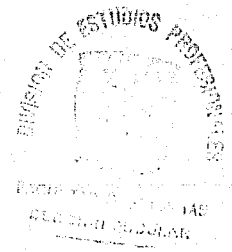


Física - Docencia
5910200

29/45

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

"LA ENSEÑANZA DE LA FISICA
Y
SU PAPEL EN LA CULTURA"



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE FISICO

PRESENTA:

ZOILÒ RAMIREZ MALDONADO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION.	1
CAPITULO I	
APROPIACION NACIONAL DE LA CIENCIA	7
CAPITULO II	
LA INFLUENCIA CULTURAL DE UNA COMUNIDAD CIENTIFICA EN SU PAIS.	17
CAPITULO III	
LA CULTURA Y LA CIENCIA EN MEXICO.	33
CAPITULO IV	
EL APRENDIZAJE DE LA FISICA.	51
CAPITULO V	
LA EPOCA PRESENTE DE LA FISICA	66
CAPITULO VI	
LA INVESTIGACION SOBRE ENSEÑANZA DE LA FISICA	94
A MODO DE CONCLUSION.	107
BIBLIOGRAFIA CON REFERENCIAS ESPECIFICAS.	115
BIBLIOGRAFIA GENERAL.	117

I N T R O D U C C I O N

En este trabajo se expone un conjunto de consideraciones que contribuirán a contestar esta pregunta: ¿por qué hay habilidades tan dispare para comprender la física moderna entre nuestros educandos?.

Al simple enunciado de la pregunta, dudo que exista un solo profesor de física incapaz de hablar largo y tendido acerca de las respuestas. Ello podría sugerir que sobre el tema existe reflexión en abundancia pero, lamentablemente, creo que lo único que demuestra es la vastedad y el enorme peso que este tema tiene. Por su extensión, son muchísimos los enfoques que podrían darse a los intentos de contestación que -- admite y por esto es que plantearé, en primer lugar, el enfoque adoptado aquí, así como las razones de su elección.

Si consultáramos a un buen número de interesados acerca de cómo -- buscar respuestas a esa pregunta, estoy seguro de que la gran mayoría -- se inclinaría por indagar sobre las deficiencias de los estudiantes en los conocimientos previos, a los que suele llamarse "prerrequisitos", más propiamente requisitos cognoscitivos. Esta indagación incluiría -- la exactitud con que se repiten algunas definiciones de conceptos esenciales; el grado de profundidad con el que comprenden ciertas leyes, -- de preferencia medido según alguna taxonomía cognoscitiva de carácter operativo; y los procedimientos matemáticos involucrados en las teorías cuya comprensión se evalúa. Este enfoque puede llamarse "desde abajo", puesto que se concentra en un conjunto de elementos, bastante diferen--ciables, que se suponen el antecedente necesario para unirles exitosa--mente los nuevos conocimientos, en una forma de conexión más o menos -- automática. Por debajo de esta manera de ver las cosas está la imagen de que el conocimiento es una especie de tejido bidimensional, con irregularidades e intrincada complejidad, pero que a fin de cuentas puede -- crecer en una forma lineal gracias a la unión de un nuevo hilo con las puntas que, en calidad de requisitos, deberían existir esperando la llegada de los conceptos o desarrollos consecuentes.

Esta manera de concebir la evolución de la comprensión de la ----

ciencia considera su ideal muy próximo a la unidireccionalidad, es decir, que la más exitosa asimilación de una ciencia por los estudiantes será aquella en la cual cada nuevo conocimiento llegue "a su tiempo", sea convenientemente asimilado y quedo sólidamente ubicado, para soportar los conocimientos superiores que sobre él llegarán, de la misma forma en que ese conocimiento se soporta por sus antecedentes.

La esencia de la tesis que sostendré en este trabajo es que la imagen anterior es parcial y que la extensión forzada de su validez -- conduce a graves fallas en el proceso del aprendizaje. Su parcialidad proviene del hecho de que la comprensión de una teoría requiere de que la concepción general de los fenómenos que se estudiarán tenga suficiente proximidad con la concepción que abriga a la teoría en cuestión; es decir, el conocimiento de una teoría también depende de que los elementos culturales generalizadores, que forman un marco conceptual que condiciona la teoría sean coincidentes o al menos poco contrapuestos con los cimientos propios de lo que se está estudiando. Podemos ilustrar este caso con el conocido ejemplo de las concepciones estática y dinámica del universo, en las cuales ocupa un lugar completamente diferente el concepto de inercia, pues mientras que en la concepción estática tiene una inclusión forzada, en la dinámica entra de modo natural coincidiendo con la lógica general de una imagen de la materia en constante movimiento. Se pasa por alto este condicionamiento conceptual -- cuando solamente se estudian los "requisitos de abajo" de los que hablamos atrás. Puesto que la dependencia de una teoría respecto de las concepciones generales es otro "requisito", su ignorancia distorsiona inevitablemente las explicaciones acerca de los problemas del aprendizaje exitoso y acelerado de las modernas teorías. A este otro tipo de requisitos podríamos llamarlos "por arriba", puesto que condicionan el estudio desde la generalidad, al contrario de los requisitos tradicionales, que condicionan el aprendizaje desde los elementos particulares que se unirán directa e indirectamente con algún concepto o aplicación perteneciente a la teoría en estudio.

Las razones para optar por tal enfoque no se reducen al hecho de que lo más estudiado es el problema de los "requisitos por abajo", pues si tal fuera el caso todo se reduciría a complementar los resultados ya obtenidos en la enseñanza de la física, los cuales no pueden considerarse satisfactorios, en los términos que más adelante expondré. Las razones más poderosas para escoger el camino de analizar los condicionamientos culturales o conceptuales provienen de otra idea más profunda: que la omisión mencionada no es un mero descuido formal, sino que el rechazo al estudio de los elementos globalizantes es resultado lógico de las concepciones educativas predominantes, las cuales tienen como sustrato último la filosofía positivista, e inducen categóricamente a desdenar los aspectos especulativos de cualquier especie en todo el amplio espectro de actividades que atañen al uso social de la ciencia. Vista de esta manera, mi idea sobre la necesidad de considerar expresamente los "requisitos por arriba" corresponde a una posición general contrapuesta a la mencionada del positivismo.

Un trabajo con la intención mencionada no se reduce al aspecto de la enseñanza y el aprendizaje de la física; de hecho, se imponen una serie de consideraciones acerca de la asimilación social de la ciencia en general, en lo cual se abarcan procesos diferentes al de la enseñanza particular de la física, como la noción general que predomina en los ambientes cultos de la sociedad acerca de las ciencias naturales y la capacidad de un país para hacer uso de la ciencia moderna. Puedo incluso formular la conjetura de que un trabajo sistemático en la dirección que ahora apunto, pero con muy otros alcances, puede repercutir en algunos aspectos de la investigación científica, en la medida en que la comunidad científica mexicana necesita romper el alto grado de aislamiento social en que se encuentra, a pesar de los enormes progresos que en su estructuración interna ha conseguido en las últimas décadas.

La imagen del aprendizaje próxima a una construcción unidireccional, siempre ascendente, tiene dos hermanas en el campo del cultivo so-

cial de la ciencia: la noción uniformemente evolutiva del desarrollo de la ciencia a lo largo de la historia y la creencia en que las teorías científicas se extraen inductivamente de los datos concretos o de las percepciones inmediatas.

Estas tres hermanas, hijas de la filosofía neo-positivista, han introducido a mi juicio un buen número de extrapolaciones anticientíficas -- que han acarreado prejuicios, temores y malentendidos de diferente importancia, dificultando el uso racional de la ciencia en general, pero especialmente de la física, en países como el nuestro, sin tradición científica. Como las tres concepciones se prestan un mutuo apoyo, me veré obligado a hacer algunas consideraciones en los tres aspectos, -- con todas las desventajas que acarrearán el peligro de la dispersión.

Otro aspecto de ubicación general de este trabajo, es el de su carácter. En rigor no es una tesis orientada a tratar un tema de la física que actualmente esté en desarrollo en México, por el hecho de que su autor trabaja en la enseñanza y no tiene relación directa con la investigación; pero en virtud de las consideraciones arriba sugeridas, no será tampoco una típica "tesis educativa", en la que se proponga un programa de alguna asignatura de física o se analicen algunos -- aspectos de cierto pasaje histórico de la física como suelen ser las tesis incluidas en esta categoría. Admito que de acuerdo a los parámetros generalizados el trabajo que presentaré puede tener un encasillamiento discutible; sin embargo, deseo exponer y defender las consideraciones que haré en el marco de desarrollo de la física, puesto que es mi convicción que es incorrecto concebir el desarrollo de esta ciencia como un proceso aislado o autosuficiente. En caso de ceder a las suposiciones de que sólo tienen legitimidad los trabajos monográficos o de exposición positiva de alguna rama de la física, creo que se reafirma la tendencia que justamente me interesa confrontar.

Para desarrollar las ideas que he venido concibiendo sobre la problemática arriba insinuada me dí a la tarea de recopilar bibliografía -- sobre los temas aludidos, encontrándome con la sorpresa de que existe --

un nutrido grupo de pensadores que han realizado trabajos sobre el asunto, de diverso calibre, principalmente en Inglaterra y Francia, y cierto número de científicos norteamericanos. Por dar algunos nombres, citaré a Alexander Koyré, Gastón Bachelard, Herbert Butterfield, Thomas - S. Kuhn, Charles P. Snow, Gerald Holton, Michel Fichant o Stephan ----- Toumlin. Las publicaciones de estos precursores y participantes activos en el desarrollo de la reflexión contemporánea acerca de la creación y uso social de la ciencia natural se ha entroncado con el trabajo de numerosos filósofos que han hecho destacadas contribuciones a la evaluación del desarrollo histórico del pensamiento científico y de especialistas en estudios psicológicos acerca de diversas facetas de la -- creación científica, como Karl Popper, B. Farrington, Ernst Cassirer, Jean Piaget o Paul Feyerabend. Con estas referencias y fundamentos de carácter general, las consideraciones intrínsecamente ligadas a la enseñanza o comprensión de la física resultaron bastante endebles, es decir se desequilibró la integración del trabajo al encontrar tanta riqueza en lo que se refiere a los estudios generales sobre el progreso - del conocimiento científico y tan limitada - comparativamente - bibliografía sobre los estudios del desarrollo de la física "desde dentro" de esta ciencia, esto es, siguiendo su propia estructuración epistemológica. Este desnivel no pude evitarlo en este primer trabajo y como quiera que considero necesario que se aborde por mucha gente, en lapso de - años, he resuelto presentar los frutos de cuanto he hecho hasta el momento, a sabiendas de que tiene el desequilibrio que refiero.

