cinturón alrededor de la Tierra conformado por las regiones en donde se encuentran los vientos se conoce como la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ). La posición geográfica de esta faja no permanece constante, sino oscila desplazándose hacia el norte y hacia el sur en el curso del año ocupando en enero la posición extrema sur y en julio la norte. La figura ilustra este comportamiento de los vientos para la zona andina; se observa la ITCZ en enero y julio. La región sombreada se caracteriza por escasez de vientos, gran contenido de humedad y abundante precipitación debido a la inestabilidad del aire.

durante el día hay un máximo entre las 12 am y las 12 pm, lo que concuerda con la distribución diurna de la precipitación. Durante el año la nubosidad presenta dos máximos (precisamente cuando la ITCZ pasa por la sabana, ver fig. 5) y dos mínimos.

Precipitación

Se distinguen tres zonas. La primera está conformada por las estribaciones de la cadena montañosa que bordea la sabana en la parte oriental, en donde se registran los valores más altos de precipitación durante todo el año. La segunda es toda la parte central y suroccidental, con valores de precipitación más bajos, y la tercera compuesta por las estribaciones de la cadena montañosa al noroccidente, registra valores casi tan altos como la primera. En las regiones primera y tercera los totales anuales promediados oscilan entre 1000 y 1200 milímetros14, mientras en la segunda oscilan entre 600 y 900 milímetros. La precipitación tiene también una distribución bimodal durante el año, con dos temporadas secas y dos temporadas Iluviosas bien definidas. La figura 6 ilustra esta característica: los máximos de Iluvia coinciden aproximadamente con los mínimos de brillo solar y de radiación solar.

En la figura 7 se observa la distribución de lluvias sobre la sabana, y su variación a lo largo del año. Las lluvias dependen del movimiento de la Zona de Interconfluencia Tropical: durante la temporada húmeda, o sea los meses durante los cuales esta zona pasa sobre la sabana (abril y mayo, y posteriormente octubre y noviembre), el mecanismo de generación de Iluvias es el convectivo: el calentamiento producido por el sol matinal da lugar al ascenso de masas de aire húmedo para formar nubes de gran inestabilidad que dan lugar a una abundante precipitación en las horas de la tarde. El otro tipo de lluvias es aquél en el cual el ascenso se produce por la orografía, y depende más de la circulación atmosférica local.

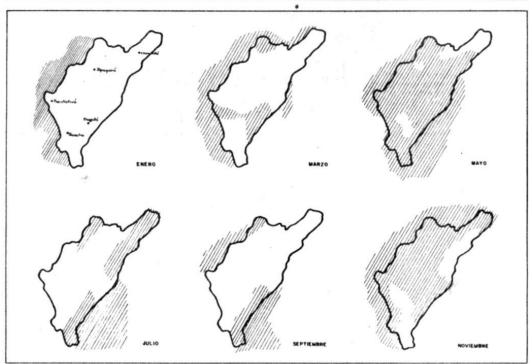


Figura 7, Distribución anual de Iluvias sobre la sabana.

////Lluvias de más de 60 mm.

Temperatura

La temperatura promedio anual en Bogotá es muy estable. El promedio en la ciudad está entre 13 y 14°C, y se considera que la isla de calor generada en la urbe conlleva un ligero incremento del promedio en el centro comparado con las afueras de la ciudad. Sobre la sabana el promedio se mantiene entre 12 y 13°C, con un pequeño decrecimiento hacia el sur, debido a los vientos fríos que soplan cuesta abajo desde el páramo por el valle del río Tunjuelito y a la poca nubosidad durante el día en la zona, causando mayores pérdidas térmicas.

Las variaciones del promedio mensual durante el año son realmente pequeñas (nunca mayores de 1°C) y presenta dos máximos y dos mínimos, coincidiendo los primeros con las temporadas húmedas y los segundos con las temporadas secas. La explicación de este fenómeno está en el hecho de que la nubosidad es el principal factor que regula la temperatura en la sabana, debido a la pequeña velocidad y poca persistencia de los vientos.

Las variaciones durante el día son importantes. En promedio, la menor temperatura se presenta entre las 4 y las 5 de la mañana y la mayor alrededor de las 2 de la tarde. La amplitud de esta oscilación diurna varía de mes a mes, y es mayor en la temporada seca de diciembre, enero y febrero, cuando en promedio llega a 9°C. La temperatura mínima y máxima (promedios) en Bogotá es de 8 y 19°C. Fuera de la ciudad la mínima promedio puede llegar a 2°C en el sur y la máxima a 22°C también en el sur. □



1 mm de precipitación es la unidad para medir intensidad de precipitación, y es equivalente a la caída de 1 litro de agua por cada metro cuadrado de superficie. Conferencia del profesor Abdus Salam dirigida a los estudiantes de la Universidad de Estocolmo el 23 de septiembre de 1975, Traducida y adaptada por el Comité Editorial

Ideales y realidades

Por un nuevo orden económico internacional

Un "humilde científico" dedicado a las ciencias naturales, proveniente de un país en desarrollo, analiza la crisis global de disparidad entre países pobres y países ricos.

Acaban de concluir las sesiones especiales de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en las cuales los países pobres exigieron a los países ricos el establecimiento de un nuevo orden económico internacional. Mi propósito hoy es tener un diálogo con ustedes y explorar las vías mediante las cuales podría eliminarse la casi total incomprensión de las naciones ricas sobre lo que las naciones pobres realmente están demandando.

La crisis a corto plazo que el mundo enfrenta es la siguiente: los países en desarrollo -9/10 de la humanidadestán en bancarrota. Nosotros los pobres le debemos a los ricos -1/10 de la humanidad- alrededor de 50 mil millones de dólares1. Los más pobres entre nosotros no estamos ni siquiera en capacidad de pagar los intereses de nuestros préstamos y mucho menos de conseguir los 10 mil millones de dólares para importar cada año 10 millones de toneladas de cereales que necesitamos para alimentarnos. Mi propio país, Pakistán, debe alrededor de 6 mil millones de dólares, cantidad igual al producto nacional bruto de un año y del mismo orden de los ingresos que recibe por exportaciones durante 6 años.

Pero esta crisis a corto plazo es únicamente una parte de una crisis a largo plazo. El "mundo está terriblemente desequilibrado en ingreso y consumo. Por lo menos tres cuartas partes del ingreso del mundo, de su inversión, de los servicios y casi toda la investigación están concentrados en las manos de la cuarta parte de su población y no se vislumbra ningún mecanismo que pueda disminuir este desequilibrio dentro del marco del devenir tradicional, es decir, de la economía de mercado.

No debe sorprender que las naciones pobres consideren como un fraude cualquier concepción del desarrollo basada en el sistema económico tradicional imperante. Este es el sistema que en los últimos 20 años creó liquidez y créditos por 120 mil millones de dólares situando tan sólo el 5% de ellos en las naciones pobres. Este es el sistema que paga 200 mil millones de dólares por las mercancías que se producen en el mundo de las cuales únicamente 1/6 Ilega al productor primario mientras que los otros 5/6 se reparten entre distribuidores e intermediarios en los países ricos. Este es el sistema que otorgó 7 mil millones de dólares en ayuda a los países pobres el año anterior pero tomó casi la misma cantidad a través de los precios deprimidos de las mercancias que les compra.

Quisiera contarles a ustedes cómo un humilde científico dedicado a las ciencias naturales, que proviene de un

Abdus Salam

Premio Nobel de Física, 1979

Director del Centro Internacional de Física Teórica en Trieste, Italia.

Hoy en día esta cifra es la mitad de la deuda de un solo país: México, (Nota del C. E.). país en desarrollo, mira la crisis global de disparidad entre ricos y pobres.

La Dominación de Occidente

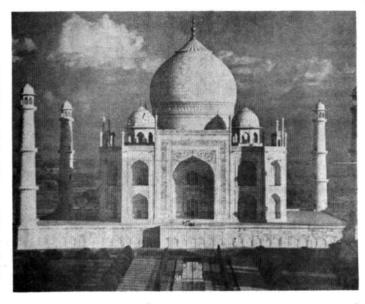
Para entender lo que piensa la humanidad más pobre, se debe entender cuán reciente desde nuestro punto de vista es esta disparidad. Es bueno recordar que hace tres siglos, por el año 1660, se erigieron dos de los más grandes monumentos de la historia moderna, el uno en Occidente y el otro en Oriente: la Catedral de San Pablo en Londres y el Taj Mahal en Agra; éstos simbolizan el nivel comparativo de tecnología, de habilidades, de riqueza, de sofisticación que estas dos culturas habían logrado por esta época.

Pero por la misma época también se creaba -solamente en Occidente- un tercer monumento, un monumento aún mayor por la importancia que tendría para la humanidad: los Principia de Newton, publicados en 1687. El trabajo de Newton no tuvo contraparte en la India de los mogules. Quisiera describir el destino de la tecnología que construyó el Taj Mahal cuando entró en contacto con la cultura y la tecnología simbolizadas por los Principia de Newton. El primer impacto tuvo lugar en 1757. Casi 100 años después de la construcción del Taj Mahal el poder de armas de fuego relativamente pequeñas infligió una humillante derrota a los descendientes del Shah Jahan. Cien años después, en 1857, el último de los mogules se vió forzado a renunciar a la corona de Delhi en favor de la reina Victoria. Con él no solamente llegó a su fin un imperio sino también una completa tradición en arte, tecnología, cultura y aprendizaje. En 1857 el inglés ya había reemplazado al persa como lenquaje oficial del estado hindú, inclusive en las escuelas. Shakespeare y Milton reemplazaron la lírica amorosa de Hafiz y Omar Kayam en los curricula de las escuelas; los Cánones Médicos de Avicena se olvidaron y el arte de las muselinas en Daca fue destruido dando paso a los estampados de algodón de Lancashire.



Catedral de San Pablo en Londres. Obra monumental del célebre arquitecto inglés Sir Christopher Wren, construida entre 1675 y 1711.

El Taj Mahal en Agra (India), construido por orden del Shah Jahan entre 1632 y 1654 como tumba de su esposa preferida.



Por lo menos tres cuartas partes del ingreso del mundo, de su inversión, de los servicios y casi toda la investigación están concentrados en manos de la cuarta parte de su población, y no se vislumbra ningún mecanismo que pueda disminuir este desequilibrio dentro del marco del devenir tradicional.

Los cien años siguientes de la historia de India constituyen una crónica de explotación más sutil. No hablaré de esto sino del medio científico y tecnológico en el cual crecí siendo un muchacho en la India británica. Los británicos establecieron alrededor de unas 31 escuelas superiores de artes liberales en lo que ahora es Pakistán, para una población que en ese entonces era de alrededor de 40 millones. Tan sólo una Facultad de Ingeniería y una de Agricultura. Los resultados de estas políticas podían preverse: la revolución química de los fertilizantes y los pesticidas en la agricultura no nos tocó, las habilidades en la manufactura fueron olvidadas. Hasta un arado de acero debía importarse de Inglaterra. Fue en un medio como éste donde yo inicié la investigación y la enseñanza en física moderna, hace 25 años, en la Universidad de Panjab en Lahore.

Pakistán acababa de obtener su independencia tras 100 años de dominio británico; teníamos en ese entonces un ingreso per cápita de 80 dólares al año, la población crecía a una tasa del 3% anual y tan solo el 20% de ella sabía leer y escribir.

Los excedentes de trigo de los Estados Unidos vinieron generosamente, al principio en tal abundancia que uno de nuestros ministros de finanzas habló de prohibir por ley el cultivo de trigo en Pakistán, para cultivar tabaco en su lugar. Importamos de la Universidad de Harvard talentosos planificadores del desarrollo quienes nos dijeron que no necesitabamos una industria del acero, pues podíamos traer el que quisiéramos desde Pittsburg. Cedimos la importación de petróleo e incluso la distribución de sus productos derivados dentro de nuestro país a multinacionales, Ilas que adelantaron, en esa época de excedentes de petróleo, apenas una búsqueda a medias de petróleo en nuestro país.

Pakistán era entonces un caso clásico de economía post-colonial: el tutelaje político se intercambió por un tutelaje económico. En este esquema de cosas nuestro papel era proveer mercancías baratas, principalmente yute, té, algodón, cuero sin procesar. Y fue en 1956 cuando recuerdo haber oído por primera vez sobre el escándalo del precio de las mercancías, esto es, una continua baja en los precios de lo que nosotros producíamos, acompañado de fluctuaciones violentas, mientras los bienes industriales que importábamos subían inexorablemente como consecuencia de las políticas de bienestar y seguridad social de los países en desarrollo, establecidos dentro de sus propias sociedades. A todo esto se le llamaba economía de mercado. Y cuando construimos industrias manufactureras con maquinaria importada a grandes costos, y fabricamos por ejemplo ropa de algodón, se erigieron barreras arancelarias contra las importaciones provenientes de nuestro país. Por nuestra mano de obra más barata, fuimos acusados de competencia desleal.



Pakistán importó de la Universidad de Harvard talentosos planificadores del desarrollo quienes nos dijeron que no necesitábamos una industria del acero, que podríamos traer el que quisiéramos desde Pittsburg. Pakistán era entonces un caso típico de economía postcolonial: el tutelaje político se intercambió por un tutelaje económico.

Ni se necesitaba, ni se apreciaba el desarrollo de una ciencia y una tecnología propias. Cualquier tecnología que necesitáramos, la comprábamos. Esta tecnología venía con todo tipo de restricciones, por ejemplo, que ningún producto que la empleara podía exportarse. Además no toda la tecnología estaba para la venta: Pakistán por ejemplo no pudo comprar la tecnología de la manufactura de la penicilina en 1955. Algunos químicos jóvenes de Pakistán, entre ellos mi hermano, reinventaron el proceso, produciendo como resultado de su inexperiencia penicilina a 16 veces el precio internacional.

A comienzos de los años 50 veía mi futuro como contribuyente al avance pakistaní en tecnología y desarrollo como inexistente. Tan sólo podía ayudar a mi país de una manera —como un buen profesor— y esto lo hacía para preparar más físicos quienes por falta de cualquier industria, se convertirían también a su turno en profesores, o abandonarían el país.

Pero pronto me pareció claro que aún este papel -el de un buen profesor- se haría imposible para mí. Sometido a un aislamiento extremo en Lahore a donde no llegaba ningún tipo de literatura en física, donde no existían contactos internacionales, ni otros físicos a mi alrededor, era un completo desadaptado social. Supe que así, completamente solo, no tenía esperanzas de cambiar las políticas del Pakistán por lo menos en lo concerniente al valor que se le debe dar a la ciencia y a la tecnología. Tan sólo había un recurso, y éste era hacer un llamado a la comunidad científica internacional para avudar a preservar mi propia integridad profesional. Así, en 1954, comencé a involucrarme en las Naciones Unidas.

Las Naciones Unidas

La primera oportunidad que tuve de jugar un pequeño papel en los asuntos públicos apareció en 1955 cuando se llevó a cabo en Ginebra la conferencia de Atomos para la Paz. Se trataba de la primera conferencia científica realizada bajo el auspicio de las Naciones Unidas, la primera en la cual el secreto Este-Oeste, que se extendía entonces aún a información científica trivial como las secciones eficaces de dispersión de neutrones, se levantó parcialmente.

Como consecuencia de la Segunda Conferencia de Atomos para la Paz en 1958, el gobierno pakistaní se interesó en la energía atómica. Pakistán no tenía petróleo, muy poco gas y un potencial hídrico reducido. Necesitaba energía atómica. En 1958 el Presidente Ayub Khan asumió el poder y fui llamado para colaborar en la creación de la Comisión de Energía Atómica, Decidimos que en ausencia de cualquier otra organización en nuestro país era nuestra obligación crear grupos de investigación e institutos de investigación en todos los campos de interés nacional, además de la industria atómica, como agricultura y salud. Para hacerlo y para llenar las necesidades de las universidades pakistaníes debíamos entrenar químicos, matemáticos, físicos, agrónomos, en las mejores instituciones del mundo. Establecimos un programa de entrenamiento con nuestros escasos recursos. Para terminar el aislamiento de la ciencia en Pakistán -el problema que yo enfrenté- dependeríamos de la ayuda internacional.

En 1962 Dag Hammesköld, en ese entonces Secretario General de las Naciones Unidas, propuso la realización en 1963 de una Conferencia sobre Ciencia y Tecnología. Aún más que los líderes del mundo en desarrollo, él reconoció que era importante establecer una capacidad científica propia en investigación y desarrollo en esos países. Esto era necesario, como mínimo, para lograr un conocimiento que le permitiera a un país seleccionar y negociar la compra y asegurar la asimilación eficaz de la tecnología que sus objetivos sociales y económicos re-



No toda la tecnología estaba para la venta: Pakistán no pudo comprar la tecnología de la manufactura de la penicilina en 1955. Algunos químicos jóvenes reinventaron el proceso, produciendo como resultado de su inexperiencia penicilina a diez y seis veces el precio internacional.

Es necesario, como mínimo, lograr un conocimiento que le permita a un país seleccionar, negociar la compra y asegurar la asimilación eficaz de la tecnología que sus objetivos sociales y económicos requieren. Los planificadores de la economía olvidan muy a menudo que el mundo moderno y sus problemas son una creación de la ciencia y la tecnología.

Organización Internacional de Energía Atómica, OIEA; en inglés IAEA o sea International Atomic Energy Agency, (Nota del C, E.), querían. El reconocía que los países en desarrollo no sólo necesitaban el *know how* (saber cómo) sino también el *know why* (saber por qué) para que el desarrollo tecnológico fuera un injerto que pudiera prender en el mundo más pobre.

La Conferencia propuesta por Hammesköld tuvo lugar en 1963. Nosotros, los de los países en desarrollo, propusimos la creación de una Agencia Internacional para la Ciencia y Tecnología respaldada por un Banco Internacional para el Desarrollo Tecnológico. Además de fortalecer la ciencia propia en los países en desarrollo la Agencia podría actuar como un cuerpo planificador y programador que adelantara estudios de factibilidad, diseñara programas y lograra su implementación. La existencia de instituciones como ésta hubiera podido enfatizar lo que los planificadores de la economía olvidan tan a menudo, o sea, que el mundo moderno y sus problemas son una creación de la ciencia y la tecnología.

Propusimos esto y lo defendimos, pero nos encontramos con un muro

de incomprensión -o quizás algo peor- por parte de los delegados de los países industrializados, quienes se opusieron a la idea de una agencia de este tipo. Aparentemente ellos preferían que el esfuerzo científico y tecnológico de las Naciones Unidas permaneciera débil y fragmentado dentro de todo el sistema. No había deseo de su parte de compartir la tecnología con el mundo en desarrollo por fuera del sistema ya existente de licencias que operaba de la manera que ya describí en el contexto de Pakistán, en la historia de la producción de penicilina. El legado final de esta Conferencia fue la creación de un Comité Asesor en Ciencia y Tecnología, compuesto por 18 personas.

Encontré el mismo tipo de incomprensión en el foro de la I.A.E.A.² cuando lancé la idea de la creación de un Centro de Física Teórica. Un delegado llegó tan lejos como para decir: "La física teórica es el Rolls Royce de las ciencias, lo que los países en desarrollo desean no es más que una carreta de bueyes". Para él una comunidad de 25 físicos y 15 matemáticos con un



elevado nivel de preparación para un país que como Pakistán tenía una población de 60 millones, eran 40 hombres desperdiciados. Que estos fueran los responsables de todas las normas en el espectro completo de la enseñanza de la física y las matemáticas en Pakistán era para él totalmente irrelevante. Al fin y al cabo él era un economista. Podía entender la necesidad de economistas con elevada preparación, pero para él físicos y matemáticos constituían un desperdicio.

Algunos hechos posteriores

Alrededor de 1968 comenzó la revuelta estudiantil al tiempo que se reconocía que el hombre estaba destruyendo su medio ambiente. En ese entonces sentí, como siento aún hoy, que el mundo en desarrollo había perdido un gran momento, un gran aliado potencial, una fuente potencial de fuerza, cuando la energía de la juventud mundial se concentraba en el tema del medio ambiente y no se comprometía al mismo tiempo con la causa más global del desarrollo del mundo.

Por estos años vino el fracaso repetido de las conferencias de la UNC-TAD que se realizaron para proponer un freno a la caída de los precios de los productos de exportación de los países en desarrollo. Las propuestas de la UNCTAD y su fervoroso llamado para lograr alguna estabilidad en los precios de las mercancías provenientes de los países en desarrollo recibieron un burlón desdén. Y esto en un año que vio crecer el índice de los precios de los productos manufacturados a 140 mientras el índice de los precios de las materias primas bajaba a 114. Así, solamente en ese año, los pobres subsidiaron las economías de bienestar de los ricos en un 26% de sus ingresos.

En 1972 tuvo lugar la gran Conferencia sobre el Medio Ambiente en Estocolmo. Se resaltó el hecho de que el medio ambiente estaba siendo destruido y de que algunos países contribuían más que otros a la destrucción. Más aún, se destacó la interdependencia de

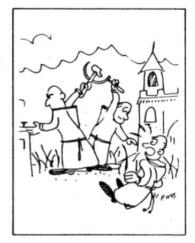
la comunidad humana para resolver los problemas que allí se advirtieron.

En 1972 apareció el reporte del Club de Roma sobre los Límites Externos al Crecimiento, con la tesis de que los recursos de la Tierra son finitos y que no pueden sostener el crecimiento indefinido de las economías industrializadas

Advirtiendo estos hechos notables y reconociendo que los países desarrollados no producirían un Mesías, ni siquiera un Keynes, que clamara por la justicia social entre las naciones, los países en desarrollo decidieron en 1974 usar el foro de las Naciones Unidas para hacer un llamado por un Nuevo Orden Económico Internacional.

El Nuevo Orden Económico Internacional

La Declaración de Río comienza su preámbulo así: "Los países desarrollados se han mostrado reacios para iniciar y sostener un cambio. Habiendo obtenido buena parte de su riqueza a partir de recursos y materias primas baratas provenientes de países en desarrollo, rehusan aún a abrir sus mercados a países del tercer mundo. Rechazan reconocer que modificar sus estilos de



Les de la constante de la cons

Cerca de medio millón de científicos e ingenieros, casi la mitad de los recursos humanos de todo el mundo para ciencia y tecnología, están dedicados a la investigación militar.

vida es inevitable, como también lo es modificar sus patrones de consumo, el mantenimiento de los cuales requiere una parte desproporcionada de los recursos del mundo. Han empleado el poder que les da la ciencia y la tecnología para adelantar políticas moldeadas por intereses egoístas sobre los océanos del mundo y están malgastando una fracción apreciable de los recursos humanos y materiales disponibles para el desarrollo científico acumulando armas para la destrucción en masa". El documento continúa diciendo que "la lucha del tercer mundo es por la liberación económica, igualdad de oportunidades, redistribución de las oportunidades de crecimiento de futuras, y el derecho a sentarse en las mesas de negociaciones como iguales".

Para observar cómo los ideales expresados en las resoluciones de las Naciones Unidas, se han convertido en realidades, analicemos los gastos militares con algún detalle.

Gastos en Armamento

En 1973 los gastos militares en todo el mundo fueron de 245 mil millones de dólares. Esta suma es 163 veces
mayor que la destinada a cooperación
internacional para la paz y el desarrollo de las naciones a través del sistema
de las Naciones Unidas. Las superpotencias gastaron el 50% de estos 245
mil millones y las alianzas militares el
30%. Desafortunadamente la porción
que corresponde al tercer mundo se
incrementó entre 1955 y 1975 del 6 al
17%. Los gastos militares del mundo
son ahora mayores que el producto na-

cional bruto de todos los países de Africa y el sur de Asia. Durante la época del 60 al 70 el gasto militar fue de 4 billones de dólares. Esta cifra es mayor que los bienes y servicios producidos por la humanidad en un año.

Cuando consideramos la situación en hombres y materiales el panorama de gastos militares es aún más desconsolador. Cerca del 7% de todas las materias primas de los países más ricos es consumido por la industria de armamentos; se estima que alrededor de 50 millones de personas se emplean en proyectos militares. Cerca de medio millón de científicos e ingenieros, casi la mitad de los recursos humanos de todo el mundo para ciencia y tecnología, están dedicados a la investigación militar. La situación es clara, no son los países pobres los que amenazan el equilibrio global, son los ricos, las rivalidades entre ellos y sus deseos de mantener el poder militar.

Para resumir, la exigencia de un Nuevo Orden Económico Internacional es una demanda por un nivel mínimo de vida, de seguridad económica de todos los ciudadanos, una política deliberada de desarrollo y redistribución para lograrlo. Lo que los países en desarrollo realmente desean en el plano sicológico es recuperar el sentido de dignidad y autorrespeto del que disfrutaron durante siglos y que perdieron únicamente durante el breve período de dominación occidental, dominación basada esencialmente en una revolución industrial y tecnológica que difícilmente completa dos siglos. El hecho de que país tras país en todas partes del mundo haya sucesivamente, y con éxito, dominado la tecnología es algo que tienen en cuenta aquellos que aún están atrás. Lo que piden los países en desarrollo no es migración ilimitada a áreas abiertas no cultivadas o de baja utilización en el planeta. Nunca han solicitado una transferencia de ingresos, riquezas o recursos a un nivel exorbitante. Tan sólo solicitan compartir tecnología en alguna medida significativa y un trato comercial más equitativo.

Lo que los países en desarrollo realmente desean en el plano sicológico es recuperar el sentido de dignidad y autorespeto del que disfrutaron durante siglos y que perdieron durante el breve período de dominación occidental, dominación basada esencialmente en una revolución industrial y tecnológica que no completa dos siglos.

Motivaciones para una política científica

Reflexiones sobre la necesidad de impulsar la ciencia en los países en vía de desarrollo

El propósito de estas reflexiones es indagar cuáles pueden ser las justificaciones de una política científica autónoma en los países subdesarrollados. Sin estas justificaciones, la ausencia de repercusiones inmediatas en el desarrollo económico podría llevar a concluir que la ciencia debe ser patrimonio exclusivo de un restringido número de países avanzados.

El problema de determinar cuál es el tipo de ciencia y en qué medida se debe apoyar en un país en vía de desarrollo, tiene un alto interés no sólo teórico sino político, pues en la respuesta que se dé esta implícito, naturalmente, el razonamiento puramente político sobre las finalidades que se desean alcanzar a través del desarrollo científico del país. El problema presenta un interés especial cuando se considera que la situación económica contemporánea hace posible que algunos países subdesarrollados -piénsese en los países productores de petróleorealicen grandes inversiones en los sectores científico y educativo.

Sobre esta problemática es posible formular dos tesis extremas. La primera ha sido planteada por ejemplo por Mario Laserna, uno de los fundadores de la Universidad de los Andes, en el discurso de apertura de un Simposio Internacional de Física que se desarrolló en esa misma Universidad en 1979.

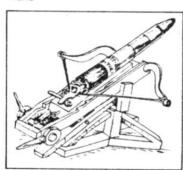
Sustancialmente, según la tesis de Laserna, existe una diferencia insuperable entre aquellos países con avanzado desarrollo industrial y aquellos en vías de desarrollo. Esta diferencia se manifiesta en varios niveles, tanto en el campo del desarrollo científico en sentido estricto como en el de la organización económica y en el del desarrollo tecnológico. Ella debería ser aceptada

como un hecho inmutable impuesto por la situación y no tendría sentido alimentar la vana perspectiva de eliminarla. Habría que limitarse, por el contrario, a importar aquella tecnología estrictamente necesaria para satisfacer las necesidades más urgentes de una economía sustancialmente pre-industrial. Esta renuncia tendría la ventaja. según la tesis en cuestión, de evitar la importación de un modelo cultural basado en la supremacía de la ciencia y de la técnica, modelo extraño a la cultura local, e intrínsecamente pobre en valores "humanísticos". Las energías intelectuales deberían, por el contrario, emplearse en otra dirección, para potenciar aquellos sectores de mayor significado para la cultura del país. Esta tesis toma como referencia la realidad presente en muchos países en vías de desarrollo: ciertamente muchos países latinoamericanos poseen una auténtica cultura autóctona, que al menos en lo que se refiere a la élite, es de corte esencialmente humanístico.

Es evidente que tal tesis sanciona una neta separación entre países donde se crea cultura científica y tecnológica y países que se limitan a hacer uso de ella y a importar algunos de sus productos. Se debe agregar, sin embargo, que esta separación sanciona de hecho una dependencia económica y política de los segundos con respecto a los primeros particularmente en la medida en

Marcello Cini Instituto de Física de la Universidad de Roma

Galileo Violini Instituto de Física de la Universidad de Roma





que entre los valores de una cierta sociedad, se le asigne un peso especial a aquellos orientados al consumismo.

La tesis completamente opuesta y que sin duda tuvo notable éxito en la segunda postguerra, cuando se conformaron las líneas directrices bajo las cuales se llevó a cabo la reconstrucción de Europa, es la de que el desarrollo científico es un bien al que ningún país puede renunciar, no sólo por cuanto posee un valor en sí mismo, sino también porque es conditio sine qua non y estímulo para el desarrollo tecnológico y económico. En cierto sentido, según esta tesis, el desarrollo científico implica automáticamente el desarrollo tecnológico y este último el económico.

Ahora bien, no hay ninguna dificultad en aceptar de acuerdo con Laserna, que este segundo modelo no ha funcionado en la realidad. Y añadimos nosotros, no hay razón para esperar que funcione. Sin embargo, concluir de este hecho que se deba renunciar al desarrollo científico sería por supuesto excesivo. Antes bien nos parece que la lección que se extrae es la necesidad de hacer un examen más profundo de la problemática relativa a las motivaciones y a las modalidades de un desarrollo científico en los países no industrializados, concluimos entonces que la no validez de la segunda tesis implica la necesidad de determinar y verificar las justificaciones de cualquier política científica autónoma, mediante la cual un país pretenda desarrollar su ciencia

El propósito de estas reflexiones es precisamente indagar cuáles pueden ser estas justificaciones, examinando en particular la posible existencia de motivaciones diferentes a las del modelo que acabamos de enunciar. En efecto, en el caso de que faltaran éstas, fácilmente se recaería en las posiciones de Laserna y se terminaría delegando, a priori e incondicionalmente todo el desarrollo científico a un restringido número de países desarrollados.

Los mecanismos a través de los cuales la ciencia se ha desarrollado en los últimos cien años, nos conducen naturalmente a identificarla con un tipo de ciencia (big science) que requiere, para su desarrollo, tanto colosales inversiones económicas como un ambiente de avanzados conocimientos científicos y tecnológicos. Los más obvios ejemplos de big science son la física experimental de altas energías, que exige la construcción de grandes aceleradores v la física espacial que requiere gigantescas inversiones vinculadas al lanzamiento de satélites. Evidentemente, para un país en vía de desarrollo esta opción es completamente injustificada e injustificable. De hecho sólo es accesible para países con un avanzado nivel de desarrollo, condición para que este tipo de actividad científica pueda integrarse al tejido productivo del país.

Se debe sin embargo observar que, si bien ha sido la *big science* la que ha dado lugar a los aspectos más espectaculares del desarrollo científico en los últimos cien años, ella no lo agota. Tiene entonces sentido preguntarse por los criterios que puedan justificar políticamente la opción de desarrollar áreas de la ciencia diferentes a la *big science* en un país en desarrollo.

El primer tipo de motivación que viene a la mente está ligado a la posibilidad de una interrelación entre esas áreas de la ciencia y el desarrollo de la tecnología, entendiendo este desarrollo tecnológico en sentido lato, esto es, relacionándolo con el conjunto total de conocimientos relevantes en la especificidad socio-económica del país, y no simplemente en el de aquellas tecnologías que son importantes para los sectores productivos del mercado internacional y que se desarrollan generalmente a partir de conocimientos aportados por la comunidad científica internacional. Ahora bien, la diferencia existente entre el nivel de ésta y el de la comunidad correspondiente en un país en vía de desarrollo es por lo general tan grande, que ciertamente no puede ser ésta la motivación fundamental para una política de desarrollo

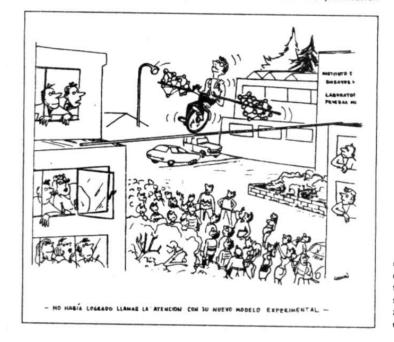


científico. A esto debe agregarse que con bastante frecuencia, los sectores productivos de que hablamos utilizan tecnologías maduras para las cuales la fase de investigación está prácticamente superada y por lo tanto ya no es muy relevante, o bien se fundamentan en tecnologías que sólo resultan asequibles a los países de mayor desarrollo. Por lo demás, la transferencia de los resultados de la investigación a los sectores productivos requiere la existencia de múltiples niveles intermedios en los cuales se articulan competencias y especializaciones, en cuya ausencia -y por lo general este es el caso en los países en vía de desarrollo-- la investigación llega a ser un fin en sí misma y corre el peligro de perder toda referencia a las exigencias de una producción para el mercado.

Estas consideraciones sugieren en cuáles sectores es razonable hacer ciencia en un país en desarrollo. Para ellos es esencial escapar de la presión externa o al menos buscar vías alternas; entonces es necesario que la escogencia de políticas científicas tenga

puntos de referencia internos al país. Inmediatamente se piensa en ligar tal escogencia a las necesidades de la población en los sectores de salud, energía, alimentación, transporte y, naturalmente, la educación. No se debe pretender determinar la elección por sus consecuencias sobre la ocupación de mano de obra. El impacto sobre la ocupación debe ser visto más como una consecuencia de los otros aspectos mencionados que como un fin en sí mismo. Insistimos en que sería simplista pensar que el camino que deben seguir en su desarrollo los países no industrializados sea idéntico al que recorrieron los países industrializados, para los cuales el elemento que más ha influido es la producción de bienes de consumo, de suerte que la industria resultó ser su principal fuerza impul-

En el caso de los países no industrializados esta fuerza impulsora debería buscarse otro lugar, en nuestra opinión, a partir de las necesidades del sector terciario (servicios). De esta consideración nace una justificación



La transferencia de los resultados de la investigación a los sectores productivos requiere la existencia de múltiples niveles intermedios en los cuales se articulan competencias y especializaciones, en cuya ausencia la investigación llega a ser un fin en sí misma.

No se puede poner en duda el valor que tiene para un país el desarrollo científico, en cuanto significa una difusión de conocimientos que permite la transformación del medio en el que vive su población.

asegurando en esta forma la socialización de los instrumentos técnicos necesarios para el logro de los objetivos predeterminados tanto a los proveedores como a los usuarios de bienes y servicios. Además, la no vinculación a las restricciones impuestas por el mercado internacional puede permitir el crecimiento de este continuum mediador teniendo en cuenta las exigencias, las posibilidades y las particularidades locales.

> No obstante, es necesario ser muy cautelosos en el desarrollo educativo del país. Fácilmente se puede caer en la tentación de importar acríticamente métodos educativos con un diseño típico para países con diferentes condiciones económicas. Se debe más bien emprender la tarea de elaborar métodos que tengan sus raíces en la realidad nacional específica y que estén adaptados a ella. Por supuesto, no se trata de rechazar, en una actitud xenófoba, los aspectos positivos de aquellos métodos sino de llamar la atención sobre la exigencia de no usarlos sin antes haberlos hecho pasar por una crítica, necesaria, a partir de la experiencia local.

importante para optar por el campo de

la ciencia básica. En efecto, la posibili-

dad de un modelo de desarrollo de este

tipo se basa en la adecuada solución al

problema de la educación y en la exis-

tencia de una cultura científica masiva,

suficientemente amplia, factores indis-

pensables para cualquier esfuerzo de

desarrollo científico y al mismo tiem-

po de desarrollo socio-económico.

Necesariamente, también en este caso

es indispensable la constitución de un

continuum de saberes y competencias

que sirva como mediación entre los

organismos de investigación y los sec-

tores socio-económicos interesados.

Es innegable la importancia del problema educacional; vale la pena hacer notar que aunque no aceptamos el modelo según el cual el desarrollo científico produce automáticamente desarrollo tecnológico y económico, tampoco creemos que se pueda poner en duda el valor que tiene para un país el desarrollo científico, en cuanto significa una difusión de conocimientos que permite la comprensión, el control y la transformación del medio en el que vive su población. Cuando los conocimientos científicos hacen parte de la cultura media de la población, es posible, para los más variados problemas, buscar soluciones válidas socialmente aun cuando no sean excesivamente sofisticadas desde el punto de vista tecnológico. A manera de ejemplo, se puede mencionar el uso del bambú en lugar del aluminio para hacer construcciones en la selva, encarando los problemas del uso del bambú con mentalidad científica y según los mismos procedimientos que se siguen en las industrias avanzadas

Nos queda por formular, antes de concluir, algunas reflexiones sobre el problema de la llamada ciencia de frontera. De todo cuanto se ha dicho hasta ahora se desprende que ésta debiera ser completamente excluida de la política científica de los países en vía de desarrollo. Precisando un poco más este punto se podría suavizar esta conclusión. Lo que se debe encarar es la posibilidad de aceptar en la política científica del país la opción por un desarrollo del tipo big science bajo ciertas condiciones y con oportunas limitaciones. A nivel individual quizás un país debería ofrecer a algunos de sus ciudadanos particularmente motivados la posibilidad de investigar en estos sectores, establecidas dos precisiones: en primer lugar, la política científica del país no debe fomentar excesivamente actividades de este tipo, evitando costos desproporcionados en estas áreas. Y en segundo lugar, éstas no deben usarse como fuente de motivaciones para un mal entendido prestigio nacional.

Es incluso concebible que varios países realicen un esfuerzo colectivo para un desarrollo científico en investigación fundamental, obviamente, considerando las necesarias limitaciones. En ambos casos es razonable esperar la existencia de una retroalimentación, que se refleje en un nivel más elevado en la enseñanza, en asesoría a otros sectores, etc. []

Las investigaciones de frontera no deben usarse como fuente de motivaciones para un mal entendido prestigio nacional.

Gabriel Restrepo

El análisis de la tradición cultural

Una manera de contribuir al desarrollo de una comunidad científica nacional.

Con ligeras modificaciones, esta es la ponencia que el profesor Restrepo presentó en el simposio "Estrategias alternativas para la ciencia y la tecnología en América Latina en los años 80", celebrado en Caracas en octubre de 1981, La versión completa fue publicada en Documentos del departamento de Sociología de la Universidad Nacional, número 26 (noviembre 1981).

La historia de la ciencia muestra que una comunidad científica nacional se conforma en su acción política y en su lucha por ganar el reconocimiento general contra la inercia de los valores establecidos. Para ello, ha de configurar una ideología de la ciencia y ha de reconocerse en la sucesión intergeneracional de su nación con un pasado, con alguna continuidad y una meta definida. De aquí se deriva la importancia de los estudios sobre los procesos históricos de constitución de una comunidad científica nacional. Contando con el apoyo inicial de Colciencias, un grupo de sociólogos de la Universidad Nacional ha constituído una red de trabajo en esta dirección.

Síntomas de la posición marginal de la ciencia

Desde su fundación en 1968, COL-CIENCIAS ha realizado tres censos sobre el sistema científico-tecnológico que permiten precisar el carácter marginal de la actividad científica en Colombia¹.

Según estos informes, apenas se ha dedicado menos del 0.15% del producto interno bruto a investigación y desarrollo. La proporción de investigadores por habitante no llega al 0.5 por 10.000. Menos del 10% de los investigadores poseen calificación de postgrado. La emigración de profesionales técnicos y trabajadores afines a los Estados Unidos entre 1961 y 1970 fue del orden de 6.408, siguiendo a Cuba, México y la Argentina; en el sector de la Medicina la emigración comprendió el 10.2% de los graduados. Del total dedicado al desarrollo de actividades científicas y técnicas, el 51.3% se encauzó a ejecución, 23.3% a actividades de apoyo, 12.6% a difusión y sólo el 12.9% a investigación propiamente dicha, La investigación aplicada absorbía un 91% de los recursos, mientras a investigación básica se dirigía apenas el

6.7% y a desarrollo experimental un exiguo 2.3%, proporciones que sugieren una deficiencia estructural en la retroalimentación de ciencia y economía. La investigación universitaria, que puede representar la tercera parte de la investigación nacional, se concentra en cuatro universidades, tres públicas y una privada, que realizaban el 72% de los proyectos de investigación universitaria en 1978; sin embargo. sólo el 23% de los investigadores universitarios podían dedicarse de tiempo completo a investigación, mientras el 54% apenas contaba con la cuarta parte de su tiempo, debiendo combinar su rol con tareas administrativas o docentes, bien por un precario aislamiento institucional de la investigación, bien por una baja remuneración.

Relaciones estructurales

Quizás más expresivas sobre la posición marginal de la ciencia sean las relaciones estructurales. A pesar de que la tendencia de la universidad latinoamericana a partir de los años treinta sea la emergencia de lo que Talcott Parsons denominó el sector académico, es decir, el compuesto por las ciencias exactas y naturales, por un lado, y las Gabriel Restrepo Depto, de Sociología Universidad Nacional, Bogotá

Censos totales se ejecutaron en 1972 y 1978; el último no ha sido publicado aún, Del primero se encuentra información en: "Recursos para la investigación científica en Colombia", en: Chaparro, Fernando y Sagasti, Francisco (Compiladores). Ciencia y Tecnología en Colombia. Bogotá, Colcultura, 1978, p. 277-328; y COLCIENCIAS, Visión Latinoamericana sobre ciencia y tecnología en el Desarro-Ilo: Il Seminario sobre Ciencia y Tecnología. Bogotá, Colciencias, 1973. Tres tomos. En 1977 se ejecutó un censo sobre la investigación en la Universidad, cuyos resultados se exponen y comentan en: COLCIENCIAS. La investigación en Universidad Colombiana, Bogotá, COLCIENCIAS, 1978.

Difícilmente podría decirse de la universidad colombiana que sea algo más que expresión geográfica para disciplinas reunidas en un campus, carentes de vínculos orgánicos. Cada universidad funciona como agregado de profesiones, no como sistema.

No puede hablarse de un sistema de educación superior, cuando las universidades carecen de vínculos entre sí, inhibidas por prejuicios que las separan por regiones, carácter público o privado o por denominación confesional.

El conocimiento generado en el sector público no alimenta la enseñanza superior, y el estudiante carece en su formación de una perspectiva de inserción en las demandas del sector público.

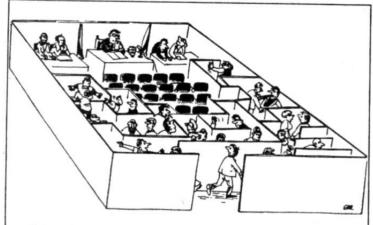
ciencias sociales, por otro, que presionan por una integración académica, difícilmente podría decirse de la universidad colombiana que sea algo más que la expresión geográfica para disciplinas reunidas en un campus, carentes de vínculos orgánicos. Cada universidad funciona como agregado de profesiones, no como sistema. El sector que gobierna (orienta y controla) la educación superior, esto es, el postgrado, no ha logrado desarrollarse, lo que manifiesta tanto la dependencia de la universidad, como su escasa movilidad y la deficiente socialización de investigadores. Aunque por ley se ha contemplado la obligación de asignar a investigación un 2% del presupuesto de cada universidad, la norma está lejos de cumplirse. Cabría guizás indicar también el escaso reconocimiento a la investigación filosófica, que es una premisa para una aproximación entre las ciencias.

Mucho menos puede hablarse de un sistema de educación superior, cuando las universidades carecen de vínculos entre sí, inhibidas por prejuicios que las separan por regiones, carácter público o privado o por denominación confesional (laicas, religiosas).

El punto de intersección entre la educación superior y el bachillerato, esto es, las Facultades de Educación, está viciado por la virtual ausencia de una investigación pedagógica sólida, lo que redunda en una retroalimentación de mutuas deficiencias.

Los contactos entre la universidad y la empresa privada se limitan a algunas asesorías en el campo de la ingeniería. Se ha insistido suficientemente sobre la poca demanda de investigación que ejerce el sector privado en relación a la universidad. Buena parte de esta actividad está condicionada por la estructura de las relaciones económicas: las compañías extranieras trasladan tecnología de la matriz y la empresa privada compra las patentes. Pero cabría examinar si además de esta condición económica no hay una estructura de valores relativamente autónoma e historicamente variable que hava separado al hombre de empresa y al ingeniero de la utilización del potencial científico y . tecnológico endógeno, lo mismo que a las universidades de una relación con la empresa privada. Así parece probarlo el hecho de que en los comienzos de la industrialización fueran más positivas la actitud y la formación del ingeniero hacia el desarrollo experimental y hacia la innovación tecnológica.

Brechas agudas se han establecido igualmente entre las universidades y los institutos del estado, donde se concentra el peso de la investigación nacional. Mutuas suspicacias, en parte funcionales, pero en mayor medida perjudiciales, distancian estas esferas. Trazando la genealogía de algunas instituciones claves de investigación estatal puede advertirse claramente que en algún momento razones de corto plazo llevaron a los gobiernos a desgajarlos de la matriz universitaria, sin asegurar mecanismos a largo plazo de relación recíproca. La contienda de los partidos políticos no preservó sectores claves para el desarrollo del estado nacional y se institucionalizó la utilización de la universidad como base del juego táctico de los grupos que luchaban por el control del gobierno. Como conse-



— Señores: Los hemos citado para responder algunas críticas que pretenden que el manejo de los programas de investigación en este país es un tanto confuso.

cuencia, el conocimiento generado en el sector público no alimenta la enseñanza superior, y el estudiante carece en su formación de una perspectiva de inserción en las demandas del sector público.

También se ha separado la universidad de otros sectores de la actividad científica como son las academias y las asociaciones. Aquéllas mantienen una actividad intramural con poca difusión y crítica, y éstas son escasas, carantes de continuidad y de medios organizativos.

Valoración de las ciencias

Aún más grave, quizás, que esta desarticulación estructural, es el hecho de que la sociedad civil y la sociedad política tengan en tan poca estima el valor y la ideología de la ciencia. Una revisión de prensa puede indicar que la divulgación científica y el afán de saber ocupan un puesto secundario, y lo que a veces pasa por tal abunda en ingenuidades cuando no es mera aproximación a las llamadas "ciencias ocultas". No por azar nuestra novelística más universal expresa el dominio de la magia y el imperio de la fatalidad, en una comunidad presocrática donde el conocimiento no sirve para nada. El sistema público de recompensas escasamente distingue la actividad cientí-

En la esfera política no se percibe que una competencia en problemas de desarrollo científico y tecnológico pueda ser base en la promoción del liderazgo. No aparecen declaraciones coherentes sobre esta materia en las campañas, en los debates del senado o en los programas de los partidos, a pesar de que a nivel técnico recientemente se haya reconocido el papel de la investigación científico-tecnológica en el Plan de Desarrollo. Una indicación puede servir para apreciar la gravedad de este vacío. Se ha señalado que el monto del trabajo científico se dobla cada quince años desde Newton. En estas condiciones, se requiere por parte de la política una adaptación a la velo-



cidad de este cambio, que no es visible en la escala colombiana. Es probable que en este sentido los políticos de este siglo se sitúen por debajo de la élite que a finales del siglo pasado, bajo la influencia del positivismo, comprendía la urgencia del desarrollo científico como proyecto de constitución de un estado nacional. Difícilmente hallaríamos una síntesis como la expresada por Salvador Camacho Roldán cuando indicaba en 1882 lo siguiente:

'Quedarse atrás en la carrera de las ciencias es morir. No hay esfuerzo que deba omitirse en este gran circo que tiene por límites la extensión de la Tierra. En la angustiosa expectativa de la lucha suprema, nuestra sola esperanza debe fincarse en las universidades y las escuelas"2. Si las condiciones materiales de la sociedad fueron inferiores a su intención y voluntad, hoy se podría decir quizás que éstas se sitúan por debajo de aquellas. Lo que no se manifiesta en la sociedad civil o en la esfera de la política es, en suma, el perfil de una voluntad nacional, de un proyecto de desarrollo del estado nacional sobre la base del reconocimiento del papel

La sociedad civil y la sociedad política tienen en muy poca estima el valor y la ideología de la ciencia... No por azar nuestra novelística más universal expresa el dominio de la magia y el imperio de la fatalidad en una comunidad presocrática donde el conocimiento no sirve para nada.

En la esfera política no aparecen declaraciones coherentes sobre problemas de desarrollo científico y tecnológico, a pesar de que a nivel técnico recientemente se haya reconocido el papel de la investigación científicotecnológica en el Plan de Desarrollo.

Salvador Camacho Roldán, Discurso leído en la sesión solemne de la Universidad Nacional para la distribución de premios a los alumnos, el 10 de diciembre de 1882. En: Artículos Escogidos. Bogotá Librería Colombia, 1927.

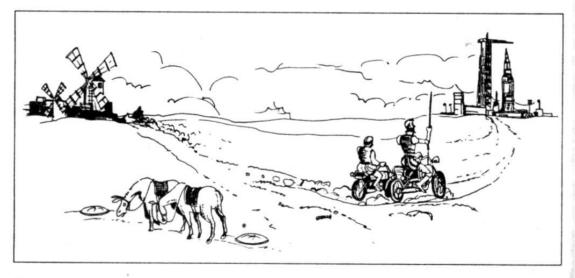
estratégico que juega la ciencia en la sociedad. Y la historia ha mostrado hasta la saciedad, en los casos contrarios de España y de Japón, que no bastan las condiciones materiales para dar una dirección nueva a la sociedad en su textura cultural. Sin utopía no habría historia.

Los comienzos de un proyecto: el análisis de la herencia cultural.

Es cierto que la advertencia de un mal es indicio de posible mejoría. A la actividad de un organismo estatal como COLCIENCIAS se deben las bases del diagnóstico del problema, y mucho se ha avanzado en medidas positivas en sus doce años de experiencia. Sin embargo, la urgencia del asunto reclama nuevas y múltiples vías de aproximación. La acción dirigida desde arriba, por otra parte, tiene un límite: no puede crear artificialmente las bases humanas de una nueva configuración. La historia de la ciencia muestra que una comunidad científica nacional se conforma en su acción política y en su lucha por ganar el reconocimiento general, contra la inercia de los valores establecidos. Para ello, ha de configurar una ideología de la ciencia y ha de reconocerse en la sucesión intergeneracional de su nación con un pasado,

con alguna continuidad y con una meta definida. De allí se deriva la importancia de los estudios sobre los procesos históricos de constitución de una comunidad científica nacional, que muestren en perspectiva el proceso de su incorporación o de su aislamiento en la estructura social. Evidentemente. hablar de ciencia nacional es un contrasentido equivalente a hablar de ciencia burguesa o proletaria, pero es legítimo referirse a la comunidad científica nacional, porque la naturaleza y la sociedad peculiares plantean una serie de problemas semejantes que a través del tiempo van sedimentando un estilo particular.

En otro sentido es imperiosa esta estrategia: la inquietud por la actividad científico-tecnológica que se generó en los años sesenta como producto del fracaso de la política de sustitución de importaciones, fue fenómeno común en América Latina, y se ha insistido desde entonces en la uniformidad de políticas y lenguajes. Sin embargo, quizás se haya descuidado el estudio diferencial de los sistemas científico-tecnológicos, que sólo podría apreciarse sobre la base de un examen de la herencia cultural en el campo científico -tecnológico, preferentemente sobre la base macrosocial y comparativa.



Finalmente, se puede asegurar que aunque haya sido discontinuo y excéntrico, existe un importante legado de esfuerzos científico-tecnológicos, del que la comunidad científica puede aprovecharse para su propia afirmación en la sociedad y como evaluación de estrategias adecuadas o erróneas en el control y transformación de la naturaleza y de la sociedad. Ha de hacerse una nueva historia que destaque los supuestos culturales, en particular científico-tecnológicos, de la evolución económica y política nacional.

Sobre esta base, contando con el apoyo inicial de COLCIENCIAS, un grupo de sociólogos de la Universidad Nacional ha constituido una red de trabajo para el análisis de la herencia cultural. El trabajo, apenas comenzado, se ha definido a largo plazo, con proyecciones teóricas en la especialidad de la sociología de la cultura y en particular en la sociología de la ciencia, y con aspiración a traducir en resultados organizativos y prácticos las consecuencias de la investigación.

Líneas de investigación sobre la herencia cultural

Además de una investigación específica sobre la tradición cultural en el campo de la sociología, el grupo ha comenzado a desarrollar otras investigaciones, algunas de cuyas tesis se resumen a continuación:

LA EXPEDICION BOTANICA, La actividad científica en Latinoamérica se ha producido en buena medida por un proceso de difusión a partir de la región noratlántica. Contrariamente a lo que se afirma en ocasiones, de modo aventurado, España y particularmente la España de la Ilustración, contribuyó decisivamente a este proceso y estableció las bases culturales, en el siglo XVIII, del impulso científico en América Latina. Las tres expediciones botánicas, dirigidas a indagar el potencial agrícola en Perú, Nueva España y Nueva Granada; las tres misiones mineras orientadas hacia las mismas regiones con el fin de difundir el nuevo proce-



dimiento de amalgamación; la Expedición de La Condamine para medir el grado en el meridiano en el ecuador terrestre, a las que se sumaron Jorge Juan y Antonio de Ulloa; las diversas expediciones de límites, a las cuales asistieron Loefling, en Venezuela, Félix de Azara en Paraguay; la expedición de Malaspina alrededor del mundo, que tuvo por consecuencia la radicación de Tadeus Haenke en Cochabamba, todas estas fueron manifestaciones del interés de la corona española en el siglo XVIII por difundir el espíritu científico que tenía su epicentro en Francia, Alemania, Inglaterra y Suecia, y que luego resumió con mayor perspectiva Alexander von Humboldt. Un análisis comparativo de estas expediciones permitiría examinar algunos aspectos de los niveles diferenciales de los sistemas científicos y tecnológicos en América Latina: ¿Por qué, por ejemplo, se desarrolló en Nueva España y no en Nueva Granada la Escuela de Minería, a pesar de que su creación fue formulada simultáneamente y a la cabeza de la propuesta figuraban en uno y otro lado los hermanos Delhuyar? ¿Qué restricciones a la labor de divulgación de Mutis y a la obra de la Expedición Botánica se determinaron por el hecho de que en el Nuevo Reino de Granada se carecía de universidad regia, a diferencia de México y Perú?



El análisis particular de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Gravez contemporáneo: la botánica en mental en la conservación de la memoria de la tradición científica; en el reaen lo que podríamos llamar la dispersión del carisma del científico, expre-Mutis, y de Linneo, orientado hacia glo en la constitución y desarrollo del

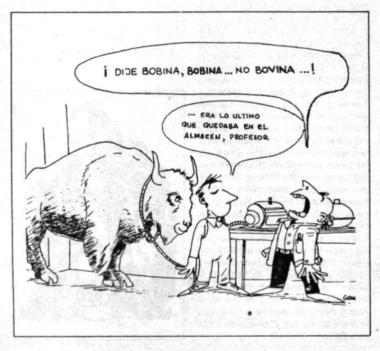
COMISION COROGRAFICA: 1850 -1859. Intentará comparar la actividad de Codazzi en Venezuela y en la Nueva Granada a la luz del precedente diferencial de la Expedición Botánica, en el contexto de la definición territorial del estado nacional y del levantamiento del inventario de los recursos.

nada ofrece un interés histórico y a la Colombia ha jugado un papel fundavivamiento de los valores de la ciencia; sado en la personalidad o en el ideal de el control racional de la naturaleza; finalmente la botánica, sobre la base de la memoria de la Expedición Botánica, ha jugado un papel decisivo en este sicomplejo de las ciencias exactas, físicas y naturales.

Alberto Mayor Mora: La Escuela Nacional de Minas de Medellín y la educación de la burguesía industrial antioqueña.

Revista Colombiana de Sociología, nú-

mero 2, agosto 1982.



INSTITUCIONALIZACION DEL SECTOR AGROPECUARIO: 1870-1930. Se dirige a examinar los esfuerzos por desarrollar la investigación agropecuaria, bajo tres contextos: 1) la crisis del sector agroexportador colombiano por la competencia en la producción mundial del tabaco y de la quina cultivados bajo mayor control técnico y agronómico en las colonias inglesas y holandesas de las Indias; 2) las guerras civiles y la estabilidad política que siguió a la vuelta del siglo; 3) el inicio de la industrialización y urbanización, que planteó nuevas demandas al sector agrícola.

LA UNIVERSIDAD COLOMBIA-NA A PARTIR DE 1930. Se dirige a examinar el proceso de diferenciación e integración de las disciplinas universitarias, particularmente en lo tocante al surgimiento del sector académico (ciencias sociales y ciencias exactas, físicas y naturales); la influencia de las corrientes migratorias europeas de entreguerras en este proceso; la modificación del puesto de las escuelas profesionales (medicina, derecho, ingeniería); la relación con los cambios en la estructura del Estado y de la economía.

PAPEL DE LA INGENIERIA EN EL SURGIMIENTO DE LA INDUS-TRIALIZACION, El profesor Mayor ha demostrado³ las características sociológicas de un proceso que se había mirado tradicionalmente desde el ángulo de la historia económica. Revela que la industrialización, lejos de haber sido respuesta automática y mecánica a una coyuntura exterior, fue la exploración intensiva de una oportunidad histórica sobre la base de una dirección racional previa. En este sentido, la Escuela de Minas de Antioquia constituyó un semillero para la socialización de los cuadros directivos empresariales, mediante una temprana adaptación de la administración científica del trabajo, y una actitud favorable a la asimilación de innovaciones. Al mismo tiempo, las masas obreras fueron preparadas para el tránsito por la Iglesia, que reguló las actividades del obrero en su tiempo libre y canalizó su energía en sindicatos católicos.

Ciencia, técnica y tecnología

Una primera versión de este trabajo fue redactada especialmente para ser leída y discutida en las sesiones del 25 de julio y 2 de agosto de 1983 del seminario regular que viene realizando la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional.

Los productos tecnológicos (que en su mayor parte pueden clasificarse como medios e instrumentos) se caracterizan por la posibilidad de separar radicalmente su producción y su utilización. La naturaleza misma de la tecnología encierra la posibilidad de un divorcio entre dos clases de culturas: las que gestan tecnología y las que la consumen. Mediante procesos determinados política y económicamente se generaliza, en buena parte del mundo, el empleo de productos de alta tecnología sin la mediación de un proceso de comprensión racional de sus fundamentos teóricos. De este modo surge un eje de dependencia internacional cada vez más importante.

¿Qué es lo decisivo en la tecnología? ¿Cuál es ese nexo privilegiado, pero oscurecido por la idea de aplicación, entre ciencia y tecnología? Estas son las preguntas que pretende abordar este artículo.

A primera vista, la cuestión de las relaciones entre ciencia, técnica y tecnología parece ser esencialmente contemporánea. El desarrollo científico y técnico propio de los últimos siglos (que indudablemente ha modificado las concepciones mismas de ciencia y de técnica) ha tendido a convertir la cuestión en auténtico lugar común. Hablar de ella es, entonces, exponerse a reiterar una serie más o menos banal de "evidencias": nuestra época es la época de la revolución científico-técnica, la investigación se ha convertido en una fuerza productiva primordial, etc. Por ello es sano e incluso indispensable que cualquier planteamiento sobre estas materias sea recibido con una buena dosis de desconfianza y de es-

En la reflexión que vamos a desarrollar pretendemos valernos del hecho de que, al menos en algunos de sus aspectos más esenciales, la cuestión de las relaciones entre ciencia y técnica es en realidad una cuestión antigua, milenaria, planteada ya con intensidad en Grecia en el momento mismo en que se configuraba y se consolidaba el proyecto de una forma específica de conocimiento que marcaría en forma decisiva la historia de la cultura occidental¹. Esbozaremos luego, en forma contrastiva, aquellas dimensiones de la cuestión que obedecen ya específicamente a los desarrollos y a las mutaciones de sentido correspondientes a la constitución de la ciencia y de la técnica modernas y que se expresan en la emergencia de lo que con el tiempo llega a designarse como "tecnología"².

Aristóteles plantea la cuestión, no en algún pasaje secundario, sino en el capítulo primero del primer libro de su *Metafísica*. La frase inicial de este capítulo es ya problemática, Dice:

"Todos los hombres desean por naturaleza saber". 3

El deseo de saber, postulado así como algo propio del hombre por naturaleza, se convierte entonces no sólo en el punto de partida de un texto (el del Antanas Mockus Profesor Asistente, Depto, de Matemáticas Universidad Nacional, Bogotá Miembro del grupo de investigación dirigido por el Dr. Carlo Federici.

- En modo alguno podríamos creernos ajenos a ese proyecto. Precisamente por ello, al menos en cuanto a ese proyecto se refiere, alguien aparentemente tan lejano para nosotros como Aristóteles puede hablarnos casi como un contemporáneo.
- El "rodeo" inicial a través de un breve texto de Aristóteles permitirá comprender en particular en qué sentido la concepción usual de la técnica que ve simplemente en ella un arsenal disponible de instrumentos (reglas prácticas, procedimientos y medios) es radicalmente insuficiente. En un texto que se llama precisamente "La cuestión de la técnica" Heidegger afirma que la esencia de la técnica no es técnica, no es instrumental, esto porque la esencia de la técnica es la causalidad. Sin lugar a dudas esta afirmación ha sido la inspiración central del presente trabajo. La imagen cultural más difundida e inmediata de la técnica es el aparato, el instrumento sofisticado. En realidad, lo que así sirve de imagen para la técnica es un producto de la misma pero no pone de manifiesto lo que le es esencial.

Por otra parte, una comprensión instrumental de la técnica, llevada hasta las últimas consecuencias, tiende a suprimir-le toda especificidad al término pues conduce a aplicar la distinción mediosfines a toda actividad y a reconocer como su "técnica" todo cuanto resulte asimilado a "medio" a la luz de esa distinción.

"Lo que se entiende concretamente por 'técnica' es fluido (...). En este sentido hay una técnica para cada forma de actividad: técnica de la oración, técnica de la ascética, técnica del pensamiento y de la investigación, técnica mammónica, técnica de la educación, técnica de la educación, técnica de

La cuestión de las relaciones entre ciencia y técnica es en realidad una cuestión antigua, milenaria, planteada con intensidad en Grecia, aunque algunas de sus dimensiones obedezcan ya específicamente a los desarrollos y a las mutaciones de sentido correspondientes a la constitución de la ciencia y la técnica modernas y se expresan en la emergencia de lo que con el tiempo llega a designarse como tecnología.

poder político o hierocrático, técnica administrativa, técnica erótica, técnica militar, técnica musical (de un virtuoso, por ejemplo), técnica escultórica o pictórica, técnica jurídica, etc. . . " (Max Weber, Economía y Sociedad, Vol. I, F.C.E., Bogotá, 1977, pp. 47-48).

Para evitar las dificultades asociadas a esta equivocidad del término "técnica", intentaremos no emplearlo en el resto del presente trabajo. Atenderemos a la especificidad del concepto aristotélico de tekhné para luego precisar las características propias de la "tecnología". El sentido que atribuimos a esta expresión tiene rasgos comúnes con lo que Weber denomina "técnica racional" ("una aplicación de medios que conscientemente y con arreglo a plan está orientada por la experiencia y la reflexión, y en su óptimo de racionalidad por el pensamiento científico", ibid), pero pretende tener un sentido más preciso y restringido.

El camino que sigue nuestra reflexión es, por supuesto, uno de varios posibles y su pertinencia —si es que la tiene— tendrá que considerarse una vez hayamos hecho el intento de recorrerlo.

- 3 Citaremos según la versión castellana incluida en: Aristóteles, La Metafísica, edición trilingüe por Valentín García Yebra, Gredos, Madrid, 1970, pp. 3-10.
- La traducción tradicional de tekhné por arte es incómoda porque históricamente los dos términos se han ido alejando: tekhné ha dado raíz a nuestro término "técnica", mientras que por una evolución ciertamente paralela, el término "arte" ha tendido a restringirse o a las bellas artes, o a saberes prácticos, imposibles de formular discursivamente, "encarnados" en los individuos (y los cuales, como veremos, están mucho más cerca de lo que Aristóteles llama experiencia). Por esta razón, en los fragmentos citados a continuación conservaremos el término tekhné en griego.

capítulo) en el cual Aristóteles expondrá y jerarquizará diversas formas de saber, sino también en presupuesto fundamental de un proyecto cultural que de un modo u otro sigue vivojen nuestra época. Después de destacar enfáticamente el valor y la especificidad de la sensación, de la memoria y de la experiencia, escribe Aristóteles:

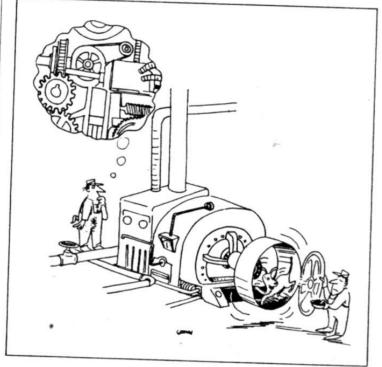
"Los demás animales viven con imágenes y recuerdos, y participan poco de la experiencia. Pero el género humano dispone del arte (tekhné) y del razonamiento".

Más adelante Aristóteles considera conveniente aclarar las diferencias y las relaciones entre experiencia, *tekhné* y ciencia:

"Y la experiencia parece, en cierto modo, semejante a la ciencia y a la *tekhné*, pero la ciencia y la

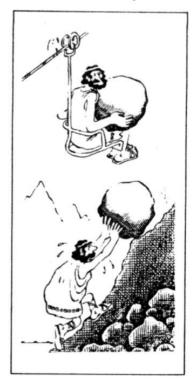
tekhné llegan a los hombres a través de la experiencia. Pues la experiencia hizo la tekhné como dice Polo, y la inexperiencia, el azar. Nace la tekhné cuando de muchas observaciones experimentales surge una noción universal sobre los casos semejantes. Pues tener la noción de que a Calias, afectado por tal enfermedad, le fue bien tal remedio, y lo mismo a Sócrates y a otros muchos considerados individualmente, es propio de la experiencia; pero saber que fue provechoso a todos los individuos de tal constitución, agrupados en una misma clase y afectados por tal enfermedad, por ejemplo a los flemáticos, a los biliosos o a los calenturientos, corresponde a la tekhné.

"Pues bien, para la vida práctica, la experiencia no parece ser



en nada inferior a la tekhné, sino que incluso tienen más éxito los expertos que los que, sin experiencia, poseen el conocimiento teórico. Y esto se debe a que la experiencia es el conocimiento de las cosas singulares, y la tekhné, de las universales; y todas las acciones y generaciones se refieren a lo singular. No es al hombre, efectivamente, a quien sana el médico, a no ser accidentalmente, sino a Calias o a Sócrates. o a otro de los así llamados, que, además, es hombre. Por consiguiente, si alguien tiene, sin la experiencia, el conocimiento teórico, y sabe lo universal pero ignora su contenido singular, errará muchas veces en la curación, pues es lo singular lo que puede ser curado".

Es bien claro que Aristóteles no vacila en reconocerle una superioridad, desde el punto de vista de la práctica, a la empiria, a la experiencia, y ello por una clara y contundente razón: toda acción, toda práctica, toda producción se ejerce sobre lo particular. Efectivamente así era en la época de Aristóteles y lo siguió siendo durante muchos siglos. En efecto el carpintero o el zapatero (cuando su oficio es aún artesanal) no trabajan la madera o el cuero en general, sino que trabajan este trozo particular de madera o cuero, y se ven obligados en su trabajo a adaptarse e incluso a sacar partido de las particularidades del material, las cuales, por otra parte, con frecuencia solamente aparecen a lo largo del propio proceso de trabajo. Se comprende entonces que para adquirir la apertura, la flexibilidad y la recursividad necesarias para enfrentar con eficacia ese tipo de producción juegue un papel tan importante la experiencia: es la experiencia la que poco a poco enseña a vérselas apropiadamente con la diversidad incontrolada de las especificidades de los particulares⁵, así como es la experiencia la que enseña a reconocer apropiadamente bajo qué universales subsumir en cada caso los particulares. Sin embargo, esa superioridad práctica



no evita el que —incluso a los ojos de la opinión común de esa época— el experto, el hombre de experiencia, aparezca como inferior, en cierto aspecto que se precisará, al hombre que posee la *tekhné*. A continuación de lo anteriormente citado escribe en efecto Aristóteles:

"Creemos, sin embargo, que el saber y el entender pertenecen más a la tekhné que a la experiencia, y consideramos más sabios a los conocedores de la tekhné que a los expertos, pensando que la sabiduría corresponde en todos al saber. Y esto, porque unos saben la causa y los otros no".

Así, el eje de la nueva jerarquía no es la eficacia práctica sino el conocimiento de las causas. Quienes tienen un tal conocimiento son superiores a quienes no lo tienen:

Como lo dice incluso su etimología, el control representa el esfuerzo por asegurar la conformidad de lo real con lo escrito. La materialidad no aparece entonces en su parcialmente imprevisible resistencia a nuestro trabajo, no ofrece ya sorpresas; más bien se manifiesta en su completa docilidad.

Dentro de la proliferación de institutos de educación post-secundaria se optó por gastarle el ostentoso título de "tecnólogo" a una serie de carreras intermedias, como una especie de irónico consuelo nominal para quienos precisamente son formados para desempeñar funciones subalternas.

La fórmula de Bacon "saber es poder" se hace cada vez más verdadera. Ya no se trata de una jerarquía puramente cultural defendida por una élite ociosa que cultiva, como su más alta forma de placer, la comprensión causal del mundo. Se trata de una jerarquía con clarísimas consecuencias no sólo en el campo económico y militar: lo que está en juego son grados distintos de poder de disposición sobre lo real.

Es conveniente recordar que para Aristóteles no es posible un conocimiento científico de lo particular. Lo particular posee una irreductible singularidad, mientras que la ciencia es siempre ciencia de lo universal. Modernamente se abrirá paso la voluntad de conocer científicamente lo concreto particular, pero ello sólo será posible en la medida en que ese concreto logre hacerse aparecer como síntesis de múltiples determinaciones (abstractas). Para Aristóteles enseñar es identificar las causas. Según esta concepción, enseñar un procedimiento limitándose al cómo no merece el nombre de enseñanza. El verdadero enseñar es el que privilegia el por qué.

Las decisiones vinculadas a la producción dependen cada vez más de la exploración racional de lo posible. El dominio de lo posible es asegurado por la teoría y mediante el obrar metódico sobre los signos, y es desde ese dominio de lo posible desde donde se decide y se prefigura en detalle lo real.

- Esto no impide que --tomando conciencia de la relatividad de nuestra cultura-podamos llegar a admirar con respeto y a veces incluso con cierta nostalgia formas diversas de conocimiento.
- Se debe recordar además que la comprensión aristotélica de la causalidad es más amplia que la nuestra, pues incluye en particular la finalidad: conocer causalmente un objeto o un proceso requiere conocer también las finalidades a las cuales responde.
- "... enseñan verdaderamente los que dicen las causas acerca de cada cosa" (Metafísica, 982 a 30).

"Pues los expertos saben el qué. pero no el por qué. Aquellos (los conocedores de la tekhné), en cambio, conocen el por qué y la causa. Por eso los jefes de obras los consideramos en cada caso más valiosos, y pensamos que entienden más y son más sabios que los simples operarios, porque saben las causas de lo que se está haciendo; éstos, en cambio, como algunos seres inanimados, hacen, sí pero hacen sin saber lo que hacen, del mismo modo que quema el fuego. Los seres inanimados hacen estas operaciones por cierto impulso natural, y los operarios, por costumbre. Así, pues, no consideramos a los jefes de obras más sabios por su habilidad práctica, sino por su dominio de la teoría (logos) y su conocimiento de las causas".

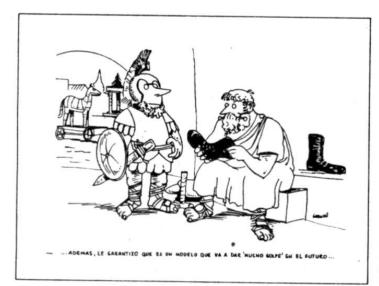
Aristóteles no solamente ilustra así la diferencia entre los que tienen el conocimiento de las causas y los que no, sino que la conecta también con un hecho social fundamental: la división jerárquica del trabajo. Con cierta malignidad puede interpretarse el texto

como mera apología de la sociedad esclavista en que fue escrito, como simple expresión del desprecio aristocrático hacia el productor directo y su trabajo manual. Sin embargo ninguna exaltación del trabajo manual y de las habilidades adquiridas por experiencia, ni el obvio reconocimiento de que cualquier actividad humana involucra funciones intelectuales, puede anular las diferencias efectivas de posibilidades entre un conocimiento causal-universal y otras formas de conocimiento⁶. Es claro que el desconocimiento de las causas no impide un desempeño eficaz de quienes ocupan un lugar subalterno en la producción, de quienes pueden proceder mecánicamente, como "por costumbre", pero sí impide asumir su dirección (o participar efectivamente en ésta)7. A renglón seguido, Aristóteles indica un criterio decisivo para distinguir entre conocimiento causal y conocimiento adquirido por experiencia:

"En definitiva, lo que distingue al sabio del ignorante es el poder enseñar, y por esto consideramos que la tekhné es más ciencia que la experiencia, pues aquellos (los que poseen la tekhné) pueden y éstos (los hombres de experiencia) no pueden enseñar".

Aristóteles otorga al término "enseñar" (didaskein) un sentido preciso, estrictamente académico, que explícita en otros textos: para él, enseñar es indicar las causas⁸. Según esta concepción, enseñar un procedimiento limitándose al cómo no merece el nombre de enseñanza. El verdadero enseñar es el que privilegia el porqué.

A lo largo del texto comentado, la tekhné aparece asimilada —en relación a la posibilidad de ser enseñada y en relación a su superioridad respecto a la empiria— a la ciencia. Falta pues establecer lo que las diferencia. Para Aristóteles, según el pasaje que sigue a los citados, la diferencia entre tekhné y ciencia radica en el grado de capacidad de desprendimiento respecto a la utilidad.



La valoración extrema de aquellos conocimientos causales "que no se ordenan al placer ni a lo necesario" expresa el reconocimiento de que su cultivo constituye un placer en sí mismo: se trata de la satisfacción suprema de aquel deseo de saber postulado al principio. Esta afirmación de una voluntad de saber que se valida por ella misma, puede por supuesto ser cuestionada y lo será en forma muy intensa, por ejemplo, en los comienzos de la Modernidad-, pero es innegable que ella está intrínsecamente ligada a la historia de la investigación y de la academia en Grecia. No por azar la palabra griega (skole) de la cual proviene el vocablo 'escuela" significó originalmente "ocio" y "actividad propia del ocio". No por azar escribe el propio Aristóteles que aquellas ciencias que no se orientan a los placeres ni a las necesidades surgieron primero "donde primero tuvieron vagar los hombres".

De nuevo es posible una lectura malintencionada que encuentre en el texto únicamente la apología de una de las formas de lujo posibilitadas por la sociedad esclavista. De todas maneras, es imposible desconocer el papel que desempeñó el desapego respecto a la utilidad en la constitución del tipo de saberes que hoy reconocemos como científicos. Igualmente no se puede dejar de reconocer que aún en nuestros días, a pesar de la gran expansión de las instituciones escolares, la comprensión causal de los principales procesos naturales y sociales que nos afectan sigue siendo lujo de minorías.

Quien, a comienzos de la Edad Moderna, más claramente expresó la rebelión contra esa concepción "ociosa" de la ciencia fue Francis Bacon. En su discusión, dirigida en realidad más contra el aristotelismo de su época que contra la obra del propio Aristóteles, Bacon —auténtico "ideólogo" de la Ciencia Moderna— formula el imperativo de poner las ciencias al servicio del dominio de la naturaleza y juzgar su desarrollo según sus contribuciones al bienestar material de la humanidad. Sin embargo, a pesar de —o más bien precisamente por—su concepción pragmatis-

ta de la investigación, Bacon previene claramente contra el error que sería darle prioridad a los "experimentos fructíferos"; según él, deben preferirse los "experimentos lucíferos" pues el éxito en éstos arrastra tras de si catervas de resultados fructíferos. Y esto porque Bacon reconoce y formula explícitamente una relación directa entre el conocimiento causal y el establecimiento de reglas que guíen la acción: el cómo se deriva del por qué?

En síntesis, desde el punto de vista de la eficacia práctica la empiria podía ser superior a la *tekhné* por cuanto la actividad práctica portaba sobre particulares, mientras que el conocimiento causal propio de la *tekhné* lo era de universales. La puesta en relación del particular sobre el cual se trabaja con los universales objeto de conocimiento por causas dependía fundamentalmente de la experiencia práctica.

Sin embargo, al menos en ciertos campos de la actividad humana, y muy específicamente en la industria moderna, ello ha dejado de ser así: la producción industrial excluye metódicamente la singularidad del particular. Este, ya sea cosa, acto o proceso, es conminado, obligado sistemáticamente, a manifestarse en su universalidad. En la industria, el ente particular es obligado a comportarse como un auténtico universal. El conocimiento científico de materias primas y procesos hace cada vez más posible que, mediante diversos dispositivos, se asegure -dentro de rangos de precisión de amplitud preestablecida- la conformidad de los insumos, del proceso y del producto a lo racionalmente previsto. Así la producción se conforma meticulosamente al proyecto de producción. El proyecto deja de ser esa especie de idea límite que regula y orienta los permanentes ajustes exigidos por la lucha con la materialidad y sus sorpresas. El proyecto se convierte en diseño, es decir en predeterminación completa desde el signo. Proceso y producto alcanzan así una auténtica existencia previa, conferida por la posibilidad y la coherencia aseguradas ya sobre el papel, es decir

No por azar la palabra griega skole de la cual proviene el vocablo "escuela" significó originalmente "ocio" y "actividad propia del ocio".

Aún en nuestros días, a pesar de la gran expansión de las instituciones escolares, la comprensión causal de los principales procesos naturales y sociales que nos afectan sigue siendo lujo de minorías.