Los campos del conocimiento que deberían transitarse para cubrir el ambicioso programa que implica la respuesta satisfactoria a la pregunta principal son numerosos y vastos: las diversas teorías englobadas en la física, la filosofía de la ciencia, la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia y esa extraña especialidad que viene desarrollándose recientemente en algunos lugares: la ciencia de la ciencia. Con sólo mencionar los ingredientes que intervienen, podemos concluir - que un trabajo de tesis de licenciatura, en un país donde no abunda la reflexión en este campo, difícilmente puede pretender algo más que el

planteamiento del problema con algunos comentarios y observaciones que sugerirán caminos hacia la búsqueda de soluciones, más que respuestas muy estructuradas a la pregunta principal.

Luego de estos comentarios introductorios quizá se aclare la intención del trabajo reformulando la pregunta inicial en esta otra forma: ¿cuáles son las condiciones que pueden garantizar o favorecer al menos la apropiación y uso de la física moderna por un país?. Esta forma de la pregunta orienta hacia las intenciones a largo plazo de este tipo de reflexiones y análisis, justificando de mejor manera que la pregunta inicial el hecho de que deberán realizarse esfuerzos tan ingentes en esta dirección. Al mismo tiempo, esta formulación ayuda a mostrar que sería insensato proponerse un programa tan amplio para ser cubierto individualmente, sin contar con la preparación sistemática en los variados campos del conocimiento que se ven involucrados y sin poder dedicarse de tiempo completo durante varios años a un proyecto semejante. Por tales razones, buscaré dar concreción a la exposición tomando como referencia la primera pregunta, sin inhibir las referencias y señalamientos que mejor ayuden a plantear el problema en los términos y alcances que en realidad tiene.

Para finalizar esta introducción, me gustaría advertir que acaso algunas de las definiciones que incluya de los conceptos o formulaciones que usaré resulten prescindibles, dirigidos a especialistas científicos, pero he preferido resultar reiterativo o excederme en la explicitud a dejar sobrentendidos que acaso produzcan confusiones innecesarias en el desarrollo central del tema.

CAPITULO I

APROPIACION NACIONAL DE LA CIENCIA

Sinopsis

En el siglo XVII surgió en Europa una forma original de representarse teóricamente a la naturaleza; esta forma alcanzó su expresión más completa en la ciencia de la mecánica. La nueva representación teórica significó una ruptura en el pensamiento sistemático de los más avanzados países europeos, pues tiene diferencias de calidad respecto de las imágenes de la naturaleza existentes con anterioridad.

El proceso en el que se gestó y desarrolló esta novedad cultural fue alimentado por causas de diverso orden, generadas en el seno de aquellas sociedades; puede afirmarse que la evolución social, en sus países de origen, llegó a un punto en el que la moderna imagen de la naturaleza fue un producto natural, madurado en la evolución de tendencias internas, tanto de carácter espiritual como social y económico.

No ocurrió lo mismo en otros muchos países, como México, a los cuales la nueva imagen de la naturaleza llegó como producto extranjero, como un elemento cultural que debía trasplantarse y rodearse de un ambiente que le permitiera su enraizamiento en los nuevos terrenos. En nuestro país se ha formado un núcleo de físicos que domina las ramas de mayor dinamismo de la física con temporánea, pero la capacidad nacional para hacer uso de ésta y otras ciencias es todavía mínima.

Es importante comprender la diferencia entre la existencia de un grupo de personas con capacidad para desarrollar y hasta hacer aportes a una ciencia y la necesaria capacidad de la sociedad a la que pertenecen para hacer uso de dicha ciencia. Este último es el proceso de apropiación nacional de la ciencia.

APROPIACION NACIONAL DE CIENCIA

El conocimiento científico que pueda lograr un pequeño número de personas de alguna nacionalidad es un fenómeno muy diferente a la adopción o apropiación de la ciencia moderna por la nación a la que pertenecen. Tomemos nuestro caso y nuestra ciencia: desde hace unas seis o siete décadas existen mexicanos que conocen, con una profundidad aceptable, las teorías más recientes de la física, cuando menos en los campos más esenciales y, en las últimas décadas, en casi todos los temas y ciertamente en los más dinámicos o prometedores. Pero aún se ve muy distante el momento en que la sociedad mexicana esté en capacidad de usar este conocimiento científico para fines productivos y culturales.

Suele saberse de científicos mexicanos, jóvenes o maduros, que participan en eventos internacionales de tipo diverso, desde haciendo doctorados hasta presentando trabajos en congresos de variada condición, con resultados básicamente aceptables; de estos datos podría llegarse a una generalización infundada: "hacemos una ciencia a la altura de cualquier país". Puede concentrarse la atención en el número de artículos publicados en revistas con arbitraje cada año o en el número de citas de autores mexicanos, para mostrar que la pequeña comunidad de físicos mexicanos tiene una presencia proporcional decorosa en el mundo de la ciencia internacional; pero el estado de ánimo cambia abruptamente si giramos el enfoque, poniendo la mirada en el panorama que muestra la ubicación de la dicha comunidad científica en la sociedad mexicana. Puede decirse que el físico mexicano es un ciudadano con mayores derechos y más importancia en la república mundial de la física que en la república mexicana, donde le es más fácil conseguir reconocimiento o capacidad de influencia por las habilidades políticas que pueda tener que por su preparación científica.

Al afirmar que en México se hace buena física se hace una aseveración correcta, si por ello entendemos la preparación que algunos físicos mexicanos tienen y si aludimos al nivel de la producción de esos científicos, pero al subrayar excesivamente la proximidad o dependencia de nuestra comunidad científica respecto de los centros internacionales de creación de la física de frontera, corremos el riesgo de pasar por alto una tarea que en nuestro país sólo pueden cumplir los científicos y que en los países avanzados ya está realizada;

se trata de romper el aislamiento social en que actúa nuestra comunidad científica, tan fácilmente perceptible cuando comparamos este aspecto con lo que sucede en buena parte de los países europeos, en Estados Unidos y el Japón.

Por supuesto que para llegar al momento en que la sociedad mexicana - pueda apropiarse de la ciencia moderna, se necesitó alcanzar la comentada "masa crítica" de la comunidad científica, tanto en lo referente al número de sus miembros, como a la calidad de su preparación y con una "completez" básica del conjunto de temas cultivados por dicha comunidad. Pero una vez alcanzada esta situación inicial, es inevitable que nos propongamos dedicar fuerzas a terminar con el vacío social en torno a la ciencia, expresado no solamente en la - falta de apoyos y estímulos de la sociedad hacia el trabajo científico, sino - también en el inadecuado entroncamiento entre la producción de los científicos y la capacidad de asimilación o las necesidades del país. No podemos aspirar, desde luego a que la reducida colectividad de científicos produzca desde sus - comienzos los suficientes aportes productivos como para lograr una especie de autofinanciamiento; tampoco es admisible la exigencia pragmática de que se desarrollen en primer término los esfuerzos inmediatamente productivos de la - ciencia, pues la llamada investigación básica tiene una dinámica propia que no le permite atender mecánicamente y directamente el desarrollo de sus apéndices que pudieran tener consecuencias productivas. Pero también es cierto que el desarrollo de una física moderna, que ha requerido esfuerzos de cooperación entre países fuertes, como los realizados en Europa, para competir con los gigantes - cos sistemas norteamericano y soviético, no podrá contar a nuestro país entre sus actores si no se establecen sólidas alianzas entre la avanzada de su - progreso, constituida por investigadores científicos, y las grandes fuerzas so ciales, tanto dentro del Estado como en el espacio de la llamada sociedad ci vil. Para lograr esta alianza, es elemental que debe existir un intercambio y una satisfacción mutua de necesidades.

Esta problemática implicada en la discusión acerca de la ciencia pura y aplicada se da, entre nosotros, de modo muy distinto a como se ha presentado en los países europeos desarrollados. Recordemos que en éstos la ciencia moderna fue germinando desde las postrimerías de la Edad Media y que cobró su - forma madura durante el siglo XVII en cinco o seis de aquellos países, en torno a las sociedades científicas recién creadas, libres de la pesada inercia hu manista que dominaba a las universidades centenarias e inmovilistas. En torno

a las sociedades científicas europeas perduraba todavía la actitud medieval de ponderar la "filosofía", como se llamaba genéricamente a todo el conocimiento organizado, sin exigencias pragmáticas o productivas, por lo cual el ascenso - del pensamiento de la ciencia en Europa se vió beneficiado por el ascenso del pensamiento teórico de los pueblos avanzados de aquel continente, lo mismo que por el espíritu práctico y productivo que por entonces crecía impetuosamente - opuesto a la especulación sin compromiso productivo tan característico del medioevo, pero también por los remanentes del período histórico que se estaba su perando. Para cuando la ciencia europea tuvo el vigor interno y madurez necesarios para acometer investigaciones que requirieron de gastos tan grandes como para exigir justificación social, también estaba ya adquiriendo la capaci-- dad productiva a través de sus relaciones con la tecnología, como para rever-- tir a la sociedad que le sostenía los beneficios de sus innovaciones.

Sin duda que también en los países avanzados europeos hubo desfasiemiento entre las necesidades materiales de la ciencia sobre todo para erigir laboratorios y construir aparatos, pero el apoyo social, económico y el reconoci-- miento moral con que contaron aquellas comunidades científicas no resisten ni una lejana comparación con lo ocurrido en los llamados países tercermundistas. Pensemos, para darnos una rápida y contundente idea, tan sólo en que durante los dos siglos que van de mediados del XVII a mediados del XIX, en Inglaterra, fueron figuras de renombre nacional Newton, Hooke, Boyle, Cavendish, Joule, - Lord Kelvin, Young, Davy y Faraday, lo mismo que tuvieron celebridad científicos de otras ramas e incluso algunos investigadores que no hicieron contribu-- ciones de tanta trascendencia como los mencionados. La distinción y el reconoci miento social no son actos puramente morales, sino que son actos públicos - que acarrear consecuencias de orden diverso, incluido el orden económico.