- Ciertamente, una y otra vez en la historia, el cultivo "desinteresado" del saber ha arrojado multitud de resultados prácticos imprevistos (uno de los ejemplos más notorios en el presente siglo es el de la física nuclear que en los años 30 parecía ser un campo de especulación teórica sin ninguna posibilidad de consecuencias de orden práctico). La anterior consideración no debe, sin embargo, hacernos olvidar que actualmente la mayor parte de los recursos asignados mundialmente a la investigación (90-95%) está destinada a investigaciones que responden "sobre pedido" a necesidades y problemas "prácticos" fundamentalmente militares e industriales. A pesar de ello, y al mismo tiempo que tiende a manifestarse el desengaño y el descontento de los investigadores que se ven sujetados a formas de empleo cada vez más parecidas a la de cualquier trabajador asalariado, una élite numéricamente importante si gue disponiendo de cierta autonomía. De todos modos, desde la conceptualización aristotélica, toda esa investigación orientada por la utilidad aparece como auténtica tekhné y su auge está ligado a un proceso histórico que abordaremos ahora y que es el de la lenta y progresiva inversión de la superioridad práctica de la empiria sobre la tekhné.
- Es bien cierto que en un comienzo se designó con el nombre de "tecnología" el inventario y la crítica de los procedimientos industriales existentes, Pero ello mismo, y en particular la importancia acordada a la crítica, abrió el camino para un salto decistro: el paso del inventario de lo existente a la prospección teórica de lo posible. Muy ilustrativa en

este sentido es la historia del desarrollo de las máquinas de vapor. Después de una larga serie de mejoras, por lo general empíricamente logradas, Sadi Carnot revolucionó su historia con la publicación en 1824, de sus Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas apropiadas al desarrollo de esa potencia. Allí plantea y resuelve en forma radicalmente teórica tres problemas: ¿existe un límite máximo para el rendimiento obtenible en una máquina térmica? ¿de qué depende tal límite? ¿cuáles son las condiciones que deben realizarse para obtener ese máximo rendimiento? Su respuesta en el texto mencionado constituye el nacimiento de una nueva ciencia: la termodinámica, (Según: Carlo Tarsitani y María Grazia Ianniello Storia dei concetti forza, lavoro e energía, Instituto di Física, Universitá di Roma, pp. 139-146).

- No pretendemos examinar aquí la génesis de esa "conversión", de esa radical transformación de la mirada sobre los procesos productivos. En particular, no es éste el lugar para desarrollar las indudables influencias -en la constitución de la perspectiva tecnológica- de la racionalidad capitalista, de su apertura hacia el futuro y hacia lo posible, así como su carácter de matriz histórica del cálculo racional y de la optimización. Por otra parte, para una crítica de la concepción usual según la cual la revolución industrial habría sido principalmente resultado de la "aplicación" de las ciencias a los procesos productivos y para una adecuada valoración de la gran importancia inicial de las mejoras de origen empírico. puede consultarse el trabajo "La ciencia y la técnica en la revolución industrial' presentado por José Granés en el seminario de Max Weber realizado en el Postgrado de Filosofía de la Universidad Nacional en 1981.
- 12 Por ejemplo, la agricultura -especialmente en países como el nuestro-, por su relativa dependencia de factores incontrolados o incontrolables (biológicos, climatológicos, pero también económicos), hasta ahora comienza a abrirse a la tecnología, y ello precisamente en la medida en que se industrializa. La industrialización de la agricultura no es simplemente introducción en el campo de maquinaria e insumos industriales, ni es simplemente inserción de las actividades agrícolas dentro de la producción y reproducción económica del capital, ni es simplemente la transformación radical de las relaciones de producción en el campo y el resultante predominio de la relación salarial; es todo eso, pero también es una nueva comprensión de la naturaleza y de la acción humana sobre ella. (Sigue)



en los planos, en los cálculos, etc. Ahora los signos sobre el papel dejan de ser un burdo barrunto o una copia a posteriori de lo real; son la configuración a priori de una realidad.

El diseño incluye la previsión de todos aquellos medios necesarios para la realización de lo diseñado y presupone su disponibilidad, tanto en el orden teórico como en el orden práctico. Presupone además la radical conformidad de la naturaleza a las leyes que precisamente hacen posible el diseño. También es este dominio desde el signo el que le da todo su sentido a la creciente importancia del control. Como lo dice su etimología (contra = contra y rotulus = lista, lista que sirve para verificar algo por confrontación con ella), el control representa el esfuerzo por asegurar la conformidad de lo real con lo escrito. Aunque sólo sea dentro del margen local de algunos procesos privilegiados, la materialidad no aparece entonces en su parcialmente imprevisible resistencia a nuestro trabajo, no ofrece ya sorpresas; más bien se manifiesta en su completa docilidad.

Por supuesto, se trata de una tendencia, consumada fundamentalmente en la gran industria, pero que sin lugar a dudas tiende a afectar otros campos de la producción y de la actividad humana. Bajo su influjo, las decisiones vinculadas a la producción se tornan cada vez menos dependientes de la experiencia adquirida en el conocimiento práctico anterior de procesos reales y dependen, por el contrario, cada vez más de la exploración racional de lo posible. No se trata ya de la búsqueda más o menos intuítiva de alternativas a lo real. Se trata de la inmersión de lo real dentro de lo posible y de la búsqueda de lo óptimo dentro de éste10 El dominio de lo posible es asegurado por la teoría y mediante el obrar metódico sobre los signos, y es desde ese dominio de lo posible desde donde se decide y se prefigura en detalle lo real. No se trata pues -como ingenuamente se cree- de una "aplicación" de resultados científicos a la producción. Se trata de una auténtica conversión de la mirada, conversión que sin lugar a dudas postula la posibilidad ilimitada de un conocimiento científico de la realidad y presupone la superioridad, a corto o largo plazo, de la actividad práctica guiada por un tal conocimiento. Esta conversión de la mirada, esta opción por la prefiguración exhaustiva de lo real desde el signo, esta instalación en el campo teóricamente construido y asegurado de lo posible, así como la búsqueda sistemática de lo "óptimo" dentro de ese campo de posibilidades, caracterizan lo que merece el nombre de "tecnología".¹¹

Si la tecnología es un racionalismo redoblado de la tégnica, si ella constituye la realización y la ampliación del proyecto intelectualista asignado por Aristóteles a la tekhné, y si su despliegue sólo es posible en la medida en que el obstáculo señalado por Aristóteles -la particularidad del objeto sobre el cual porta la actividad productiva tradicional- logra activamente, prácticamente, ser levantado, es lógico que su desarrollo en países como el nuestro esté a la zaga de transformaciones económicas y culturales y especialmente a la zaga de la industrialización12. Este proceso es relativamente reciente e incompleto en Colombia. Se comprende entonces que durante cierto tiempo parezca cómodo emplear tecnología sin producirla y utilizar

productos de la investigación sin fomentarla decididamente¹³.

En nuestros países, descentrados precisamente frente a la conversión de perspectiva característica de la tecnología, el término mismo de "tecnología" ha recibido un uso peculiar. Por un lado, tiende a entenderse por tecnología al conjunto de medios o de procesos que precisamente han resultado de un trabajo guiado por esa conversión de la mirada14. Por otro lado, dentro de la proliferación de institutos de educación post-secundaria (determinada en parte por la rentabilidad del negocio de la educación privada que logra por lo general vender un mal servicio a una población desinformada, en parte también por la iniciativa de un Estado más preocupado por establecer la apariencia de una oferta de oportunidades educativas que por asegurar la calidad de esa educación), se optó por gastarle el ostentoso título de "tecnólogo" a una serie de carreras intermedias, como una especie de irónico consuelo nominal para quienes precisamente son formados para desempeñar funciones subalternas. No es indispensable recordar que del M.I.T. a nuestros institutos tecnológicos hay una enorme distancia para reconocer

Un ejemplo distinto, aunque también instructivo, corresponde a los intentos de reestructurar los procesos educativos desde una perspectiva tecnológica ("tecnología de la educación" incluyendo desde la instrucción programada hasta el diseño instruccional). En este caso, los manifiestos tropiezos no se explican por un simple atraso en un supuesto proceso de "industrialización" de la educación. Se explican por limitaciones esencialmente ligadas al hecho (culturalmente reconocido) de que la educación es un proceso predominantemente cultural en el cual la particularidad y la individualidad no pueden ser sistemática y permanentemente excluidas. De nuevo en este caso una aproximación tecnológica requería un giro radical en la comprensión de los procesos de aprendizaje y de la acción humana sobre ellos: una tal nueva comprensión fue la que pretendió asegurar en su momento el conductismo.

- Podría pensarse que es el tiempo requerido por una adaptación cultural; pero es también el tiempo durante el cual constituimos clientes más bien ingenuos condenados a confiar ciegamente en quienes tienen a su cargo la promoción y venta internacional de productos tecnológicos.
- En otras palabras, se confunde la tecnología con sus productos. Entre otras cosas, ello explica que nuestra relación con la tecnología tienda a ser primitiva y meramente instrumental: ante todo nos asombra o incluso nos espanta el poder de sus productos. Filosóficamente no somos aún suficientemente racionalistas, al menos en el sentido en el cual el racionalismo significa una relativización radical de lo empírico y de lo tradicional y una instalación decidida en el horizonte de lo racionalmente posible. Es como si incluso en este aspecto el desarrollo capitalista no nos hubiera permeado aún lo necesario.
- Hasta qué punto y en qué sentido esta separación ha obedecido primordialmente al interés de limitar radicalmente el poder de los productores directos y a la voluntad de asegurar un control externo absoluto sobre el proceso productivo son cuestiones que no podemos desarrollar aquí. Para una discusión pueden verse: Taylor, F., Principios de la Administración Científica, El Ateneo, Buenos Aires, 1973; Braverman H., Trabajo y capital monopolista, Nuestro Tiempo, México, 1975; Mesa, Darío, "La universidad ante la revolución científica y técnica" Semanario Cultural - La revista de El Pueblo, 1o. Octubre 1978, Cali e incluso la primera parte de nuestro Tecnología Educativa y Taylorización de la Educación, Depto, de Matemáticas Universidad Nacional, Bogotá, 1983.



- 16 Muchas compañías multinacionales concentran ya en el país sede de la casa matriz todas las actividades complejas de investigación y diseño, desplazando a países periféricos todas la labores poco calificadas. Así no solamente realizan un beneficio económico, sino que mantienen —contra cualquier eventualidad— el monopolio de los conocimientos requeridos por la producción.
- 17 Incluso una diferencia aparentemente sutil puede ser decisiva; el mismo paquete tecnológico puede utilizarse atendiendo apenas a las instrucciones y a las informaciones suministradas por la casa productora, o puede utilizarse comprendiendo (o al menos manteniendo en ejercicio la voluntad de comprender) racionalmente su desarrollo y considerando su efectividad en el marco del conjunto de posibilidades concebibles. Si desde el punto de vista pragmático inmediato los resultados pueden ser en ambos casos iguales y lo primero resulta más cómodo, desde el punto de vista de nuestro futuro lo segundo puede resultarnos indispensable.
- 18 Según el artículo de Marcello Cini y Galileo Violini del Instituto de Física de la Universidad de Roma, (publicado en esta misma edición de la revista) una personalidad tan importante para la universidad privada colombiana como Mario Laserna formuló hace cuatro años, en el discurso de apertura de un Simposio Internacional de Física celebrado en la Universidad de los Andes, la siguiente propuesta que puede calificarse de extrema:

Sustancialmente, según la tesis de Laserna, existe una diferencia insuperable entre los países con avanzado desarrollo industrial y aquellos en vías de desarrollo. Esta diferencia se manifiesta en varios niveles. Ya sea en el campo del desarrollo científico en sentido estricto como en el de la organización económica y del desarrollo tecnológico. Ella debería er aceptada como un dato inmutable de la situación y no se debería alimentar la vana perspectiva de eliminarla, limitándose por el contrario a importar aquella tecnología estrictamente necesaria para satisfacer las necesidades más urgentes de una economía sustancialmente preindustrial. Esta renuncia tendría la ventaja, según la tesis en cuestión, de evitar la importación de un modelo cultural basado en la supremacía de la ciencia y de la técnica, modelo no sólo extraño a la cultura local, sino además intrínsecamente pobre en valores "humanistas", Las energías intelectuales del país deberían entonces emplearse sobre todo en otra dirección, es decir para potenciar aquellos sectores de mayor significado para la cultura del país".

que semejante uso del término tiende a desvirtuar el concepto. Si se respeta éste, es posible comprender por qué, en primer lugar, un "tecnólogo" en sentido auténtico requiere una formación científica básica muy sólida: no se trata de conocer simplemente unos resultados para después "aplicarlos"; se trata de ejercitarse en la comprensión teórica porque más adelante habrá de comprender teóricamente los procesos sobre los cuales se va a disponer y por lo tanto no sólo es necesario "armarse" de conocimientos teóricos sino que es necesario asimilar la teoría como perspectiva y como exigencia; en segundo lugar, es posible comprender por qué, además de dicha formación teórica que le abre el dominio de lo racionalmente posible en cada caso, el tecnólogo necesita una formación que le permita elegir adecuadamente las alternativas óptimas (formación que exige en particular un adecuado conocimiento de la economía y de la racionalidad económica). Sólo así puede el tecnólogo convertirse en puente real a través del cual se hace efectiva una ordenación teórica fundamentada de la configuración práctica de la producción.

Al menos hasta el presente, el desarrollo de la tecnología ha tendido a acentuar la división social del trabajo: el dominio teórico de los procesos, su diseño sobre el papel y su control son actividades especializadas que tienden a ser encargadas a individuos distintos de los productores directos¹⁵. La concepción se separa espacial y temporalmente de la ejecución. La producción en su conjunto se hace cada vez más compleja mientras que la operación del trabajador directo tiende en general a hacerse cada vez más pobre y rutinaria. Ello no es casual: esa operación ha debido perder también toda particularidad para poder ser prefigurada desde el papel. En este sentido, la tecnología supone y amplía, no sólo el poder teóricamente afianzado sobre la naturaleza, sino también el poder sobre el trabajo humano. Así, no solamente se agrava la división entre quienes conciben y diseñan y quienes realizan di-

rectamente la producción en el interior de una determinada sociedad. Se acentúa también -lo que a nuestro juicio es aún más grave- la "división internacional del trabajo"16. La fórmula de Bacon "saber es poder" se hace así cada vez más verdadera. Ya no se trata de una jerarquía puramente cultural defendida por una élite ociosa que cultiva, como su más alta forma de placer, la comprensión causal del mundo. Se trata de una jerarquía con clarísimas consecuencias no sólo en el campo económico y militar: lo que está en juego son grados distintos de poder de disposición sobre lo real. Reaparece así, en toda su actualidad, la otra indicación contenida en el texto de Aristóteles comentado: el desarrollo de la tecnología acentúa definitivamente la relación por él señalada entre la posesión del conocimiento causal y la división del trabajo.

Aunque nuestra historia nacional haya sido, en cierto sentido, la historia de nuestras diversas dependencias en el orden internacional, y aunque nuestro país posiblemente no tenga en el momento actual otra alternativa que la de comprar y consumir productos de tecnologías desarrolladas por otras naciones, no podemos -so pena de agravar nuestra dependencia- llegar a creer que en el campo del conocimiento nos baste con saber cómo emplear esos productos¹⁷. Resulta muy cuestionable la opción de que, con un criterio conservador o pragmático inmediato, nos contentemos con el adecuado empleo de esas importaciones de productos de la tecnología y pongamos en peligro nuestro futuro nacional, aunque sea con el pretexto de preservar y desarrollar las especificidades de nuestra cultura¹⁸

Una institución como la Universidad Nacional debe mantener la conciencia de que forma para el futuro, y debe tener bien claro que según el tipo de formación que ofrezca y asegure, no sólo decide un destino social para quienes estudian en ella, sino que opta por ampliar o por restringir el campo de posibilidades históricas de nuestra sociedad.

¿Un reactor nuclear para Colombia?



Presentación

Cuando ya el Comité Editorial había decidido destinar parte del número tres de la revista a la controversia sobre el papel que puede o debe jugar la ciencia en el desarrollo, el país conoció del proyecto de adquisición de un reactor nuclear con fines investigativos. Este contempla una inversión en el campo de la investigación científica y tecnológica para un solo proyecto en una cuantía que no tiene precedentes en nuestro país. Por esa y otras razones el caso se presta para un análisis de los complejos problemas inherentes al tema: la definición de prioridades en países con escasos recursos, la necesidad de apropiarse de tecnologías avanzadas, su relación con el conjunto de la tecnología del país y la dependencia que generan, la capacidad e independencia en la toma de decisiones, la rentabilidad que se debe esperar de una inversión de este tipo, la seriedad con la cual se ha tomado el desarrollo científico en nuestro medio . . . en fin, el proyecto se presta magníficamente para un "estudio de caso".

Con el fin de que el lector pueda realizar un estudio de caso sobre el sentido de la inversión científica en Colombia, el Comité Editorial adelantó una serie de entrevistas acerca de la posible adquisición de un reactor nuclear de investigación, con personas que sostienen sobre el proyecto tesis diferentes, en ocasiones abiertamente contrarias. Los entrevistados y su

Dr. Ernesto Villarreal, doctorado en ingeniería nuclear en los Estados Unidos, actualmente Director General del Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), la entidad gubernamental responsable de todo lo relacionado con la energía nuclear y sus aplicaciones en el país, y principal impulsora del proyecto. La entrevista tuvo lugar el 7 de septiembre de



Dr. Ernesto Villarreal

Rodríguez

Dr. Diego Buriticá

Dr. Diego Buriticá, profesor asociado del Departamento de Física de la Universidad Nacional, doctorado en física de reactores. Tres años de trabajo en el Jülich Nuclear Research Institute (RFA), presidente de la Sociedad Colombiana de Física. Ha colaborado con el IAN en sus negociaciones para la compra del equipo. Entrevistado el 22 de agosto de 1983.

Dr. Humberto Rodríguez, profesor asociado del Departamento de Física de la Universidad Nacional, doctor en materiales para reactores; trabajó cuatro años en el Jülich Nuclear Research Institute (RFA). Actualmente trabaja como experto en cuestiones energéticas. Entrevista realizada el 15 de julio de 1983



Dr. Jairo Londoño

Dr. Jairo Londoño, Ingeniero de Petróleos y Geólogo de la Facultad de Minas (Medellín) y M.Sc. en Administración de Empresas de Harvard (EU). Fue gerente de Carbocol y de Cerro Matoso S. A. Ha sido asesor del gobierno en política carbonífera. Actualmente es presidente de Fedecarbón y de la Comisión de Recursos Energéticos de la Sociedad Colombiana de Ingenieros. Su entrevista se realizó el 1o. de julio de 1983.

Para cada uno de ellos se elaboró un cuestionario particular, al cual respondieron individualmente, sin conocer las respuestas de los demás. El Comité Editorial presenta finalmente su posición, no a manera de conclusión sino como contribución al análisis. Los recuadros son igualmente responsabilidad del Comité Editorial. 🗆

Breve cronología

El 21 de octubre de 1982 el IAN y la Comisión Nacional de Energía Atómica de la República Argentina (CNEA) firmaron en el Palacio de Nariño una "Carta de Intención" que en su cuerpo dice:

"Los firmantes . . . expresan la voluntad de las Instituciones de negociar en forma directa el diseño, construcción, equipamiento y puesta en operación de un reactor de irradiación, una planta de producción de radioisótopos, una planta piloto para el tratamiento de minerales radiactivos y las instalaciones anexas . . .

Estas negociaciones se realizarán en un plazo máximo de seis meses contados a partir de la fecha . . . y tendrán como objetivo: establecer las condiciones económicas y financieras de la operación, favorecer el mayor desarrollo del potencial humano involucrado, garantizar una eficiente transferencia de tecnología y lograr una equilibrada participación de la industria de ambos países . . ."

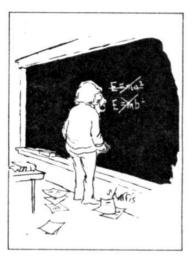
A nombre de las instituciones suscriben la carta el Almirante Carlos Castro Madero, presidente de la CNEA y el Dr. Ernesto Villarreal, Director General del IAN. Como testigos firman el Presidente Belisario Betancur, el Ministro de Minas Carlos Martínez Simahan y el Embajador de la República Argentina en Colombia. Dr. Raúl Medina.

La opinión pública tuvo oportunidad de precisar un poco los alcances del proyecto a través del artículo del Dr. Jairo Londoño, publicado el 7 de diciembre en "La Republica", de las columnas de Daniel Samper Pizano aparecidas en "El Tiempo" los días 5 y 6 de enero de 1983, y de las réplicas a ellas del Dr. Villarreal. A partir de entonces han aparecido esporádicamente en los principales diarios artículos y entrevistas sobre el proyecto.

Una breve cronología de hechos importantes previos a la firma de la carta de intención y posteriores a ella permitirán al lector comprender mejor la manera como se ha adelantado el proyecto, y el significado de algunas afirmaciones que aparecen en las entrevistas:

- En junio de 1981 el IAN, con el visto bueno del Ministerio de Minas y Energía, formuló consultas sobre la adquisición de un reactor nuclear de investigación de una potencia cercana a 10 MW a diferentes empresas extranjeras, directamente o a través de las embajadas. Como resultado de estas consultas, para mediados de 1982 se habían recibido propuestas de Belgatom (Bélgica), Interatom (Alemania), de la Junta de Energía Nuclear de España y de la CNEA de Argentina.
- En marzo de 1982 el Ministro de Minas y Energía, Carlos Rodado, solicitó al Departamento Nacional de Planeación (DNP) su concepto sobre la viabilidad del proyecto.
- El IAN, a petición del DNP, elaboró un documento explicando los alcances y características del proyecto, bajo el título Justificación preliminar para el proyecto "Reactor de Investigación IAN R2", fechado en junio de 1982.
- En octubre de ese año se firma la carta de intención ya citada.

- En abril de 1983 vencieron los seis meses contemplados inicialmente en la carta de intención, sin que hubieran avanzado notablemente las negociaciones. Se prorroga por otros seis meses.
- En mayo siguiente el IAN publica el documento Plan de desarrollo nuclear Proyecto, e inicia su distribución.
- Solicitada por el IAN llega en junio una comisión de dos expertos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA) para asesorar al IAN en el proyecto, conformada por los doctores Vera y Muranaka. Permanecen en Colombia entre el 20 y el 25 de junio, entregando a las autoridades del IAN un informe.
- En julio el IAN publica el documento Proyecto reactor IAN R2.
- En octubre venció la segunda prorroga de la carta de intención, y esta vez se prorroga sin término de vencimiento.



Entrevista con Ernesto Villarreal

"COLOMBIA DEBE REDUCIR SU DEPENDENCIA, Y ES POR CONSIGUIENTE NECESARIO ADELANTAR PROGRAMAS AUTOCTONOS, QUE PERMITAN ADQUISICION DE TECNOLOGIA Y A LA VEZ EL DESARROLLO DE LA CIENCIA"

Revista Naturaleza: ¿Cuáles son los objetivos del Instituto de Asuntos Nucleares?

Ernesto Villarreal: Los objetivos del IAN son similares a los que en otros países desempeñan las Comisiones de Energía Atómica, Podríamos agruparlos en tres áreas. Regulación. Dentro de este objetivo la entidad dicta, conjuntamente con otros organismos del Estado, las normas para que el empleo de los equipos que generan radiaciones ionizantes así como de los materiales radiactivos se haga sin peligro para los usuarios; presta asesoría a los usuarios sobre la forma como deben operarlos y los provee de dosímetros para vigilar la cantidad de radiación que están recibiendo. Investigación, como adecuación de las tecnologías nucleares que han sido desarrolladas en otros países a las necesidades colombianas, desarrollo de vacunas, tecnología de alimentos, fabricación de nucleoequipos para medicina nuclear, aplicación de técnicas nucleares en hidrología, en industria, en ingeniería, etc. Ejecución. El IAN adelanta programas de interés nacional. es decir, fuera del Instituto, como el programa de exploración de minerales radiactivos.

R.N.: ¿Cuál es la estructura de personal del IAN?

E. V.; El Instituto cuenta con unos 200 funcionarios. En la parte administrativa laboran unos 60 y el resto en la parte técnica. Entre éstos hay alrededor de 60 profesionales de muy diversas ramas, como geología, química, física, biología, bacteriología, derecho, e ingenieros de diferentes especialidades. Unos 40 han sido especializados en el campo nuclear, se les ha enviado al exterior para hacer una especialización que normalmente ha sido de un año como mínimo. A nivel de máster tendremos alrededor de 10 y a nivel de doctorado unos 4.

R.N.: ¿Posee el IAN programas estables para capacitar su personal?

E. V.: Como ustedes conocen en Colombia es casi imposible adelantar una especialización en el área nuclear. Para obtener grados académicos y hacer estudios más profundos hay que ir al exterior. Contamos con un gran número de becas para realizar estudios en varios países, ofrecidas principalmente por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En los últimos años Argentina y Francia nos han ofrecido becas para especializaciones cortas, más bien entrenamientos en áreas muy específicas. Es interesante mencionar que el IAN además ha conseguido becas, por ejemplo para la Universidad del Valle, el Hospital Militar y el Instituto Nacional de Cancerología, que requieren preparar personal en medicina nuclear.

R.N.: ¿En qué etapas se podría dividir la historia del IAN según el tipo de actividades que desarrolló?

E. V.: En 1959 el IAN reemplazó a la Comisión de Energía Atómica. Se inició la construcción de la sede actual. que empezó a funcionar a partir del año 1965 cuando se inauguró el reactor de investigación IAN que fue donado por los E.U. a cambio de que el gobierno construyera su infraestructura física. Para orientar las labores iniciales del Instituto se creó una Comisión Científica que formuló los programas que debían ser adelantados por la Entidad. Desde un principio, se trabajó en áreas como agricultura, medicina, tecnología de alimentos, exploración del uranio, aplicaciones industriales especialmente en el campo de los ensayos no destructivos, y por supuesto en el área de seguridad radiológica y protección de la población contra las radiaciones. Durante la década del 70 el

principal programa, que se empieza a adelantar a partir de 1973 aproximadamente, es el relacionado con la búsqueda de minerales radiactivos. El empuje que recibió ese programa se debió principalmente al alza en los precios del petróleo, lo cual ocasionó que muchos países, principalmente europeos, debieran adelantar programas de generación eléctrica a partir del consumo del uranio. Países europeos que no cuentan con muchos recursos de uranio decidieron invertir en países en vía de desarrollo para encontrar el recurso. En Colombia tuvimos varias compañías europeas trabajando conjuntamente con el IAN en la búsqueda de uranio. Para poder respaldar adecuadamente el desarrollo de esta búsqueda, por parte principalmente de inversionistas extranjeros, las actividades del Instituto recibieron un empuje en las áreas de exploración, metalurgia y química, ya que estas actividades tienen mucho que ver con la búsqueda del uranio, Así mismo, a partir de 1974, el programa de medicina nuclear alcanzó un desarrollo importante, no tanto como el del uranio. Por esta época en Colombia se empezaron a establecer planes de salud muy ambiciosos, donde se contemplaba, entre otros, la instalación de unos 10 centros para diagnóstico y tratamiento de cáncer. En este programa coordinado por el Instituto Nacional de Cancerología correspondía al IAN proveer a estos nuevos centros y a los que ya venían funcionando especialmente en Bogotá, de los materiales radiactivos para que pudieran funcionar. Desde entonces, las importaciones de material radiactivo para uso médico han venido creciendo muy rápidamente. En este momento empezamos a fabricar algunos elementos que se usan con dicho material radiactivo en medicina nuclear: son los nucleoequipos para uso con generadores de tecnecio y de indio, Estos son kits que tienen varios reactivos que se mezclan con los generadores para hacer diagnósticos de diferentes órganos del cuerpo humano.

R.N.: ¿Cuáles han sido los resultados de la prospección de uranio?

E. V.: La demanda por uranio dis minuyó tremendamente a finales de la década del 70 e inicios de ésta, entre otras como consecuencia de la disminución en los programas de instalación de centrales nucleares para generación eléctrica. El precio de la "torta amarilla" que hacia mediados del año 70 era de unos 40 dólares por libra, disminuyó a 15 dólares por libra hacia fines de la década. Esa situación mundial hizo que las compañías extranjeras que en Colombia buscaban uranio se retiraran del país. Después de 6 o 7 años de trabajo en Colombia. no se encontraron depósitos importantes. Hay muchas mineralizaciones, algunas de las cuales darán origen sin duda a depósitos económicamente explotables de tamaño intermedio o pequeño. En este momento el precio del uranio sique bajo, por tanto un depósito que se explotara en Colombia, debería tener unos precios de producción muy bajos para sacar uranio comercializable en el exterior.

R.N.: ¿El Instituto no ha pensado suspender el programa de exploración?

E. V.: No.Continuaremos con programas generales de prospección de uranio. En este momento estamos dedicados principalmente a interpretar la información geológica que ha sido recogida por el IAN y por las compañías extranjeras, que es muy valiosa para orientar las labores en ciertas áreas que son mejores para contener uranio, y que además está siendo analizada por otras entidades como INGEOMINAS, ECOMINAS, etc., ya que contiene datos sobre la existencia de fosfatos, cobre, oro y otros minerales.

R.N.: Por lo que usted nos ha contado acerca de la historia del IAN y de

los programas que ha desarrollado, también por lo que hemos podido leer en los informes de labores, parece que el IAN ante todo es un instituto que presta servicios a la comunidad en materia de tecnología nuclear, más que un instituto de investigación.

E. V.: Hay ciertos programas que evidentemente son de servicios, como nuestro programa de seguridad radiológica. Un programa de aplicaciones nucleares -lo llamamos aplicaciones en la ingeniería- o sea los ensavos no destructivos, es eminentemente de servicios: por ejemplo, no damos abasto para prestarle servicio de radiografía a Ecopetrol. Otro programa que es principalmente de servicios es la hidrología. Hay otros programas que no son de servicios, por ejemplo la parte agrícola, donde se hacen investigaciones sobre aplicación de fertilizantes, sobre micronutrientes en plantas, etc. También en el área de hormonas, donde estamos desarrollando vacunas, métodos para manejo de hatos desde el punto de vista de la fertilidad. etc. En el programa de medicina nuclear, por ejemplo, en cuanto al desarrollo de nucleoequipos, la parte inicial es una investigación de tecnologías que han sido desarrolladas en otros países. Ahora, en Física tenemos las dos componentes, una es la de servicios a las universidades ya que hay un gran número de estudiantes que realizan aquí prácticas, y hay una componente de investigación en estudios sobre física nuclear, en colaboración con la U. Nal. en programas de partículas a baja energía. En el área de la química también tenemos los dos componentes, de servicios para respaldar las labores de exploración y otra de investigación, de adecuación a nuestras facilidades de las tecnologías extranjeras en el área de la química nuclear.

R.N.: ¿Se podría hablar del IAN como una institución de "servicios en investigación", en el sentido de que no puede desarrollar completamente la diversidad de investigaciones que se propone, por su relativamente pequeña

planta de personal, sino que más bien debe colaborar por ejemplo con entidades especializadas en agricultura, medicina, etc.?

E. V.: En varios casos, me parece correcto. Por ejemplo, tenemos una fuente de cobalto cuyo uso puede ser muy amplio: en conservación de alimentos, en desarrollo de nuevas semillas, etc.; el Instituto no tiene el personal que pueda encargarse de todo el desarrollo de ese tipo de investigación. Ahí sí estamos actuando como una entidad de servicio.

Pero en otros campos como el agrícola y el ganadero, trabajamos muy de cerca con el ICA, con la U. Nacional. Esas entidades nos traen el complemento de personal capacitado que no puede tener el Instituto. Ellos no tienen la posibilidad de tener un reactor o un generador de neutrones, o una fuente de cobalto. Sería muy costoso. Creo que la principal razón para que esas actividades se desarrollen en este Instituto es la de que estamos trabajando con material radiactivo; son investigaciones que requieren técnicas nucleares.

R.N.: ¿Para qué se ha utilizado el actual reactor del IAN desde su instalación en 1965?

E. V.: Los dos principales usos del reactor han sido: Primero, análisis por activación neutrónica, un método analítico muy exacto, de gran sensibilidad, Segundo, fabricación de material radiactivo, pero el pequeño flujo de neutrones disponible no nos permite pensar en preparar los materiales radiactivos de uso médico, de gran consumo en el país, que son los que principalmente estamos importando. El material que podemos fabricar puede ser utilizado sólo para algunos fines industriales, y nos ha servido en aplicaciones que hacemos en hidrología. Inicialmente, este reactor se utilizó para hacer algunas investigaciones sobre física de reactores, pero esas investigaciones fueron concluidas muy pronto debido a que los flujos neutrónicos disponibles son demasiado bajos.

R.N.: ¿Hay planes para hacer este reactor más útil en problemas de investigación?

E.V.: Sí. Hay esa posibilidad, los profesores que vinieron la semana pasada¹ así lo creen también, de ellos, Caro, de la Junta de Energía Nuclear de España, opina que este reactor en principio podría reformarse, casi que reconstruirse totalmente, para que operase a un megavatio de potencia. Creo que es demasiado optimista. Muranaka opina en su informe² que podría pensarse en subirlo a 50 o a 100 kilowatios de potencia de operación. Definitivamente un reactor de 1 megawatio tampoco nos sirve para fabricar el material radiactivo de uso médico: se requeriría del orden de 3 megawatios para hacerlo Lo ideal sería tener dos reactores funcionando. Además, el actual nos tiene que servir como mínimo cinco años más, mientras se construye el nuevo. El reactor actual sería un instrumento ideal para servir de prueba a los elementos combustibles que van a ir en el reactor más grande.

R.N.: ¿Se han constituído en el IAN grupos de personas que tengan preparación suficiente para poder participar de manera activa en ese rediseño del actual reactor?

E. V.: Hay tres físicos y otros profesionales colaborándoles en la ejecución de estudios sobre conversión a una potencia más alta. La OIEA también está dispuesta a colaborarnos en esta tarea.

R.N.: La lectura de los informes anuales del IAN y de otros informes producen la impresión de que la remo-

delación del reactor actual debió hacerse hace 5 años.

E. V.: Ustedes hablan del cambio de combustible y no de aumentar la potencia. Me parece que la razón principal para no haberlo hecho es que el actual combustible ha seguido funcionando muy bien. La carga de combustible vale cerca de 1 millón de dólares. y conseguir esto del Gobierno no es fácil para nosotros. Así que mientras podamos seguir operando con este reactor, especialmente con los mismos elementos combustibles, debemos hacerlo. Un examen hecho hace un mes o dos por la Comisión de Energía Atómica del Canadá indicó que no hay problema en seguir empleándolos durante unos cuatro años.

R.N.: Se habla de que el actual reactor no tiene muchas facilidades experimentales. ¿Nose trató en el pasado de conformar un grupo que pudiera rediseñar muchos de esos aspectos para que se hiciera un poco más operativo?

E. V.: Serían muy pocas las facilidades que podríamos adicionar al actual reactor, a no ser que se le haga una completa reconstrucción en el sentido de elevar su potencia. Si no se pensó en instalarlas desde un principio, ahora sería casi imposible hacerlo.

R.N.: Existe un proyecto de plan de desarrollo nuclear elaborado por el IAN en mayo de 1983. En ese proyecto no hemos encontrado ninguna fecha, ningún intento de periodización, nada sobre costos y recursos.

E. V.: Hay 4 grandes programas en el Plan, y cada uno de ellos comprende varias unidades. Tenemos algunos documentos por lo menos para dos de esas unidades. Por ejemplo, en el campo de la metalurgia, hay un programa que abarca un período de 4 años, en el cual se especifican las necesidades de personal y de equipos, y también en el aspecto presupuestal.

Estamos cuantificando cada una de las unidades. Ahora, mucho va a depender de qué ocurre con el proyecto con la Argentina, porque en desarrollo de éste, donde consideramos que puede invertirse del orden de unos 50 millones de dólares, se adquirirá gran parte de la infraestructura requerida para el desarrollo de todos los programas

R.N.: ¿Cuál es la historia de este Plan de desarrollo? ¿Desde cuándo se empezó a hablar de él?

E. V.: Diría que desde hace unos dos o tres años, cuando empezamos a pensar en el nuevo reactor de investigación. Fue necesario empezar a diseñar el Plan de desarrollo nuclear, que nos sirviera de base para pensar en el nuevo reactor. Este plan lo hemos repartido entre varias entidades, como Colciencias, universidades, oficinas del gobierno, la Sociedad de Química, la Sociedad de Física, la Sociedad de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y Ramas Afines, además de algunas personas que creemos pueden opinar acerca del tema. Algunos de ellos nos han formulado sugerencias, que hemos venido involucrando.

R.N.: Dado que nuestro desarrollo científico en investigación en el área nuclear es prácticamente nulo, fuera del IAN, y que no existe un programa nuclear para Colombia pues el que usted menciona es sólo un proyecto del IAN, ¿cómo han plasmado otros sectores sus necesidades en este proyecto de desarrollo nuclear?

E. V.: Ese proyecto, desafortunadamente, no alcanzó a ser aprobado por el gobierno anterior. No dudo que quede aprobado en pocos meses sin mayores modificaciones. El plan contempla no sólo las actividades del IAN, sino las otras actividades que en el campo nuclear debe adelantar el país. Mientras no se apruebe este Plan, las actividades de entidades como el IAN y Coluranio continúan definidas dentro de objetivos a corto plazo, de gobierno a gobierno. Con el Plan definimos claramente objetivos a largo plazo. Sobre la justificación de este programa yo creo que todos es-

El Dr. Villarreal se refiere a los profesores que dictaron el curso sobre reactores organizado por el IAN y la Asociación Pro Centro Internacional de Física (ACIF), que tuvo lugar en el mes de aoosto de 1983.

Se trata del informe de los dos asesores de la misión de la OTEA que estuvo en Colombia a finales del mes de junio de 1983.

taríamos de acuerdo en que países como Colombia deben reducir su dependencia tecnológica, que esa tecnología no se podrá conseguir a precios bajos en el futuro, y es por consiguiente necesario desarrollar programas autóctonos, que permitan una gran adquisición de tecnología y a la vez el desarrollo de la ciencia. Si queremos desarrollar el sector nuclear debemos encontrar un tipo de actividades que pueda, mediante su desarrollo, beneficiar a una amplia gama de sectores. El desarrollo de un programa nuclear ha demostrado en países como Argentina y Brasil, que tiene la capacidad de irradiar un beneficio a muchos sectores además del específicamente nuclear. La construcción de un centro nuclear, va a involucrar una serie de actividades en el campo de tratamiento de aguas, de la seguridad de la población contra las radiaciones, de diseños de ingeniería, de electrónica muy especializada, de fabricación de componentes pesados bajo un control de calidad, etc., que difícilmente se requieren para desarrollar otros sectores en ciencia y tecnología. Así que la construcción de un centro de este tipo va a implicar que se involucre a un gran número de profesionales, de sectores industriales en diferentes áreas, que adquirirán variadas tecnologías. Me parece que ese efecto multiplicador que tiene el desarrollo de un programa nuclear, es bastante amplio si se compara con el efecto multiplicador de otros proyectos que puedan ayudar al avance de la ciencia y tecnología.

R.N.: ¿Este gran Programa que se plantea no requiriría reestructurar totalmente el IAN?

E. V.: En este momento estamos haciendo una reestructuración en cuanto al área de personal. A más largo plazo creemos que la operación de este centro nuclear requerirá unas 50 personas adicionales.

R.N.: Quisiéramos saber si otras entidades, si la comunidad científica, si las universidades, han participado de

alguna manera en la misma elaboración del plan.