El proceso en el que la ciencia europea pudo crecer y madurar fue, por lo tanto, un proceso relativamente armónico, en el que avanzaban, entrelazándose, el cuerpo teórico de las ciencias, la expansión de su capacidad producti-- va, con los ajustes en sus sistemas educativos, el poderío económico y técnico que se necesita para apoyar las investigaciones más costosas y el prestigio de la ciencia en aquellas naciones tan diferente al panorama que aún subsiste entre nosotros. El contexto social determinó esta forma específica de crecimiento.

En México, la llegada de la física moderna fue el arribo de un producto extranjero, no por su condición intrínseca sino por el origen de las fuentes que alimentaron su desarrollo. La asimilación de ese producto debería comenzar por el desarrollo de una comunidad que tendiera un puente desde los centros de creación de la física de nuestros días hasta este país, pero ahora que se ha logrado el primer enlace, encuentro lógico que se inicien los preparativos para conseguir que la sociedad se apropie de esta ciencia. En realidad, - son numerosos los hechos que indican que están en marcha estos preparativos, - como el acceso gradual, aunque insuficiente, de científicos a los centros de - decisión de cuestiones educativas a todos los niveles, como la muy superior ac- tividad de difusión científica, el apoyo a los programas de capacitación en el extranjero, la publicación de textos que analizan la problemática científica, los programas de aliciente económico a un pequeño número de buenos científicos y la concesión de algunos modestos premios a otro número todavía menor de cien- tíficos calificados. Pero estos esfuerzos tienen todavía el defecto de que - son incapaces de producir actividades naturales con arraigo dentro de la socie- dad, que se distingan de las viejas conductas y se orienten a apuntalar el de- sarrollo de la ciencia; por esto, las medidas que provienen del Estado, no - equivalen a tradiciones soportadas por sectores sociales y tienen, por lo tan- to, la endeblez que caracteriza a las políticas "de arriba", que no se fundan en fenómenos y tendencias sociales. Debe considerarse también que se requiere tiempo para estos procesos.

Podemos decir que mientras en los países europeos desarrollados la - ciencia fue un producto que nació y creció asociado a fenómenos históricos - arraigados en la sociedad, en nuestro caso la comunidad de personas profunda- mente interesadas en la ciencia es en buena medida extraña y distante de las - fuerzas sociales más profundas del país.

Este espíritu de diferenciación y extrañeza no provoca solamente la in- comprensión social ante el pequeño mundo de la ciencia, sino que produce difi- cultades para que la comunidad científica pueda dirigirse exitosamente hacia - las fuerzas sociales. No creo azarosa la profusión de sentimientos de descon- fianza, incluso de hostilidad, que se percibe en buena parte de las comunida- des científicas hacia la sociedad de la que a fin de cuentas dependen para su realización; contrastan estas reacciones con los sentimientos de adhesión a la presente estructura social que se encuentra en la mayoría de las comunidades -

tecnológicas, que tienen un papel productivo y social claro a desempeñar. De ello se concluye que los procesos sociales para que un país pueda apropiarse de la ciencia moderna, son claramente diferentes de los procesos que involucran a pequeños números de personas que individual o gremialmente se apropien de la misma ciencia. La ciencia es la misma, desde luego, para todas las naciones, pero la forma de adopción, uso y desarrollo de esa ciencia por cada país es diferente. En este último sentido adquiere significado de expresión de "física o ciencia mexicana".

Quizá pueda conjeturarse que el vacío social en torno a la comunidad científica fuera alguna vez necesario como foso de protección; pero es seguro que el foso se convirtió en precipicio aislante y que actualmente es del interés vital, tanto del país como de la comunidad científica tender, primero, - puentes sobre precipicio -lo que ya está en marcha- para pasar después a relleno, para favorecer el tránsito de toda clase de ciudadanos desde la sociedad tradicional a la ciudadela científica y de la torre -que desde fuera se ve de marfil pero desde dentro es de piedras y vulgares tabicones- hacia el rebullente mundo de la realidad social. Mientras el precipicio agudice - las naturales diferencias entre la comunidad científica y la sociedad dominante, será inevitable el círculo vicioso consistente en la incomprensión de la sociedad hacia las instituciones científicas, con la consiguiente falta de apoyo, lo que produce graves restricciones a la capacitación de la gente de ciencia para contribuir a resolver problemas productivos de la sociedad, de lo cual no puede salir sino un refuerzo de la incomprensión inicial.

Vale la pena recapacitar en que el diseño de la propia carrera de físico debería basarse en un reconocimiento más explícito de las peculiaridades de nuestra sociedad, entre las que se encuentra la necesidad de reforzar la enseñanza de la física con la incorporación de profesionales de esta ciencia al sistema educativo. Reorientada de esta manera, la carrera de físico en México daría a los estudiantes recursos epistemológicos para reflexionar acerca de la problemática del aprendizaje de la física, lo que sería de utilidad decisiva para quienes se dedicaran a la enseñanza, pues tendrían en su preparación un germen que podrían desarrollar cuando sus funciones así se los exigieran. Por este camino podría superarse productivamente la actual situación de que los pocos cientos de licenciados no encuentren plazas en la investigación y tampoco comprendan la importancia del papel que pueden jugar en el de-

sarrollo de la ciencia nacional desde la educación, tanto porque esta comprensión no se favorece en la carrera como porque no adquirieron las herramientas apropiadas para desempeñar fructíferamente esas funciones, de las que tan necesitadas están tanto la ciencia como la sociedad mexicana. Para ello se requieren actitudes y aptitudes apropiadas.

Planteada expresamente la meta de que las facultades de ciencias contribuyan a resolver este problema, también se podría crear una estructura institucional que respaldara a los físicos dedicados a la enseñanza para que pudieran cumplir su misión, de modo que se contrarrestara la dispersión y la espontaneidad que tanto minimizan la influencia de quienes han hecho estudios sistemáticos de física en la enseñanza de ésta.

Es fácil imaginarse lo que sucede con los cientos de físicos que van dispersándose entre las decenas de millares de profesores de física de la enseñanza media y del bachillerato, trabajando año tras año con los textos tradicionales en su mayoría, cubriendo los temas elementales de mecánica, termodinámica y electromagnetismo, lidiando con alumnos que muestran deficiencias crecientes en su preparación matemática conforme llegan nuevas generaciones y para colmo. en los últimos años, sujetos a los embates de la crisis que desquicia su antiguo status clasemediero; lo que sucede es que estos profesores, de los que se esperaría una contribución significativa, tienden, por el contrario, a homogeneizarse con sus colegas químicos, arquitectos y de todas las profesiones que por los mil azares del destino llegaron a plazas semejantes. A la vuelta de algunos años, el físico inmaduro que egresó de la licenciatura es un profesor típico de física, que conserva algunas ideas vagas sobre las mecánicas cuántica o estadística, que brinda una buena oportunidad orientada a unos pocos de sus alumnos directos, pero que ha quedado circunscrito a su salón de clase y que no se puede decir que tenga ninguna forma de pertenencia a la comunidad científica, excepto en un sentido afectivo en algunos de los casos.

Este fenómeno es, a fin de cuentas, producto de una incapacidad de las instituciones científicas para mantener en su seno a personas que aspiraron a incorporarse a ellas; en caso de que la intervención de la comunidad científica en el campo educativo fuese mayor, podría potenciarse la influencia de los que hicieron estudios profesionales de física, elevando el papel social

de la cultura científica, sin necesidad de que hubiera crecimientos significativos, imposibles por el momento, de las instituciones de producción directa de ciencia, como los institutos y centros de investigación. Claro que también puede voltearse el problema y decir que la incapacidad es de la sociedad, que por medio de su sistema educativo es incapaz de aprovechar la mejor preparación que han tenido los físicos de carrera que se incorporan a la enseñanza; - como quiera verse, el problema es el mismo y pone sobre la mesa la inexistencia de un empalme entre la comunidad científica, que los instructores de la ciencia y la sociedad mexicana.

El 13 de septiembre de 1987, el Director General de Invenciones, Marcas y Desarrollo Tecnológico de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, informó que de los 240,000 inventos que anualmente se patentan en el mundo occidental, un 21% corresponde a Japón, E.E.U.U., Francia y Alemania Federal; lo cual contrasta con el 1.6% perteneciente al Tercer Mundo, en el cual América Latina cubre un 0.7%, donde México a su vez contribuye con algo más del 0.1% - con 280 patentes. Estas cifras son reveladoras.

Durante la semana del 16 de septiembre, presencié en la CANACINTRA, - una exposición de "innovaciones tecnológicas", hechas por estudiantes de escuelas técnicas y alguna escuela técnica militar, donde proliferaban dispositivos mecánicos y de otras ramas de la tecnología. Ahí se presentaba, como si fuera lo más natural del mundo, un aparato para medir "las cargas gravitacionales positivas y negativas que hay cerca de la Tierra", tenía una pequeña tarjeta donde mencionaban algunos extraños fenómenos de movimiento de las dichas cargas, los cuales al parecer se aprovechaban para separarlas con ese aparato, que parecía una antena con masas en sus extremos. Lamentablemente no había nadie que estuviera enterado de esta pretendida innovación, para informarme acerca de lo que pensaban o creyeron sus autores. Este hecho no me pareció revelador, sino patético. La distancia entre el mundillo científico y la sociedad es - enorme.

La cuestión de cómo reducir el distanciamiento entre ambas entidades, suele enfocarse a veces como el problema de definir el tipo de sociedad idóneo para rodear a la ciencia de un ambiente propicio para su fortalecimiento. Yo creo que es ilusorio suponer que hay una estructura social innatamente apta para proteger a la ciencia, aún cuando ciertamente las diferentes estructuras o

sistemas sociales tienen diferentes potencialidades para aceptar o auspiciar - en su seno el crecimiento de la cultura científica. En todo caso, este no es problema de la comunidad científica sola, sino un problema político y social - de todos los ciudadanos. Lo que sí compete a los científicos es el asunto de cuáles son sus tareas para reducir el distanciamiento mencionado, en este espe-cífico sistema, con todas las restricciones y desventajas que tenga, pero con una ventaja categórica e imposible de ignorar: que es el sistema existente. No me parece razonable cargar sobre los hombros de la actividad científica una especie de veda impuesta, que no podrá levantarse mientras no exista un cambio sustancial en la estructura social del sistema mexicano.

En un intento de sistematizar los numerosos factores que determinan el aprecio que un sistema social dado pueda tener por la ciencia de su país y por quienes la cultivan, podemos señalar cuatro renglones, en los cuales puede la comunidad científica desplegar su iniciativa:

- a) la calidad intrínseca de la ciencia, así como su reconocimiento por la comunidad científica internacional;
- b) la capacidad de la comunidad científica nacional para contribuir a desarrollar la potencialidad productiva del país;
- c) el grado de influencia cultural de los científicos sobre la socie--dad en su conjunto;
- d) el prestigio y reconocimiento que la ciencia nacional logre de parte del Estado y las fuerzas sociales del país.

Es evidente que en los cuatro aspectos se ha progresado en México. También me parece claro que lo que llamo "comunidad científica nacional" no - tiene muchas estructuras que le permitan coordinar su acción en campos y aspec-tos diferentes, de tal manera que exista cierta coherencia y una división del trabajo básica.

En los cuatro renglones el sistema social ofrecen tanto posibilidades como restricciones. El que más decisivamente depende de los hombres de cien--cia es el primero, el mismo en el que hasta hoy se han concentrado los más al-tos porcentajes de sus esfuerzos; es en el que mayores logros se han conseguido, el que da fundamento a todos los demás, con el que indudablemente se debe-

ría comenzar. Las relaciones con la función productiva de la sociedad se han venido incrementando, pero son débiles todavía y no es tema de este trabajo - el comentarlas. El cuarto renglón, el del prestigio y el reconocimiento, es el producto de los anteriores y de otros factores que dependen muy débilmente de la acción directa de los hombres de ciencia. El tercer aspecto, el relativo a la influencia cultural de los científicos sobre la sociedad, es al que se consagran las reflexiones que contiene la presente tesis.

De lo expuesto, se deduce que la apropiación nacional de una ciencia es un proceso determinado en su aspecto medular por factores no científicos, puesto que la receptividad o el interés por la ciencia se decide en primer término por razones económico-sociales y en segundo por razones culturales. Ahora bien, definido el marco económico y social dispuesto por un sistema social dado, la acción de los hombres de ciencia puede ser más intencionada o - menos, según el grado en que comprendan las peculiaridades que en su país tendrá el proceso arriba señalado. En México, la dependencia esencial que tiene el proceso productivo respecto del extranjero, especialmente de los EU, hace impensable la existencia de un cuerpo de investigación equiparable al de los países que no sólo son independientes, sino que además son exportadores de ciencia y tecnología; pero la evolución de la crisis y el desarrollo de fuerzas sociales nuevas, abre espacios por los cuales la ciencia puede -y de hecho ya lo hace- seguir creciendo. Me parece que hay otros aspectos propios - de nuestro país, derivados de las singularidades de su historia, que no dejarán de incidir sobre la manera en que seguirá creciendo nuestra ciencia. Por lo pronto, lo que más me interesa señalar es la diferencia entre la capacitación interna de una comunidad científica y el grado de apropiación que de la ciencia moderna ha logrado el país en que vive, crece y actúa esa comunidad.

CAPITULO II

LA INFLUENCIA CULTURAL DE UNA COMUNIDAD CIENTIFICA EN SU PAIS

Sinopsis

La estructura cultural de nuestro país es desfavorable a la asimilación de las ciencias modernas, nacidas en Europa en el siglo XVII. Más acentuada es la desventaja para el dominio de las disciplinas contemporáneas, - - creadas desde mediados del siglo XIX hasta nuestros días.

Si en Europa y los EEUU se habla de "dos culturas", la literario-humanística y la científico-tecnológica, profundamente diferenciadas y ajenas, en México muy difícilmente puede reconocerse un ámbito científico-tecnológico en el que sea identificable una coherencia básica; nuestro caso presenta una cultura tecnológica moderna con un papel social muy claro a desempeñar, pero íntimamente asociado con los procesos de industrialización dependientes del extranjero. El ámbito científico, en cambio, está esencialmente divorciado del tecnológico y no tiene un papel social claro a desempeñar. El nicho ecológico en el que se ha desarrollado la comunidad científica, no fue producto de factores en crecimiento dentro de la sociedad, sino el fruto de los esfuerzos de un grupo relativamente reducido de personas que comprendieron lo imprescindible que es para la madurez de la nación el dominio de las ciencias contemporáneas.

La ubicación de los tres ámbitos culturales mencionados es resultado de las peculiaridades de nuestra evolución histórica. Uno de los efectos sobresalientes de esta estructura es la mínima influencia cultural de los científicos en México.

La superación de las condiciones presentes requiere de cambios en muchos campos de la vida nacional, pero impone algunas tareas, en particular, a la pequeña comunidad científica mexicana.

LA INFLUENCIA CULTURAL DE UNA COMUNIDAD CIENTIFICA EN SU PAIS

Tan sólo el título de este capítulo muestra uno de los graves problemas de México para asimilar y usar la ciencia contemporánea; pensemos en la influencia actual de los científicos franceses o alemanes en sus países y compáremosla con la de los científicos mexicanos en el suyo. La diferencia es abismal.

El trabajo del físico inglés Charles P. Snow, "The Two Cultures", publicado hace 30 años, recibió una aceptación generalizada por la certeza y penetración con la que expuso el divorcio entre las dos culturas que se han formado entre las intelectualidades de los países desarrollados; también señaló en su artículo, el doctor Snow, que la cultura literaria retiene en sus -- países la iniciativa, incluyendo ciertas dosis de prepotencia, al monopolizar, o casi, la representación de todos los trabajadores del intelecto -- frente a la sociedad en su conjunto. Al describir las comunidades sociales que sostienen ambas culturas en Inglaterra se refiere a unos cincuenta mil hombres de ciencia y unos ochenta mil "ingenieros profesionales y hombres dedicados a la ciencia aplicada" y, con una naturalidad que llama la atención, los agrupa en la comunidad científica de unos ciento treinta mil personas, para diferenciarlos del otro sector de la intelectualidad, sustentador de la cultura literaria. Esto nos señala dos indicios para rastrear -- las peculiaridades nacionales en lo que respecta a la ubicación de la ciencia en la sociedad mexicana.

En primer lugar la cultura literaria no simplemente monopoliza la representación del trabajo intelectual frente a toda la sociedad, sino que es po sible detectar claros signos de hostilidad y condena de la cultura literaria en el poder hacia la cultura científica, frente a la cual no sólo se -- considera necesario mantener la hegemonía, sino incluso una actitud vigilan te para que no vaya a crecer tanto como para que pueda realizar sus "sinies-tros designios". En segundo lugar, la actividad tecnológica se encuentra pro

fundamente diferenciada de la ciencia y apenas en las últimas dos décadas - encontramos débiles indicios de que se empieza a reconocer que una vigorosa estructura tecnológica requiere de un fundamento que sólo puede proporcionar la ciencia moderna. Con estas dos condiciones, en México no podemos hablar, como lo hace el Dr. Snow, de dos culturas ajenas entre sí, sino de -- una cultura tradicional o literaria que se va viendo obligada a tolerar un islote heterodoxo en su seno, a causa de las enormes presiones que el desarrollo económico contemporáneo viene ejerciendo desde el exterior. Este islote heterodoxo, en cuyo seno se incubaba la cultura científica, se respalda y apoya casi exclusivamente porque de otro modo el país no será capaz de -- competir internacionalmente o de librarse de la dependencia respecto de los países desarrollados, especialmente de los Estados Unidos; en el discurso oficial, las razones para respaldar las actividades de la cultura tradicional se asocian con valores esenciales de la nación, que atañen a un "modo de ser", pero el apoyo a la ciencia y la tecnología se justifica solamente por su utilidad pragmática, no porque se necesite incorporarlas a la esencia de un espíritu nacional.

La parte estructurada de la evolución de la cultura es el sistema educativo. Vamos a dar una rápida ojeada al lugar que ocupa la ciencia en las determinaciones básicas que atañen a las concepciones educativas. No es el lugar para un análisis profundo, pero unos pocos datos mostrarán que sería de la mayor importancia para la comunidad científica la realización de estudios sistemáticos sobre este tema.

En toda la historia del México independiente, no parece haber sino una ocasión en la que un estadista propició una estructura administrativa excepcionalmente favorable a las ciencias físico-matemáticas, cuando el doctor José María Luis Mora, en octubre de 1833, en la presidencia de Valentín Gómez -- Farfás, promovió la célebre reforma educativa, creando en lugar de la Universidad de México, seis escuelas, llamados Establecimientos, dedicados --- a: Estudios Preparatorios, Estudios Ideológicos y Humanidades, Estudios Médicos, Estudios de Jurisprudencia, Estudios Sagrados y Estudios Físicos y

Matemáticos. No conozco los planes de estudio y tal vez ahí encontremos un caso de mucho interés... como antecedente curioso, pero definitivamente no pasó de un intento quizá valioso, pues en julio de 1834 el inefable Santa - Anna restableció la Universidad, borrando con un mal espadazo burocrático el esfuerzo de un grupo de pensadores por muchas razones respetables, aun - que yo no sepa con detalle qué los llevó a dar un rango tan distinguido a los estudios físico-matemáticos, ¡hace más de 150 años!