E. V.: En nuestra Junta Directiva están representados los ministerios de Educación, Salud, Defensa, Desarrollo y Minas y Energía. Creo que los miembros de la junta han tratado de distribuir esos documentos entre las entidades de sus respectivos ministerios. Así mismo hemos hecho llegar el proyecto del Plan, como dije antes, a otras entidades y personas. Ahora, al desarrollarse el proyecto con Argentina tenemos la idea de que en la etapa de negociación se constituya un comité conformado por representantes de las sociedades de Química, Física, de Ingenieros, de la Universidad, que sirva como órgamo asesor de una comisión interministerial encargada de adelantar la negociación con Argentina. La comisión interministerial estaría conformada por los ministerios de Minas, Hacienda y Relaciones Exteriores. y por el Departamento Nacional de Planeación.

R.N.: ¿Cómo se ha proyectado la negociación con Argentina?

E. V.: Hay un calendario de actividades previstas y cinco subcomisiones de trabajo para hacer la negociación: 1) Subcomisión de participación de la industria colombiana. Estudiará la manera como la industria e ingeniería colombianas puedan hacer la mayor parte de este proyecto, no solamente la parte de servicios sino el suministro de partes. 2) Subcomisión de seguridad y licenciamiento. Preparará todas las normas para el licenciamiento de las plantas que se instalarían en el país. Toda la parte del estudio del impacto ambiental para el licenciamiento sería considerada por esta subcomisión. 3) Subcomisión de capacitación, participación y transferencia de tecnología. Definiría los perfiles de especialización que deben recibir los funcionarios que en cinco años deben venir a operar los equipos. Se ha pensado inicialmente que la capacitación empiece en Colombia, organizando cursos, por ejemplo, con profesores del extranjero.

Posteriormente habría una capacitación en Argentina, relacionada con la operación de equipos, o en otros países, si se trata de su utilización, por ejemplo, en física, activación neutrónica, metalurgia, genética, etc. En cuanto a participación aspiramos a que se vinculen colombianos a la industria argentina en el área de producción de las partes para este reactor y para los laboratorios complementarios. Sería una participación especialmente para industriales colombianos. En cuanto a transferencia de tecnología, la idea es que podamos adquirir la mayor cantidad de tecnología, no solamente durante el proyecto, sino tratar de definir programas posteriores a la finalización del proyecto, que serían desarrollados conjuntamente con Argentina. 4) Subcomisión de aspectos económicos, financieros y legales. Tratará de definir los precios, los acuerdos internacionales que haya que firmar con Argentina o con otros países para poder adquirir estos equipos y la financiación. Tal vez es importante comentarles que la idea no es gastar 30 millones de dólares en divisas (lo que valdría la importación del equipo), sino cambiarlos por café. 5) Subcomisión de suministros. Aquí se definirán cuáles son los equipos que se suministrarán, ya que unos son imprescindibles v otros accesorios.

R. N.: Entre los equipos que se planea traer con el reactor está una planta de producción de radioisótopos. ¿Se justifica producir en el país estos radioisótopos que requieren gran calidad? ¿Se encontrará mercado para ellos?

E. V.: Una de las justificaciones para este reactor es la producción de radioisótopos. Desde luego hay que ganarse la confianza del consumidor, poco a poco. Así ha sido la experiencia en otros países. No aspiramos a producir todo lo que se consume en el país en el sector médico nuclear pero sí un buen porcentaje. El IAN y otras entidades importan material radiactivo, pero el consumo de estos productos en el país debe sufrir un incremento im-

portante al saber los usuarios que en el país se producen y que no tienen que verse obligados a un proceso de importación, en ocasiones difícil, o que hace imposible el uso de materiales de vida muy corta. Esto ha sucedido por ejemplo con los nucleoequipos que estamos fabricando, que tienen una buena demanda nacional porque, además, nosotros podemos producirlos a precios más baios.

R. N.: ¿Qué radioisótopos se piensen producir en Colombia?

E. V.: En este momento la mayor demanda es por el tipo de generadores de tecnecio y yodo 131, en diferentes formas. Pero se producirían además diversos productos.

R. N.: En el Informe de la Misión de Cooperación Técnica de la OIEA³, se menciona que en ambos casos, tecnecio y yodo, sería necesario continuar la importación aún con el reactor nuevo. ¿Es posible que la demanda del yodo 131, no pueda ser suplida con la producción local?

E. V.: Sí, la demanda actual es importante y seguramente seguirá creciendo, entonces tal vez, especialmente al comienzo, no podamos producir absolutamente todo; habrá que producir la mayor parte e importar el resto.

R.N.: Además se menciona que habría que importar otros elementos para poder fabricar los generadores de tecnecio.

E. V.: Inicialmente habría que importar parte de los generadores, pero también se advierte que se están desarrollando otras tecnologías que posiblemente harán fácil para países como Colombia el producir completamente el generador en el país.

R. N.: De otra parte, también se ha planeado la instalación de una planta de metalurgia extractiva de uranio E. V.: Cuando nosotros empezamos a hablar con los argentinos acerca de este proyecto que incluye una planta piloto para metalurgia extractiva del uranio, vivíamos mejores épocas, teníamos todavía las compañías extranjeras trabajando en Colombia y en ese momento se justificaba. Hoy en día creemos que tal vez puede ser una planta más pequeña, a nivel de laboratorio.

R. N.: ¿Tiene alguna ventaja la tecnología argentina respecto a la de otros países más desarrollados?

E. V.: Podríamos adquirir un reactor más moderno con tecnologías más avanzadas, de países como E.U., Francia, Alemania, con quienes dialogamos inicialmente sobre esta posibilidad. Pero. ¿no sería más adecuado adquirir una tecnología que sea más fácil de maneiar, de un país en vías de desarrollo, con problemas parecidos a los nuestros para operar equipos especiales como es la Argentina? Argentina, a nivel de latinoamérica es uno de los más avanzados en el campo nuclear. La Comisión de Energía Atómica de la Argentina opera 6 reactores de investigación y actualmente tiene unos seis mil funcionarios. Además nos ha ofrecido la posibilidad de participar en todas las etapas del proyecto, de que los profesionales colombianos que quieran vincularse al provecto puedan trabajar en las etapas de diseño, de fabricación de piezas, de vincularse a las compañías de ingeniería de ese país. El idioma es también otra facilidad.

R. N.: ¿Qué clase de dominio se va a tener sobre la tecnología que se va a importar?

E. V.: Aspiramos, hasta donde sea posible, a vincularnos a todas las etapas del proyecto, trabajar al lado de los que están haciendo los diseños, la fabricación de partes, en resumen, aprender al máximo. Esperamos que este personal, sea del gobierno, de la industria nacional o de las universidades, una vez desvinculado del proyecto, retorne al país y continúe vinculado de alguna manera a los nuevos equipos. Consideramos muy importante que haya esa colaboración no sólo durante la ejecución del proyecto sino que quede claramente definido cómo vamos a seguir colaborando una vez funcionen los equipos en futuros programas.

R. N.: Como usted ha mencionado, en nuestras universidades casi no hay especializaciones en ramas de tecnología nuclear. ¿No cree que para un centro de una magnitud como la que va a tener el IAN sería aconsejable impulsar estas líneas de especialización?

E. V.: Estoy muy de acuerdo. Quiero decirles que recientemente hemos firmado una serie de convenios en este sentido: en física con la U. del Valle, con la U. Central para el área de la hidrología y esperamos firmar uno en el área de la química con la Universidad Nacional. Al instalarse el nuevo centro nuclear se necesitarán muchos convenios con universidades, pues ellas posen el personal calificado para hacer verdaderos proyectos de investigación.

R. N.: Entre las posiciones respecto a la manera de impulsar el desarrollo nuclear en los países en vía de desarrollo está la expresada por el Dr. Sefidvash en la Mesa Redonda, quien es partidario de un desarrollo gradual, más lento que el del Brasil o tal vez del Perú, pero en todo caso muy autónomo. Según él, es muy importante que el país sea capaz de diseñar su propio reactor, de acuerdo con las condiciones de los centros de investigación y con las necesidades de servicio de la misma nación. Una vez que se tuviera el diseño, proceder a la construcción del mismo.

E. V.: El Dr. Sefidvash ha venido trabajando en un tipo de reactor de generación eléctrica más adecuado a las necesidades de América Latina. Sin duda hay países, como la Argenti-

junto con el nuevo reactor. ¿Se justifica esta planta, dada la difícil situación que atraviesa el uranio en el mundo?

³ Ibid

na, en los cuales el primer reactor de investigación fue diseñado por ellos mismos, sin participación extranjera. Sin embargo esos países, desde un principio, cuando pensaron en reactores de investigación, también estaban pensando en reactores de potencia. Son países que tienen programas nucleares importantes, donde se requiere generación eléctrica nuclear y las entidades de energía atómica han recibido un respaldo muy fuerte de parte de los gobiernos, lo que les ha permitido consolidar un cuerpo de profesionales muy bien capacitado; pueden contar así mismo con laboratorios que les permiten hacer pruebas y diseñar tales reactores. Creo que en el caso colombiano sería muy difícil, pues puede tomar varios años el preparar un personal que esté capacitado para hacer un diseño de un reactor de investigación. Hemos hablado con los argentinos de participar en esta etapa, pero indudablemente nuestra participación sería más en el sentido de recibir esa transferencia de tecnología.

R. N.: ¿Porqué no se ha pensado en preparar ese grupo de personal?

E. V.: Yo diría que no se justifica preparar para diseñar un reactor de investigación, a toda una serie de profesionales que van a venir a hacer un trabajo por una sola vez y luego desaparece su necesidad. Sería un esfuerzo muy costoso para el país prepararlos para hacer una sola tarea. En los otros países que se han mencionado hay ya un

programa nuclear muy definido pero es siempre orientado hacia las necesidades de generación eléctrica. Un país como Colombia que no tiene ese tipo de necesidades, me parece que no puede pensar por ahora en tener más de dos reactores de investigación —el actual y el que hemos propuesto.

R. N.: ¿Pero en este país no hay necesidad de generar energía eléctrica por medios nucleares?

E. V.: Los estudios que han hecho las entidades encargadas de ello, demuestran que durante este siglo no se justifica una central de generación eléctrica nuclear y muy posiblemente la misma situación seguirá por los primeros años del siglo próximo. Tenemos inmensos recursos hidroeléctricos y de carbón, que en principio, son más fáciles de manejar que las centrales de generación por energía nuclear, y el costo de kW-hr final aparece para el carbón, como más bajo.

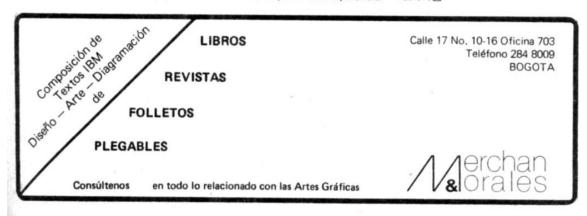
R. N.: Si los estimativos de necesidad de generación eléctrica nuclear son para el año 2030, ¿no se deberían dar los primeros pasos para el reactor de potencia?

E. V.: Por lo menos en el área de capacitación de personal creo que muy pronto habrá que enviar personal al exterior para que estudie las diferentes formas de generar electricidad a partir del uranio, pues existe gran variedad de reactores. Deberían estudiarse todas las posibilidades para estar

preparados al tomar una decisión acerca de cuál es el tipo de reactor que más conviene a nuestro país.

R.N.: ¿Qué entidad debe tomar la decisión de la compra del reactor? ¿qué criterios crae usted que van a primar para tomarla?

E. V.: Creo que las diferentes subcomisiones de trabaio que se establecen para hacer la negociación hacen recomendaciones a la comisión interministerial, con la asesoría del IAN v del comité conformado por potenciales usuarios de los equipos. Nosotros haríamos por lo tanto una recomendación. tratando de cubrir todos los temas desde el punto de vista técnico, legal, y financiero, etc. Creo que la decisión debe ser a nivel muy alto, ya que se considera que el reactor total puede valer unos 20 millones de dólares y los otros equipos adicionales más la infraestructura requerida pueden hacer que el valor del proyecto suba a unos 50 millones. Entonces, para tomar este tipo de decisión se acudirá al nivel más alto, en donde se estudiarán nuestras recomendaciones, y se aplicarán otros criterios de interés del gobierno. Por ejemplo, la existencia de un reactor de 3 megawatios en Venezuela, la próxima construcción de uno similar en Ecuador, la existencia de un reactor de potencia mínima y la próxima entrada en funcionamiento de un reactor de 10 megawatios en Perú, son factores que pueden ayudar a tomar una determinación.



Entrevista con Humberto Rodríguez

"EL DESARROLLO DEL SECTOR NUCLEAR EN EL PAIS DEBE PROVENIR DE LA NECESIDAD DE CUBRIR DEMANDAS DE ENERGIA"

A nivel global el futuro suministro de energía de la humanidad tiene que descansar necesariamente sobre la energía nuclear. Actualmente ésta participa casi con el 10% de toda la energía que se produce en el mundo. REVISTA NATURALEZA: ¿Qué importancia le han concedido a la nucleoelectricidad los diversos estudios sobre el sector eléctrico?

HUMBERTO RODRIGUEZ: La energía nuclear no ha sido considerada detenidamente en el país. Haciendo un poco de historia, en el gran estudio que se realizó sobre la energía eléctrica el llamado Estudio del Sector Eléctrico (ESE)1 se estudió la posibilidad de introducir reactores nucleares como una alternativa para las plantas termoeléctricas. En él se consideró que reactores del orden de los 600 megawatios no tenían cabida dentro del sistema de interconexión, ya que significarían entre el 5 y el 10% de la capacidad instalada, porcentaje elevado que no podía descansar en una sola central. Además, se hicieron estudios de costos de capital y costos de generación para centrales nucleares y se llegó a considerar la localización de centrales en cuatro sitios: Puerto Wilches, Puerto López, Galerazamba y Buenaventura, teniendo como criterios las facilidades de transporte de equipo pesado, suministro adecuado de agua para refrigeración, vecindad a los centros de consumo y algunas otras simples y de carácter técnico. Este fue un estudio meramente exploratorio donde se vislumbró la entrada en operación de plantas nucleares después del año dos mil.

Posteriormente, el Instituto de Asuntos Nucleares utilizó el *WASP II* (Wien Automatic System Planning, versión II²) para hacer un estudio de la posibilidad de introducir centrales nucleares en el país. Al aplicarse al caso colombiano el modelo arrojó como principal resultado la posibilidad de que entrara en operación una central de 600 MW, eléctricos en el año 1998. Luego, en el *Estudio Nacional de Energía (ENE)*³ se hizo una análisis detallado esencialmente acerca del uranio. Co-

mo el ENE es un estudio esencialmente económico, las consideraciones que se hicieron sobre el sector nuclear fueron bastante reducidas; de todas maneras es notorio que a la energía nuclear no se le dio ninguna posibilidad de ser introducida antes del año dos mil

Se debe considerar también el papel que se le da a la energía nuclear dentro del contexto mundial. Aquí vale la pena destacar los resultados del estudio Energía en un Mundo Finito4, en el cual se pone de presente que a nivel global el futuro suministro de energía de la humanidad tiene que descansar necesariamente sobre la energía nuclear, como una de las mayores fuentes de energía. Se espera que para el año 2030 la participación del sector nuclear en el suministro de energía será de casi un 40%. De tal manera que la energía nuclear tiene que desarrollarse en los próximos años a nivel mundial sobre todo en los países industrializados, si bien en el caso colombiano debido a la vastedad de los recursos energéticos convencionales, sobre todo en los sectores hidroeléctrico y carbonífero, las posibilidades de emplear la energía nuclear antes del año 2000 son materialmente nulas.

R.N.: ¿Cuál es actualmente la participación a nivel mundial del sector nuclear en el suministro de energía eléctrica?

H.R.: A nivel mundial, la participación de la energía nuclear es casi el 10% de toda la energía que se produce anualmente en el mundo. Esta energía proviene de 500 reactores distribuidos en 36 países⁵. Ahora bien, este porcentaje no es ni la sombra del que se había pronosticado para esta época, pues según estimados del año 50, debería ser entre 2 y 3 veces superior. Mirando el panorama latinoamericano, el desarrollo de la energía nuclear ha sido

Estudio del sector eléctrico, Vol. IV, Thermal Power Plants Alternatives, DNP – ISA – FONADE (1979), Bogotá.

Estudio de planeación nucleoeléctrica para Colombia, IAN (1981), Bogotá.

³ Estudio Nacional de Energía, DNP – MINMINAS – FONADE, Editorial Gráfica (1982), Bogotá.

Energy in a Finite World. W. Haefele y otros. Ballinger Press (1981), Boston. E.U.

A. Weinberg, Physics Today, marzo 1981

tomado con mucho entusiasmo por algunos países, predominantemente Argentina y Brasil. Pero Argentina ha tomado una línea de desarrollo más propio, a diferencia de Brasil, más preocupado por la compra de tecnología. El plan nuclear argentino tiene una meta muy clara, cual es alcanzar la capacidad nacional de diseñar y construir centrales nucleares para hacerse autosuficientes en este sector, objetivo trazado desde comienzos de la década de los 50, cuando comenzó labores la Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. Ahora, ambas naciones desean ser realmente potencias nucleares, están localizadas en el cono sur y cada una por su lado está tratando de ejercer influencia sobre el desarrollo nuclear de los países vecinos.

R.N.: ¿Qué pasos harían parte de un programa que culmine en la instalación de centrales nucleares de potencia?

H.R.: Esencialmente, el desarrollo del sector nuclear en el país debe provenir de la necesidad de cubrir demandas de energía que pueden aparecer después del año 2000. Faltan unos 40 o 50 años para el establecimiento de una central nuclear en Colombia. El desarrollo de este sector no se puede improvisar; requiere de una programación que comprende variados aspectos: analizar la demanda y la distribución de energía eléctrica de todo el país, hacer una evaluación de la capacidad y de la calidad de la industria nacional para suministrar algunas partes de un reactor. Por otro lado, es necesario estudiar la capacidad de las universidades de entrenar y formar personal calificado en este campo, habría que organizar y estudiar la constitución de una comisión regulatoria nacional o comisión de normas que controlara el montaje de reactores nucleares. Además, estudiar las demandas de combustible y hasta dónde éste podría provenir de recursos uraníferos nacionales, y en qué grado el combustible nuclear se podría procesar en el país a partir de estos recursos. También habría que tener en cuenta factores adicionales como localización de centrales nucleares respecto de centros de consumo, facilidades de transporte para llevar las partes más grandes y pesadas, etc. Como se puede observar, el proceso es algo complejo.

R.N.: Según expresó el director del IAN en la conferencia que dictó en la Sociedad Colombiana de Ingenieros, el reactor nuclear que se planea adquirir no está involucrado directamente en un plan de generación eléctrica. Una de las principales justificaciones para su adquisición es la producción de radioisótopos. Desde este punto de vista, ¿considera conveniente su adquisición?

H.R.: Es cierto que la mayor parte de los radioisótopos que se consumen en el país son importados. La producción del IAN durante 1982 fue de aproximadamente 350 milicuries, de los 50 curies que se estima consume el país; la cifra importada es 100 veces superior a la producida. También es cierto que algunos radiosiótopos no se pueden producir en el país por el bajo flujo del reactor actual. Pero el costo total de las importaciones es irrisorio, unos 20 millones de pesos, un volumen de importación que no justifica económicamente un complejo para producirlos. Por otro lado, los radioisótopos que se emplean en radiofarmacia y que sería posible producir en el país, podrían no tener los estándares de calidad, ni la certificación de calidad que permitiera su uso con el grado de confianza que se le da a los radiofármacos importados. No basta con producirlos. Finalmente, si se pensara en producirlos sería necesario, después de lograr los estándares de calidad, buscar nuevos mercados para esos productos, seguramente en los países vecinos, entrando en franca competencia con compañías europeas y americanas ya establecidas, que los producen con muy buena calidad y relativo bajo

R.N.: ¿Hay condiciones de seguridad en los establecimientos que manejan estos materiales radiactivos y en general fuentes emisoras de radiaciones ionizantes? Un inventario del Ministerio de Salud en 1981 mostró que de 3000 personas que trabajan con fuentes emisoras de radiaciones ionizantes 5 de cada 6 no tiene ningún servicio de dosimetría.

El desarrollo del sector nuclear en el país debe provenir de la necesidad de cubrir demandas de energía que pueden aparecer después del año 2000. En esto no se puede improvisar.

H.R.: El Ministerio de Salud elaboró en 1981 un inventario del número de equipos y de laboratorios que trabajan con fuentes emisoras de radiaciones ionizantes y de la población expuesta a ellas. Se encontró que en el país existen alrededor de 1650 equipos para rayos X. 20 bombas de cobalto y 16 laboratorios de medicina nuclear. Hay alrededor de 3000 personas que se ocupan o trabaian con fuentes emisoras de radiaciones ionizantes y 1300 establecimientos que operan con estas fuentes. Sin embargo, existe un gran abandono en cuanto se refiere a la protección de la población que trabaja con estas fuentes. Ese inventario mostró que de esas 3000 personas, 5 de

cada 6 no tiene ningún servicio de dosimetría y no es posible, por lo tanto, determinar el grado de exposición a que están sometidas. También se encontró que aproximadamente 12 de cada 13 establecimientos funcionan sin licencia, y por consiguiente sin los estudios previos que les permitan operar bajo condiciones de seguridad aceptables para sus trabajadores. Estas cifras no son sino indicativas, pues no existe un inventario completo de los equipos existentes en el país. Esto puede obedécer a varias razones. La primera de ellas, que en el país según parece se está introduciendo material radiactivo de manera ilegal, y la segunda, la capacidad operativa de los institutos que

manejan este problema es bastante reducida, de tal manera que no pueden atender todo el sector.

R.N.: Desde el punto de vista legal, ¿quién tiene la obligación de proteger a la población?

H.R.: Por una parte, el Ministerio de Salud debe velar por la salud de las personas en general, y, en particular, por las personas que trabajan, por ejemplo, con material radiactivo y equipos emisor de radiaciones ionizantes (rayos X, alfa, beta, gama, neutrones, etc.). Entonces, existen disposiciones gubernamentales que adoptan medidas para la protección de la salud de es-

LOS COMIENZOS DE LA FISICA NUCLEAR

Siguiendo el hilo de las investigaciones de Roentgen sobre los rayos bautizados "X", H. Becquerel decidió exponer a la luz solar una sustancia notablemente fluorescente, el uranillo, sospechando que ésta emitirfa rayos X. La suposición de Becquerel era incorrecta, pero la casualidad —y su meticulosidad— la permitieron descubrir que el uranilo emitfa, sin necesidad de ser previamente expuesto a la luz, una radiación penetrante semejante a los rayos X.

En varios laboratorios se investigaron las radiaciones reportadas por Becquerel. Para 1902, los esposos Curie habían logrado aislar del uranilo dos nuevos elementos químicos, que llamaron polonio y radio. Se habían determinado las siguientes propiedades de las sustancias radiactivas: 1) Emiten radiaciones con diverso grado de penetración, llamadas desde entonces alfa, beta v gama que impresionan las placas fotográficas. 2) Debe existir en estas sustancias una fuente no usual de energía pues, por ejemplo, un tubo que contenga radio permanece caliente. 3) Las emisiones son indiferentes a cambios en el medio que sí alteran en general las propiedades químicas de las sustancias. 4) La radiactividad viene acompañada de transmutación

En esta época la hipótesis atómica carecía de pruebas experimentales directas, Prout había propuesto en 1815, basado en las primeras mediciones de los pesos atómicos, que todas las sustancias estaban compuestas de una misma entidad elemental, el protifo, a la que identificó con el hidrógeno. Medidas más precisas revelaron que los pesos atómicos no eran múltiplos enteros del hidrógeno y finalmente el hecho de que el peso atómico del CI fuera cercano a 34,5 enterró el protilo. Los fenómenos radiactivos revivieron levemente la esperanza del sencillo universo de Prout: mediante emisiones sucesivas de partículas los elementos se transmutaban unos en otros, como se detectaba por las propiedades químicas de las sustancias que aparecían, En 1909 Soddy encontró que luego de dos emisiones sucesivas aparecía una sustancia con propiedades químicas idénticas a la original, y evidentemente de diferente peso, Sugirió que no todos los átomos de un mismo elemento químico pesaban igual, lo que podía explicar las divergencias con la hipótesis de Prout, Así lo comprobó 11 años más tarde Aston, quien con su espectrógrafo de masas detectó claramente la existencia de isótopos aún en sustancias estables.

En 1911 Rutherford bombardeó láminas muy delgadas de oro con partículas alfa, identificadas tres años antes como núcleos de helio. Sus resultados condujeron al modelo de átomo nuclear, según el cual la masa del átomo está concentrada casi completamente en una región de no más de 10⁻¹⁵ m de radio, de carga positiva.

Las partículas alfa tenían energías cinicias muy altas, y no tandaron en aparecer los ambiciosos alquimistas modernos, que vieron en ellas la herramienta para lograr la tænsmutación de los elementos que no se pudo lograr por métodos químicos. En 1907 se había reportado la transmutación de agua en neón y argón, lo que des-

pués se vió era falso, v se bombardeaba mercurio con electrones y plomo con partículas alfa buscando conseguir oro, Analizando la penetración de partículas alfa en gases a diferentes presiones, Rutherford tuvo el éxito que los apresurados Midas modernos no lograron: cuando las partículas alfa bombardeaban nitrópeno, se observó la aparición de hidrógeno. Al mismo tiempo que se lograba la primera transmutación artificial, se detectaba la presencia de núcleos de hidrógeno en el interior de los núcleos más complejos, como había propuesto Prout, En 1921 Rutherford propuso llamar protones a los núcleos de hidrógeno. La partícula alfa debía estar compuesta de cuatro protones y dos electrones, y los núcleos de todos los átomos estarían conformados por protones, electrones y partículas alfa, Pero la presencia de electrones en el núcleo creaba serias dificultades teóricas, Desde 1920 Rutherford sugirió la posibilidad de que existiera una partícula neutra en el núcleo.

Durante los años 20 se bombardearon átomos livianos con partículas alfa, En 1930 Bothe reportó que al bombardear berilio con partículas alfa resultaba una radiación muy penetrante —rayos de berilio— que supuso era radiación gama de gran energía. Chadwick sugirió en 1932 la existencia del neutrón, un protón estrechamente asociado a un electrón, y con él explicó el comportamiento de esta radiación penetrante.

El mismo año del descubrimiento de Chadwick, Cockcroft y Walton consiguieron acelerar protones hasta altas velocida-

tos trabajadores, y es el Instituto Nacional de Salud el que se ocupa de esto. Por otra parte, el IAN está comprometido, por ley, a manejar el equipo y el material radiactivo en el país y a otorgar las licencias respectivas para su manejo; vela por la seguridad de equipos que emiten espontáneamente, porque éste sea manejado por personal capacitado y por llevar un inventario de las fuentes radiactivas. Sin embargo, en la práctica existen casos de instituciones con empleados que tienen dosímetros controlados por el IAN, iy la empresa misma no tiene licencia para manejar este equipo! De hecho, se ha entrado en una discusión de quién hace qué. En la práctica el Ministerio de Salud,

en conjunto con el IAN, deberían velar por la protección de la población sometida de alguna manera a la radiación de estos equipos. Este es un problema grave que comienza en la desorganización, continúa en la escasa participación del personal institucional y termina en el descuido y abandono en que están sumidos los usarios.

R.N.: ¿Qué han hecho el IAN y el Ministerio ante esto?

H.R.: A raíz de la magnitud del problema, el Ministerio de Salud ha conformado una comisión para estudiar una organización más racional, más eficiente, para el control tanto del

equipo como de las personas expuestas a radiaciones ionizantes.

R.N.: Entre las fuentes de radiaciones ionizantes están los mismos productos finales de reacciones en un reactor nuclear o de procesos donde se han utilizado materiales radiactivos, ¿Cómo ha manejado el IAN estos desechos radiactivos?

H.R.: El IAN es la institución que tiene la obligación de disponer finalmente de todos los desechos radiactivos que se produzcan en el país. Que yo sepa, no existe experiencia de que se haya manejado en los volúmenes que se esperaría de acuerdo con la can-

des para bombardear núcleos. Bombardeando berilio observaron la liberación de grandes cantidades de energía, cuando éste se divid la en dos partículas alfa. Así consiguienn la primera comprobación experimental de la ecuación E = Δm c², formulada por Einstein en 1905 cuando ni siquiera se sospechaba la existencia de núcleos en el interior de los átornos.

El neutrón resultó ser un proyectil ideal pues su carácter de neutro lo eximía de la repulsión de los núcleos. Entre 1935 y 1939 Fermi bombardeó toda la tabla periódica con neutrones. Observó que la captura de un neutrón lento en un núcleo produce el elemento de número atómico superior, después de la emisión de una partícula beta. Evidentemente, había que bombarder el último elemento de la tabla, el 32 U para producir elementos que no existían en la naturaleza. Produjo así el plutonio:

$$_{92}U^{238} + _{0}n^{1} \rightarrow _{94}Pu^{239} + 2e^{-}$$

La producción y anélisis químico de elementos transuránicos continuó durante la década. En 1938 Hahn y Strassman identificaron en las "ruinas" del bombardeo de uranio con neutrones lentos una sustancia que identificaron como radio, pues tenía como regla establecida el que solamente se escindían de los núcleos partículas livianas, produciándose núcleos cercanos a los originales, Repitieron el experimento en diciembre de 1938, pues Irene Joliot - Curie y su esposo sospecharon que antre esas ruinas había elementos mucho más livianos que el uranio, pero Hahn y Strassman no se atrevieron a asegurar na-

da: "como químicos nucleares no podemos tomar el paso de asegurar de que allí hay bario (número atómico 56), hecho en abierta contradicción con toda la experiencia de la física nuclear". Lisa Meitner y Otto Frisch en enero de 1939 se mostraron más valientes: "parece posible que el núcleo de uranio tenga una forma poco estable y que, después de la captura de un neutrón se divida en dos núcleos mucho más pequeños de tamaño semejante". Ellos mismos hicieron notar que la trayectoria en la cámara de niebla indicaba una energía liberada enorme, del orden de 200 MeV, mucho mayor que las reportadas en reacciones nucleares hasta entonces.

De aquí en adelante la historia da un vuelco. Europa estaba por entrar en guerra. Lisa Meitner cablegrafió inmediatamente el resultado de su experimento a Niels Bohr, quien se encontraba asistiendo a una conferencia de física teórica en Estados Unidos. Bohr comentó el resultado a Fermi, quien sugirió la posibilidad de una reacción en cadena. En julio de ese año L. Szilard y E. Wigner convencieron a Einstein, ajeno totalmente a toda esta investigación, de escribir una carta dirigida a Roosevelt respaldando la solicitud de varios físicos nucleares para que el gobierno financiara la investigación que podría conducir a la elaboración de una bomba de fisión:

"Ciertos trabajos recientes que me han sido comunicados personalmente, hechos por E. Fermi y L. Szilard, me inducen a pensar que el elemento uranio puede convertirse en una nueva e importante fuente de energía en el

futuro inmediato, que podría conducir a la fabricación de bombas mucho más potentes que las conocidas hasta ahora

Algunos meses antes la marina había negado una solicitud semejante elevada por Fermi. Roosevelt aprobó en febrero de 1940 una pequeña ayuda de 6000 dólares. Pero en junio de 1942, cuando ya los E.U. habían entrado a la guerra, esta diminuta colaboración se convirtió en el Proyecto Manhattan, un esfuerzo científico sostenido y planificado hacia la elaboración de una bomba de fisión, cuyo costo final fue de 2000 millones de dólares.

Una de las labores encomendadas a Fermi fue la de analizar la posibilidad de producir en cantidad suficiente el isótopo fisionable Pu239, que se produce bombardeando U238 con neutrones lentos. Con tal fin, Fermi construyó un reactor debajo del estadio de la Universidad de Chicago, y el 2 de diciembre de 1942 logró establecer una reacción en cadena controlable. El éxito de Fermi condujo a la instalación en OakRidge, E.U., de un reactor nuclear a mayor escala para la producción de plutonio. Finalmente, la bomba que se dejó caer sobre Hiroshima en 1945 era de U235, mientras los habitantes de Nagasaki tuvieron el dudoso "honor" de ser masacrados con una bomba de un isótopo ya extinguido en la Tierra, el Pu239. En ocasiones el debate actual sobre las armas nucleares, y especialmente sobre estas dos bombas, olvida que estas fueron lanzadas contra poblaciones civiles inermes y ajenas a las operaciones militares.

El problema de la protección de la población sometida de alguna manera a la radiación es un problema grave, que comienza en la desorganización, continúa en la escasa participación del personal institucional y termina en el descuido y el abandono en que están sumidos los usuarios.

tidad consumida. Sospecho que por el IAN no ha pasado nunca una persona diciendo "tengo aquí esta fuente y quiero deshacerme de ella. Ustedes por ley tienen la obligación de manejar este desecho, colocándolo transitoriamente en algún lugar, ubicándolo finalmente en un depósito, incluyéndolo en un inventario de desechos radiactivos".

R.N.: El reactor que actualmente posee el IAN ha sido empleado para producir algunos radioisótopos, para hacer análisis por activación neutrónica, y para fines didácticos. ¿Podría emplearse para otras actividades?

H.R.: Se podría hacer difracción de neutrones —estudios muy interesantes en estado sólido—, hacer interacción de neutrones con la materia, estudiar reacciones nucleares . . ., pero el IAN no tiene el equipo para hacer todos estos estudios. El reactor se está empleando esencialmente para los fines para los cuales se suministró, es decir, haciendo lo que el equipo original permite. Se ha hecho poco para ampliar el equipo periférico, que es lo más importante de un reactor.

R.N.: ¿Es el IAN una entidad de servicios, o de investigación en tecnología nuclear?

H.R.: Creo que ambas cosas. El IAN ha prestado diferentes servicios y de diferente género, con una amplia gama de técnicas. Lo que ellos obtienen por la prestación de estos servicios es un porcentaje insignificante del presupuesto del IAN. Quizás las tarifas no son lo suficientemente altas, pero también de alli se puede inferir que el volumen de servicios no es muy alto. Traigo esto a colación porque hacia los años 75 un ministro de minas quizo que el IAN se autofinanciara en la mayor proporción posible, y esto con la prestación de servicios. Como consecuencia de esta política se han reducido notablemente las actividades de investigación, y los ingresos no han sido tan grandes como en un principio se pudo esperar. Actualmente, la fracción del presupuesto que corresponde a prestación de servicios es 3%.

R.N.: En términos generales, ¿cuál es su opinión acerca de la adquisición del nuevo reactor?

H.R.: Un proyecto de esta naturaleza se escapa al radio de acción del IAN y alcanza a toda la comunidad. Es un problema de carácter nacional, ni siquiera circunscrito a la comunidad científica. Lo digo porque existen graves antecedentes que muestran que el manejo del material radiactivo y de fuentes de radiaciones ionizantes en el país se ha hecho de una manera desidiosa y displicente, que la opinión pública debería preguntarse si no podría ocurrir lo mismo con la operación de un reactor nuclear de mayor potencia, y más aún con la puesta en servicio de una planta de producción de radioquímicos. Creo que la comunidad no ha reaccionado por que no conoce la magnitud del problema actual.

Examinemos el proyecto desde el punto de vista de las necesidades que tiene el país. Si pensamos en las necesidades de radioisótopos, el reactor no se justificaría, porque el volumen de material que se está empleando en el país no da para tener una planta del costo y la complejidad que se tiene pensado. Además, como lo anotamos, el grado de calidad en la elaboración de estos productos haría que los costos fueran exorbitantes, y el proyecto no resistiría ningún análisis económico.

Desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica ya se ha mencionado que en el país no habrá necesidad de centrales nucleares antes de 20 años, aunque sí es posible que después tengamos que acudir a ellas. Por consiguiente, si se piensa en el largo plazo, del orden de 40 o 50 años, este reactor podría significar una etapa importante, como entrenamiento y capacitación para manejar máquinas similares, aunque existen sustanciales diferencias entre los reactores de investigación y los reactores de potencia. Este reactor se justificaría si hiciera parte de un

Existen graves antecedentes que muestran que el manejo del material radiactivo en el país se ha hecho de una manera desidiosa y displicente. La opinión pública debería preguntarse si no podría ocurrir lo mismo con la operación de un reactor nuclear de mayor potencia.

plan encaminado en esa dirección, dentro del cual el reactor fuese una etapa, y no como figura actualmente, esto es, la culminación de las ambiciones de un instituto después de 20 años de lucha por el desarrollo del sector nuclear.

Veamos las necesidades de la comunidad científica. El nuevo reactor no surge como una necesidad de la comunidad científica, porque evidentemente ella ha estado bastante marginada de toda actividad del IAN en el pasado. No quiero decir con esto que no se hayan adelantado actividades de investigación en el IAN, me refiero a que éstas no han tenido la magnitud prevista. Creo que la comunidad científica no siente la necesidad de tener un reactor porque, me atrevería a decir. no ha utilizado el que actualmente tiene el IAN en la medida de lo esperado. Ahora, poco se puede hablar de cooperación universitaria en el sentido de reforzar la actividad investigativa. Un ejemplo claro es que todos los departamentos de física que tiene el país han adoptado planes de desarrollo que no tienen que ver con la física nuclear. Si hubiera existido una cooperación universitaria con el IAN, entidades como el Departamento de Física de la Universidad Nacional deberían haber desarrollado programas de postgrado en las áreas relacionadas con la física nuclear

Finalmente hay dos cuestiones que me hacen dudar de los resultados de 20 años de desarrollo nuclear en el país: primero, es una cuestión sumamente delicada que el IAN haya tenido que recurrir a personal externo para hacer el estudio del cambio del corazón del reactor actual, Segundo, que este reactor de 3.5 MW no sea un desarrollo nacional. Después de 20 años de desarrollo nuclear se debería esperar que este reactor fuera concebido en Colombia, la ingeniería fuera nacional y todo lo que sea periférico debería ser producto del desarrollo local. No hay ninguna razón para que un instituto después de 20 años de estar trabajando en el sector nuclear no pueda desarrollar un reactor de 3.5 MW.

El primer reactor argentino fue diseñado en Argentina. Se trataba de un reactor de 100 kW, que entró en operación en 1958.

R.N.: ¿Sugiere que Colombia debería seguir el mismo camino que Argentina?

H.R.: He mencionado el caso argentino para enfatizar en la necesidad de elaborar una estrategia a más largo plazo, que obedezca a necesidades reales. Me parece bien que el gobierno esté en la tónica de impulsar el desarrollo nuclear, pero es muy importante que esto trascienda los cuatro años de gobierno, y se contemplen los mecanismos que aseguren una continuidad. Concretamente, a la adquisición de un reactor se tiene que llegar por nuestras necesidades, pero parece que nuestro desarrollo nuclear obedece más bien a intereses externos que a intereses y necesidades propias. Si se estableciera que Colombia realmente necesita un reactor, el IAN debería organizar una división de reactores nucleares, con todo el personal asociado, enviar personal a especializarse en el exterior, para que dentro de cuatro o cinco años se empezara a trabajar en el diseño específico de una máquina de estas, y más bien se buscara el concurso de diferentes naciones mediante proyectos o programas de cooperación para completar algo que esencialmente hava sido concebido aquí. De nuevo vale la pena mencionar la experiencia que tuvieron los argentinos con la central nuclear de Embalse. Organizaron grupos de trabajo constituidos en total por aproximadamente 82 expertos argentinos, para evaluar las ocho ofertas que se recibieron de seis empresas de Alemania Federal, Canadá, Italia v Japón. Estos expertos se dividieron en 10 grupos de trabajo por temas. Si bien esta central nuclear es de mayor capacidad (600 MW), este reactor de 3.5 MW debería por lo menos requerir de 10 grupos de una persona, pues el número de grupos no varía. Me pregunto si actualmente nosotros podemos conformar siguiera un par de esos grupos.