Fuera del fugaz acontecimiento que acabo de mencionar, lo demás es tema de tragedia. Al triunfo de los liberales, a fines de los 60's del siglo pasado, llegó el positivismo y, al aclimatarse, dio un engendro digno de poco - aprecio, pues por una parte, como ha evaluado Leopoldo Zea, melló las ansias de libertad y de transformación de los liberales y, a cambio, conectó el -- concepto de "concepción científica" con el jacobinismo que tantos aspectos progresistas aportó en el campo literario, pero que resulta profundamente dañino para la ciencia, como más adelante describiré. El resultado de la reforma iniciada por Juárez, con destacada participación de Barrera, afectó poco la educación superior, introdujo en la Escuela Nacional Preparatoria - las asignaturas de Física y Química, junto a las de griego y latín, supri - mió la enseñanza de la religión e inició ese cuito desmedido a las concep - ciones pedagógicas y a los métodos didácticos, el cual cargamos todavía como un fardo que nos desvía constantemente del problema medular de la enseñan - za: qué debe estudiarse, enfocado desde qué ángulo. De ningún modo fue -- una reforma insignificante, pues de hecho por ella empezó la educación a te - ner el destacado aprecio que el pueblo mexicano le profesa, con la contribu - ción de otros actos posteriores de nuestra historia; pero esta enorme tras - cendencia social no quita a la reforma "científica" el defecto de que para el desarrollo de la ciencia resultó nefasta, en la medida en que de hecho - no incrementó significativamente el conocimiento de la ciencia avanzada de su tiempo y, en cambio, asoció a la cultura científica en una pugna social de la cual sólo llegarían golpes destructivos para el aprecio por la cien - cia.

Un portavoz de la reacción ideológica motivada por la asociación del térmi-

no "científico" con el porfirismo lo fue Antonio Caso, uno de los ideólogos de mayor ascendiente entre la intelectualidad mexicana por varias décadas, desde la segunda de este siglo, quien atacó a Barreda por haber consagrado la educación a la ciencia, omitiendo las letras, el arte y la moral (Solana, 558)*; esta opinión de Caso no demuestra de ningún modo que la ciencia hubiese sido la obsesión dominante de la educación porfirista, sino que la discusión en torno a lo "científico" estaba viciada de origen, impregnada de una ideologización que alcanzara extremos en el cardenismo. Luego de la reforma liberal, fue la vasconcelista la siguiente oportunidad modernizadora. Parece indudable que como proceso concentrado en pocos años, esta reforma es la más importante que jamás hubo en México. El presidente de entonces, Obregón, dijo el primero de septiembre de 1924: "Teniendo la enseñanza industrial mayor importancia que la literaria, juzgo conveniente que se declare a aquélla obligatoria, a fin de tener capacidad técnica indispensable para explotar ventajosamente las riquezas del país y procurar hacer de México un productor y explotador de artículos manufacturados, en vez de ser, como sucede ahora, importador de muchas manufacturas para las que se utilizan nuestras materias primas... "Esta concepción significa un enorme salto respecto de la mentalidad anterior, pero tiene dos puntos débiles: el discutible intento de jerarquización entre la tecnología y lo literario, junto a la idea de que la "enseñanza industrial" puede enfocarse pragmática y estrechamente sin que pierda capacidad creativa. Como veremos, esta manera de ver el dominio nacional de la técnica arraigó profundamente y se mantuvo inalterada durante varias décadas.

La reforma vasconcelista ha sido estudiada y elogiada con profusión. Sus méritos son enormes, pero tuvo -como era imposible que dejara de tener- el vacío de ignorar las ciencias naturales, que para la tercera década de -- nuestro siglo, cuando ocurrió esta reforma, habían llevado a la física casi a la cima de la teoría cuántica. No podía llenar este hueco por una razón sencillísima: no es verdad que la educación porfirista cimentada por -- Barreda se concentrara en la ciencia, pues para los 20's de nuestro siglo no existían científicos que dominaran la física y las matemáticas por enton

* Las referencias bibliográficas señalan autor y página. La ficha bibliográfica de la obra aludida aparece al final del trabajo.

ces en boga en los países avanzados, con la singular, y muy digna de reconocimiento, excepción de Sotero Prieto.

El siguiente hito en la educación es la "reforma socialista" del cardenismo, en el que lo científico adquirió rotunda preminencia, pero desgraciadamente en una versión completamente supeditada a las luchas políticas e ideológicas. La educación recibió la orientación destinada a excluir toda doctrina religiosa, combatir fanatismos y prejuicios, crear en la juventud un concepto racional y exacto del universo y subordinar la educación impartida por los particulares al estado; en este contexto, lo "científico" se enfiló en una dirección bastante diferente a la que distingue a la ciencia contemporánea, pues concibió a la ciencia como una versión de un dudoso materialismo que, en filosofía, debería enfrentarse al idealismo, en una prolongación de las luchas ideológicas del siglo pasado. Esta reforma no se detuvo mucho en la evaluación de los contenidos que debía incluir la enseñanza y más bien se orientó a una refundición de los materiales comunes de los programas tradicionales en los tres rubros de naturaleza, trabajo y sociedad, buscando el cariz socialista al subrayar la concepción materialista del universo, del origen del mundo y de la vida, así como sobre el carácter material de los fenómenos naturales" (Castillo, 62).

La supeditación en que se colocó a la ciencia respecto de las exigencias de la lucha política queda de manifiesto en estas palabras de Cárdenas, siendo presidente: "...México.. es uno de los países más necesitados del concurso creador y civilizador de la ciencia...", para agregar que la reforma educativa "ha de suprimir radicalmente el monopolio y privilegio de las clases acomodadas... en forma de que todas las oportunidades de educación superior queden para provecho exclusivo de las clases trabajadoras del país..." (Solana, 289). Ese no era, evidentemente, el momento de que la ciencia recibiera el tratamiento de libertad y tolerancia que necesita para su desarrollo.

Desde ese momento, la tecnología fue valorada altamente, pero por desgracia

se reafirmó la deficiencia que ya señalábamos en la época vasconcelista. A principios de 1937 se creó el Instituto Politécnico Nacional. Cárdenas dijo algo de tiempo después: "la educación debería dar el aspecto real de la ciencia y la tendencia social de la Revolución, pero respetar al mismo tiempo la facultad de los padres a inculcar libremente en el hogar las creencias que mejor les parecieren...", donde el "pero" es extraordinariamente elocuente acerca de lo que se entiende por "aspecto real de la ciencia"; es lógico, dado que se tenía esa noción de la ciencia, que no se sintiera premio por desarrollar junto a la educación tecnológica el cultivo riguroso de las teorías científicas; resultado de ello es que hasta 1964 se creó el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Desde entonces, la educación tecnológica ha crecido enormemente, pero siempre concebida como la "enseñanza y el aprendizaje del saber hacer", nítidamente diferenciada de la "cultura" que atañe al "modo de ser", como dijera Agustín Yáñez cuando fue Secretario de Educación Pública. En resumen, en México hay una fuerte tendencia a concebir la tecnología como una técnica sin ciencia, con las inevitables restricciones en la capacidad creativa de tantos ingenieros que reciben una cultura más próxima al técnico en reparación o mantenimiento, que el ingeniero con ingenio creativo.

Al negar a la enseñanza tecnológica y científica su calidad de integrante de la cultura, es inevitable que se le enfoque como una nueva instrucción, diferente a la educación. De ello a concentrar la atención, al discutir los problemas pedagógicos de estas disciplinas, en los métodos de enseñanza, apenas si hay un paso, razón por la cual encontramos tan frecuentemente que las posteriores reformas, minireformas o contra-reformas son apenas reubicaciones de temas, ampliaciones, contracciones o cancelaciones de algunos capítulos, pero es insignificante el esfuerzo destinado a valorar lo correcto o exitoso del enfoque intrínsecamente incluido en la forma de presentar las teorías científicas, ya sea en las lecciones básicas o en la forma de teorías técnicas con fines de aplicación productiva directa. Esta "pedagogitis", que adelante comentaré con algún detalle mayor, es una consecuencia más del error de seccionar a la ciencia y la tecnología de la cultura general.

Lo dicho hasta aquí cuadra a la educación englobada en la Secretaría de Educación Pública. Como es sabido, la autonomía de las universidades, sobre todo la de la Nacional, trajo peculiaridades propias a nuestro sistema educativo y una de ellas fue que la enseñanza de las ciencias encontró un terreno - mucho más propicio para su propio desarrollo en el ámbito de la UNAM, que en el sistema educativo nacional; asociado a ello, la diferencia tan acentuada del enfoque con que se ha cultivado la ciencia en la mayor universidad del país y el que se usa en el sistema nacional, ha reforzado el distanciamiento entre los científicos altamente calificados de la Facultad de Ciencias y los institutos, con relación a los encargados de decidir sobre la enseñanza de la ciencia en la estructura educativa nacional, que abarca la primaria, la secundaria y una parte de la superior. Apenas en los últimos quince años o algo así se han insinuado, con debilidad, las posibilidades de que haya incidencia de científicos en las decisiones educativas y en este proceso tal vez la física sea la más rezagada de las ciencias básicas.

A la UNAM cabe, sin la menor duda, el honor de haber sido la matriz primigenia en el cultivo de las ciencias físico-matemáticas contemporáneas. Es fácil identificar en la rectoría de un científico natural, el Dr. Nabor Carrillo, al periodo de apoyo más resuelto a la creación de una infraestructura - capaz de sustentar a una comunidad científica en condiciones de medirse con el mundo científico internacional; aunque antes y después de ese periodo hubo esfuerzos meritorios de mucha gente, los cuales dieron como resultado la fuerza creativa que antes hemos descrito. Actualmente se cultiva la física a escala nacional y hay posibilidades de que se haga realidad un proceso de descentralización del que hay escasos precedentes. La Facultad de Ciencias es, sin duda, el núcleo mejor calificado en la enseñanza y su Centro de Enseñanza de la Física constituye una fuente de iniciativas y propuestas de primera importancia.

Por el camino que a muy grandes rasgos hemos reseñado, la comunidad científica -en particular los físicos- ha llegado a la situación que al comienzo describimos: tiene un alto nivel en su especialidad, pero se encuentra rodeada por un ambiente poco propicio y a veces, incluso adverso. Las posibilidades de influencia cultural de los científicos son reducidas. Como producto de ello podemos asegurar que la cultura literaria dominante es profundamente ex

traña a la cultura requerida para que la ciencia moderna corra por la sociedad, de modo que en la vida espontánea de los mexicanos pudiera tener un pequeño lugar, así como tiene sus espacios propios el cultivo de la música, - la poesía o la historia, en diversos rumbos geográficos y en variadas situaciones socio-económicas.