Este reactor se justificaría si hiciera parte de un plan de generación nucleoeléctrica, dentro del cual fuese una etapa.

La comunidad científica ha estado bastante marginada de toda actividad del IAN en el pasado; evidentemente este reactor no surge como una de sus necesidades.

Parece que nuestro desarrollo nuclear obedece más bien a intereses externos que a intereses y necesidades propias.

BOMBAS Y REACTORES

El núcleo

El átomo está constituído por un núcleo de volumen pequeñísimo, una esfera con radio aproximado de 10⁻¹⁵m que contiene la casi totalidad de la masa del atomo y una "nube" de electrones que ocupa una esfera inmensa comparada con el núcleo. cuyo radio puede ser un millón de veces más grande que el de éste. Las partículas que componen el núcleo, protones y neutrones, se denominan nucleones y su número es el llamado número másico (A). A pesar de que en las reacciones químicas se alteran unicamente los electrones más externos, las propiedades químicas del átomo -o sea de qué elemento químico se trataestán determinadas por la cantidad de protones en el núcleo (número atómico, Z), ya que del valor de la carga eléctrica del núcleo dependen las características de estabilidad de las capas externas de electrones. Es posible entonces que átomos de distinta masa tengan las mismas propiedades químicas, si su núcleo de Z protones acepta distintas cantidades de neutrones.

Llamamos nucleido a cada especie ató. mica cuyo núcleo está conformado por un número particular de neutrones y protones (en este sentido, cada cuadrito de la gráfica A representaría un nucleido), y a todos aquellos nucleidos que tienen las mismas propiedades químicas, o sea el mismo Z, pero que pueden diferir en el número de neutrones del núcleo los llamamos isótopos del elemento químico correspondiente (o sea, todos los cuadritos en una misma línea vertical en la gráfica A son isótopos del elemento Z). Por ejemplo el núcleo de 50 protones -correspondiente al elemento químico estaño- puede tener 10 cantidades distintas de neutrones: 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72 y 74 siendo estable, y puede aceptar, aunque no indefinidamente, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 71, 73, 76, 77, 80, 81 y 82 neutrones.

$E = mc^2$

Según la teoría de la relatividad especial la energía que tiene un sistema altera sus propiedades inerciales. Si una partícula en reposo respecto de un referencial inercial tiene una masa m_{O} , con velocidad ν tendrá una energía cinética K y una masa igual a (si ν es pequeña comparada con c, la velocidad de la luz)

$$m = m_0 + \frac{K}{c^2} \cong m_0 + \frac{\frac{1}{2} m_0 v^2}{c^2} \cong \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Si un protón y un electrón, aislados y en reposo, tienen masas m_p y m_e respecti-

varnente, la masa del átomo de hidrógeno que conforman no será $m_p + m_e$ debido a la energía de enlace, sino

$$m_{H} = m_{p} + m_{e} + \frac{U}{c^{2}}$$

Y como las energías de enlace siempre son negativas, $m_{
m H}$ será menor que la suma de las masas de las partículas aisladas que lo constituyen. En otras palabras, la energía de enlace influye sobre las propiedades inerciales del sistema, Igualmente, un núcleo de deuterio (D) —un isótopo del hidrógeno— compuesto por un neutrón y un protón enlazados por fuerzas nucleares, tendrá una masa

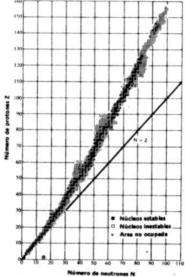
$$m_D = m_D + m_n + \frac{U}{c^2}$$

siendo m_{P} y m_{R} las masas en reposo del protón y el neutrón aislados. En el caso de los núcleos, Wc^{2} es suficientemente grande y m_{P} y m_{R} suficientemente pequeños de tal manera que la diferencia entre m_{D} y $m_{P}+m_{R}$ puede detectarse:

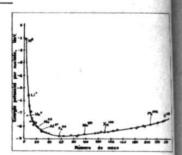
$$m_p + m_n = 3.3476 \times 10^{-27} \text{kg}.$$

 $m_D = 3.3436 \times 10^{-27} \text{kg}.$

Esta diferencia, llamada defecto de mase, multiplicada por c² es la energía de enlace del núcleo de deuterio. En el eje vertical de la gráfica B se representa la energía de enlace (o sea, el defecto de masa) dividida por el número de nucleones contra el número másico de los nucleidos correspondientes. Observemos lo que pasaría si, por algún motivo, un núcleo de U²³⁵ se



Gráfica A



Gráfica B

escindiera en dos núcleos de número misico intermedio, Como según la gráfica A es mayor la abundancia de neutrones repecto de la de protones mientras más pesado es un nucleido, esta fisión que estamo imaginando debe dejar neutrones libres. Además, de la gráfica B vernos que la enegía de enlace por nucleón es menor para los núcleos resultantes, iDebe entonces liberarse energía!

La fisión

Analicemos la siguiente reacción nuclear, que puede presentarse, aunque en varias etapas:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{90}_{38}Sr + ^{136}_{54}X_{e} + 10^{1}_{0}n$$

La energía de enlace de 235 nucleons en el U²³⁵ será -235(7.6)= - 1786 y ladel Sr y Xe sería -90(8.8) - 136 (8.4)= -1934. Luego, la energía final es menor que la inicial en 148 MeV (tos 10 neutrones no están enlazados). Se trata de un cálculo aproximado (el valor es en realidad el 141 MeV), pero nos indica que en esta fisión se liberaría más de 10 millones de veces la energía que se desprende de una reacción química típica entre dos moléculas.

Los nucleidos U²³³, U²³⁵ y Pu²³⁹ son fisionables, especialmente si incide sobre ellos un neutrón y, claro está, en los tres casos hay liberación de neutrones, con los que podría establecerse una reacción en cadena,

El U²³⁵ está presente en el uranio natural en proporción mínima, un núcleo de U²³⁵ por cada 140 núcleos de U²³⁸, este último muy poco fisionable. El Pu²³⁹ ya no se presenta en general en la naturaleza, y es necesario crearlo bombardeando núcleos de U²³⁸ con nautrones. De la misma manera se produce U²³³ a partir del torio,

La fisión no es el único fenómeno que puede ocurrir cuando los núcleos pesados son bombardeados con neutrones: el neutrón puede simplemente rebotar, con casi toda su energía cinética incidente, como una pelota de ping pong que se estrella contra una bola de billar, o ser absorbido por el núcleo, el cual emite después una partícula beta, etc. La probabilidad de que cada uno de estos eventos ocurra depende muy pronunciadamente de la velocidad del neutrón incidente.

Supongamos que un neutrón tisione un núcleo de U²³⁵ dentro de un trozo de uranio natural guímicamente puro (99,7% y 0,3% de U²³⁵). En promedio. se liberan 2,5 neutrones de gran velocidad. La probabilidad de fisionar el U235, ya pequeña de por sí para un neutrón rápido, es menor aún en este caso por la bajísima abundancia de U²³⁵ respecto del U²³⁸. Muy baja es también la probabilidad de que los neutrones rápidos fisionen el U²³⁸ entonces seguramente saldrán del material antes de producir más neutrones. Para conseguir una reacción en cadena sería necesario enriquecer el contenido de U235 o buscar el mecanismo para disminuir la velocidad de los neutrones, o una combinación de los dos. En lugar de tener todo el uranio en un solo bloque se lo puede distribuir, por ejemplo, en barras separadas por una sustancia -el moderador- que disminuya la velocidad de los neutrones. Los núcleos más eficientes para disminuir esta velocidad son los del hidrógeno, pues su masa es semejante a la del neutrón, pero pueden también absorber estos últimos convertiéndose en núcleos de deuterio. v así se perderían neutrones. Este problema casi no existe con núcleos de deuterio, de ahí la ventaja de emplear agua pesada, D2O, como moderador'. Un material que absorbe muy pocos neutrones es el grafito pero como tiene mayor masa, es menos eficiente deteniéndolos. Se necesitan 18 colisiones en promedio para que núcleos de H detengan los neutrones hasta el equilibrio térmico con el medio (neutrones térmicos), 25 para el D y 114 para el prafito.

Pasado un tiempo de operación, el com-bustible de un reactor contendrá U²³⁸, U²³⁵, Pu²³⁹ (fisionable) proveniente del U²³⁸, una serie de fragmentos de fisión que absorben neutrones y por lo tanto estorban, otros elementos pesados, etc. Para dar una idea de cómo el proceso puede complicarse, veamos un ejemplo de reacción en cadena en un reactor de uranio natural: de 1000 neutrones rápidos, 100 son capturados por el U238 y el U235 sin producir fisión. 192 se escapan del reactor (y por tanto se plerden para la reacción), 700 llegan al moderador, 4 fisionan el U235 y 4 el U238. En esta etapa se han conseguido tan sólo 8 fisiones y 700 neutrones van reduciendo su velocidad mientras pasan por el moderador. De éstos, 23 son capturados por productos de fisión, 2 por los materiales del reactor, 208 por U²³⁵ y U²³⁸ sin fisión y 75 salen del reector, Quedan 382 que producen fisión con el U235 y 10 con el Pu239. En total,

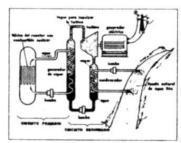


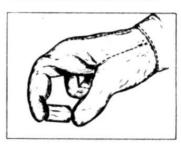
Diagrama de bloques de un reactor de potencia.

con las 8 fisiones de la primera etapa, se han producido 400 fisiones, que con 2,5 neutrones por fisión en promedio, dan 1000 nuevos neutrones rápidos, que repiten el ciclo (tomado de *Physics of the Atom*, Wehr, Richards, Addison-Wesley, 1970).

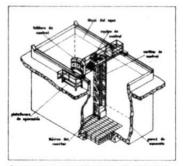
Tipos de reactores

Los reactores se distinguen por una parte según su finalidad, bien sea pare elaborar plutonio, para investigación, para producir energía eléctrica. El diseño es variable, según el enriquecimiento del uranio, la forma como el combustible se disponga dentro del reactor, el tipo de protección, las varillas de control, el moderador, el sistema de enfriamiento, etc.

En los reactores de investigación interesa especialmente el flujo de neutrones y no el calor producido. El núcleo puede estar contenido en un estanque profundo, con agua como refrigerante, como moderador y como protección, o puede estar contenido en un tanque profundo, en cuyo caso no hay posibilidad de desplazarlo (ver figura). En general, el reactor de investigación tiene tubos de haces que atraviesan la protección y permiten extraer neutrones del seno del reactor hacia facilidades experimentales periféricas, y también puede tener, aunque es menos usual. una columna térmica, a través de la cual se extraen neutrones lentos (térmicos).



El elemento combustible de un reactor típico se dispone en forma de pastillas de óxido de uranio del tamaño de la figura, cada una de las cuales aquivale a 3 barriles de portoleo.



Esqueme de un reactor de investigación tipo piscina.

En los reactores de potencia interesa el calor producido. En los más sencillos, los BWR (reactores de agua hirviente), el agua sirve de moderador y de refrigerante. El vapor que se produce pasa directamente a una turbina para generar electricidad. Más complejo es el PWR (reactor de agua a presión) en el cual el agua se mantiene a elevada presión para evitar que hierva.

Algunos reactores utilizan como moderador agua pesada, otros sodio líquido como refrigerante. Muy especial por las perspectivas que ofrece es el reactor rápido "regenerador" (*breeder*). Este emplea neutrones rápidos, sin moderador, y por ello el combustible debe ser altamente enriquecido en su contenido de U²³⁵. En torno al núcleo del reactor una capa de U²³⁸ absorbe los neutrones que no han producido fisión, los cuales convierten el U²³⁸ en Pu²³⁹ fisionable. De esta capa se separa después el Pu²³⁹ y se obtiene así más combustible del que se consumió, para cargar otro o el mismo reactor.

Le bombe atómica

En la bomba atómica de fisión el problema es producir una inmensa reacción en cadena que fisione la mayor cantidad de núcleos en el menor tiempo posible. Si en el interior de una masa de U²³⁵ se produce una fisión, y las dimensiones del material no son suficientemente grandes, los neutrones escaparán sin producir la reacción en cadena. Por el contrario, si un trozo de U²³⁵ supera cierto límite, la llamada masa crítica, se hace explosiva, iUna muestra de U²³⁵ de 99% de pureza alcanzaría una masa crítica cuando tenga el tamaño de una uval

La manera de detonar la bomba es unir masas subcríticas para formar la masa crítica de la manera más rápida posible, En el tipo de bomba de impiosión (ver figura) se consigue esto haciendo explotar materiales químicos convencionales que lanzan masas subcríticas unas contra otras, las cuales formarán la masa crítica y originarán una velocísima reacción en cadena.

Entrevista con Diego Buriticá

"NO CALIFICARIA DE PROYECTO AISLADO LA COMPRA DE ESTE REACTOR"

De las actividades del IAN ha salido un Plan de Desarrollo Nuclear que contempla dos puntos: la renovación del combustible del reactor actual y la adquisición de un nuevo reactor.

El Plan de Desarrollo Nuclear no está vinculado de manera alguna con la generación de electricidad.

DIEGO BURITICA: Hasta ahora prácticamente todas las actividades nucleares han girado alrededor del IAN. Desde 1965, el IAN tiene un reactor de potencia cero, de aproximadamente 10 kW. Con él se han hecho toda clase de experimentos, análisis por activación, se han preparado isótopos, etc. Por supuesto, hay en el IAN otras actividades afines a la tecnología nuclear, como prospección geológica, investigación biológica, en cooperación con otras instituciones. De todo esto ha salido un Plan de Desarrollo Nuclear, el cual contempla dos puntos: la renovación del combustible del reactor actual y la adquisición de un nuevo reactor. El actual tiene un flujo muy pequeño, y para la producción de cierto tipo de radioisótopos y para la realización de experimentos con neutrones. es necesario disponer de flujos mayores. Yo no calificaría de proyecto aislado la compra de este reactor. Es un reactor de investigación; éste es el siquiente paso dentro del desarrollo de las actividades del IAN. Así han dicho expertos de la OIEA, quienes están de acuerdo, independientemente de cualquier negociación, en que la adquisición de un nuevo reactor sería el siguiente paso dentro del desarrollo de las actividades nucleares en Colombia.

REVISTA NATURALEZA: La

compra, instalación y puesta en mar-

cha del nuevo reactor, ¿se han conce-

bido como un proyecto aislado o se en-

marcan dentro de un plan más amplio

de desarrollo nuclear?

R.N.: Usted nos habla de lo que parece ser un plan de desarrollo del IAN. Pero ¿existe un plan de desarrollo más amplio, de carácter nacional que, por ejemplo, côntemple como meta la instalación de centrales nucleares de generación eléctrica?

D.B.: De una vez hay que aclarar que el Plan de Desarrollo Nuclear no está vinculado de manera alguna, inclusive hasta finales de este siglo, con la generación de electricidad, aunque algunos pensamos que estratégicamente esto podría facilitar a Colombia pensar el día de mañana en ella. Pero no tiene una conexión inmediata. Ahora, el plan de desarrollo del IAN está en relación con las perspectivas que interesan al Ministerio de Minas y Energía, Los planes del IAN tienen que ver con los planes del Ministerio de Minas, y con el Plan de Desarrollo Nacional, El IAN no puede sacar un plan de desarrollo nuclear que no tenga el consentimiento del Ministerio de Minas ni de Planeación Nacional

R.N.: ¿Tiene este Plan de Desarrollo Nuclear que usted menciona alguna cabida dentro del Plan de Concertación en Ciencia y Tecnología que forma parte del nuevo Plan de Desarrollo del gobierno?

D.B.: Probablemente tenga alguna conexión, pero no puedo decir nada sobre eso, pues no he participado en la confección de las políticas del gobierno.

R.N.: ¿A qué necesidades específicas obedece la compra del reactor, en el campo de los servicios y en el terreno de la investigación?

D.B.: La compra del reactor no es una idea nueva. Hay propuestas anteriores a la del gobierno argentino, que ha desatado últimamente una polémica en la prensa. Ahora, Colombia está importando cerca de \$300.000 dólares en radiosiótopos. Colombia dispone actualmente de unas 27 gama-camas, o sea, equipos de radiación, principalmente con cobalto, y requiere de radiosiótopos que deben ser importados.

Por otro lado, en el IAN se ha desarrollado una sección de física, una parte de la cual trabaja con neutrones. En el reactor actual no es posible diseñar un experimento con un haz de neutrones. Muchas cosas que podrían hacerse en Colombia no se hacen porque la capacidad del reactor es muy inferior a las necesidades. Y la reforma del actual sería casi como comprar un nuevo reactor, en cuanto a los costos, sin lograrse con ella un flujo suficientemente grande debido a las características de su núcleo.

Por estas razones se piensa que lo mejor sería la adquisición de un nuevo reactor. Claro que no es posible justificar la compra de un nuevo reactor en términos puramente económicos. Ahora, hay una inmensidad de áreas en las cuales la tecnología nuclear es una herramienta para la investigación. Por eiemplo, con el actual reactor es prácticamente imposible hacer estudios de materiales, por el bajo flujo. En el país hay cierto interés, tanto en la Universidad Nacional como en el IAN, en empezar a desarrollar capacidades materiales y humanas en el campo de la metalurgia, y dentro del Plan de Desarrollo Nuclear está incluida precisamente esta parte. Con el nuevo reactor se pueden hacer una serie de experimentos con neutrones, con una técnica sumamente conocida; estos experimentos de materiales no se circunscriben sólo a materiales para reactores. En el terreno de la biología, de las ciencias médicas y de la radiofarmacia, hay una actividad apreciable, si se compara con la de países como Venezuela. Ecuador, Perú y Chile. Pero debido a las limitaciones del reactor los radiofármacos no se producen aquí. La medicina nuclear en Colombia se ha establecido con bastante intensidad. En estos casos el reactor sería un apoyo muy importante. Los servicios actualmente están ante todo relacionados con esta última parte, o sea, medicina nuclear y radiofarmacia. Muy poco con la investigación en física, o en química, debido a que el reactor actual tiene una utilidad muy reducida.

R.N.: Pero ¿actualmente el IAN podría cumplir los requisitos de calidad de esos radiofármacos, si se estuvieran produciendo?

D.B.: El IAN tiene actualmente la salvaguardia en Colombia del uso de radiofármacos, bajo especificaciones de la Comisión Internacional de Energía Atómica. El IAN licencia a algunos importadores para la distribución de esos radiofármacos, además de ser importador de ellos. Actualmente existe el control y la exigencia de las calidades es controlada por el IAN. Hasta ahora creo que no ha habido ninguna queja en este sentido.

R.N.: ¿Quién en Colombia está necesitando el nuevo reactor? Es decir, ¿qué grupos de investigación en el país, en qué áreas, han manifestado la necesidad de comprar ese reactor para continuar trabajando?

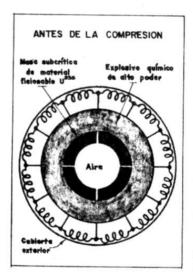
D.B.: He mencionado un grupo de áreas en las cuales se está trabajando actualmente en el IAN. No puedo asegurar si estos grupos -algunos efectivamente con poca experiencia-- puedan o no continuar su labor sin los nuevos equipos. No desaparecerán si no está el nuevo reactor, pero sí estoy seguro que a partir del grado de desarrollo alcanzado hasta ahora, el nuevo reactor produciría un efecto de "bola de nieve". Pero no estoy en capacidad de afirmar si se trata de una necesidad absoluta. En este tipo de inversiones es muy difícil responder una pregunta como ésta. A mí me parece justa la observación de quienes se oponen a la adquisición del nuevo reactor cuando se preguntan si existe la capacidad para utilizar plenamente los nuevos equipos. Lo que no es cierto de las objeciones es que no existe ninguna capacidad para utilizar ese nuevo reactor. Es una objeción exagerada.

R.N.: ¿Ha participado la comunidad científica nacional en las decisiones sobre el tipo de reactor y los equipos aledaños? No es posible justificar la compra de un reactor en términos puramente económicos. Hay una inmensidad de áreas en las que la tecnología nuclear es una herramienta para la investigación.

La objeción de que no existe ninguna capacidad para utilizar este nuevo reactor es exagerada.

El IAN controla la calidad de los radiofármacos que se emplean en el país. Hasta ahora creo que no ha habido ninguna queja en este sentido.

A partir del grado de desarrollo alcanzado hasta ahora el nuevo reactor produciría un efecto de "bola de nieve".



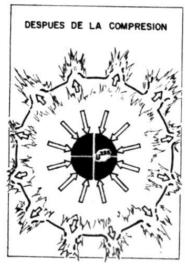


Diagrama de una bomba de fisión del tipo bomba de implosión (ver recuadro, pág. 63).

D.B.: Si en la pregunta se incluye a la comunidad científica nacional, yo diría que no. Pero hasta ahora lo que hay es una cruda prenegociación, una serie de consultas, se ha discutido con los oferentes la adquisición de un nuevo reactor, algunas de sus características, y eso lo ha hecho el IAN representado por una Junta o Comisión ampliada por una serie de técnicos, en la cual he participado yo por invitación del director del IAN, en razón de mi especialidad. Allí se ha discutido sobre todas las posibilidades de la adquisición de un centro nuclear y y un plan de cooperación con Argentina. Se han escuchado opiniones de instituciones distintas del IAN pero no han participado activamente.

Como no está madura la negociación, la pregunta está fuera de tiempo. habría que esperar un desarrollo más concreto. Lo único que hay es una carta de intención del gobierno, más algunas reuniones con los alemanes y los argentinos.

R.N.: ¿Cuáles son, a grandes rasgos, las características del reactor que se planea adquirir?

D.B.: Las características generales del nuevo reactor son las siguientes: es un típico reactor de investigación de una potencia de 3,5 MW que puede elevarse eventualmente hasta 5 MW dependiendo de la termohidráulica del sistema, o sea, del sistema de enfriamiento. Combustible de placas paralelas tipo MTR, enriquecido a un poco menos del 20%, en constraste con el actual que es de uranio enriquecido al 90%. La vida del combustible es entonces menor, algo más de tres años. El moderador es agua liviana. Es un reactor de tipo tanque, con su núcleo sumergido en agua. Dispondrá de facilidades que no tiene el reactor actual, un haz transversal de neutrones, más una serie de puestos de irradiación. Está en discusión si se pondría una columna_etérmica.

Ahora, ¿por qué de 3.5 MW? Es un reactor que puede dar un flujo de

10¹³ — 10¹⁴ neutrones por segundo, satisfactorio para un reactor de investigación. Que no sea de mayor potencia es un problema de costos, por el combustible y por la termohidráulica que requiere. Se considera una escalada relativamente razonable desde un reactor de potencia cero. Mayor potencia significaría un par más de facilidades de investigación que no justificaría el aumento de costos.

Otra posibilidad sería un reactor cuyo combustible sea uranio natural moderado con grafito o agua pesada. Esto es técnicamente desventajoso: mientras menos enriquecido sea el combustible mejor debe ser la moderación, y los costos que se ahorran en el combustible son mínimos comparados con el gasto de agua pesada. Es preferible entrar en el comercio de uranio enriquecido y no en el comercio de agua pesada.

R.N.: ¿En qué consiste la modificación del reactor actual?

D.B.: Como el combustible está prácticamente agotado, y la política de la OIEA es desestimular los reactores de uranio altamente enriquecido, hay que renovar el combustible pasando de uranio de alto a bajo enriquecimiento, lo que no requiere de mayores cambios en la estructura actual, en caso contrario no se justificaría económicamente. La conversión elevaría la potencia a unos 100 KW, sin entrar a competir con el nuevo. Esto es posible porque hoy en día se producen combustibles con alta densidad de uranio. Hay varias ofertas de distintas firmas para hacer esta conversión.

R.N.: ¿Está el IAN en capacidad de adelantar la conversión del núcleo del reactor?

D.B.: No. Pero la crítica que plantea la pregunta no es justificada. Tendría el IAN que haber desarrollado todo el ciclo del combustible. Y el diseño está ligado directamente con la manufactura, no se puede diseñar un

núcleo en abstracto. Es fácil que un grupo de física de reactores diseñe un núcleo, pero podría no corresponder con lo que puede encontrar en el mercado. Es mi opinión personal.

El país ha usado el reactor actual como una caja negra, quizás, pero esto es así porque el país no se ha empeñado en un programa de capacidad de diseño. El IAN tendría que haber empezado hace 10 años con un grupo de reactores a hacer unos primeros ensayos en el diseño de reactores, un programa en el cual tendría que haber invertido una buena cantidad de dinero. Al actual IAN no se le puede pedir que tenga la capacidad técnica para hacer la conversión del núcleo. Debería habérsele pedido eso desde 10 años atrás. No sé si vale la pena montar todo un grupo de física de reactores solamente para la conversión de un núcleo.

El reactor actual se ha usado como una "caja negra", quizás, pero esto es así porque el país no se ha empeñado en un programa de capacidad de diseño.

Entrevista con Jairo Londoño

"ESTE PROYECTO NO TIENE BASES, TAN SOLO PROPOSITOS"

REVISTA NATURALEZA: ¿Qué papel juega la nucleo electricidad en los planes energéticos colombianos?

JAIRO LONDOÑO: Aunque debo anotar, que en este momento se está haciendo una revisión de estos planes, hasta ahora la nucleoelectricidad no está contemplada en ningún plan energético colombiano por lo menos hasta el año 2000. Más aún, el Instituto de Asuntos Nucleares así lo reconoce. pues el mismo Dr. Villarreal, Director del IAN, en Conferencia que dictó en la Sociedad Colombiana de Ingenieros1, muy claramente dijo que en Colombia no hay nada que hacer en cuanto a generación eléctrica con base en plantas nucleares. Además no tenemos materia prima porque aún no se han comprobado las reservas de uranio en Colombia.

Sobre este último aspecto debo anotar que existe un claro desconocimiento de los recursos uraníferos; el país no tiene en este momento certeza sobre dónde hay un yacimiento de uranio. Se habla, simplemente de anomalías pero, repito, no hay un yacimiento detectado de manera tal que pueda decirse que existe "un yacimiento económicamente explotable".

Es por ello que los proyectos de tipo hidroeléctrico v los termoeléctricos o la combinación de estos dos es lo que el país tiene proyectado y está revisando actualmente. De todas maneras, yo creo que el país necesita un estudio para utilizar mejor estos dos tipos de energía (la hidráulica y la térmica) y no se trata en este caso de un estudio más, sino de saber cuáles son los costos reales tanto de instalación como de generación de un kilowatio en cada uno de estos sistemas. Tal estudio ayudaría en el análisis de qué proyectos son los más rentables o cuáles le convienen más al país; esto contribuiría a quitarle un poco la influencia política que siempre se presenta en la elección de un proyecto de generación de energía donde normalmente confluyen muchos intereses.

R.N.: Usted dice que no hay uranio en Colombia. ¿No sería de todas formas conveniente continuar con los programas de prospección para conocer a ciencia cierta cuál es nuestra rigueza en este recurso?

J.L.: Debo anotar primero que todo el mundo en este sector se mueve alrededor del factor económico. Permítame ponerle un ejemplo: el petróleo. Un estudio de los costos reales no sólo de instalación sino de generación de un kilowatio, para proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos, contribuiría a quitarle un poco la influencia política que siempre se presenta en la elección de un proyecto de generación de energía.

Alcance de un proyecto nuclear de investigación para Colombia. Conferencia dictada el 10 de marzo de 1983 por el Dr. Ernesto Villarreal en la Sociedad Colombiana de Ingenieros, y publicada por El Espectador el 11 de julio de 1983.

EFECTOS BIOLOGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

El término radiación ionizante incluye todas las radiaciones que producen ionización en las sustancias sobre las cuales inciden, y comprende tanto los rayos X como las emisiones de los núcleos radiactivos,

El empleo de estas radiaciones en medicina data casi desde su descubrimiento. Las observaciones de Roentgen sobre las propiedades de los rayos X en 1895 y el descubrimiento casi simultáneo de la radiactividad por Becquerel tuvieron rápida difusión y acogida en la práctica médica, como se evidencia por la temprana creación de Sociedades Roentgen en las cuales los médicos intercambiaban experiencias en la utilización de los rayos X en diagnóstico y terapia, y por la fundación en París del Hospital del Radio en 1906, donde se suministraba radio para el tratamiento de enfermedades como la artritis. Durante este primer período abundaron las muertes entre pacientes, experimentadores (Marie Curie, entre ellos) y médicos, unos -la mayoría- arriesgándose sin saberio, otros verdaderos mártires de la ciencia.

Aunque los efectos nocivos de estas radiaciones (cataratas en los ojos, ulceraciones, caída del cabello, cáncer, etc.) se comenzeron a reportar desde el mismo año de 1896, sólo hasta 1928 se inició una verdadera reglamentación sobre su empleo. En 1930 se cerró el Hospital del Radio, se definieron unidades de dosimetría y se estipularon dosis máximas permisibles.

Interacción con la materia

Por ser las radiaciones ionizantes de distinta naturaleza (ver figura), los procesos físicos involucrados en su interacción inicial con la materia son diferentes. Con todo, los efectos posteriores inmediatos de todos los tipos de radiación ionizante son semejantes: ionización, excitación de electrones y ruptura de enlaces químicos (por consiguiente, alteración de propiedades químicas). La interacción inicial para las distintas radiaciones es la siguiente:

Partículas alfa y beta: Ambas ceden energía al medio especialmente a través de colisiones con electrones orbitales, que pasan a ocupar niveles superiores de energía o son expulsados. El poder ionizante de las partículas alfa es grande, lo que implica una rápida pérdida de energía inicial y un poder de penetración pequeño (no atraviesan la piel), pero son sumamente peligroses si llegan al interior del organismo, por ejemplo, por los pulmones o ias vías digestivas. Las partículas beta tienen ma-

yor poder de penetración, y por su masa tan pequeña su trayectoria es sinuosa,

Rayos X y gama: Tratándose de radiación electromagnética, interactúan con la materia de manera bien distinta que las partículas: a) Efecto fotoeléctrico, cuando el fotón es absorbido totalmente por un átomo y un electrón fuertemente ligado es eyectado con la energía cinética restante; b) Efecto Compton. El fotón incidente code parte de su energía a un electrón relativamente libre y se desvía como un fotón de menor frecuencia; c)Producción de pares. Si la energía del fotón es suficientemente grande, puede ocurrir que el fotón desaperezca creando un par electrón negativo-electrón positivo (positrón).

Neutrones: Como el neutrón no tiene carga neta, atraviesa la "nube" de electrones que rodea los núcleos e interactúa principalmente con éstos. Puede simplemente colisionar, arrancando núcleos de hidrógeno (protones) de moléculas complejas, o ser absorbido por núcleos pesados, que se vuelven radiactivos y emiten partículas beta y rayos gama.

Efectos sobre sistemas biológicos

Los procesos mencionados constituyen el evento físico inicial, como resultado del cual se modifican algunas propiedades químicas del tejido. Mientras el evento físico ocurre en fracciones de segundo, los efectos a nivel celular se manifiestan horas después y pueden tardar días e incluso años a nivel del organismo total. El efecto biológico depende de las células específicas que raciben la irradiación y en el interior de cada célula de la sensibilidad de sus organelos.

Efectos directos: La cantidad de moléculas cuya estructura se altera es una fracción pequeñísima del número total de moléculas que componen la célula, aun cuando la dosis de radiación sea elevada, pero tratandose de un organismo estrechamente integrado los efectos pueden ser notorios. Así, pequeños cambios en la estructura de una enzima le impiden actuar en una cadena de reacciones y toda la cadena se interrumpe: al cabo de un tiempo las enzimas alteradas son reemplazadas (si no son tantas que aparezcan efectos colaterales irreversibles antes de la recuperación) pues la célula renueva continuamente las enzimas necesarias para su metabolismo. Pero, si la radiación afecta al núcleo celular, y en su interior al ADN, director de la producción de enzimas, las funciones de la célula pueden ser afectadas de manera letal. Si esta célula hace parte de

un sistema de renovación rápida, como la médula ósea o el epítello del tubo gastrointestinal, y la cantidad de células afectadas no sobrepasa cierto límite, el organismo las reemplazará. Sin embargo, si las células pertenecen a un sistema estático, como el sistema nervioso, la pérdida será irreperable; precisamente estos sistemas son los más resistentes a la radiación ionizante.

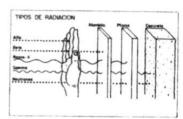
También es posible que como resultado del daño del ADN la célula no muera, sino que se altere el código genético y el mechismo de replicación, dando origen, después de un período de latencia que puede durar años, a carciriomas o a disfunción del órgeno correspondiente. Si las células afectadas son células germinales habrá mutaciones en la herencia.

Efectos indirectos: En las lesiones descritas hasta ahora el cambio ocurre directamente en las macromoléculas que intervienen en los procesos metabólicos, pero las mismas alteraciones pueden ocurrir indirectamente, por la acción sobre las macromoléculas de especies químicas muy reactivas, como H y OH neutros (radicales libres) H₂O₂ (período de hidrógeno), HO₂, originadas por la irradiación del agua que contiene en abundancia cualquier tejido.

Dosimetría

Al medir radiaciones ionizantes se distingue la dosis de exposición, susceptible de medición directa, de la dosis absorbida definida a partir de la energía cedida por la radiación a la muestra, magnitud que en los casos prácticos no se mide directamente, sino se calcula mediante modelos del organismo irradiado.

En radiobiología se ha definido una magnitud de dosis absorbida responsable de efecto biológico común para todas las radiaciones ionizantes con el fin de establecer curvas de dosis-respuesta, entendida esta última como riesgo de un efecto biotógico dado. La unidad de esta magnitud es el rem (en el sistema internacional el sievert, 1 sievert = 100 rems; ver la tabla 1 para algunos valores típicos). La dosis en rems es proporcional a la energía absorbida por kilogramo de tejido irradiado y la constante de proporcionalidad, llamada efecto biológico relativo (RBE), depende del tipo de radicación, como se ve en la tabla 2, Allí se observa que para producir el mismo efecto biológico un tejido debe absorber en forma de rayos X 20 veces la energía absorbida en forma de partículas alfa (las dosis en rems son las mismas, por-



La partícula alfa es un núcleo de helio (2 protones y 2 neutrones) y la partícula beta es un electrón negativo.

que a un mismo efecto biológico corresponde la misma dosis en rems de cualquier tipo de radiación ionizante). El RBE también depende del efecto biológico analizado; por ejemplo, para el efecto "cataratas en los ojos" los neutrones rápidos tienen una RBE 20 veces mayor que para el efecto "muerte".

Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos son diversos y complejos, y su comprensión a nivel bioquímico es incipiente, Para el estudio de estos efectos sobre seres humanos se debe acudir a curvas empíricas dosis-respuesta basadas en los datos disponibles de explosiones nucleares, accidentes en centrales nucleares, pacientes que reciben dosis médicas y extrapolación de experimentos realizados con animales. La tabla 3 resume los efectos conocidos de dosis agudas (recibidas durante períodos cortos) sobre todo el cuerpo, causadas por explosiones nucleares. Un paciente puede recibir dosis mayores en períodos prolongados sin presentar los síntomas anotados, En realidad, toda la población de la Tierra se encuentra sometida a dosis bajas de radjaciones jonizantes. Por una parte está la radiactividad de origen natural, proveniente de los rayos cósmicos, de elementos radiactivos presentes en trazas en la corteza terrestre y de otras fuentes, a las cuales se debe sumar las originadas en desechos de centrales nucleares y en la precipitación radiactiva fruto de explosiones nucleares. Por otra parte están las radiaciones que reciben los pacientes en diagnóstico y tratamiento médico. Además, un sector de la población trabaja directamente con radiaciones ionizantes, o vive cerca de instalaciones nucleares, y por ello están expuestas a dosis mayores.

Dosis máximes permisibles

¿Existe una dosis máxima por debajo de la cual no haya daño para la salud, o, simplemente, cualquier dosis es peligrosa? Como el organismo puede recuperarse de ciertos tipos de efectos biológicos a dosis pequeñas, el peligro reside en la posibilidad que tiene cualquier dosis de afectar los cromosomas, con secuelas como aparición de cáncer o mutaciones genéticas, efectos estos con períodos de latencia muy prolongados en los cuales los estudios estadísticos generalmente no son concluyentes.

Con el fin de analizar los peligros de las radiaciones ionizantes, reglamentar su empleo y fijar dosis máximas permisibles se creó en Londres en 1928 una entidad no gubernamental, la Comisión Internacional de Protección Radiológica. En 1930 la Comisión fijó dosis máximas para operadores de rayos X que fueron disminuyéndose paulatinamente, en vista de que los análisis

estadísticos mostraban un sistemático acortamiento de la duración promedio de vida de los radiólogos respecto de otros especialistas. La tabla 4 presenta algunas recomendaciones actuales de la Comisión, ampliamente aceptadas, que no han sufrido modificación desde 1960.

Estas dosis no garantizan que el individuo que se expone a ellas no sufrirá ningún efecto. En palabras de la misma Comisión, ". . . el hombre no puede prescindir enteramente del uso de radiaciones ionizantes y, por tanto, el problema en la práctica es limitar la dosis de radiación a aquella que suponga un riesgo aceptable para el individuo y el conjunto de la población".

TABLA 1

Algunas dosis típicas		
FUENTE	DOSIS	
Radiación natural (Rayos cósmicos, 40 K, 14C)	0.125 rem/año	
Examen médico de rayos X		
Pulmonar, dental	0.009 - 0.2 rem	
Pelvis	3 rem	
Desechos radiactivos de la industria nuclear	0,00015 rem/año	
Dosis letal en todo el cuerpo (muerte del 50% de la población)	400 rems.	

TABLA 2

Efecto biológico relativo (RBE) de algunos tipos de radiación		
Tipo de radiación	(RBE)	
Partículas beta, rayos gama y rayos X	1.0	
Neutrones lentos	4 – 5	
Neutrones rápidos y protones	10	
Partículas alfa	10 – 20	

TABLA 3

Dosis de radiación debidas a explosiones nucleares y sus efectos *		
EFECTOS	DOSIS AGUDA EN TODO EL CUERPO (REMS)	
No hay efecto detectable.	0 - 25	
Cambios pasajeros en la sangre, Posibles efectos diferidos.	50	
Cambios marcados en la sangre, Náusea, fatiga y vómitos en el 10% de los individuos expuestos.	100	
El 50% de la población afectada tendrá náusea y vómitos durante 1 día, Caída del cabello, Algunas muertes entre la se- gunda y la sexta semana posteriores a la irradiación.	200	
Vómitos y náusea en todos los individuos irradiados desde una hora después de la dosis. Tercera y cuarta semana inflamación de boca y garganta, palidez, diarrea, hemorragia nasal. En un mes ha fallecido el 50% de la población afectada.	400	
Náusea y vómito al cabo de 1 hora. Dia- rrea, vómito, inflamación de boca y gar- panta en la primera semana. Fallecimien- o del 100% al terminar la segunda se- nana.	600	

Adaptado de: Apuntes sobre efectos biológicos de la radiación, Anselmo Puerta, IAN.