Además del mecanismo principal de influencia cultural que es la educación, hay otros canales englobados en lo que se entiende por comunicación o divulgación. Si quitamos la comunicación interna de la comunidad científica, podemos reconocer dos grandes categorías en los mecanismos o procedimientos - que llevan información a los habitantes de un país acerca de la ciencia; la primera categoría comprende a los procesos en los que intervienen directa y decisivamente los científicos aceptablemente compenetrados en las teorías modernas, que incluyen conferencias, publicaciones, concursos y muchos - - otros actos que son actualmente posibles gracias a la televisión, el cine y el radio; la segunda categoría incluye a toda la variada colección de planteamientos que acerca de la ciencia hacen los periodistas, comunicadores de tipo diverso, creadores de series infantiles y todos los que usan el prestigio internacional de la ciencia con toda clase de propósitos, pero casi - - siempre involucrando la obtención de ganancias.

En la primera categoría es en la que advertimos fenómenos nuevos en los - - años recientes, en la forma de publicaciones de divulgación; también aparecen esporádicas acciones y una institución universitaria consagrada a esta labor con exigencias de gran rigor en su trabajo, que es el Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia. La Sociedad Mexicana de Física, la - Academia de la Investigación Científica y otras instituciones, además de algunos grupos de científicos entusiastas, han realizado ya variadas acciones precursoras. Pero todo es nuevo. La falta de tradición explica la inexistencia de canales que den circulación a los trabajos divulgadores; el aislamiento de la comunidad científica también dificulta la comunicación por partida doble pues no hay hábitos publicitarios entre los hombres de ciencia, al tiempo que tampoco hay expectación o interés entre la población.

Un estudio publicado en 1980, sobre la comunicación de la actividad cientí-

fica en México, dirigido por María Luisa Rodríguez Sala, dice que en 46 años (de 1930 a 1976) en el Excelsior aparecieron algo más de 200 noticias sobre las ciencias naturales y exactas originadas en los centros nacionales de educación superior considerados en la investigación: UNAM, IPN, UAM y cinco centros del interior de la república; no se precisa qué se entendió por "noticia sobre ciencias naturales y exactas", pero ni falta que hace, pues un promedio de noticias muy inferior a las 10 por año equivalen a un total y completo mutismo, ante los oídos de una población asediada por niveles de información superiores por muchas órdenes de magnitud. Puede hacerse la conjetura de que nuestra comunidad, formada en el aislamiento, concentrada en su autosuperación, quizá tienda a practicar una divulgación más preocupada por el rigor que por la efectividad publicitaria; el argumento de que lo ideal sería fundir ambos méritos, el rigor y la efectividad, contestaría que los cánones de formación de la opinión pública no son propios para el rigor, justamente porque la cultura literaria predominante, desvirtuada además por valores muy deleznable, tiene una orientación muy lejana a las concepciones que sustentan la cultura científica. De una u otra forma, lo esencial para este capítulo es que la presencia pública de los científicos, para todo propósito práctico, ha sido nula hasta hace unos pocos años y que, incluso en el presente, tiene una mínima significación.

De las consideraciones expuestas sería incorrecto deducir que me inclino a criticar la preocupación por el rigor o la concentración del grueso de los científicos en su especialidad; más precisamente, lo que me parece es que los hábitos de la colectividad científica, en conjunto, no son del todo adecuados para un país que requiere de gigantescos esfuerzos para transformar su cultura y aumentar su capacidad para hacer uso de la ciencia moderna. En verdad, ni siquiera creo que exista una incapacidad aplastante de los científicos mexicanos para comunicarse con el gran público, pues me consta que algunos son grandes expositores orales o por escrito, aunque quizá eso tenga mayor validez para las primeras generaciones; recibí la atinada observación de que la educación, en general, ha evolucionado en las últimas décadas hacia una inferior calidad; de cualquier manera, observo el mayor problema en la estructura demasiado cerrada o autárquica de las instituciones científicas, lo cual inhibe los hábitos publicitarios. Esto es inexplicable por el

proceso seguido en la formación histórica del gremio de los físicos, pero creó llegado el momento de plantearse una nueva problemática.

Un índice de este fenómeno lo encontramos en el trabajo sobre la comunicación citado, en el que dice en la página 60, que al comparar las prácticas de comunicación entre investigadores de física, de matemáticas y de ciencias de la tierra, resulta una actividad de comunicación interna, entre el gremio mismo, superior en el caso de los físicos que en los otros dos grupos; al mismo tiempo, contrasta lo anterior con el carácter ocasional con que todos los científicos recurren al sistema de comunicación externo a su gremio. Creo entrever el hecho de que un sistema institucional determina estos hábitos en el dato revelado en la misma página, de que en la UAM se intenta incidir en un auditorio más amplio a través de los medios masivos que en la UNAM, independientemente de a cual de los tres grupos de investigación se pertenezca, es decir, no es una actitud profesional, sino una resultante de las estructuras institucionales.

Un último dato, de la página 58 de la fuente mencionada, es que la ligazón o pertenencia del grupo de investigadores al sistema internacional de su especialidad es "mucho más acentuada" en el caso de los físicos que en las demás especialidades.

El cuadro final es que los físicos han constituido una colectividad con alta calidad intrínseca, que tiene un gran dinamismo interno, buen reconocimiento internacional de su labor, pero están en un aislamiento compartido con todos los demás investigadores respecto de la población; con lo cual la primera categoría de comunicación científica queda reducida a una ínfima magnitud, confiriendo por lo tanto un mayor peso a la segunda categoría de información acerca de la ciencia, en la que los científicos no intervienen directa ni decisivamente, o simplemente es ajena a ellos.

Esta segunda categoría de divulgación en nuestro país no puede merecer otro calificativo que el de desastrosa. Su contenido no ha sido estudiado por

ningún especialista, pero como veremos constituye, junto a la imagen proyectada por el sistema escolarizado, el otro factor que produce ideas acerca - de la ciencia y su cultivo; al tiempo que la escuela da una imagen de acartonamiento heroico del científico, semejante a la idea asociada con los mártires históricos, la divulgación sin científicos promueve imágenes caricaturescas, cuando no de plano grotescas. Una que otra serie televisiva, proveniente del extranjero, ha conseguido altos índices de penetración, pero la mayor parte de ellas tienen escaso auditorio, con todo y la elevada calidad que en general tiene; en México no se produce todavía una comunicación masiva con orientación y calidad aceptables. Por esta razón, las imágenes implícitamente inducidas en las películas infantiles carecen de contrapesos o parámetros referenciales que ayuden a darle su justo peso a lo que es un mero pretexto para entretener o hacer reír.

Un caso en el que la comunidad científica podría haber opinado con grandes dividendos masivos, es en torno a las acciones publicitarias relacionadas - con el Dr. Rodolfo Neri Vela, primer astronauta mexicano, pero por lo que se alcanza a percibir parece que su imagen fue delineada con criterios primordialmente políticos. Es uno de los pocos casos de actividades científicas que tiene alcances masivos en los términos que actualmente se implican en el término.

Para hacer una mínima evaluación del efecto que los hechos descritos producen sobre la población, he usado uno de los pocos trabajos de sociología de la ciencia que se han publicado: "El científico en México: su imagen entre los estudiantes de enseñanza media" libro de María Luisa Rodríguez Sala de Gómez Gil, en el que se muestra que la imagen del científico entre una muestra de 7,400 jóvenes de secundaria y bachillerato, con edades entre 12 y 19 años, de cinco ciudades de muy diferentes rumbos del país, encuestados en 1969, puede resumirse de la manera descrita a continuación.

En el aspecto positivo, los jóvenes entrevistados como muestra conciben al científico prestando un servicio a la humanidad, a su patria y al mundo; -

trabajando para que desaparezca el hambre, la pobreza y el sufrimiento; como un reformador que ayuda a descubrir un mundo maravilloso, que trabaja todo el día en la investigación científica, con una vida llena de ciencia y de libros, con una inteligencia muy grande, que capta fácilmente todos los problemas que se le presentan; lo imaginan en un laboratorio rodeado de instrumentos complicados tratando de descubrir, inventar y experimentar algo. Lo describen como una persona anciana o grande, de pelo blanco; buscando la -- verdad, que no piensa en sí mismo, como un sacerdote que renuncia al mundo olvidándose de las bajas cosas de la vida. Dicen que los científicos pueden hacerlo todo, para ellos nada es imposible; sin ellos estaríamos en la época de las cavernas; tienen "futuro" y mucho dinero, usan lentes y bata blanca, son limpios en su persona y se preocupan de su aspecto personal. Se imaginan al científico como una persona común y corriente, con poco pelo, de personalidad muy interesante, agradable y a quien le gusta discutir. Me recen respeto y son personas felices.

En el aspecto negativo, la imagen que tienen es la de una persona retraída, con poco trato humano, aburrida, egoísta, despreocupada de su arreglo personal, un tanto loca, fuera de lo normal pues ha perdido la razón de tanto estudiar. Tiene mal carácter, es déspota e intolerante con los errores de -- sus compañeros; es duro, frío y puede causar atrocidades en el mundo. Busca el prestigio y la fama; estudia para enriquecerse, es excéntrico y ha -- causado grandes perjuicios a la humanidad. Tiene mente enferma al investigar absurdos. Sus descubrimientos destruyen a otros pueblos más pobres -- (Vietnam, napalm, bomba H). En Estados Unidos los quieren para inventar -- bombas que destruyan a la humanidad. Estos científicos y sus patrones merecen la peor de las muertes. El científico es imaginado como vanidoso, que cree saberlo todo; como una persona que se encierra en sus propios conocimientos, que desprecia a los demás por no servir para nada; como alguien -- que vive solo y no sabe nada de la vida porque es un inepto para todo lo -- que no sea ciencia. Concluye la autora su resumen de los aspectos negativos consignando que algunos estudiantes garantizaron que en México no se le da importancia a estas personas.