Los efectos se producen al ser afectados los órganos hematopoyéticos, con disminución de glóbulos rojos, glóbulos blancos y dificultad de coagulación, junto con la destrucción del epitelio gastrointestinal. Bacterias presentes en el tubo digestivo invaden el cuerpo, que además ha perdido defensas por la disminución de glóbulos blancos.

TABLA 4

Algunes dosis máximes permisibles recomendades por la CIPR		
En diagnóstico clínico (rem/año)		
Gónadas, todo el cuerpo	5	
Piel, tiroides, hueso	30	
Manos, antebrazos	75	
Otros órganos	15	
Para el personal que trabaja con radiaciones		
Personal directamente involucrado	5 rem/año y no más de 3 rems en cual-	
Personal que labora cerca de áreas	quier período de 13 semanas	
tringidas	1.5 rem/año	
Población en general	0.5 rem/año por individuo	

Actualmente no se está invirtiendo en explorar petróleo. Cuando el petróleo estaba a unos precios muy altos no se conseguía equipo ni personal para trabajar en la actividad petrolera. Hoy es fácil encontrar equipos que están sin utilizar, y los técnicos en esta industria no saben en qué ocuparse, y todo por que el precio está muy bajo. El uranio, por su parte, sufrió una caída de precios estrepitosa debido, principalmente a que no es un producto que se obtenga de una explotación directa, son muy pocos los países que lo producen en forma de mineral como producto principal, generalmente se obtiene como subproducto. Recuerde usted que una buena cantidad del uranio que produce el mundo es subproducto del oro de las minas de Sudáfrica y de la recuperación de otros minerales. Por eso la caída tan vertical que tuvo el precio de la libra de la "torta amarilla" en el mundo. Con los precios actuales y con las inciertas anomalías que se han detectado en Colombia, realmente no parece que fuera rentable ninguno de los proyectos que hoy en día puedan existir en nuestro país. Ponerse a evaluar una cosa que hoy no es rentable no nos parece muy lógico, máxime cuando el mercado está más que satu-

R.N.: Si la nucleoelectricidad no está dentro de los planes energéticos del país, ni aún dentro del plan de acción del IAN, ¿cree usted que el nuevo reactor nuclear que el IAN está negociando actualmente con Argentina tiene una justificación válida?

J.L.: El IAN ha justificado la compra de este reactor de investigación
desde dos o tres puntos de vista todos
ligados, aunque el aspecto central, según el IAN, es el de que se va a lograr
un amplio desarrollo tecnológico, o
sea, que instalar un reactor como el
que se propone adquirir en IAN traerá
un desarrollo tecnológico al país. Aunque esto no es mensurable, de todas
maneras podemos admitir que habrá
un desarrollo tecnológico porque algunas personas se van a capacitar en determinadas áreas. Pero el problema es

hasta qué punto este desarrollo conlleva un desarrollo en otras actividades. Esto a mi juicio, resulta muy difícil de predecir. No es fácil asegurar que esto va a ser así. Por ejemplo, por decir cualquier cosa, tomemos la medicina nuclear. ¿Cree usted que, simplemente porque tengamos un reactor disponible para hacer algunos tipos de materiales radiactivos que necesitan los médicos, nuestros médicos se van a capacitar mejor? La respuesta es obvia y de allí mi insistencia en que una cosa no va ligada a la otra, indudablemente.

R.N.: ¿Existen planes de desarrollo tecnológico en Colombia en los cuales este proyecto esté involucrado, o se trata de un proyecto aislado?

J.L.: Yo creo que están trabajándolo como un proyecto aislado. Tomemos algunas de las grandes aplicaciones que podría tener este proyecto dentro de nuestro país, por ejemplo la medicina nuclear. ¿Se le ha pedido concepto a alguna organización médica, para que diga si en Colombia se tendrá un mayor desarrollo en este campo simplemente por disponer de este equipo?

En el campo agropecuario es bien sabido que se pueden hacer algunas investigaciones con técnicas nucleares. por ejemplo en mejoramiento de semillas, control de enfermedades, aprovechamiento óptimo de fertilizantes. etc. Son programas interesantes, pero, ¿hasta donde hoy en día el sector agrícola colombiano es capaz de absorber este tipo de técnicas? Creo que todo esto debería conversarse con representantes del sector agropecuario, porque traer el equipo no necesariamente va a inducir a nuevas investigaciones en el agro. Son parte de los estudios que, yo creo sinceramente, no se han hecho para justificar si ese reactor lo necesita el país o no

En otras palabras, no hay ninguna cuantificación ni siquiera una investigación preliminar en las fuentes que serían las beneficiarias de estas nuevas técnicas, para hacer un ensamblaje de las dos cosas, de lo que el IAN pretende hacer y de lo que el país puede requerir. Entonces para mí no existe todavía una justificación plena para comprar el reactor. Yo no pretendo que midan su utilidad en pesos o en dólares, tan solo que haya siquiera ese primer intercambio.

R.N.: ¿Cree usted que el IAN ha adquirido suficiente experiencia técnica en materia de reactores para poder participar activamente en el proyecto?

J.L.: El IAN no tiene experiencia suficiente en este aspecto que usted menciona y así lo reconoce en todas partes, en documentos, conferencias y declaraciones que han aparecido en distintos medios de comunicación, en donde siempre afirman que no tienen experiencia y por eso van a acudir a la Organización Internacional de Energía Atómica para que los asesore en la compra del nuevo reactor. Pero resulta, en este caso, que un asesor necesita información para poder emitir sus conceptos. Sin ella no puede asesorar a quien lo consulta o su asesoría resultará inevitablemente errónea. Entonces creo que falta esa base inicial, que no la tiene el IAN en este momento. Ahora la falta de experiencia del IAN está ratificada en esta misma conferencia2 en la cual dicen que el reactor actual "ha servido, aunque en pequeña escala para entrenar un buen número de profesionales y técnicos colombianos". Después dice: "es necesario reconocer que ha hecho falta una mayor integración con las Universidades" y concluye con una frase que para mí es muy gráfica: "es muy posible que con un poco de imaginación el reactor actual del Instituto pueda servir para desarrollar algunos programas de investigación en campos como la física y la química", O sea que, hasta hoy, no lo han utilizado para esto. La utilización del reactor, de acuerdo a los mismos gráficos y cálculos presentados por el Dr. Villarreal, ha sido el 5,67% de su capacidad efectiva en los 18 años de uso. Es un reactor que ha estado completamente "subutilizado". iY además dicen que no tienen siquiera un poco de imaginación para que ese reactor pueda

El problema es hasta qué punto un desarrollo tecnológico nuclear representado por ejemplo en capacitación de personal, conlleva desarrollo en otras actividades.

¿Hasta dónde hoy en día el sector agrícola colombiano es capaz de absorber este tipo de técnicas nucleares?

No hay siquiera una investigación preliminar para hacer un ensamblaje de lo que el país puede requerir y lo que el IAN pretende hacer.

I bid

¿Cómo vamos a justificar al país la compra de un equipo de \$4000 millones para sustituir una importación anual de \$20 millones?

servir para otras cosas! A mi modo de quintupliquemos esta cifra y se vuelver este es un reconocimiento pleno y claro de que no tienen suficiente experiencia técnica. Si no hay imaginación para manejar el actual reactor, menos la van a tener para otros mucho más grandes. Esto para mí, de una vez es una descalificación hecha por ellos mismos. Realmente pienso que no están en capacidad de manejar un proyecto como éste.

R.N.: Y en cuanto a los proyectos de asesoría a la industria, al sector agropecuario, a la medicina, etc. ¿puede en base a ellos justificarse la compra del nuevo reactor?

J. L.: El IAN, obviamente, tiene sus distintos departamentos que prestan ese tipo de servicio de asesoría y realmente pueden cumplir esta función sin tener el nuevo reactor. Ahora, si en el futuro hay mucho trabajo de ese tipo y no solamente en estos campos, que usted ha mencionado sino en muchos otros, yo no descarto que un nuevo reactor pueda llegar a justificarse. Pero por ello es necesario cuantificar, nuevamente insisto, y hacerlo paralelamente a los programas del país, precisar cuánto material radiactivo necesita y necesitará el país para poder decidir qué reactor y de qué potencia se requerirá para poder atender dichos programas, y entonces así se podrá decir: "El reactor que necesitamos es uno de 3.5 MW". Pero ¿por qué hoy se habla de uno de 3.5 MW? ¿por qué no de uno de 10 MW como fue aquél sobre el cual pidieron a otros países las cotizaciones iniciales? Primero eran 10 MW, luego los argentinos dijeron que era mejor uno de 3.5, y fue entonces cuando decidieron comprar el de 3.5 MW. En mi opinión, esto no es serio. Me parece, por todo lo anterior, que este proyecto no tiene bases, tan solo tiene algunos propósitos.

Por ejemplo, tomemos el caso de los materiales radiactivos para usos médicos. Resulta que la importación de estos materiales en el último año fue de unos 20 a 22 millones de pesos. Supongamos que en los próximos años

van 100 millones de pesos ¿cómo vamos a justificarle al país la compra de un equipo de \$4.000 millones para sustituir una importación anual de solo \$20 millones? ¿Por qué no seguimos comprando este material radiactivo, los aparatos de medida, todos los elementos necesarios para hacer las aplicaciones aquí, sin que tengamos que gastar tanto dinero para comprar este nuevo reactor?

R.N.: Entonces usted cree que este proyecto debe tener necesariamente una justificación económica.

J.L.: No necesariamente pero en las condiciones actuales por las que atraviesa el país yo creo que para justificar cualquier proyecto de la magnitud de la del nuevo reactor (US\$50 millones) se debe mostrar que de alguna manera es prioritario frente a otros proyectos posibles. ¿Cuántos empleos se podrían generar con esos mismos 50 millones de dólares en otras actividades? ¿Cuántas cosas se podrían hacer en materia de vivienda, salubridad, obras públicas, educación, etc. y que resultan ser más prioritarias para el país? Definitivamente es mucho dinero para entregarlo en manos de una entidad tan pequeña y con la preparación tan precaria que reconoce tener el IAN en la actualidad. Ahora, yo no estoy diciendo con esto que éste debe ser necesariamente un proyecto económico. Simplemente no quiero que suceda lo mismo que con el actual reactor que ¿para qué nos ha servido? ¿para preparar a unos cuantos profesionales? ¿20? ¿30? ¿40? ¿50? ¿Cuántos? Más bien mandémoslos a todos a la Argentina a que se preparen allá y que ojalá regresen muy bien preparados. Con 50 millones de dólares se pueden preparar todos los técnicos que el país necesite de aquí al año 2000, estoy convencido de eso, y no necesariamente tiene usted que tener el reactor aquí, ¿para qué entonces adquirirlo?

R.N.: ¿Conoce usted el plan de las actividades que entrará a desarrollar el IAN con los nuevos equipos?

Con 50 millones de dólares se pueden preparar todos los técnicos que el país necesite de aquí al año 2000.

J.L.: Ellos mismos los presentaron en la conferencia a la cual me he venido refiriendo y lo denominaban el Plan de Desarrollo Nuclear. Allí están todas las "leyes" posibles de la tecnología nuclear en el mundo, es como un catecismo donde están todas las normas de la iglesia. El plan comprende todo lo que se puede hacer en investigación, incluso propone el establecimiento de un nuevo marco legal, ¿se imaginan no más lo que es preparar este nuevo marco legal? Implica pasar por el Congreso de la República un paquete de leyes y normas sobre lo que no tenemos ni conocemos. Pero, veamos y analicemos algunos de los programas que allí figuran:

Programa de radioprotección y seguridad nuclear. Esta es una de las actividades que ya el IAN está haciendo, en la medida de sus capacidades, con el personal y los equipos que tienen. Este es un campo en que se puede mejorar, pero para esto no necesitan el nuevo reactor.

Suministro de material radiactivo necesario para el diagnóstico, la investigación y la terapia en medicina. Este sí es un campo que requeriría del nuevo reactor y es uno de los que justifica su compra pero, como ya vimos, Colombia importa 22 millones de pesos en radioisótopos de los cuales unos 15 fueron para este sector. Obviamente, si se miran estas cifras, no se justifica comprar un nuevo reactor.

Asistencia en el diseño y organización de laboratorios radiofarmacéuticos. ¿Para esto necesitan un nuevo reactor?.

En fin, creo que el llamado Plan de Desarrollo Nuclear es una enumeración de cosas que se pueden hacer sin que se requiera de un nuevo reactor, por lo menos en un 90% de ellas. Existe, sin embargo, un Programa que se llama Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico que aparentemente, como decía anteriormente es la justificación que consideran como más im-

portante para comprar el nuevo reactor. El objeto de este programa es el desarrollo del conocimiento básico acerca de técnicas avanzadas en el campo de la energía nuclear y constituir equipos de especialistas de soporte a las industrias.

Para esto, dicen ellos, necesitan un reactor. Yo insisto en que, mientras no nos demuestren lo contrario, es mucho más barato llevar gente a capacitarse afuera y ponerla a trabajar luego en la industria nacional, que comprar este nuevo equipo, máxime cuando el actual está "subutilizado" y se le pueden adicionar otros equipos para ampliar la gama de aplicaciones.

Yo aquí no encuentro, francamente, en ningún programa de estos, que Colombia necesite de este nuevo reactor. Hasta ahora no me han convencido. No digo que necesariamente me tengan que convencer a mí. Lo que vo pienso, es que, en este caso, resulta mejor hacer un análisis de conciencia y preguntarse si no se está embarcando al país en una cosa que no necesita. No es que me vaya a convertir en un fiscal de este programa. Yo creo que va a haber mucha gente descontenta y les van a estar diciendo: "Bueno señores, ¿para qué compraron este equipo?". Aquí bien nos puede pasar lo que está sucediendo hoy en día con otros países como Venezuela o Ecuador, que compraron reactores de este mismo tipo y los tienen parados desde hace dos o tres años.

Lo único que estamos pidiendo, por lo menos esa ha sido la opinión de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, es que exista una justificación para este proyecto, porque hoy día no existe. Si alguien nos demuestra que Colombia lo necesita, daremos nuestro visto bueno, sin importar a quién se lo compren, ni cuánto valga, porque esa no es nuestra función. Además no somos expertos en la materia para decir si debe valer más o menos o si hay que adquirir tal o cual reactor a un determinado país o fabricante.

Aquí bien nos puede pasar lo que está sucediendo hoy con otros países como Venezuela o Ecuador, que compraron reactores de este mismo tipo y los tienen parados desde hace dos o tres años.

Nuestra Posición

En el proceso de preparación y realización de las entrevistas, el Comité Editorial ha elaborado su propio concepto. Con el único propósito de avanzar elementos que contribuyan al necesario debate que tendrá que abrirse sobre el proyecto, se presentan a continuación los principales aspectos que configuran esta posición.

La importancia de un desarrollo propio en el campo de la tecnología nuclear.

No se puede poner en duda la enorme importancia que hoy en día ha adquirido la tecnología nuclear tanto en la producción de energía como en las numerosas aplicaciones de los isótopos radiactivos. Aunque según los estudios realizados Colombia no necesitará recurrir a la energía nuclear para la producción de potencia eléctrica antes del año 2000, comenzar con veinte años de antelación un proceso de desarrollo que pueda conducir a un dominio sustancial de la tecnología de los reactores de potencia no parece prematuro. En este proceso de preparación, la adquisición del nuevo reactor de investigación y producción de radioisótopos podría eventualmente constituir un paso importante. Es claro en efecto que el desarrollo de una rama de la ciencia o de la tecnología no se logra simplemente preparando cuadros en universidades extranjeras. Es necesario además crear líneas de trabajo, grupos estables que se esfuercen por desarrollarlas y una infraestructura material adecuada a estos propósitos.

Entonces no dudamos de la necesidad de un desarrollo autónomo en el área de la tecnología nuclear ni tampoco de la conveniencia de construir un reactor con características similares a

las que se proponen en el proyecto del Instituto de Asuntos Nucleares, Nuestras reservas se centran fundamentalmente sobre la oportunidad de adelantar la adquisición en las actuales circunstancias, sin que se hayan cumplido toda una serie de etapas previas de preparación que permitan asegurar el aprovechamiento máximo de los nuevos equipos. En otras palabras, los interrogantes que deben responderse son los siguientes: ¿Tiene el país en este momento los recursos humanos con suficiente calificación y la experiencia científica y tecnológica requerida para lograr una real apropiación de la tecnología involucrada en los nuevos equipos? ¿En qué medida y en qué aspectos puede contribuir el proyecto a un futuro dominio de tecnologías relacionadas con los reactores de potencia? ¿Se inserta el proyecto en un plan general de desarrollo del sector nuclear que permita fundamentarlo y asegure a la vez su continuidad y su posterior desarrollo?

También valdría la pena preguntar si no existen alternativas menos costosas —el proyecto en discusión cuesta alrededor de 4000 millones de pesos—y también más adecuadas a las actuales posibilidades tecnológicas del país que permitan sin embargo avanzar en el proceso de desarrollo nuclear. A este respecto conviene mencionar el concepto de los expertos que participaron en

- Este concepto fue consignado por escrito y se leyó en una mesa redonda de clausura del curso el 1o. de Septiembre de de 1983. Desde un punto de vista técnico es posible que este concepto sea discutible. El IAN sin embargo no ha tomado hasta el momento una posición frente a esta propuesta alterna.
- El establecimiento de una política implica en primer término una firme decisión nacional. Valdría la pena preguntar hasta qué punto el país está en disposición de comprometerse a fondo en el desarrollo de la tecnología nuclear.

un curso sobre reactores organizado por el IAN y la ACIF en el mes de Agosto de 1983 y según el cual existiría, como una alternativa viable y menos costosa, la posibilidad de rediseñar y reconstruir el actual reactor elevando su potencia hasta 1 MW¹.

La programación del desarrollo nuclear.

Un aspecto central para evaluar un proyecto como el que se discute es determinar si existe realmente una política gubernamental² y también un plan de desarrollo nuclear para Colombia que plantee metas a mediano y lar-

go plazo y dentro del cual se inscribel nuevo reactor.

A raíz del proyecto de adquisición de los nuevos equipos el Instituto de Asuntos Nucleares se ha preocupado por este aspecto del problema y elaboró en Mayo de 1983 un documento titulado "Plan Nacional de Desarrollo Nuclear — Proyecto". Sin embargo este material presenta a nuestro juicio serios vacíos que incluso impedirán considerarlo realmente como un plan nacional.

Debe señalarse, por ejemplo, que si bien el documento tiene un capítulo

SEGURIDAD DE REACTORES Y GESTION DE DESECHOS RADIACTIVOS

Los riesgos propios de la energía nuclear y las técnicas nucleares se relacionan con las radiaciones ionizantes a que pueden resultar expuestos los operarios o la población en general a lo largo de todo el proceso, desde la primera etapa del ciclo de combustible, en la mina, pasando por los reactores nucleares, hasta el almacenamiento de los residuos radiactivos y aún después. En los problemas de seguridad se consideran dos aspectos de índole distinta: por una parte, la seguridad en el manejo del material, y por otra la garantía que puede ofrecer el almacenamiento de los residuos radiactivos de vida media larguísima con relación a los efectos nocivos sobre el medio ambiente de generaciones futuras.

Los defensores de la energía nuclear sostienen que los productos y desechos de la industria química también conflevan riesgos para la población, y que son usuales los accidentes en el transporte de sustancias tóxicas (en Colombia se transporta folidol con harina de trigo - recordemos la tragedia en Zipaquirá hace algunos años- y cada cierto tiempo nos cuentan de la caída de barriles con Parathion en algún río). Agregan que las operaciones relacionadas con material radiactivo están sometidas a un control mucho más severo (en ocasiones más teórico que práctico) que las de sustancias venenosas. Por ejemplo, las disposiciones sobre sustancias radiactivas obligan a mantener un inventario de éstas, para asegurar que los desechos se dispongan con el menor riesgo posible. Así, las normas permiten echar a la red de alcantarillado material de muy baja actividad, pero añaden que si esto lo hace una

entidad especializada se elimina la posibilidad de que en un laboratorio particular se haga lo mismo accidentalmente con material de actividad intermedia.

Las cuestiones de seguridad son más importantes respecto de los reactores nucleares, especialmente los de potencia. Por ello la instalación de una central nuclear sólo puede hacerse después de haber demostrado que se ciñe a un sinnúmero de normas sobre seguridad. Un breve recuento de algunos episodios del debate sobre los riesgos de la energía nuclear en los Estados Unidos ilustra muy bien, a nuestro juicio, hasta dónde hay plena certeza sobre las técnicas nucleares.

Como respuesta a la crisis de combustibles, el presidente Carter solicitó a la Comisión de Regulación Nuclear (NRC) de los E.U. estudiar la posible reducción de los 14 años que tarda un proyecto nuclear en pasar los exámenes de regulación hasta la generación del primer watio eléctrico. Pero los hechos siguientes mostraron que esto no era posible: a comienzos del año 79 la Comisión cerró cinco plantas nucleares en el este de los Estados Unidos porque el diseño de su sistema hidráulico no estaba garantizado contra temblores de tierra, y además, la Comisión retiraba su respaldo a las conclusiones de la Comisión Rasmussen de 1974, en las cuales se aseguraba la casi imposibilidad de un accidente nuclear serio. Así mismo, un grupo de trabajo creado por el gobierno sentenciaba que el problema de los desechos nucleares no era tan sencillo como afirmaba la industria. Y en medio del ir y venir de conclu-

siones contrarias, a finales de marzo de 1979 comenzaba la pesadilla del reactors tuado en la Isla de las Tres Millas, en Pam sylvania. Tan sólo cinco semanas llevete funcionando a plena capacidad la unida número 2 cuando una luz roja en la salade control indicaba la ocurrencia de la evento". La turbina del generador se habia detenido, como si se hubiera suspendido e flujo de vapor hacia ella. Lo que paracia un incidente normal originó durante varios días que gases y vapor radiactivo escapar a la atmósfera. Una burbuja de gase radiactivos a alta presión se había formado en la parte superior del tanque que conte ne el núcleo, el cual permanecía calientes pesar del esfuerzo de los ingenieros, con a 60% de las varillas de control estropæda.

Si la presión de la burbuja seguia ceciendo, estaría dentro de lo posible que si detuviera la circulación de agua en el siste ma de enfriamiento, y la temperatura de núcleo amenazaría la estructura del teque, con el peligro adicional de que el tidrógeno contenido en la burbuja expitara,

No hubo explosión, finalmente el nicleo se enfrió y la burbuja pudo ser controlada. Pero había ocurrido un evento calificado en el argot tecnicista de los especialistas como de "caso IX", o sea, no previsto. Y la actitud de los representantes de la empresa propietaria de la planta indicaba que en las seguridades ofrecias por la industria privada pueden primar su intereses particulares sobre los de la comunidad. Una población aterrorizada aquedaba la orden de evacuar y el gobernador.

sobre "objetivos y políticas" no se consignan allí las metas concretas que deberían alcanzarse en el mediano y largo plazo. El documento no periodiza las actividades en etapas de desarrollo con sus respectivas cronologías. Tampoco propone una estimación de los recursos necesarios para el desarrollo del plan ni evalúa las necesidades de otros sectores (industria, agricultura, medicina, investigación en universidades, etc. . . .) en materia de tecnología nuclear.

Más que un **plan nacional** el documento es una descripción de las actividades que el IAN desarrolla actualmente y de las que podría desarrollar con los nuevos equipos. El documento parece haber sido más bien elaborado como una justificación ad-hoc del proyecto de adquisición del nuevo reactor3.

3. Las justificaciones del proyecto

Una de las principales justificaciones que en diversos documentos se ha aducido en apoyo del nuevo reactor es la posibilidad de una mayor y más variada producción de radiosótopos que ofrecería el nuevo reactor de 3 MW. En Colombia los radioisótopos se

Esta apreciación puede fundamentarse un poco más si consideramos la cronología de los principales documentos emitidos hasta el momento sobre el proyecto del reactor. En Junio de 1982 el IAN emite un documento titulado "Justificación Preliminar para el Proyecto Reactor de Investigación IAN-R2" en el cual no se hace mención de ningún plan de desarrollo nuclear. En mayo de 1983 el IAN produce el proyecto de "Plan Nacional de Desarrollo Nuclear" y dos meses más tarde, en Julio, aparece el documento "Proyecto Reactor IAN-R2" en el cual el "Plan Nacional" aparece fundamentando el proyecto.

declaraba que la empresa mentía, incluso a él, sobre la gravedad de la falla mientras los empresarios calificaban el suceso de aberación normal y se mostraban preocupados por las pérdidas millonarias, 17.

El actual presidente de los E.U. no oculta su simpatía por la energía nuclear, muy especialmente por las bombas. Pero su apoyo a la industria nuclear vuelve a chocar con las fallas detectadas en los reactores: a finales de 1981 fue necesario cerrar un reactor en el Estado de Nueva York al romperse la tubería del generador de vapor, y la puesta en funcionamiento de otro en California tuvo que posponerse cuando al ir a realizar la carga de combustible para la primera prueba se descubrió que una tubería diseñada para cierta parte del reactor se había instalado en otra, Pareciera que la misma "mano divina" que guió a los modernos transmutadores a crear una humanidad con capacidad de autodestruirse, castigara la jactancia de haber alcanzado la perfección. La industria nuclear sigue afectada por el efecto Titanic.

Los desechos

Lo países de Europa Occidental producen al año 1800 millones de toneladas de desechos de todo tipo. Una proporción mínima de ellos son los desechos radiactivos, originados en laboratorios de investigación, durante el ciclo del combustible nuclear y en la generación de energía eléctrica. Estos desechos no atraen moscas, no dañan el paísaje, no huelen mal; lo que los hace especiales a pesar de su insignificante volumen es la emisión de radiaciones ionizantes que puede perdurar durante miles de años.

Mil kilogramos de carga de combustible de uranio ligeramente enriquecido para un reactor nuclear de agua ligera contienen 33 kg de U235 y 967 kg de U238 . Al cabo de tres años quedan 934 kg de U238, 8 kg de U238, 35 kg de productos de fisión, de peso molecular intermedio y 17 kg de diferentes isótopos de peso molecular alto, la mayor parte de estos transuránicos. El combustible usado deba cambiarse a pesar de contener aún U235 y Pu239 fisionables porque los otros isótopos presentes en él impiden sostener la reacción en cadena.

Pero los desechos no son únicamente el combustible usado. Aquellos estarían constituidos además por productos activados, esto es, materiales que se han vuelto radiactivos al recibir bombardeo de neutrones, como lo son los materiales del resctor, en las celdas calientes donde se purifican los radioisótopos, etc. Una vez procesados, los residuos se clasifican en desechos de baja, intermedia y alta actividad, según su emisión radiactiva. A manera de ejemplo, una central de 1000 MW en un año de funcionamiento continuo produce 2 m³ de desechos de alto nível, 100 m³ de nível intermedio y 2000 m³ de bajo nível.

Los de actividad baja e intermedia se guardan en recipientes especialmente diseñados y se entierran a poca profundidad, o se dejan caer al fondo del mar. Estos procedimientos tienen opositores, y hay quienes

dicen detectar aumentos de radiactividad en las zonas aledañas a los "cementerios nucleares". Los de alta actividad deben ser almacenados durante unos 10 años en lugares bien ventilados para eliminar el enorme calor que siguen produciendo, antes de ser enterrados. El método más promisorio para disponer de ellos después del enfriamiento es el de vitrificación y posterior enterramiento en cuevas profundas de comprobada estabilidad geológica, a gran profundidad. En los tres tipos de desechos hay que mantener elevadas normas de se guridad en la manipulación. Pero este tercer tipo manifiesta un problema adicional: la garantía que se da sobre la bondad del método se basa en la proyección cuidadosa de experimentos realizados durante lapsos relativamente cortos de tiempo. ¿Es esto suficiente, si se tiene en cuenta que siguen siendo peligrosos durante *miles de*

La industria nuclear, pública y privada, manifiesta que los métodos actuales son suficientemente seguros. La OIEA edita folletos de distribución general que apo-yan esta opinión, Pero no todos los especialistas están de acuerdo. De hecho, en algunos estados de los E.U. está detenida la instalación de centrales nucleares hasta que no haya mayores garantías en el manejo de los desechos.

Ciertas o no las objeciones, en los países donde no existe la infalibilidad estatal éstas han obligado a la industria nuclear a mejorar los sistemas de seguridad, con lo que indudablemente se han evitado accidentes.

- Vale la pena señalar que el ahorro anual de divisas que por este concepto traería el nuevo reactor es insignificante, No representa ni siquiera la centésima parte del costo de los nuevos equipos. De todas formas, aún con estos equipos, algunos de los isótopos más utilizados como son el I-131 y el Tc-99m no podrían probablemente producirse totalmente en Colombia (Informe Vera Muranaka p. 12. 13).
- Informe Vera, Muranaka, IAN, Junio 1983, pag. 11.
- 6 "Plan de Desarrollo Nuclear Proyecto", IAN, Mayo 1983, p. 19.
- En el contexto de políticas no coherentes como las actuales un desfase tecnológico entre diversas áreas terminaría, al contrario de lo esperado, generando demanda por nuevos equipos extranjeros. Así, en el proyecto nuclear se lee (lbid p. 19):
- "... los productos específicos de los proyectos nucleares de investigación ..., fuera de su utilidad en aplicación directa ..., generan una demanda de equipos como los de instrumentación nuclear de uso en electrónica, medicina, industria, geología",
- Algunas de estas mejoras son: la formulación de un proyecto de plan de desarrollo nuclear, la creación de comisiones para discutir diversos aspectos del proyecto con participación de representan-(Sigue)

utilizan en aplicaciones a la ingeniería, a la agricultura y sobre todo en medicina. Hasta el momento el IAN sólo ha producido algunos de los radioisótopos apropiados para aplicaciones en ingeniería y en agricultura. La totalidad de los radioisótopos para uso médico debe importarse a un costo relativamente módico de 20 millones de pesos (US\$300,000) anuales4. El nuevo reactor permitiría la producción de isótopos apropiados para uso médico. La elaboración de los radiofármacos a partir de los isótopos requiere sin embargo de especificaciones de calidad muy alta que harían difícil la competencia con las firmas internacionales que los vienen suministrando. A este respecto vale la pena citar la opinión de los expertos H. Vera Ruiz y R. Muranaka de la OIEA, consignada en un informe elaborado en junio de 1983 a petición del IAN: "La producción de radioisótopos es un ejercicio costoso y sin sentido si no está ligado estrechamente a las necesidades de los consumidores potenciales. Esto es particularmente cierto cuando hablamos de radioisótopos para uso rutinario en medicina nuclear. La confianza de los médicos en el producto nacional debe ganarse paso a paso produciendo radioisótopos de calidad y en las cantidades requeridas y asegurando un despacho en forma confiable y predecible. Esto a su vez impone sobre el productor un alto grado de organización y competencia"5

Todas estas consideraciones permiten preguntar si la producción de radioisótopos puede realmente considerarse como una de las principales justificaciones para el nuevo proyecto.

Otra clase de justificación que se ha aducido hace referencia a las repercusiones que a nivel de diversos sectores de la producción podría tener un desarrollo nuclear de importancia. En el proyecto de Plan de Desarrollo Nuclear elaborado por el IAN se lee al respecto lo*siguiente: "Se ha observado que el nivel de desarrollo tecnológico de una nación, salvo desfases temporales (subrayado nuestro), tiende

a ser equivalente en todas las manifestaciones de la tecnología; lo anterior significa que en el contexto de una política coherente (subrayado nuestro), un desarrollo particular tecnológico tiende a la elevación del nivel tecnológico general, o en otras palabras, la inversión efectuada en una expresión particular, debe considerarse como una inversión en el conjunto de la tecnología. Por otro lado, debe considerarse que no todas las expresiones particulares de la tecnología tienen el mismo efecto nivelador, o en otras palabras, el mismo efecto multiplicador. La tecnología nuclear es por ejemplo, una de las que posee un gran efecto multiplicador"6

Pensamos que el efecto que sobre el desarrollo de otras ramas tecnológicas pueda tener el impulso de una de ellas depende de manera decisiva del estado en que se encuentren esas otras tecnologías. Bien podría suceder, contrariamente a lo que se dice en la cita del "Plan de Desarrollo Nuclear", que en un contexto de tecnologías atrasadas el impulso de una de ellas se vea seriamente entrabado por el bajo nivel de las restantes. No puede por lo tanto afirmarse que el desarrollo del sector nuclear implique automáticamente el de otros sectores vinculados. Es cierto que la tecnología nuclear tiene un gran efecto multiplicador pero sería necesario concretar de manera precisa sobre qué ramas de la producción y en qué forma y magnitud incidiría el proyecto de tecnología nuclear, para que tal afirmación cobre peso como justificación del proyecto.

Se ha dicho también, en apoyo del proyecto, que otros países latinoamericanos con un desarrollo tecnológico similar al de Colombia como serían Venezuela y Perú, poseen reactores semejantes al que se desea adquirir. Esta afirmación en sí misma no constituye una justificación válida, menos aún si detrás de ella se insinúa la posibilidad de favorecer, mediante la compra del reactor, el acceso en un futuro a tecnologías que permitan la fabricación de artefactos nucleares de uso mi-

litar. Toda justificación debería centrarse en las necesidades propias del país. En lugar de contraponer nuestro desarrollo nuclear con el de países vecinos, y tratándose además de tecnologías tan costosas, parecería más razonable poder llegar a acuerdos con esos países para un desarrollo conjunto de las aplicaciones pacíficas de la tecnología nuclear.

Participación de la comunidad científica nacional

Hay que anotar que la comunidad científica nacional concentrada principalmente en las universidades y en algunos centros de investigación, no ha recibido información adecuada sobre los alcances del proyecto y ha tenido una muy escasa participación en su gestación y elaboración. Este aspecto nos parece particularmente preocupante puesto que, tratándose de un reactor de investigación, debería no sólo estar al servicio de los grupos de investigación nacionales sino que incluso sus facilidades deberían, por lo menos parcialmente, adecuarse a las necesidades de esos arupos. Esto se entiende meior si se tiene en cuenta que hasta el presente el Instituto de Asuntos Nucleares se ha desarrollado más como una entidad de servicios en ciertas aplicaciones de la tecnología nuclear que como un centro de investigación.

Llama la atención que tratándose de un proyecto científico y tecnológico de envergadura que interesa a la nación, éste haya sido elaborado de manera casi exclusiva por el IAN y no se haya abierto hasta el momento un debate suficientemente amplio sobre su justificación y sus alcances.

Debe señalarse que de todas formas las críticas formuladas al proyecto desde diversos sectores han tenido resultados benéficos en la medida en que han conducido a introducir mejoras en su formulación que no estaban contempladas cuando se firmó la primera carta de intención con Argentina.8 Este hecho corrobora nuestra apreciación sobre la necesidad de un debate amplio. Tal vez éste sería el momento adecuado para suspender las negociaciones e iniciar una discusión nacional dentro de un plan que permita reabrirlas, con un mayor conocimiento de causa, en un futuro próximo.

tes de la industria y de la comunidad científica, la intención de presentar el proyecto a representantes del sector industrial, en fin, una mayor conciencia sobre la necesidad de realizar consultas más amplias.

Un ejemplo de los riesgos económicos de una aprobación apresurada del proyecto, que permite ver que no hay suficiente certeza sobre lo que se necesita adquirir, es la decisión sobre la planta piloto de metalurgia extractiva del uranio, uno de los "equipos anexos". El Dr. Villarreal dice en su entrevista que la planta piloto se justificaba inicialmente, cuando había empresas extranjeras buscando el recurso en Colombia, "Hoy en día" dice "creemos que tal vez puede ser una planta a nivel de laboratorio". Pero en julio de 1983, casi dos años después del retiro de las empresas extranjeras, el Instituto propone en el documento Proyecto reactor IAN R2, independientemente de la propuesta argentina, la adquisición de una planta piloto "con una capacidad de aproximadamente 2 toneladas por día". Y en ese mismo mes, la misión de la OIEA compuesta por los Drs. Vera y Muranaka, consigna que 'en concordancia con recomendaciones previas" ellos son "partidarios de un laboratorio bien diseñado y equipado en lugar de una costosa planta piloto". Bien sea por una aceptación a posteriori de ésta o de otras recomendaciones, el IAN ahora parece decidido por el laboratorio.

Proyecto de investigación didáctica

Uno de los grandes vacíos que existen en el proceso de adopción de planes de estudio, curricula y especialmente de enfoques pedagógicos y didácticos es la experimentación. Esta fue una de las críticas relevantes que surgieron como conclusión del Primer Simposio sobre la Enseñanza de la Ciencia y la Matemática, celebrado en Diciembre de 1981 en Bogotá. Esta carencia no sólo es criticable en cuanto hace a los organismos oficiales (Ministerio de Educación Nacional, Secretarías de Educación, Centros Experimentales Piloto) sino también en los referente a las acciones que universidades y normales podrían emprender atendiendo a que por una parte forman docentes y por otra, su actividad fundamental es la docencia.

La Fundación Educación y Ciencia, cuyo órgano de difusión es la revista NATURALEZA, comparte las inquietudes expuestas y en tal sentido, procurará colaborar con propuestas orientadas hacia la reflexión pedagógica y la investigación didáctica. Por esta razón la Fundación decidió apoyar y colaborar con un proyecto de investigación que la Escuela Pedagógica Experimental presentó hacia marzo de 1983 al Fondo de Investigaciones Científicas "Francisco José de Caldas" — Colciencias y que se propone explorar la enseñanza de las ciencias naturales en el primer año de bachillerato (sexto año de enseñanza básica). Es así como Colciencias financiará el proyecto conjuntamente con la Escuela Pedagógica Experimental quien lo ejecutará con la asesoría científica de la Fundación Educación y Ciencia.

El proyecto

Fundamentación. Esta descansa sobre tres premisas que determinan sus planteamientos y objetivos.

- 1. Cualquier situación didáctica debe partir de una consistencia entre la complejidad de los contenidos y materiales de enseñanza y las capacidades de razonamiento de los estudiantes. Esta exigencia presupondría en otro contexto la existencia de datos sobre los niveles de desarrollo cognoscitivo de los niños de 12 o 13 años. En el proyecto la inferencia es inversa. Partiendo de actividades abiertas, el nivel de profundidad que se logre al tratar los diferentes temas permitirá presumir, en una labor conjunta con psicólogos, el nivel de desarrollo cognoscitivo de los niños.
- 2. El tratamiento de los temas del programa deberá tener en cuenta que el estudiante llega a la clase con conocimiento constituidos espontáneamente. La existencia de estos conocimientos (generalmente erróneos) que se denominan "preteorías" plantea como objetivo no ya la construcción directa de formas de explicación, sino el reemplazo de las pretorías por otras explicaciones quizás aún no teóricas, pero más aproximadas a ellas que los esquemas construídos espontáneamente en un proceso de cuestionamiento continuo. De este planteamiento surgirán marginalmente exploraciones acerca de la concepción del mundo en los niños.
- 3. Finalmente, la clase para ser exitosa deberá partir de un interés y de la existencia de expectativas de los alumnos frente a las actividades planteadas. En este sentido es importante la participación permanente de los alumnos y la discusión entre ellos de problemas o de situaciones conflictivas. La búsqueda de formatos adecuados para la clase es otro propósito de la investigación.