No describe la distribución de las opiniones que sustentan los numerosos de talles consignados, pero indica que la imagen positiva se formó a través - del análisis de 5171 respuestas diferentes mientras que la negativa lo fue con 371 respuestas, de lo cual se deduce que la evaluación positiva del -- científico es arrolladoramente aplastante sobre la negativa, lo cual tiene un aspecto ventajoso para la comunidad científica, pero creo que en conjunto son tan vagas, abstractas e irreales las dos evaluaciones que no pueden ser un factor de mucha importancia práctica para suscitar acciones concre - tas y relevantes, que lleven a los jóvenes a la ciencia, a causa del esque - matismo maniqueo de "héroe impoluto" que me parece entrever en la cara posi - tiva de la imagen del científico mostrada por estos jóvenes. Lo que me lla - mó muy poderosamente la atención, fue que la autora del libro concluyera, de estas opiniones que he transcrito ligeramente abreviadas, que "la adoles - cencia entrevistada, en la mayoría de los casos, posee una imagen bastante cercana a la realidad"; (148) con lo cual quedo en la grave disyuntiva de creer que una investigadora del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM consigna mal el resultado de una investigación o que tiene una imagen del científico tan alejada de la realidad como la que tienen los jóvenes - interrogados.

El resultado de estas percepciones es que entre los jóvenes hay poco inte - rés por seguir una carrera científica; que en toda la población existe una incomprensión generalizada de los enfoques o concepciones fundamentales de la ciencia contemporánea y que en la clase dirigente apenas se empieza a - abrir paso la idea de que tiene un papel decisivo en la creación de la capa - cidad tecnológica del país. Por último, no se reconoce que sea parte de la cultura indispensable para la modernización espiritual de México. Creo poder decir que esto último es, incluso, uno de los puntos de coincidencia de todas las corrientes políticas que disputan por el poder.

La conclusión inevitable es que la capacidad de influencia cultural de la comunidad científica mexicana es mínima. Ello es congruente con el hecho - de que contemos con menos de un investigador con estudios de posgrado por -

cada diez mil habitantes (siete mil en 1984), porcentaje veinte o treinta veces superior en los países desarrollados. Con la crisis asfixiante, el apoyo oficial a los estudios de posgrado se ha reducido exponencialmente en los últimos años. Las perspectivas no son precisamente de lo más halagüeño.

A pesar de todo, los científicos mexicanos cuentan con varios puntos fuertes que pueden ponerse en juego. En primer término, su preparación; en segundo, la imperiosa necesidad que las sociedades modernas tienen de la ciencia; en tercero, una madurez que puede ser base para iniciar la marcha hacia la sociedad; en cuarto, varios trabajos precursores para incidir en el sistema escolar y para hacer divulgación. Si se abre paso el planteamiento de que la comunidad científica debe incluir entre sus tareas la de incrementar su presencia ante la población mexicana, creo que serán muchos los éxitos - que pueden todavía cosecharse, y de ningún modo reducidos al aumento de la aceptación social, sino como condición para dotar al gremio científico de mejores capacidades para continuar su ascenso en la conquista de las escarpadas cumbres de la ciencia contemporánea. Me parece que, como en las expediciones a los picos de los Himalaya, aunque quienes llegan a colocar la bandera, símbolo del triunfo, son unos pocos atletas, la hazaña es imposible sin el apoyo de toda una tecnología que proporciona el equipo necesario, - sin los "sherpas" que abastecen y resuelven numerosos problemas de logística y sin los estímulos sociales que alientan a los montañistas a realizar - un esfuerzo que por sí mismo reditúa satisfacciones pero que sin los refuerzos de la comunidad no se puede sostener ni profundizar. En este símil, - faltaría otro ingrediente que para la tesis que presentaré en todo el trabajo es esencial: el apoyo que la sociedad ofrece a los trepadores en forma de conocimientos técnicos acumulados en las instituciones, junto a las características de mentalidad y carácter necesarias para salir vencedores en los momentos de la más crítica decisión, cuando la condición física y el -- equipo no son suficientes e interviene esa capacidad íntima, individual o de conjunto, que hace la diferencia entre los que pueden saltar a donde nadie lo había hecho y quienes deben conformarse con rondar en torno a las -- normas de su tiempo.

En la medida en que la comunidad científica comprenda la necesidad de acoplarse sus funciones de mejor manera a las peculiaridades nacionales, podrá incidir con mayor eficacia en la sociedad, pero inevitablemente también -- ella se verá transformada. Desde ambos cambios, los sociales y los internos, creo que surgirán factores de refuerzo y elevación en la calidad de la producción científica, lo mismo que en la capacidad nacional para hacer uso de la ciencia contemporánea.

CAPITULO III

LA CULTURA Y LA CIENCIA EN MEXICO

Sinopsis

"La ciencia es cultura" no es una expresión con vigencia obvia en - - nuestro país. Hay numerosas muestras de que los valores hegemónicos de la - cultura mexicana tienen, cuando menos, poca aptitud para recibir como injerto floreciente a las ciencias naturales contemporáneas, sobre todo a las físico-matemáticas.

Mientras que se suele considerar a las disciplinas histórico-literarias como definitorias de un "modo de ser", a las científico-tecnológicas se las limita a la esfera de las "formas de hacer". En la realidad, el hombre - entra en conocimiento de la naturaleza y, con mayor razón todavía, a la transformación de la misma, con la mediación de su cultura y no de un modo inmediateo, desnudo o ingenuo; por ello, las ciencias naturales también constituyen - parte del modo de ser de las sociedades. El error mencionado, de evaluar la ciencia como un recurso operativo, es en realidad el resultado de una extrañeza esencial entre la cultura dominante y el sustrato cultural subyacente a - las ciencias físico-matemáticas contemporáneas.

El camino a través del cual se incorporan los resultados positivos de las ciencias naturales a la cultura general, es mediante la imagen de la naturaleza que una estructura cultural incluye.

Una tarea de importancia para abrirle paso a la socialización de las ciencias contemporáneas en la precisión de las imágenes de la naturaleza incluidas en las culturas de mayor importancia para nuestro país.

LA CULTURA Y LA CIENCIA EN MEXICO

Como decíamos, en México el problema del lugar que ocupa el conocimiento científico en el pensamiento social ni siquiera puede formularse, como en los países avanzados, en términos de dos culturas diferenciadas, en una relación jerárquica favorable a la cultura tradicional o literaria, cuyos sustentadores monopolizan la representación del trabajo intelectual frente a la sociedad. En nuestro país el problema es más llano y escueto: "la ciencia no forma parte de la cultura contemporánea", como lo sintetizara con palabras incisivas el Dr. Estrada (Estrada, 57).

Entre nosotros, el concepto de cultura difícilmente admite la información científica como un ingrediente necesario de las formaciones culturales existentes, las mismas que requieren de un desarrollo, a fin de aumentar la capacidad espiritual de la nación para modernizar sus estructuras y salir del atolladero en que ahora se encuentra.

Un breve pero brillante manual del erudito Pedro Henríquez Ureña, titulado "Historia de la Cultura en América Hispánica" nos permite respaldar con una prueba documental de reconocido prestigio las anteriores afirmaciones. En ese manual, que cubre desde la colonia hasta los años 40 de nuestro siglo, abundan las referencias a todos los movimientos y creadores culturales más importantes de lo que hoy son los países tercermundistas de América; sobresalen los autores, obras y temas de literatura -la especialidad del autor- en todos sus géneros; también ocupan un lugar prominente los comentarios sobre corrientes de pensamiento social, ya sea aplicado a la historia, a la política, al derecho o a la economía; la filosofía ocupa un lugar menor, pero los comentarios sobre ella muestran comprensión de sus tendencias e intenciones; aparecen referencias a las artes, la educación, la prensa y otros aspectos de la cultura, pero es rotundamente elocuente la parquedad con que habla de la actividad científica. En esta última, la medicina y ciencias afines agrupan la mayor parte de las alusiones; lo demás se reduce a mencionar los nombres de científicos e instituciones como Sociedades, Museos, agregando alguna información sobre las fechas relacionadas con ellos y el campo de la ciencia en que jugaron algún papel. No aparece ningún intento de contextualización o alguna referencia a las intenciones o escuelas a las que pertenecieron. En la fisi-

ca, el único mexicano que se menciona es Sandoval Vallarta y sus trabajos sobre rayos cósmicos (p. 136). Hay una nota reveladora tanto de la perspicacia del autor como de la situación de la ciencia en la América Latina, desde siglos, en la página 98, a pie de página dice: "Esta reseña de la cultura científica es incompleta, porque se ha escrito poco sobre el cultivo de las ciencias en la América Hispánica durante el siglo XIX". En efecto su cita de científicos de todos los países latinoamericanos del siglo pasado apenas llenan dos páginas de este manual en pequeño formato.

Esta situación tiene dos razones muy fácilmente demostrables: las ciencias naturales se han cultivado poco en nuestro país y el aprecio por ese poco trabajo es todavía menor.

Ya que hablamos de muchos países con los que compartimos numerosos elementos históricos, pero sobre todo culturales, podríamos ampliar un poco la valoración de estos fenómenos si incluimos en el análisis comparativo a España, con la cual tenemos coincidencias ampliamente reconocidas, pero que tiene la importante diferencia de haber sido, siglos atrás, una potencia mundial de primer orden y de tener todos los requisitos o características para considerarla una nación suficientemente madura.

Como es notorio, España está lejos de ser una potencia científica; podríamos hasta decir que mantenemos el parentesco en este punto, pero hay diferencias fáciles de percibir. Los españoles discuten desde hace más de un siglo qué pasa con lo que llaman la "ciencia española", han incurrido en muy graves errores de valoración, como el nefasto lema de "¡que inventen ellos para aprovecharnos nosotros!", asociado ni más ni menos que con Unamuno (García Camarero, '20), han polemizado profusamente desde posiciones encontradas, con la intervención de Menéndez y Pelayo, de Ramón y Cajal, de Ortega y Gasset o de Rey Pastor y de mucha gente más. Han cometido errores, pero tienen una enorme ventaja con respecto a nosotros, consistente en una superior conciencia de lo que hacen y por qué lo hacen. Creo que nuestra mayor restricción reside en que no hemos logrado, los mexicanos, plantear los problemas del desarrollo cultural con claridad, para organizar con explicitud las valoraciones que por esta causa tienden a quedarse en presuposiciones o implícitos en la inercia del pensamiento heredado por la historia.