Las actividades. Coherentemente con lo expuesto, los contenidos programáticos se tratarán como apéndices que surgen de la solución-discusión de problemas-globales-de-interés, en vez de constituirse en una colección de capítulos más o menos inconexos entre sí. A su vez, cada gran tema (problema) constituirá, en la clase prevista en el proyecto, un pequeño proyecto adelantado por la clase misma.

Proyecciones. Actualmente las actividades del proyecto constituyen una primera etapa. Se prevé que en dos etapas siguientes se confronten los resultados obtenidos en grupos pequeños, con los resultados al aplicar el enfoque didáctico en situaciones típicas (segunda etapa) y se elabore uña propuesta concreta respecto de la enseñanza de las ciencias naturales en el primer año de bachillerato, a nivel general (tercera etapa).

La reforma curricular y el magisterio

Segunda Parte

LA REFORMA CURRICULAR Y EL MAGISTERIO

En la edición anterior publicamos parte de este documento, presentado como ponencia al XII Congreso de la Federación Colombiana de Educadores (FECO-DE), realizado en Agosto de 1982. Aquí aparece la parte restante, del Numeral 3 en adelante. El contenido completo del material es el siguiente:

INTRODUCCION

- UBICACION DE LA REFORMA CURRICULAR EN EL CONTEXTO NA-CIONAL
 - Algunos antecedentes político-legales
 - Cambio de la concepción del currículo
 - La tecnología educativa en el país
- UBICACION DE LA REFORMA CURRICULAR EN EL CONTEXTO IN-TERNACIONAL
 - Relación con las políticas norteamericanas para América Latina
 - De la televisión educativa al diseño instruccional
 - Vínculo entre la reforma y el Proyecto Multinacional de Tecnología Educativa de la O.E.A.
 - El argumento de los "expertos": la supuesta neutralidad de los "medios"
- EL DISEÑO INSTRUCCIONAL Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA PRACTICA PEDAGOGICA Y EL APRENDIZAJE
- LA ESENCIA DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL: LA DESCALIFICACION DEL MAESTRO
 - Los fundamentos económicos del diseño instruccional
 - El diseño instruccional y el poder sobre el proceso educativo
- EL PROBLEMA DE LOS ASPECTOS "PROGRESIVOS" DE LOS NUEVOS PROGRAMAS
- DEFICIENCIAS EN LA CALIDAD Y EN LA FUNDAMENTACION PEDA-GOGICA DE LOS PROGRAMAS
- 7. POSIBILIDADES Y RESPONSABILIDADES DEL MAGISTERIO
 - La reforma curricular y los cambios de "mentalidad" asociados a la consolidación del desarrollo capitalista
 - Las resistencias culturales a la reforma
 - Resposabilidad cultural del magisterio
 - El fortalecimiento cultural y un vigoroso movimiento pedagógico, condiciones de una verdadera autonomía del magisterio.

Ponencia presentada al Congreso de la Federación Colombiana de Educadores (FECO-DE).

Realizada por: Antanas Mockus Carlos Augusto Hernández Berenice Guerrero José Granés María Clemencia Castro Jorge Charum Carlo Federeci

(Este trabajo se inscribe dentro de las actividades del grupo de investigación sobre el problema de la formación de una actitud científica en primaria, dirigido por el Dr. Carlo Federici).

EL DISEÑO INSTRUCCIONAL Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA PRACTICA PEDAGOGICA Y EL APRENDIZAJE¹⁹

En primer lugar, el diseño instruccional fragmenta los procesos de enseñanza y aprendizaje en átomos "objetivo-actividad-evaluación". conexión entre éstos puede ser clara -no siempre lo es- para los "programadores", es decir, para quienes pensaron, discutieron y escribieron los programas. Sin embargo una vez realizado el diseño, esa conexión se convierte de hecho, para el maestro v aún más para el alumno, en una sucesión a veces ligeramente alterable de "eventos de instrucción". En últimas, de lo que se trata entonces, para maestros y alumnos, es de "lograr" (o "cumplir") unos objetivos tras otros. Esto corresponde a una concepción del aprendizaje como adquisición de un "repertorio" de comportamientos, actitudes, conocimientos, aptitudes y destrezas (o simplemente de conductas, como originariamente pretendían los reformadores cuando no temían ser vistos como "conductistas").

Basta con leer los listados de "objetivos específicos" correspondientes a cada uno de los grados, para reconocer la atomización y desintegración resultantes de este modo de fragmentar el trabajo de un curso. Cuando la ha habido, la concepción global, capaz de dar sentido y coherencia interna al proceso, se pierde desplazada por la sucesión de actividades e indicadores de evaluación.

En las circunstancias impuestas por el formato curricular, aunque se hable mucho de "integración" esta tiende a reducirse a una combinatoria finita de los átomos propuestos: "juntar" tal objetivo con tal otro, etc. . . . Se tiende a razonar, enseñar y actuar a partir de estos átomos, típicas a este respecto, son las "unidades integradas", así como el tipo de parcelación que están obligados a hacer los maestros y que se reduce a repartir entre los días de la

semana, los objetivos por cumplir y las actividades que les corresponden.

En segundo lugar, la rígida estructura que el diseño instruccional impone a los programas y su énfasis en el logro de los objetivos taxativamente fijados, desmiente las afirmaciones de que se trata de un currículo "abierto", "dinámico" y "flexible". Toda sugerencia y todo cambio debe hacerse respetando el formato curricular escogido y, por tanto sometiéndose consciente o inconscientemente, a las concepciones de la educación subyacente a ese formato (educación como actividad instrumental prediseñada subordinada al logro de objetivos tangibles). La invitación a los maestros para que ayuden a "ajustar" los programas o para que comuniquen modificaciones puntuales de los mismos constituye --en este sentido- una verdadera trampa. La autonomía que ofrecen los programas al maestro es una caricatura: éste no sólo enfrenta un listado taxativo de objetivos por "cumplir", y de indicadores de evaluación para "verificar" los logros, sino que además encuentra las correspondientes actividades va diseñadas (con frecuencia una sola para varios objetivos). La indicación de que se trata simplemente de actividades "sugeridas" y de que el maestro está en libertad de ejercer su creatividad buscando actividades alternas sólo posibilita cambios puntuales, y se encuentra esencialmente limitada por el imperativo de cumplir los mismos objetivos y de completar el programa en el tiempo propuesto. En estas condiciones el maestro no puede apersonarse de los fines y de los "objetivos generales" para organizar su actividad desde su interpretación de esos fines y objetivos (interpretación que por supuesto puede ser individual o colectiva).

En tercer lugar, el *privilegio concedido a la evaluación* tiene, a nuestro parecer, efectos *corruptores* sobre el proceso educativo y sobre la vida escolar como forma de socialización (de establecimiento de relaciones sociales y de apropiación, dentro de éstas, de una historia cultural). En efecto, las

actividades colectivas, que tanto se enfatizan a nivel de las introducciones y de los marcos teóricos, quedan subordinadas en los programas al logro de los objetivos; en otras palabras, se hallan *instrumentalizadas*, no tienen un sentido y una finalidad en si, sino que son *medios* para alcanzar unos logros que la evaluación debe luego certificar. La actividad de maestros y alumnos está explícita o implícitamente, orientada por el deseo y la necesidad de satisfacer los indicadores de evaluación ("El alumno deberá . .", "El niño hará . .", etc.).

Según postula la Tecnología Educativa, el cumplimiento de los objetivos específicos garantizaría el de los objetivos generales, pero un proceso orientado por la omnipresencia de la evaluación no puede lograr en forma paralela, y menos aún en forma automática, fines menos aún en forma automática, fines menos aún en forma automática, fines menos aún en forma automática como "adquirir independencia en la actividad intelectual". El sentido mismo de la educación se ve prácticamente subordinado a las actividades de evaluación: "Cumplir los objetivos es lo que importa", aceptan ya algunos maestros.

A nivel de introducciones y marcos teóricos los programas reiteran la voluntad de formar un hombre responsable, pero luego las condiciones prácticas de ejercicio de la responsabilidad se reducen a ejecutar las instrucciones y a "responsabilizarse" por el logro de los objetivos²⁰.

Por otra parte la psicología norteamericana ha reconocido, en años recientes, que los objetivos "son tediosos para construir y frecuentemente constriñen a los maestros a estrechar su instrucción conceptualmente orientada, dirigiéndola hacia el logro de fines medibles pero triviales²¹. Los objetivos específicos desvían la atención hacia ellos y empobrecen el aprendizaje.

Asimismo, la relación entre alumnos y maestros se empobrece, al concentrarse la vida escolar en permanente ejecución de las instrucciones consignadas en los programas.

4. LA ESENCIA DEL DISEÑO INSTRUCCIONAL: LA DESCALIFICACION DEL MAESTRO

Según lo expuesto hasta ahora, el diseño instruccional corresponde a un diseño detallado del proceso educativo y a una reorientación de éste hacia el logro de objetivos medibles, y supone fundamentalmente una subdivisión del trabajo en el campo educativo. Ese intento de subdivisión entre diseñadores y educadores no tuvo mayor incidencia en la educación del país en el cual surgió; sin embargo, fue escogida como una de las alternativas claves para resolver los problemas de la educación popular en países del tercer mundo. Además, a los ojos de los tecnólogos norteamericanos, estos países "ofrecían mejores oportunidades para la innovación" en educación, es decir, para experimentos que no eran posibles en su país²².

En esta parte del presente trabajo, hemos de preguntarnos qué razones económicas y políticas pueden animar la implantación del diseño instruccional en nuestros países. Esto nos permitirá mostrar cuán profundamente afecta el diseño instruccional el oficio del maestro.

Los fundamentos económicos del diseño instruccional

Al comienzo hemos citado un texto del M.E.N. en el cual el Programa de Mejoramiento Cualitativo de la Educación (Programa cuyo eje es la reforma curricular) es presentado como tecnificación y "racionalización" del proceso educativo.

Si atendemos simplemente a la palabra "racionalizar" significa "hacer más racional". Pero esto es demasiado vago; falta determinar en qué sentido, o según qué criterio, el resultado será más "racional". El propósito declarado en el texto es el de "obtener un rendimiento óptimo" y la forma de hacerlo es "racionalizando los recursos y reduciendo los costos". Se trata pues, en una primera aproximación, de "aprovechar" mejor, de hacer "rendir" más los recursos que el país posee en el campo de la educación ²³.

Racionalizar significará pues, en particular, modificar el empleo de los recursos con el fin de reducir costos. Pero en la educación los recursos que hasta ahora han sido los más importantes, y que probablemente seguirán siéndolo (en vista de los fracasos de la "tecnología para la educación"), son los llamados "recursos humanos". En efecto, la parte más importante de gastos en educación corresponde a los salarios de los educadores²⁴.

El diseño instruccional constituye una forma radical de reducir los costos a través de dos estrategias desarrolladas y perfeccionadas en la ya larga historia del modo de producción capitalista: la subdivisión del trabajo y la estandarización de las tareas.

Siempre que la escala de la producción lo permite, el capital subdivide el trabajo para repartir los fragmentos de trabajo simple así obtenidos entre trabajadores contratables por un salario menor (trabajadores no calificados, niños, mujeres, etc.). Así, en vez de contratar, digamos, veinte trabajadores calificados puede, mediante la fragmentación del proceso de trabajo, contratar cinco calificados y quince no calificados. Realizando permanentemente los primeros la fracción más compleja del proceso y los otros encargándose de las tareas más simples, pueden en conjunto, asegurar una producción semejante a la que correspondía a los veinte calificados, pero a un menor costo en lo que a salarios se refiere. De este modo los antiguos oficios se rompen creándose una serie de tareas especializadas compleias atribuidas a unos pocos y una serie de tareas parcelarias simples a las que se ve condenada la mayoría de los trabajadores.

Lo que está en juego es lo que Alfred Marshall llamaba "el gran principio"

- Para la elaboración de este punto sirvió de base la sección 3,3 de la citada ponencia al Primer Simposio Nacional sobre la enseñanza de las Ciencias,
- Los efectos "corruptores" de una sobrevaloración de los mecanismos de evaluación sobre procesos sociales de gran complejidad (como es el caso de la educación), han sido señalados en los propios Estados Unidos: "Cuanto más sea empleado un indicador cuantitativo social para la toma de decisiones sociales, tanto más estará sujeto a presiones corruptoras, y tanto más apto será para distorsionar y corromper los procesos sociales que intenta supervisar", (Campbell, D.T., "Assessing the Impact of Planned Social Change" en Curso sobre evalueción de proyectos en educación, Hernándo Gómez Duque, Recop. Colciencias, Bogotá, 1979, p. 29).
- Wittrock, M. C., Lumsdaine, A.A., "Instructional Psychology" en Ann. Rev. Psychol. 1977, 28, p. 422).
- Por contraste con los Estados Unidos, en nuestro país existe un sistema educativo centralizado que cobija fundamentalmente las clases más populares; no existe una tradición cultural y teórica fuerte que pueda contrarrestar el discurso modernista y cientificista de la tecnología educativa, ni existe tampoco una amplia conciencia social de los riesgos que implica una experimentación en educación como la que se adelanta, Parace razonarse también con la idea de que es mejor recibir una educación experimental a no recibir ninguna.
- Por ejemplo, la doble jornada, vista desde las necesidades de aulas requeridas para extender la educación primaria, es una "racionalización" del empleo de las instalaciones existentes. Sin gastar un peso más en instalaciones, se puede cubrir una población doble. La doble jornada, precisamente una de las recomendaciones de la misión norteamericana en Corea del Sur que "política y socialmente causaban problema", logró sin embargo ser implantada en Colombia. Sus múltiples efectos colaterales hasta donde sabemos, no han sido estudiados.
- 24. La voluntad de reducir costos llega a manifestarse en formas tan burdas como la siguiente: "Un indicador eficiente de la eficiencia interna es el de la relación alumnos por profesor. En la educación primaria la relación fue de 31,4 en 1980, por debajo del índice aceptable de 35, lo cual necesariamente afecta los costos de funcionamiento, En la educación secundaria tal relación, si bien aumentó en los últimos 16 años hasta llegar a 20 en

de Babbage de la producción económica, que el propio Babbage presenta así:

> ". . . Me parece que toda explicación de lo barato de los artículos manufacturados, y por consecuencia acerca de la división del trabajo, sería incompleta si se omitiera la enunciación del siguiente principio:

El dueño manufacturero, al dividir el trabajo que va a ser ejecutado en diferentes procesos, cada uno requiriendo diferentes grados de pericia y fuerza, puede comprar exactamente la precisa cantidad de ambas que sea necesaria para cada proceso; mientras que por otra parte, si todo el trabajo fuera ejecutado por un solo obrero, éste debería poseer la suficiente pericia para ejecutar hasta lo más difícil y la suficiente fuerza para realizar lo más pesado de las operaciones en que dicho trabajo está dividido"25

El diseño instruccional aplica este principio a la educación separando, en el interior de cada una de las fases usuales del trabajo de enseñanza, las labores de concepción y de ejecución y atribuyendo las tareas de concepción al grupo de programadores, expertos y asesores, por un lado, y las tareas de ejecución de las instrucciones por ellos redactadas a los maestros, por el otro. No es que al maestro se le suprima toda posibilidad de preparación de la clase, ni todo pensar en el curso de la misma, o en el curso de la evaluación. Sin embargo, su participación en esos niveles se simplifica y abarca únicamente los aspectos mecánicos.

Esta separación es particularmente problemática en la educación. En efecto, aún en el caso de que la concepción y la ejecución estuvieran a cargo de la misma persona, su separación radical en el tiempo sería excesivamente laboriosa y probablemente nociva²⁶.

Es propio del proceso educativo el no poder ser pensado una vez por todas, el necesitar ser repensado permanentemente y el exigir el que se piense en presente en el momento mismo en que acontece. (Todos hemos tenido la experiencia de lo que significa un profesor "ausente" en el momento en que lleva a cabo su clase . . .). La enseñanza exige un trabajo intelectual vivo en el momento de la interacción entre educador y alumno. De nada valen los mejores apuntes para el educador si lo que enseña no logra, en el momento mismo en que es enseñado, el carácter de un saber vivo que se reconstruye en ese momento

El otro problema es que el decurso que toma una buena clase no puede ser totalmente previsto. Precisamente un buen profesor es el que, sobre la marcha viva de la clase, logra reorganizar su enseñanza a partir, por ejemplo, de preguntas o errores surgidos en el transcurso de la misma. Evidentemente esta capacidad requiere una mayor formación del maestro.

Al "descargar" al maestro de una serie de labores relativamente complejas y autónomas, el diseño instruccional hace posible que el proceso educativo sea adelantado por personas menos calificadas (casi basta con saber leer las instrucciones). En el límite -según soñaba el propio Skinner, uno de los más importantes conductistas y pionero de la tecnología educativasería posible que alguien enseñara lo que no sabe, se ahorrarían las horas dedicadas a la preparación y el educador estaría libre de dedicarse a otras cosas "más interesantes". Aunque Skinner indica que de este modo la misma persona podría asumir más horas de enseñanza, no llega a considerar explícitamente que, por el mismo camino, el Estado (o el dueño de una institución educativa privada) podría perfectamente sustituir sistemáticamente "mano de obra" calificada por "mano de obra" no calificada. La supresión de una serie de responsabilidades del maestro y la limitación de sus posibilidades de autonomía corresponde a una delicada modificación de su papel social y de su identidad cultural. De poco vale que para consolarlo lo declaren —casi que con ironía— "orientador del proceso", o le den el pomposo título de "administrador del currículo".

En el polo opuesto, es decir, en el grupo de expertos, programadores y asesores (para respetar la nomenclatura y la jerarquía del M.E.N.), se concentran una serie de responsabilidades y tareas que requieren un personal del máximo nivel²⁷. Estos tienen que diseñar el proceso en forma total. es decir, renunciando a la posibilidad -que sin lugar a dudas utilizarían en el caso de realizar ellos una clase real- de reajustar y reorientar el proceso en el momento de su realización según las circunstancias y las situaciones particulares, con frecuencia irrepetibles, que surgen en los procesos de enseñanza concretos. Los altos costos involucrados en semejante diseño han sido reconocidos en los Estados Unidos como una de las grandes limitaciones del diseño instruccional

Pero a este respecto es decisiva la escala: en efecto, disponer cincuenta programadores para que programen el trabajo de cincuenta maestros no significa ningún ahorro, aún en el caso de que se rebajen las exigencias de formación y experiencia para los segundos. El diseño detallado se vuelve rentable cuando el mismo grupo de programadores diseña el trabajo para decenas de miles de maestros. Pero esto implica la estandarización de las tareas del educador.

Para justificar los altísimos gastos involucrados en un diseño minucioso, éste no sólo ha de ejecutarse en gran escala, sino que debe garantizarse una ejecución fiel. Con esto entramos ya en el campo de los problemas de control, es decir, de poder, sobre el proceso educativo.

El diseño instruccional y el poder sobre el proceso educativo

Cuando un proceso de trabajo es asegurado por trabajadores calificados (en el sentido de que poseen un "oficio"), la buena marcha del proceso depende en gran parte de la pericia y de la multitud de saberes y estrategias que esos trabajadores poseen y que han sido adquiridas por lo general a través de una larga experiencia. Todo ese saber "encarnado" en los trabajadores les confiere un relativo poder sobre el proceso de trabajo que está a su cargo. Esto tiene múltiples consecuencias: su trabajo no puede ser fácilmente sustituido por el de trabajadores no-calificados, ni puede ser fácilmente reorientado ni redefinido.

Aquí, antes de examinar lo que sucede con el oficio de educador, vale la pena examinar lo acontecido con otros oficios.

Históricamente la descalificación de gremios completos de trabajadores industriales (como los torneros, los fundidores, los soldadores) no fue nunca un proceso puramente tecnológico de mecanización de labores complejas, Por el contrario, la lucha contra el poder de los gremios condujo, incluso a veces más que las perspectiva de una ganancia económica inmediata, a los empresarios capitalistas a diseñar máquinas y técnicas que les permitieran prescindir de los trabajadores calificados. Dejar de depender del trabajador experimentado, de sus conocimientos y de sus artimañas, era una necesidad para garantizar el poder del capital en los talleres de las fábricas. Era incluso necesario para romper la posibilidad misma de una gestión del proceso productivo por parte de los propios obreros. A finales del siglo pasado el capital necesitaba también, en muchos casos, quebrar el monopolio por parte de los sindicatos generales de la formación y "acreditación profesional", y su imposición de salarios mínimos para sus afiliados

Por otra parte, una proporción grande de trabajadores calificados en un taller suele significar que existen allí tradiciones de trabajo que se han decantado a lo largo de muchos años, tradiciones que, aunque no están formalizadas e incluso muchas veces son desconocidas por la dirección de la empresa, son indispensables para el desarrollo del trabajo. La importancia de estas tradiciones pone límites claros a la "rotación de personal" (el empresario no puede cambiar en un lapso corto una fracción importante del personal).

La separación radical entre concepción (planificación y diseño detallado) y ejecución fue la respuesta que F. W. Taylor, fundador del "Scientific Management" (Administración Científica) encontró a éste problema. En efecto, según él, había que acabar con la situación en que los propios jefes y capataces "saben mejor que nadie que su propio conocimiento y habilidad se hallan muy por debajo del conocimiento y la destreza combinados de todos los obreros que se hallan bajo sus órdenes"28. Esa solución, que Taylor sintetizaba en el imperativo "Todo trabajo intelectual debe ser sustraído al taller para ser concentrado en las oficinas de planificación y de reorganización"²⁹ implicaba también acabar con la diversidad de formas de trabajo, imponiendo formas estandarizadas minuciosamente diseñadas escogidas por su máximo rendimiento.

Por otra parte, según el mismo Taylor el proceso de diseño y optimización es tan complejo que necesariamente escapa a la órbita de posibilidades de los trabajadores; "la ciencia que fundamenta cada uno de los actos del obrero es tan grande y tan compleja que el obrero más capacitado en su tarea es incapaz, ya sea por falta de educación o por insuficiente capacidad mental, de comprender esta ciencia" insiste una y otra vez Taylor³⁰. Así pretendía poner fin a una situación en que "el taller era realmente dirigido por los obreros y no por los patronos"³¹.

En el campo de la educación, la separación radical entre concepción y ejecución que entraña el diseño instruccional tiene las mismas implicaciones y parece responder a una problemática similar. Mientras el proceso

1980, se mantiene muy por debajo del Indice aceptable. En otras palabras, si el sistema educativo de primaria y secundaria estuviera en 1981 en una relación de 35 alumnos por profesor, 11,475 profesores de primaria y 11.559 de secundaria serían innecesarios, y con ello disminuirían los gastos de funcionamiento en \$1,671 y \$2,692 millones, respectivamente, para un total de \$4,363 millones". (Estudio reciente de planeación Nacional citado por Antonio Panesso en El Espectador del 19 de junio de 1982). El día 24 de junio, el propio Ministro de Hacienda, en declaraciones a la prensa, intentó atribuir el déficit fiscal al pago del magisterio.

25 Esta formulación la hace Babbage en el Capítulo 19, intitulado "Sobre la división del trabajo" de su libro Acerca de la economía de Méquinas y Manufacturas publicado por primera vez en 1832. A esta obra pertenece también un capítulo profético: "Sobre la división del trabajo intelectual" a cuyo comienzo afirma lo siguiente:

"Ya hemos señalado lo que tal vez puede parecer paradójico a algunos de nuestros lectores: el que la división del trabajo pueda ser aplicada con un éxito igual al obtenido en las operaciones mecánicas, el trabajo intelectual, y que ello asegura, en ambos casos, el mismo ahorro de tiempo".

- Con frecuencia, la tecnología educativa se enseñó así en las facultades de educación. Parecía simplemente que cada maestro debía aprender las técnicas de programación para convertirse luego en su propio programador. Pero como veremos más adelante, no son necesarios tantos programadores. Entonces lo que muchos aprendieron mientra dominaban a medias las técnicas de la programación, era el principio mismo de la programación, Frente a las dificultades para "auto-programarse" con el rigor tecnológico necesario, vendría luego la aceptación (e incluso el deseo) de ser programado.
- 27 Evidentemente la subdivisión del trabajo que significa el diseño curricular en el campo de la educación puede dar origen a jerarquías sociales. Ante la división entre "expertos" (programadores, tecnólogos educativos, administradores educativos) y "educadores rasos" (ejecutores), sería natural que algunos sectores de la pequeña burguesía vinculada a la educación se sientan atraídos por la posibilidad de diferenciarse del "simple educador". No casualmente se habla, en el ámbito de la tecnología educativa y del diseño instruccional, de los futuros "ingenieros de la educación". Esta jerarquización es

educativo esté fundamentalmente en manos de educadores calificados relativamente autónomos en su trabajo, estos disponen de un poder relativamente grande sobre la educación (otra cosa es que no lo empleen o cómo lo empleen). El diseño instruccional sustrae a los educadores la posibilidad de determinar ellos mismos muchos de los aspectos del proceso educativo, los descarga de responsabilidades como la de decidir cómo enseñar o la de interpretar indicaciones generales sobre los contenidos que deben enseñar. A largo plazo esta sustracción de tareas no solo significa un mayor control centralizado sobre la educación; significa también una descalificación, una disminución de las capacidades de autogestión, lo que a su vez lleva a una subordinación mayor (en este sentido el antiguo educador puede llegar no sólo a aceptar sino incluso a exigir el prediseño detallado de sus actividades).

El diseño instruccional redistribuye tareas y responsabilidades y modifica así la naturaleza misma del trabajo del educador. Evidentemente entraña una serie de ventajas para la administración que visiblemente son desventajas para el educador:

- los educadores se tornan más fácilmente intercambiables y trasladables,
- en cualquier momento se puede establecer un control externo que supervise el logro de los objetivos indicados, lo que incluso puede sentar las bases para que decisiones como las que de renovación de contrato o promoción se tomen sobre la base de un rendimiento "objetivamente" medido³².

El diseño curricular amenaza además la diversidad de educadores y de estilos de enseñanza. Las posibilidades de control señaladas en el párrafo anterior pueden ser utilizadas para detectar tanto educadores "lentos" como educadores "desviantes".

Finalmente, hay un problema esencial — que es problema desde todos los puntos de vista, para el educador, para el educando e incluso para los administradores de la educación: es el problema del SENTIDO. La educación y el aprendizaje dependen radicalmente del sentido que tengan para los involucrados. Lo sin sentido sólo puede enseñarse o aprenderse con enormes dificultades. La separación "nosotros pensamos y diseñamos, ustedes ejecutan "puede tal vez tener validez para "optimizar" (o racionalizar) actividades cuyo curso y cuya efectividad puedan independizarse de lo que esas actividades signifiquen para los individuos comprometidos.

Pero en la educación —y máxime en el caso de niños, cuando las personalidades apenas se están formando— el problema del sentido subjetivo no puede evadirse, ni remediarse con "motivación" o "recompensas". En la interacción social que es primodialmente la educación, el sentido para el maestro y para los alumnos, de lo que se hace es fundamental, pues afecta decisivamente el rumbo, la intensidad, la perseverancia y el compromiso con la actividad. Y precisamente son estas variaciones las que en gran parte deciden la calidad de la educación.

5. EL PROBLEMA DE LOS ASPECTOS "PROGRESIVOS" DE LOS NUEVOS PROGRAMAS.

Por lo expuesto en el punto anterior, es apenas de esperar que los educadores se opongan al diseño instruccional.

Cuanto más enraizada esté culturalmente la identidad del educador como trabajador de la cultura y como intelectual, menos aceptable le resulta la descalificación y la pérdida de autonomía. Y esto por más que exista la tentación de la **comodidad** (con un diseño detallado de las actividades, basta con seguir las instrucciones, no hay que pensar...).

Los tecnólogos de la educación tienen conciencia de esas "resistencias" por parte de los educadores y las han constatado y sufrido en los propios Estados Unidos e incluso en países como Corea del Sur. No es casual que el informe sobre Corea del Sur, que hemos citado, termine enunciando como última de las "lecciones generalizables" de aquel proyecto la siguiente:

"Los laicos y los líderes gubernamentales son más sensibles a las ideas innovadoras que los educadores profesionales" (art. cit. p. 320).

El que los educadores profesionales sean poco receptivos es achacado a una especie de "conservatismo oscuro". Por otra parte, se intenta desvirtuar esas resistencias personalizándolas:

"Los problemas personales son los mayores impedimentos para un esfuerzo de desarrollo educacional exitoso" (ibid.).

Una primera estrategia empleada para vencer las resistencias de los educadores consiste en plantearle al educador el simple dilema: "¿Está usted por el cambio, o no?". (Subentendido: "No vaya a decir -sería vergonzosoque está contra el cambio", para luego concluir: "Si está por el cambio, está con nosotros"). El secreto de este mecanismo de chantaje está en el juego con el artículo definido "el". Se dice "el cambio", como si hubiera un único cambio posible. iComo si el cambio deseado fuera el mismo para todos, Ministerio, programadores y magisterio!

Una estrategia complementaria, algo más sutil, consiste en reconocer que el maestro es "quien en la práctica decide en qué medida se aplica la reforma", para luego invitarlo a "participar". Mientras se hacen las cosas a espaldas de los educadores, florece la retórica de la participación. Incluso en algunos de los programas, se afirma que para que el maestro colabore, necesita "sentirse participante activo de la reforma que se hace". A falta de una

participación real, se trata de crear un "sentimiento de participación", que favorezca una "actitud positiva", una "mentalidad abierta al cambio".

Además, la invitación a participar llega tarde, cuando ya lo fundamental, en particular la adopción del diseño instruccional como forma de programación, hace tiempo que está decidido. En realidad ese tipo de participación fragmentaria, puntual, aislada, que se solicita, después de que los lineamientos generales han sido fijados y la reforma se encuentra ya bien adelantada. corresponde más bien al retoque de detalle. Se invita a los maestros a que descubran uno que otro error puntual, a que sugieran una que otra variación del orden de los objetivos, a que cuenten sus "adaptaciones". Esta fase puede interpretarse también como una fase final en la que se pulen las asperezas que puedan resultar más molestas para los maestros. Retocando el detalle se van aceptando los presupuestos globales.

Evidentemente estas estrategias no son suficientes, y menos en un país como el nuestro, en el cual la reforma tiene que contar con un magisterio relativamente politizado y de antemano prevenido, desconfiado frente a cualquier iniciativa del Estado. Para superar las dificultades que esto implica, la reforma ha acudido a una doble estrategia: envolver los programas en presentaciones recargadas de consideraciones demagógicas e incorporar como contenidos algunos conocimientos considerados "progresistas".

A nivel de consideraciones introductorias y fines generales de la educación, los programas constituyen un salpicón ideológico en el cual, infaliblemente, cualquier sector social puede reconocer elementos de su gusto. Esta es una forma de crear "consenso" característica de la demagogia. Además, se pasan totalmente por alto las contradicciones entre esos propósitos generales y la elección del diseño instruccional como forma de programación, esas consideraciones, así como los denominados "marcos teóricos", fue-

ron elaborados cuando ya el trabajo de programación, hecho bajo el enfoque de "diseño instruccional", se hallaba adelantado. Lo anterior hace pensar que esos "marcos" tienen ante todo una función defensiva; que están hechos con el fin de atenuar posibles críticas de sectores que no compartan la opción por el diseño instruccional o que cuestionen sus fundamentos conductistas. (En particular en esos "marcos teóricos" se toma distancia frente al conductismo, que es la escuela psicológica estrechamente vinculada a la tecnología de la educación, y se pretende establecer un extraño y contradictorio maridaje entre el diseño detallado y la psicología piagetiana).

Por otra parte, algunos contenidos (por ejemplo, en la primera versión de los programas de ciencias sociales) son presentados con una orientación más o menos progresista. En algunos casos este carácter de los contenidos ha provocado el sobresalto de sectores conservadores que se han apresurado a denunciar y rechazar la reforma curricular por marxista.

También en el proceso de difusión a través de los Centros Experimentales, que ya corresponde al contacto del magisterio con los nuevos programas, se ha acudido más de una vez, para asesorías y cursos de capacitación a personas de reconocido prestigio o de posiciones políticas bien vistas por ciertos sectores del magisterio.

Finalmente, para vincular a los maestros a la experimentación de los nuevos programas se ha llegado incluso a ofrecer puntos acumulables para promoverse en el escalafón, por actividades ligadas a la experimentación.

6. DEFICIENCIAS EN LA CALIDAD Y EN LA FUNDAMENTACION PEDAGOGICA DE LOS PROGRAMAS

El Primer Simposio Nacional sobre la Enseñanza de las Ciencias, organizado por ICFES, M.E.N., Colciencias y FES durante el segundo semestre de 1981, constituye probablemente la

muy visible en la cantidad de artículos a través de los cuales la Tecnología Educativa busca reclutar "líderes" para su difusión. Sin embargo, a pesar de posibles ventajas salariales, la jerarquía no logra ser socialmente reconocida mientras la sociedad no reconozca globalmente la legitimidad de la subdivisión misma. Es así como en este inomento, en nuestro medio, el oficio de programador no parece revestido de mayor prestigio. En realidad, los programadores, que aparecen ante los maestros como los diseñadores del proceso educativo, están obligados, en su propio trabajo, a seguir las instrucciones detalladas de los modelos diseñados por los Tecnólogos Educativos.

- Taylor, F. W. Principios de la Administración Científica, el Ateneo, Buenos Aires, 1973, p. 26.
- ²⁹ Taylor, F. W., Shop Management Nueva York y Londres, 1947, pp. 98-99.
- Principios de la Administración Científica p. 32 y 70.
- 31 Principios de la Administración Científica. p. 37. La exageración pone de manifiesto lo irritante que era el residuo de poder que conservaban los trabajadores,
- 32 No es casual que Chadwick critique la tradición según la cual "Los maestros hablan de su trabajo y discuten los términos de sus contratos colectivos en función del número de horas en clase —no del número de alumnos que alcancen un criterio pre-determinado" (¿Por qué está fracasando la tecnología educativa?, Revista de Tecnología Educativa, Vol. 2, No. 4, 1976, p. 426).
- 33 Para realizar el Simposio, el Comité Organizador del mismo convocó a 45 instituciones de educación superior con carreras y/o licenciaturas en Matemáticas, Física, Química, Biología y Geología, a las 9 asociaciones o sociedades científicas correspondientes y a otros 20 institutos que desarrollan trabajo científico en estas áreas, enviando los programas experimentales de ciencias naturales y de matemáticas de primero a quinto grado (no las "Unidades Integradas"), y solicitando trabajos escritos sobre los mismos. En el Simposio además de los autores de los trabajos enviados y de los programadores del M.E.N. participaron con ponencia expresamente solicitada por el Comité Organizador, científicos e investigadores con interés y/o trabajo previo en pedagogía y enseñanza de las ciencias.
- 34 A lo largo del material hemos insistido en que el problema fundamental de la reforma curricular es la opción por el dise-

manifestación más notoria, aunque no la única de críticas en este sentido³³.

En sus conclusiones, el Simposio indica una serie de graves deficiencias en el proceso seguido para elaborar y experimentar los nuevos programas, censura la aplicación masiva de la reforma en el Distrito, cuestiona el formato de "diseño instruccional" adoptado, tanto por sus efectos negativos sobre la iniciativa y la orientación racional y responsable del maestro, así como sobre la curiosidad y la creatividad de los alumnos. Los trabajos presentados al Simposio permitieron en particular concluir, en lo que se refiere a los programas de Ciencias Naturales, que éstos "presentan numerosos errores de contenido v su concepción, así como su fundamentación pedagógica, es insuficiente e incoherente". En cuanto a los programas de Matemáticas, el Simposio concluyó que "tiene una orientación formalista cuestionable v en su concepción se privilegian la lógica y los conjuntos, emplean innecesariamente el lenguaje formal y son probablemente de un nivel no adecuado. relegando a un lugar secundario el indispensable manejo de problemas de aplicación34

La Reforma Curricular presenta, en particular, una debilidad desde el punto de vista de la psicología. La tecnología educativa, entendida como diseño minucioso del proceso educativo acoplado a un control permanente de sus resultados, está vinculada, por sus orígenes mismos, con la psicología conductista. Resulta que en años recientes, y en los propios Estados Unidos, esta psicología ha sido desplazada cada vez más por una psicología cognitiva, dentro de la cual ejerce una influencia cada vez mayor de la obra de Piaget.

En el Simposio se vió cómo la reforma curricular presenta un intento de combinar esta psicología con el diseño instruccional de origen conductista. En algunos casos, la referencia a Piaget es meramente formal y la inconsecuencia con las implicaciones pedagógicas de sus teorías es manifiesta. En otros

casos se logra un híbrido que, para algunos de los conocedores de Piaget presentes en el Simposio, es un intento de combinar lo incombinable.

Aunque este problema es interesante e importante, de ninguna manera puede la discusión de una reforma educativa limitarse a los aspectos que conciernen a la disputa entre dos escuelas psicológicas. (La propia Suiza, a pesar de haber contado entre sus ciudadanos a Piaget, se cuidó mucho de precipitarse en una reforma educativa "fundamentada teóricamente" en Piaget).

Por otra parte, el Simposio cuestionó radicalmente el que los esfuerzos de mejoramiento de la educación se hubieran concentrado en el currículo, siendo claro que existen otros aspectos más fundamentales como lo son la formación y la capacitación de los maestros. Se deploró la no participación de las organizaciones magisteriales en el Simposio y se consideró que posiblemente lo decisivo para el mejoramiento de la educación era un fuerte movimiento pedagógico que en este sentido podría tener la cooperación entre universidades y magisterio (por ejemplo mediante la conformación de grupos mixtos de trabajo pedagógico).

7. POSIBILIDADES Y RESPONSABILIDADES DEL MAGISTERIO

La reforma curricular y los cambios de "mentalidad" asociados a la consolidación del desarrollo capitalista

La reforma curricular ha de ser juzgada no únicamente por los cambios que implica en el oficio del maestro, y la reducción de posibilidades que esos cambios significan, sino también por sus efectos más profundos sobre la cultura. La asimilación de la educación a una producción industrial en la que el producto ha de estar predefinido en detalle y el proceso ha de gobernarse esencialmente por el logro de resultados tangióles, entraña cambios de "mentalidad" tanto en los educadores como en los alumnos. Aunque la reforma curricular fracase, si logra que en los educadores del país quede, como residuo, esa concepción de la educación, habrá contribuido a los cambios de "mentalidad" requeridos para la consolidación del capitalismo en el país.

En efecto, la sociología no-marxista atribuye la mayor parte de las contradicciones propias de una sociedad como la nuestra a desigualdades en el proceso de cambio económico-político -cultural a que está sometida. Desde esta perspectiva, nuestra cultura, nuestras instituciones (véase por ejemplo el informe Atcon) y nuestra "mentalidad" no logran cambiar al ritmo de los cambios económicos; de ese "retraso" resultan múltiples tensiones y contradicciones. Según esa concepción, que ha jugado un papel importante en los diagnósticos y las políticas norteamericanas para América Latina, nuestra sociedad es una sociedad en transición: aunque incluye ya muchas de las características de la sociedad "moderna", conserva aún muchos elementos de la sociedad "tradicional"35

Los rezagos de "tradicionalismo" entorpecen y perturban el proceso de "modernización" ³⁶.

Un alto grado de "tradicionalismo" por ejemplo en las formas de vida de las clases trabajadoras, puede coexistir hasta cierto punto con un alto desarrollo de la racionalidad mercantil o industrial. Pero la consolidación de la sociedad capitalista requiere la hegemonía de esa racionalidad, y requiere por lo tanto la superación de los rezagos de tradicionalismo.

Por otra parte, todas las revoluciones socialistas triunfantes se han dado en países que precisamente se hallaban en la fase de transición, y los "rezagos de tradicionalismo", han jugado un papel importante en dichos movimientos sociales. Se entiende así la urgencia de la "modernización" que caracteriza las estrategias norteamericanas de contrarevolución preventiva. El supuesto—que no vamos a analizar aquí— es el

de que, una vez alcanzado cierto grado de "modernización", el desarrollo capitalista adquiere un carácter relativamente estable.

El "tradicionalismo" se expresaría en particular en una "mentalidad" conservadora que se aferra al actuar conforme a usos y costumbres. Este tipo de acción se caracterizaría no sólo por su resistencia a ser modificado sino también por su relativa indiferencia al éxito o al fracaso; en efecto, muchos usos y costumbres se perpetúan a pesar de no haber evidencias de "éxito" o aún en presencia de evidencias de "fracaso". El éxito, el logro de los resultados esperados, es en cambio, el criterio último, el criterio por excelencia, de la "mentalidad moderna". Buscar consciente y sistemáticamente el éxito, adecuar cada vez más los medios a las metas, sería el secreto del "progreso" característico de la sociedad moderna.

Sin embargo, el paso de una mentalidad "tradicionalista" a la mentalidad "moderna" no es un proceso simple. En efecto, en el momento de este paso, el intenso vínculo afectivo con la tradición y con la costumbre se debilita. Una serie de aspiraciones que la tradición mantenía confinadas en un espacio cultural circunscrito (por lo general en la esfera religiosa --en la cual la realización de esas aspiraciones era relegada al "más allá") se ven liberadas. Florecen utopías terrenales, y se desencadenan acciones y surgen organizaciones orientadas por la voluntad de hacerlas realidad. En el seno de estas organizaciones es posible una solidaridad inmediatamente sentida y "una actitud de conciencia extra-económicamente orientada" que han sido características de las comunidades comunistas y de los movimientos revoluciona-. Cuando esa herencia ética se conjuga con una voluntad política fuerte y una lucidez estratégica adecuada (lucidez que por cierto pertenece más bien al ámbito de la sociedad moderna) el desarrollo capitalista corre peligro.

La sustitución de las aspiraciones éticas y políticas por aspiraciones "sensatas" e individuales, la formación de una actitud de conciencia económicamente orientada, que únicamente se plantee metas logrables y que disponga sus acciones y medios con arreglo a un plan "realista", hacen parte del proceso de "modernización".

El establecimiento de esta mentalidad pragmática —para la cual es verdadero lo que es eficaz y útil— significa la renuncia a fines trascendentes, a fines cuya realización es incierta o pertenece a un futuro impreciso. El cálculo de conveniencias desplaza la elaboración de ideales y proyectos globales. El compromiso vital que no arroja dividendos inmediatos se convierte en una actitud supuestamente irracional que pertenece al pasado.

Una de las vías para favorecer y consolidar la hégemonía de esa nueva mentalidad es la educación. No tanto a través de los contenidos de la educación misma, sino a través de la forma de pensar y de actuar los propios educadores. Por eso la tecnología educativa y el diseño instruccional —que constituyen una expresión manifiesta de esa mentalidad— cumplen también una función ideológica: sustituir la concepción y la orientación tradicional de la educación.

En efecto, las normas tradicionales de educación se caracterizan por su relativa estabilidad. Presididas en su conjunto por una concepción global (por ejemplo religiosa), cambian relativamente poco con el tiempo. La práctica pedagógica termina siendo con frecuencia repetitiva. Sin embargo esa inmovilidad es incompatible con los grandes cambios actuales en nuestra sociedad: la tradición se desestabiliza y surge la posibilidad de un quehacer pedagógico más consciente, más decidido, que conservando una perspectiva global, se pone al servicio del proyecto de una nueva sociedad. Restablecer en ese momento, incluso a la fuerza, el poder de la tradición es imposible. Entonces aparece la solución: ofrecer el cambio, ofrecer un cambio grande, pero en otra dirección, en la dirección de la mentalidad propia de la sociedad cano instruccional. Pero además, en su mayor parte, los nuevos programas han sido impugnados por deficiencias en su calidad y/o en su enfoque pedagógico. Aún en el caso nefasto para el magisterio, de que se aceptara el diseño detallado del proceso educativo, esas deficiencias har an de la difusión de los actuales programas una verdadera irresponsabilidad.

- 35 Estas concepciones parecen tener su origen en la obra de Max Weber, sociólogo alemán fallecido en 1920, Aunque Weber, no es responsable de las posteriores elaboraciones y utilizaciones de sus categorías, sus formulaciones originales son de enorme relevancia para la comprensión de esos desarrollos posteriores. Por esta razón, acudiremos a ál (sin duda el más importante de los sociólogos no marxistas) para illustrar aspectos fundamentales de esa perspectiva.
- 36 "El adversario, pues, con el que en primer término necesitó luchar el "espíritu" del capitalismo —en el sentido de un nuevo estilo de vida sujeto a ciertas normas, sometido a una "ética" determinada— fue aquella especie de mentalidad y de conducta que se puede designar como "tradicionalismo". No intentaremos definir tampoco este fenômeno de modo concluyente, y nos limitaremos a aclararlo—de modo provisional también— con algunos ejemplos. Comencemos por los trabajadores.

Uno de los medios técnicos que acostumbra a emplear el moderno empresario para conseguir de "sus" trabajadores el máximo posible de rendimiento, para acrecer la intensidad de su trabajo, es el salario a destajo. En la economía agrícola, por ejemplo, un caso que exige imperiosa mente acrecer en lo posible la intensidad del trabajo, es la recolección de la cosecha, ya que, dada la inseguridad del tiempo, de la mayor aceleración de la misma dependen posibilidades extraordinariamente grandes de ganancias o pérdidas. Por esa razón, se recurre entonces al trabajo a destajo. Como el empresario busca obtener el máximo de producto aumentando la intensidad del trabajo, trata de hacer coincidir al trabajador en su interés por acelerar la recolección alzando los destaios, ofreciéndole así el medio de obtener en poco tiempo una ganancia extraordinaria para él. Pero aquí surgen ciertas dificultades que son características de la mentalidad tradicionalista en el obrero: el alza de los salarios no aumentó en los trabajadores la intensidad de su rendimiento, sino que más bien hubo de disminufria (...) (El obrero) no se preguntó cuánto podría ganar al día rindiendo el máximun posible de trabajo, sino cuánto tendría que trabajar para seguir ganando los dos marcos y mepitalista moderna. Olvidar la identidad de "formador", de "guía ejemplar", de "figura de identificación" y convertir al maestro en experto en modificación de conductas, en experto en evaluación al que se le delegan hasta cierto punto, algunos dudosos privilegios de los psicólogos, como medir "edad mental" y determinar la "etapa de desarrollo moral", para que, armado con una serie de saberes seudo-científicos, se convierta en alguien que trabaja SOBRE los niños, en vez de trabajar CON ellos.

El niño es ahora un objeto de trabajo, es materia prima portadora de conductas, de habilidades, o de un proceso de desarrollo que hay que aprender a detectar y facilitar. De este modo, en la educación como en otras actividades, la "modernización" significa el paso de relaciones personales, (en las que es determinante la historia concreta, el mutuo reconocimiento, el respeto, etc.) a relaciones formales (en las que predominan la frialdad y la uniformidad del trato, la objetividad y la disposición calculada de medios para el logro de determinados efectos). Por ejemplo, algo tan complejo y que durante siglos dio lugar a debates morales, como el castigo, se convierte en una mera técnica fría y racionalmente utilizada. La compleja relación entre maestro y discípulo, en la que cada uno de los polos lucha para ser reconocido por el otro, cede su lugar a la dominación administrativa que cosifica sin sobresaltos uno de los polos de la relación

En síntesis, a la tecnología educativa subyacen concepciones de profundo impacto cultural. Ello la convierte en instrumento de ese cambio cultural que se esconde bajo el término aparentemente neutral de "modernización". A la luz de este cambio, el antiguo "conductor de almas" (que siempre tenía —aunque fuera en parte, la vista puesta en el más allá) debe ceder su lugar al "administrador del currículo" (que ha de atarearse en las minucias del más acá de los acás).

Las resistencias culturales a la reforma

Si la reforma curricular entraña los profundos cambios que hemos intentado señalar, es apenas de esperar que se estrelle con fuertes obstáculos culturales y que despierte una resistencia más o menos consciente pero relativamente eficaz.

La sociedad posee ciertas representaciones y ciertas expectativas respecto a la escuela bastante arraigadas. Los contenidos y las formas de trabajo existentes en la escuela, así como las identidades culturales del "maestro" y del "alumno", son socialmente reconocidas y aceptadas en cuanto han sido decantadas a través de un largo proceso histórico. El qué se enseña, el cómo se enseña, incluso el cuándo se enseña, así como lo que significa ser maestro y lo que significa ser alumno, tienen respuestas profundamente enraizadas en la tradición cultural y por lo tanto no pueden ser modificadas abruptamente, redefinidas por un decreto. La única manera de que una reforma no encuentre resistencias culturales es que exprese tendencias reales de la vida social y aspiraciones reales de las clases sociales involucradas.

Evidentemente, las tradiciones actúan de manera conservadora. Pero, por ejemplo, en el caso de una intromisión cultural de un país extranjero, o en el caso de una moda psicológica pasajera, esas tradiciones son una defensa, una barrera contra un cambio injustificado.

El poder de resistencia de esas tradiciones frente a la reforma curricular se expresa, en el caso del maestro, por ejemplo cuando éste se limita a cumplir con las formalidades que acompañan la reforma mientras que en clase sigue enseñando "a su manera". Incluso, maestros que intentan seguir los onuevos programas deciden en cierto momento regresar— con frecuencia por responsabilidad con los niños— a su anterior forma de trabajo por cuanto ésta resulta mejor desde su punto de vista. Este tipo de "apreciación subjetiva" ha

sido el blanco de múltiples críticas por parte de la tecnología educativa. En realidad expresa el derecho del maestro a atender el aprendizaje de sus alumnos de una manera que le es propia, y de jerarquizar lo que debe ser enseñado. Podría pensarse que esto significa otorgar poderes ilimitados al maestro. En realidad no es así: esa jerarquización, por ejemplo de lo que debe ser aprendido, no es arbitraria, puesto que se halla fuertemente determinada, por las tradiciones culturales. por la coherencia interna del proceso educativo, por las exigencias institucionales y por las expectativas de padres y colegas. Culturalmente están establecidas ciertas prioridades y el maestro que se aparte excesivamente o que desconozca esas exigencias es cuestionado e incluso marginado por compañeros, padres y alumnos.

Las responsabilidades del maestro se ven definidas y redefinidas en una tradición cultural que tiene su historia. La relativa flexibilidad de esas responsabilidades permite también que las contradicciones sociales que se manifiestan en formas distintas en los diversos barrios y en las diferentes zonas urbanas y rurales del país, incidan en su interpretación por parte del maestro.

La tecnología educativa busca prescindir de esa presencia —mas o menos intensa y variable— de la **responsabilidad cultural** del magisterio, pretendiendo reorganizar el quehacer del maestro desde la lógica del control.

Para ilustrar el modo como el M.E.N. enfrenta "tecnológicamente" las resistencias culturales a la reforma, sosla-yando los problemas más importantes y esquivando cualquier discusión de sus fundamentos, examinemos algunos aspectos de las reuniones previstas con los padres de familia.

El M.E.N. ha diseñado un "Proyecto Padres de Familia" para acompañar la reforma. A este proyecto pertenece un material que "tiene como objeto responder algunas preguntas que los padres se formulan sobre la actual experimentación curricular" ³⁶ . Se parte de que:

"Las reacciones negativas de los padres se deben a una inadecuada presentación de la reforma educativa. No basta decirles cuáles son los cambios sino además las razones que los motivan. Sobre ellos pesa una larga tradición en materia educativa que sólo empezarán a cuestionar cuando se les presente una concepción más o menos sustentada. No es necesario recurrir a exposiciones sofisticadas, antes por el contrario, sólo en la medida en que demos una explicación sencilla, accequible a todos podemos esperar una respuesta positiva39"

A continuación, después de una "Sustentación Teórica", el documento contiene una sección "Contenidos a los padres (I) e indicaciones metodológicas" en la cual aparecen minuciosamente diseñadas dos reuniones con los padres de familia. Allí, por supuesto, están incluso escritas las explicaciones que el maestro dará a los padres. La justificación es notable (no solamente por el manejo del idioma castellano):

"Los contenidos a los padres los escribimos como si se hablara directamente con ellos, para evitar los problemas que se pueden presentar al tratar de explicárselos" (documento citado, Presentación).

Una vez más le evitan problemas al maestro. En primer lugar, se delimitan las preguntas que harán los padres y luego se diseña detalladamente el "parlamento" (las consideraciones y respuestas) del maestro. Obviamente no falta la lección de pragmatismo, el ABC de la racionalidad administrativa: objetivo, medios y evaluación.

Sin detenernos en la redacción del texto, citernos para comentarlo un fragmento:

"Evaluar es medir el logro del objetivo. Es respondernos a la pregunta de si llegamos o no a la meta fijada". Para evaluar un objetivo hay que buscar situaciones que nos permitan saber si se alcanzó o no Por ejemplo, si alguno de ustedes sale de su casa con el OBJETIVO de conseguir \$50.00, ¿cómo sabrá si lo logró? . . . Eso, si logra conseguir los \$50.00. No lo logra cuando adquiere una gaseosa o cuando consigue menos dinero. Si usted se propone como objetivo aprender los números de 1 a 5, ¿cómo sabrá si lo logra? . . . Muy bien, lo logra cuando puede escribir los números del 1 al 5" (p. 229).

Y más adelante:

"De la manera como lo hemos hecho hoy evaluamos el rendimiento de los niños. Nosotros llevamos unas hojas especiales donde vamos registrando si su hijo aprobó o no el objetivo. Aprobar el objetivo es lograrlo: o sea que su niño sí aprendió lo que nos habíamos propuesto". (p. 229) 40.

Nótese el esfuerzo por introducir a los padres al nuevo lenguaje. En particular en vez de usar el término tradicional, al calificar se habla ahora de "evaluar". ¿Simplemente moda de lenguaje? En realidad, el cambio, como veremos, no es gratuito. Aunque cualquiera que conozca la historia de las prácticas de medición, así como las discusiones teóricas que ha habido sobre el concepto de medición, rechazaría por incorrecto este empleo de la palabra "medir", se afirma que evaluar es medir porque "medición" tiene una connotación de exactitud y de objetividad, por oposición a "calificar", que tiene la connotación de "juzgar". En realidad, el paso de la calificación a la evaluación tiene repercusiones ideológicas y laborales: la "calificación" se circunscribía a la escuela; en cambio, la evaluación es una herramienta clave del moderno control de personal. El futuro trabajador debe aprender desde temprano que toda actividad orientada hacia algún fin debe ser evaluada, "medida". Este tipo de control individualidio que ha venido ganando hasta ahora y que le basten para cubrir sus necesidades tradicionales. Esta conducta es un ejemplo de lo que he llamado "tradicionalismo": lo que el hombre quiere "por naturaleza" no es ganar más y más dinero, sino vivir pura y simplemente, como siempre ha vivido, y ganar lo necesario para seguir viviendo. Cada vez que el moderno capitalismo intentó acrecentar la 'productividad" del trabajo humano aumentando su intensidad, hubo de tropezar con la tenaz resistencia de este leit motiv precapitalista, con el que sigue luchando aún hoy en proporción directa del "retraso" (desde el punto de vista del capitalismo) en que se halla la clase tra-

Una reminiscencia de tradicionalismo lo ofrecen las obreras, sobre todo las solteras. Todos los patronos que dan trabajo a muchachas, especialmente alemanas, se queian de su absoluta incapacidad y aún de su falta de voluntad para abandonar sus formas tradicionales de trabajo y aprender otras más prácticas, no les interesa adaptarse a formas nuevas de trabajo. no aprenden, no concentran la inteligencia y ni aún casi saben usarla. Toda explicación sobre la posibilidad de aligerar el trabajo y, sobre todo, de hacerlo más productivo choca con la máxima incomprensión; un ofrecimiento de alza en los destajos se estrella en la muralla de la rutina". (Max Weber, La ética protestante y el espíritu del capitalismo, Península, Barcelona, 1975, pp. 57-62).

- Dice al respecto Max Weber: "Las comunidades y sociedades comunistas, o sea, con servicios ajenos al cálculo, no están fundadas en el logro del óptimo de provisión, sino en una solidaridad inmediatamente santida (. . .) Dentro de estas comunidades tanto la disposición al trabajo como el consumo ajeno al cálculo son consecuencia de una actitud de conciencia extraeconómicamente orientada. . .". (Economía y Sociedad, F.C.E., México, 1969, pp. 123-4).
- Esta cita y las siguientes, pertenecen al documento "Respuesta a algunas preguntas que los padres de familia formulan sobre la experimentación curricular—proyecto Padres de Familia" incluido en: M.E.N., Dirección General de Capacitación y perfeccionamiento Docente, Currículo y Medios Educativos, Manual de Administración Curricular Educación Básica Primaria, Bogotá, D.E., 1979, (p. 214).
- 39 Más adelante se aclara:

"Recogiendo las inquietudes existentes en las escuelas donde se desarrolla el currículo en experimentación, se identifican los siguientes aspectos críticos: zado, con todas sus pretensiones de objetividad, es un instrumento importante en las tendencias actuales de la administración. El vocablo "evaluación" es un puente más entre la escuela y la empresa.

Es de señalar que, en estas reuniones con los padres de familia, en ningún momento caben preguntas ni informaciones sobre los cambios más fundamentales que implica la reforma curricular. En particular, en ningún momento el maestro explica que ahora le dan a él todo diseñado (incluso las tres reuniones con padres de familia), y que él tiene que convertirse en lector y ejecutor de instrucciones.

Lo más notorio es que se esquiva la pregunta más importante de los padres a los cuales va dirigida, la pregunta de por qué y con qué derecho se experimenta con sus hijos. Algunos técnicos de los Centros Experimentales Pilotos confiesan el enorme trabajo requerido para vencer los temores de los padres que no quieren que sus hijos sean "conejillos de Indias" sobre los cuales se ponen a prueba los nuevos programas. En realidad, la forma en que se ha adelantado la "experimentación", plantea problemas que en otros países habrían suscitado un gran debate nacional.

¿Con qué derecho se experimentan cambios tan grandes con niños a semejante escala, y sin que los padres puedan decidir, después de una buena información, si aceptan o no aceptan que sus hijos participen en las experimentación? De hecho parece que ni los niños, ni los padres, ni los maestros tienen opción alguna: han sido los CEP en acuerdo con las Secretarías de Educación, los que han escogido las escuelas donde se han impuesto los nuevos programas. ¿Quién sufrirá las consecuencias en el caso de que "las útiles pruebas en el terreno" a gran escala, que tanto complacen a los profesores de Tallahasse, fracasen? En este punto, los graves problemas éticos ligados a la "experimentación" se convierte en problemas políticos: ¿A qué clase social pertenecen los niños sobre los

cuales se experimenta? En particular, por el hecho de que las clases dominantes y medias eduquen a sus hijos por fuera de la escuela pública, es experimentar con los niños de las otras clases sociales. No será por esto mismo que la experimentación puede incluso ser descuidada e irresponsable?

Mientras subsista la división de nuestro sistema escolar en dos sectores, uno privado y uno oficial, es fundamental que las clases populares, sus organizaciones y sus líderes políticos elaboren y defiendan sus concepciones, sus criterios de calidad y sus exigencias en el campo de la educación.

Responsabilidad cultural del magisterio

Una posición fundamentada frente a la reforma curricular, debe partir de la conciencia de la responsabilidad cultural que, en nuestra situación histórica, recae sobre los educadores.

La amplitud de esta responsabilidad puede reconocerse a la luz de los grandes cambios que afectan en este momento nuestra cultura. Un examen de estos cambios debería contemplar entre otros los siguientes elementos:

- Ya es un hecho en nuestro país el decisivo predominio de la relación salarial entre capital y trabajo como forma de relación social, y el desplazamiento del eje de las contradicciones de clase (de terratenientes vs. industriales y comerciantes a asalariados vs. propietarios de los medios de producción).
- 2. La omnipresencia de la mercancía y de las relaciones mercantilistas y la entrada del país en un proceso de decidido desarrollo capitalista vienen acompañadas por la consolidación del mercado nacional y por una marcada influencia del mercantilismo aún sobre las esferas aparentemente más ajenas a la economía. El auge de la educación como negocio es apenas una de la facetas de lo que puede llamarse industria cultural. En efecto, la cultura parece ha-

berse convertido en un sector más de la producción industrial, regido por la exigencia de la ganancia y, por lo tanto, por una permanente adaptación a las demandas del mercado.

- Un proceso indisociablemente ligado a los anteriores es el de la secularización: es el debilitamiento de la religiosidad y de la influencia de la religión y de la Iglesia en los asuntos mundanos.
- 4. El carácter mundial del mercado capitalista hace que se gesten entre nosotros deseos y modos de consumo de un cosmopolitismo de segundo orden. En vez de apropiarnos lo más valioso de la producción cultural mundial, asimilamos masivamente lo más pobre.
- 5. La importancia de los medios masivos de comunicación, crece vertiginosamente y a través de ellos se produce una perniciosa homogenización de la cultura. Bajo su influencia la cultura se convierte en objeto pasivo de consumo. Además. esos medios, de tanto impacto en la configuración de la cultura están controlados por los poderes político-económicos. En nuestra situación actual la televisión no es únicamente un aparato de reproducción ideológica del sistema: más allá de la misma ideología reproduce la pasividad como forma de relación con la cultura. En los llamados "medios masivos de comunicación" se ha concentrado en forma desmesurada el polo activo de la comunicación, reduciendo a las inmensas mayorías a la condición de simples "receptores".
- 6. Indisociablemente ligado al auge de los medios masivos de comunicación — por ser su base económica está la import ncia creciente de la publicidad. Esta no sólo afecta la cultura a través de sus contenidos (por ejemplo por los modelos de felicidad que impone), la cambia también porque a través de la omnipresencia de la propaganda aceptamos que la comunicación sea un simple

instrumento. En efecto, la publicidad nos acostumbra a la idea de que el lenguaje (en su sentido más amplio) que incluye el arte puede y debe ser utilizado como un simple medio para lograr efectos predeterminados (vender un producto). Esta reducción del lenguaje a un puro instrumento parece implicar el olvido de las exigencias éticas más elementales de la comunicación (no importa la verdad importa el efecto).

- 7. Se puede constatar una creciente importancia -en ciertos contextos legítima, en otros no- de los saberes científicos y tecnológicos. Al lado de las necesidades reales de conocimientos científicos y tecnológicos, se da también todo un intento tecnocrático de desplazar ciertos problemas y decisiones a un campo de análisis y discursos pseudo-científicos; esta maniobra característica del cientificismo, logra, basándose el respeto social a lo científico y a los progresos tecnológicos alcanzados gracias a las ciencias, excluir a amplios grupos de ciudadanos de las decisiones políticas más importan-
- También tienen grandes implicaciones culturales la politización de sectores más o menos amplios de la población, así como las respuestas agresivas y preventivas por parte de las clases dominantes.

A la luz de este conjunto de procesos y tendencias, se puede ver el carácter decisivo de la acción cultural del magisterio. En efecto, el sector social conformado por los educadores representa prácticamente el único eje cultural relativamente autónomo de presencia nacional, dentro de nuestra sociedad. De él depende, en buena parte, la resistencia a la penetración cultural de los modelos de vida promovidos por la publicidad del capitalismo avanzado. la preservación y elaboración de una cultura y de una identidad nacional, la capacidad del conjunto de la población para enfrentar críticamente el poder de los medios masivos de comunicación y de la industria cultural y la posibilidad de enfrentar la crisis ética que entraña el proceso de desarrollo capitalista en nuestro medio.

Esa posición de relativa autonomía cultural de los educadores implica dos responsabilidades inmediatas. En primer lugar, la de esclarecer los procesos y las tendencias que se mueven en el ámbito de nuestra cultura, para poder incidir de manera más consciente y organizada en los procesos de cambio cultural que estamos viviendo. En segundo lugar, establecer lo que de nuestras tradiciones pedagógicas y culturales merece ser conservado en vistas a la preservación de nuestra autonomía cultural y en función de unas opciones culturales conscientes.

El fortalecimiento cultural y un vigoroso movimiento pedagógico, condiciones de una verdadera autonomía del magisterio.

Para asumir las responsabilidades señaladas anteriormente (reconocer las tendencias culturales existentes e incidir coherentemente en el cambio cultural de la sociedad, preservando y desarrollando la identidad cultural del país en función de opciones conscientes) el magisterio debe emprender la recuperación del poder real que le confiere su presencia social y el carácter de su oficio. Las condiciones para la recuperación de ese poder cultural no están todas dadas, y contra su creación y preservación se ponen en marcha estrategias que golpean la autonomía y la identidad cultural de los educadores y contribuyen a la pérdida del reconocimiento social de su trabajo.

Un factor a favor del poder cultural del magisterio es su crecimiento numérico y la ampliación de su campo de influencia a raíz del aumento de la cobertura escolar. Este crecimiento numérico es inevitable en la actual situación histórica del país. (Las políticas de estabilización de los regímenes de los países del Tercer Mundo contemplan una rápida expansión de la educación que tiene, entre otras, la función de asegurar la apariencia de una igualdad de

- Los niños no aprenden a leer ni a escribir, y no conocen los números en el tiempo en que los padres están acostumbrados a que ello ocurra,
- Los niños juegan mucho.
- Los niños se mantienen mucho tiempo fuera del aula de clase.
- No llevan tareas para la casa.
- Llevan un solo cuaderno, en vez de uno por cada materia.
- No se entiende la nueva forma de calificación.

Al no comprender satisfactoriamente y de manera clara las situaciones anteriores el padre de familia reacciona negativamente ante la tarea escolar y entraba el buen desarrollo de la experimentación". (p. 216).

- Recuérdese el "evaluamos el rendimiento" y el "llevamos unas hojas especiales donde vamos registrando. , ". Lo que se afirma es el principio del control despersonalizado, del recurso a las planillas escritas que constituyen los elementos claves con que la industria moderna supera a las relaciones personales de poder sustituyendolas por relaciones formalizadas,
- Por otra parte, cierto es que en los colegios privados se prueban innovaciones. Pero allí precisamente la innovación es pensada y ejecutada por el propio innovador, Allí no se pone a los maestros a seguir un larguísimo libreto. Si se hace educación activa, no es ejecutando instrucciones, es porque el maestro ha comprendido y se ha apersonado de los principios de esa corriente pedagógica.

oportunidades educativas para toda la población⁴².

La presencia social del magisterio depende también de su mayor o menor cohesión organizativa (cuanto más fuertes sean las organizaciones del magisterio, mayores serán sus posibilidades de una acción cultural coherente y eficaz).

Son de destacar los relativos logros alcanzados por estas organizaciones en la defensa de las condiciones laborales del magisterio. En particular, los logros en materia de escalafón y de estabilidad aseguran ya algunas de las condiciones indispensables para la preservación de la autonomía del magisterio.

Sin embargo, es la autoridad moral e intelectual del maestro la que, en forma directa, permite su incidencia cultural concreta en el ámbito social en que trabaja⁴³.

Una de las bases de esa autoridad, mucho más importante que el respeto de ciertas apariencias ligadas formalmente al rol del maestro, es el compromiso permanente del educador con su oficio y la calidad de su trabajo con los niños. También es de gran importancia la calidad de sus relaciones con los padres. El compromiso es una de las condiciones, tal vez la fundamental, de esa calidad. Pero compromiso sólo no es suficiente. Se necesita FORMACION.

Esta necesidad de FORMACION implica en primer lugar, la permanente exigencia por parte del magisterio, de profesionalización y capacitación. Es importante que la profesionalización y la capacitación tengan un reconocimiento laboral y económico, pero de ninguna manera se puede aceptar que las mejoras lanorales se conviertan en el único fin del maestro que se capacita. Precisamente porque ese no es el único fin, el magisterio no puede seguir aceptando cualquier formación. cualquier profesionalización o cualquier capacitación. Su responsabilidad cultural y política lo obliga a elevarse por encima de la simple demanda de "estímulos" y de "oportunidades",

para preocuparse por los contenidos y las orientaciones de esa formación institucionalizada.

La necesidad de formación significa, en segundo lugar que el magisterio debe exigirse (individual y colectivamente) una AUTOFORMACION constante. El término "autoformación" subraya el hecho de que en varios sentidos la formación del magisterio sólo puede ser obra del propio magisterio 44. Se trata de una labor permanente que pertenece esencialmente al oficio del educador: educarse para poder educar, estudiar para poder enseñar. La necesidad de esta labor ha sido ocultada en gran parte por la sobrevaloración de la educación formal confundiendo la formación con la obtención de títulos, solemos caer en la trampa de considerarnos educados de una vez por todas y no valoramos la autoformación permanente, por fuera de las instituciones de educación formal, por medio del estudio, la lectura y las discusiones⁴⁵.

Este imperativo de autoformación es el que le da sentido a todas las luchas de los educadores por más tiempo "libre". En efecto, la autoformación no se deja reducir a un proceso rutinario de "preparación de clases" aunque incida de manera decisiva en ésta. La disposición de tiempo es una de las condiciones básicas para que el educador se forme una cultura suficientemente sólida, Sólo mediante el cultivo y la satisfacción permanente del interés de aprender y de comprender. puede mantener el educador viva su relación con el saber (y solo así puede "enseñar lo que es carne de su carne", según la expresión del Profesor Carlo Federici). Esa relación viva con el conocimiento impide también que el educador se instale en un saber empobrecido por la repetición. La voluntad de conocer es constitutiva de la identidad del educador, y el cultivo de esa voluntad en los alumnos es tal vez su misión más específica. Esto significa una batalla permanente contra el desgano, el desinterés por el conocimiento (subproducto de los procesos de selección y exclusión propios de las instituciones educativas), contra la falsa idea, permanentemente reiterada, de que sólo unos pocos están llamados a conocer, y contra la engañosa solución de la industria cultural que ofrece una masa informe de conocimientos sueltos para consumo de los que aún conservan sus deseos de saber.

Este imperativo de autoformación que se manifiesta como escogencia interna en cada educador, sólo puede buscar su realización en las actuales circunstancias, a través de caminos colectivos. El trabajo individual y colectivo (en sus diversas formas) sólo puede trascender real y eficazmente en la medida en que se integre en un fuerte movimiento pedagógico.

A este movimiento pedagógico han de contribuir en forma significativa todos los esfuerzos que, en forma relativamente aislada, se vienen adelantando, tanto por parte de grupos y organizaciones de maestros, como por parte de equipos de trabajo universidad-escuela.

Una de las bases de este movimiento pedagógico debe ser una reflexión. sobre el propio oficio de maestro. Esta reflexión, que es un análisis y una explicitación de lo que es y de lo que puede ser la tarea del educador, no es tan simple como podría pensarse a primera vista. En primer lugar, se trata de rescatar y defender -tomando coinciencia de ella- la complejidad del oficio. Para ello, es fundamental oponerse a las reducciones que han proliferado en los últimos tiempos (maestro igual modificador de conductas, maestro igual transmisor de información, maestro igual transmisor de ideología, etc.). Una cosa es que desde cierto punto de vista (el de una psicología, el de una sociología, etc.) el maestro puêda ser visto bajo alguno de estos aspectos, y otra, es que ese aspecto constituya la IDENTIDAD del maestro. Se trata pues de respetar la complejidad real del oficio, así como la multiplicidad de elementos históricos que han ido constituyendo la identidad más o menos consciente del educador. Esta identidad está en permanente elaboración, y su expresión consciente requiere de un esfuerzo colectivo de reflexión. La IDENTIDAD del maestro es, pues, algo históricamente constituido en la práctica colectiva social de la educación y de ninguna manera puede definirse desde el exterior, desde algún saber con pretensiones de tientificidad.

En esta reflexión sobre la identidad del educador ha de rescatarse el aspecto intelectual del oficio: no para contraponerlo ideológicamente a los oficios manuales dentro de la posición jerárquica trabajo intelectual-trabajo manual, sino para resaltar una doble necesidad presente en la propia historia del término "intelectual". En efecto, los orígenes de esta palabra remiten al verbo "inteligir". Y etimológicamente inteligir es elegir entre, es optar, es escoger. Pero no de cualquier manera, sino -y esto una larga tradición histórica lo ha ligado en forma indisoluble al término- optar, escoger de manera consciente, según el entendimiento del asunto. Intelectual sería pues quien tiene libertad para elegir, racionalmente. Una connotación muy ligada a la anterior es que, intelectual es quien tiene la necesidad permanente de comprender lo que está haciendo y tiene la posibilidad de corregir su acción según esa comprensión*.

Debe rescatarse también el papel de la experiencia en el oficio. Esta experiencia es la fuente de una serie de saberes prácticos (como estrategias personales para enfrentar ciertas situaciones, o para enseñar ciertos temas) que, aunque no sustituven la autoformación, inciden mucho sobre la calidad de la educación. Esta experiencia es también materia prima importante para la reflexión pedagógica. Elaborándola, esclareciéndola, difundiéndola, criticándola, se puede acceder a un discurso pedagógico reflexivo, dentro del cual puedan expresarse y trabajarse problemas pedagógicos que, surgidos de la experiencia, superan su inmediatez v acceden a cierto grado de universalidad. El rescate de los saberes prácti-

cos y de la reflexión sobre su propia experiencia es indispensable para que los educadores no estén a la merced de las modas teóricas y de los discursos cientificistas que abundan en el área de la educación. En particular, es necesario contrarrestar todo un largo proceso por el cual han sido desconocidos los saberes propios de los educadores y menospreciadas sus formas de expresarse. Este ha sido un proceso de descalificación, en el cual los discursos con pretensiones cientificistas, provenientes de investigaciones parciales sobre la educación, convirtieron en ilegítimo el discurso de los educadores sobre su propia práctica. Que los tecnócratas y los investigadores no sean los únicos que hablen de la educación y de los problemas pedagógicos, es decisivo para la recuperación del poder sobre el propio trabajo. No se trata de rechazar la investigación educativa y sus resultados. Se trata de presevar un equilibrio, en el cual el discurso socialmente privilegiado sobre el quehacer educativo permanezca centrado, en su contenido y en su estilo, en los educadores. A partir del fortalecimiento de ese lenguaje propio del educador es posible que éste incorpore, asimilándolos, integrándolos a su reflexión, conocimientos parciales provenientes de la investigación. Ya es tiempo de que las famosas "ciencias de la educación", y en particular la psicología, renuncien a sus pretensiones hegemónicas y acepten un papel más modesto, aunque importante. La idea es que esas investigaciones, independientemente del grado de cientificidad que pueda atribuírseles, influyan en el quehacer educativo a través de su asimilación reflexiva (no ingenua) por parte de los educadores, y no "pasando por encima" del educador, como sucede por ejemplo en el diseño instruccional.

Un vigoroso movimiento pedagógico, que debe restituir al magisterio su poder sobre la educación y sus posibilidades de incidir en los procesos de cambio cultural, es la condición de la recuperación, por parte de los educadores, del papel de sujetos conscientes de su propia historia.

- ⁴² El efecto estabilizador de la ampliación de la cobertura educativa parece ser relativamente independiente de la calidad de la educación. Incluso el deterioro de ésta, salvo en ciertos aspectos "operatiy "formativos" requeridos para la preparación del futuro trabajador y consumidor, puede ser funcional desde el punto de vista del régimen, siempre y cuando no se perturben demasiado las ilusiones democráticas que esta ampliación debe crear. Uno de los debcres éticos y políticos del magisterio es impedir que la educación masiva, en particular la pública, se degrade y se convierta en un simple remedo de educación, que sólo servirá para legitimar el destino laboral de los alumnos.
- 43 Aunque seguramente es obvio, es necesario repetirlo: un buen profesor, un profesor reconocido como bueno por el ámbito social en que trabaja, tiene una incidencia cultural y política muchísimo mayor que la del profesor que simplemente "cumple".
- 444 Entre otras cosas sin esta autoformación, los educadores no estarán en condiciones de discutir, negociar e incidir de manera eficaz en la orientación y en la calidad de la formación y capacitación que ofrezcan el Estado y las instituciones.
- 45 Esta capacidad de seguir la propia formación por fuera de los canales formales es una de las características tradicionales del educador y en general del intelectual. Es necesario reivindicar —y también demostrar en los hechos que en ciertos campos (en forma especial, de la cultura) la autoformación puede ser superior a la formación especializada certificada por títulos. En particular, esta defensa es fácil en aquellos campos en que la experiencia y los saberes prácticos juegan un papel importante.
- 46 A la comprensión usual del sentido de "intelectual", comprensión que recoge toda una serie de prejuicios de la ideología dominante, se puede contraponer también la concepción de Gramsci de un intelectual de clase, enfrentando al intelectual al problema —intelectual y moral— de su posición ante y dentro de la lucha de clases.



CONTENIDO

Notas para la semblanza de un pionero: la obra de Carlo Federici en Colombia

Autonomía del educador

Clonación: pasado y presente

La función exponencial

Los exámenes de admisión en la Universidad Nacional

El aprendizaje de la ciencia a nivel básico: ¿continuidad o discontinuidad?

Los métodos numéricos en la solución de problemas elementales de física

Notas para una autobiografía

La astucia de Dios o el enigma de las partículas elementales

Problemas y experimentos

Noticias

Jesús Hernando Pérez Vladimir Rojas

Antanas Mockus

Cristóbal Corredor

Open University

Grupo de Admisiones de

la Universidad Nacional

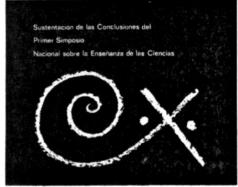
Dino Segura

Germán Arenas

Albert Einstein

Alicia Mesa

naturaleza educación y ciencia



\$120

CONTENIDO

Editorial

Desarrollo y aprendizaje

Sobre el problema del pozo

Electrolitos sólidos: nuevos materiales

La espiral logarítmica en la naturaleza:

la red de la Epeira

El juicio de Galileo: textos de la sen-

Recreación y técnica: barquito de va-

Problemas y experimentos: la fuerza

Primer Simposio Nacional sobre la Enseñanza de las Ciencias

Enseñanza y órdenes de magnitud

para la electrotecnia

Historia de los conceptos de electrostática

tencia y abjuración

por

Sustentación de las conclusiones del

Jean Piaget

Gilberto Cediel Carlo Federici

Rubén Vargas

J. H. Fabre

Clara Camargo

Notas de Carlos Augusto Hernández

Cristóbal Corredor

Doris Amanda Espitia, José Granés, Teresa León, Antanas Mockus, Guiller mo Restrepo, Carlos Eduardo Vasco.