En relación con el aumento de las razones que localizaron la revolución científica desde el siglo XVII en ciertos países de Europa, hay una copiosa reflexión en la sociología y en la historia de la ciencia que sería de gran utilidad para nosotros conocer, ubicados originalmente en la esfera de influencia de uno de los países europeos excluidos de esa zona de fecundidad científica, justamente España. Las razones argumentadas son numerosas, tanto las de orden económico o social, como las de carácter intelectual, pero es notable que sólo un país latino haya jugado en los siglos XVIII y XIX un papel tan de vanguardia; Francia, el cual como ha señalado en sus reflexiones sobre esta cuestión el Dr. J. Manuel Lozano, es en buena medida un país germano con habla latina. Todas estas referencias contribuirían a enriquecer nuestros análisis acerca de la reorientación que requiere la vida cultural mexicana, para tornarse propicia al espíritu científico contemporáneo, pero no existirá receptividad para esos trabajos mientras el problema de nuestro retraso cultural no sea reconocido en los justos términos en que se encuentra.

España recupera actualmente importante terreno frente a las potencias científicas. En este proceso le ayuda su ubicación geográfica y su dinamismo político, pero no cabe duda de que sus preocupaciones culturales son más favorables que las nuestras para que los esfuerzos de sus comunidades científicas cuenten con un respaldo estatal y de la sociedad civil que les permitan esos avances.

Además del caso español, podríamos abundar en los esfuerzos que muchos países hacen por incrementar su capacidad de dominio de la ciencia contemporánea; algunos tercermundistas lo hacen por una comprensión de que no basta con adquirir tecnología y el Dr. Abdus Salam citó recientemente a cinco de los que en su opinión, se empeñan en avanzar en esta dirección, Argentina y Brasil entre ellos, pero no México; las potencias intermedias como Francia o Alemania también tienen programas a nivel de gobierno central destinados a desarrollar la mencionada capacidad de sus países; incluso las superpotencias, ensarzadas en su rivalidad, involucran hasta a sus principales líderes en proyectos destinados a modificar patrones culturales, para favorecer la asimilación nacional de la ciencia, tanto a niveles educativos, como en la participación de las fuerzas sociales o en el destino de recursos materiales que apoyen este proceso.

Los párrafos anteriores podrían dar la impresión de que intento ensartar una letanía de lamentaciones para explicar las causas desde el desdén con que la cultura dominante excluye de su seno al conocimiento científico. No es esa mi intención. Lo que me importa es aportar, en un mínimo espacio, referencias y alusiones que permitan ir al único problema que creo vale la pena plantearse: qué deben hacer en México, las personas que se propongan contribuir - al incremento de la capacidad nacional para hacer uso de las ciencias contemporáneas. Conviene recordar que concibo este problema como uno que debe resolverse estratégicamente, a largo plazo, pero que forma el marco en el que se ubica el tema de esta tesis que es el de los "requisitos por arriba" que se necesitan para comprender la física moderna.

El problema mencionado es uno de los grandes problemas no sólo culturales, sino incluso económico-sociales del mundo contemporáneo; no incurriré en el error de intentar respuestas o soluciones al mismo. Apenas si podrían calificarse como vagas insinuaciones del rumbo por el que creo podría avanzarse en busca de ese moderno vellocino de oro que significa la solución de tamaño - - enigma.

Antes que nada, sería necesario plantear con la mayor claridad posible la relación entre los conocimientos científicos y la cultura en general. Este es un reto de muy grandes proporciones por la enorme ambigüedad que ha llegado a adquirir el concepto de cultura, especialmente en un país en el que es más elevada la probabilidad de que, en una mesa redonda sobre cuestiones culturales, se mencione a "Cantinflas" o a un compositor de canciones etílicas que a Marcos Moshinsky. Me parece que esta relación, en el presente, es fácilmente descriptible: es nula en México. Esto suena radical, pero creo que es la clave para explicarse la pésima capacidad de influencia cultural de la comunidad científica sobre el resto de la sociedad.

Las modernas ciencias naturales requieren de un esfuerzo concentrado e intenso para dominarlas; al parecer exigen una exclusividad como la de algunas otras disciplinas cuya condición celosa es reconocida desde hace siglos, como la música por ejemplo, para cuyo ejercicio se requiere un oficio y una condición que sólo puede alimentar la práctica sistemática, diaria y constante; al menos en las ramas de mayor dinamismo evolutivo, en la física, creo que hay esta exigencia. Para que en un país puedan trabajar especialistas de este cali-

bre, es claro que se requiere de una estructura organizativa que haga la media ción entre tales "atletas de la investigación" y una sociedad que no tiene nada absolutamente que hacer con los conocimientos concreta e inmediatamente generados por esos especialistas; la estructura organizativa que aludo debería - proveer desde las funciones administrativas adecuadas al trabajo de los investigadores, en los cuales no deberían distraerse ellos según el presupuesto establecido, hasta la conexión con los centros sociales en los que podrían usarse productivamente algunas de las consecuencias tecnológicas y productivas de la investigación básica generada por los punteros. Esos son los extremos de - aparato de sustento, pero además se formaría por sus entronques con el sistema educativo, en los términos ya mencionados en otro capítulo, por los centros y procesos de divulgación científica, por los canales de información y publicidad que mejoren la comprensión de las formas en que una sociedad moderna apoya a y se apoya en sus comunidades científicas. En esta estructura, de modo vigoroso, veríamos correr en ambos sentidos tanto recursos como productos, en suficientes cantidades como para juzgar que ya constituye una parte de la sociedad en forma comparable al intenso tránsito de influencias y sustentos como los - que hay entre la población y los medios de comunicación, que si tienen una integración total y moderna con la vida social, por poner un ejemplo.

Para alcanzar el utópico cuadro que describo en el párrafo anterior, sería necesario modificar tanto la sociedad como el estado en que actualmente se cultiva la ciencia en México. Por su parte, la nación mexicana ha visto - consumidas sus mayores energías en la solución de los problemas sociales y políticos que le han retenido su atención en la mayor parte de su historia; de - ningún modo se trata de características congénitas las que mantienen a este - país alejado de las corrientes de pensamiento científico que en otras latitudes han florecido y fructificado en forma deslumbrante. El problema de si la sociedad ha madurado lo suficiente como para considerar que ha llegado el momento de encauzar las energías sociales hacia las cuestiones que interesan a las ciencias naturales es algo ajeno a la ciencia misma y se puede adoptar la siguiente respuesta: si estamos aquí es porque podemos seguir creciendo, de - modo que, a sabiendas de que sería un problema a discutir por especialistas en sociología, podemos declararlo "no significativo" para la comunidad científica, con el fin de volver la mirada hacia el otro lado: al estado de desarrollo de las ciencias naturales.

Hay pocos trabajos en México destinados a evaluar sistemáticamente la estructura que han adoptado las fuerzas humanas e institucionales que cultivan las ciencias contemporáneas, la física en particular. El auspicio y el apoyo a estos estudios, por parte de los dirigentes del mundo científico con poder, sería una de las tareas de urgencia para contar con datos que ayuden a formular el problema en consideración. Entretanto, podemos suponer con fundamento que en lo relativo a la física vale el diagnóstico incipiente que en capítulo previo se presentó, según el cual es elevada la calidad del núcleo principal que la trabaja, pero es muy débil, casi inexistente, el aparato organizativo - que debería conectar los esfuerzos de la comunidad de investigación en física con el resto de la sociedad.

Ante la situación de un producto valioso, ya maduro, que es la capacidad de investigación, que no se puede usar por el aislamiento en que se encuentra, creo que la cuestión a analizar con mayor cuidado es la de cómo romper - ese aislamiento, con la idea de que al relacionar la investigación en física - con la sociedad que debe apoyarla y beneficiarse de ella, se propiciarán los - cambios positivos hacia la modernización y desarrollo de ambas entidades, tanto de las fuerzas sociales como de la investigación científica misma.

Lo más seguro es que la ruptura de ese aislamiento no puede limitarse a un tipo de medidas; de hecho, ya se han iniciado varios caminos con este - propósito, entre los cuales destaca la actividad de divulgación, la preocupación por crear organismos u orientar los que ya existen hacia el estableci- - miento de acuerdos institucionales que incrementen el apoyo social y estatal a la física, la preocupación por la educación y, quizá sea lo que menos prece- - dentes tiene, el de producir trabajos encaminados a resolver problemas produc- - tivos específicos del país o pertenecientes a campos en los que el avance - - científico hace previsible que tendrá aplicaciones pronto. Todos estos es- - fuerzos, más tarde o más temprano, tendrán incidencia en la imagen pública de los científicos, sus instituciones y sus productos; pero la limitación que me parece encontrarles reside en que no entran en contacto directo con la cultura sobre la que deberían incidir.

Para ilustrar esta objeción, tomemos el caso de la educación, la cual constituye una actividad social de repercusiones indudables sobre las concep-

ciones culturales; mientras los hechos de importancia científica se anexen a los planes y programas de estudio como agregados informativos, que servirán para contestar nuevas preguntas acerca del movimiento de la tierra o para resolver problemas de un examen, cuya razón de ser y de preocupación proviene de la obligación de pasar el examen, no serán ingredientes culturales que repercutan en la forma de ser y de proceder de los educandos. La formación que seguirán recibiendo los estudiantes estará fincada en los juicios que les merezcan los acontecimientos históricos, en los valores deducibles de obras literarias y de los juicios no sistemáticos que les lleguen tanto en la educación escolar como en la no escolarizada; pero ninguno de los valores culturales que impregnan o fundamentan la cultura científica es transmitido cuando las teorías de las ciencias naturales se comunican como información suelta, específicamente ligada a situaciones concretas de la naturaleza. Proceder así es semejante a que se diera información objetiva sobre los acontecimientos históricos, como la guerra de independencia contra España, por ejemplo, sin los enjuiciamientos acostumbrados acerca de lo justo o lo injusto del proceder de cada participante en ese proceso; si se enseñara de esta forma la historia, se le despojaría de su gran peso formativo, mediante el cual se la convierte en uno de los puntales de la cultura universalmente aceptada.

Siguiendo el ejemplo, tendríamos que definir ahora en qué sentido la enseñanza de teorías sobre la naturaleza puede practicarse en un sentido formativo, para despojarla de su presentación secamente positiva, orientada casi exclusivamente a preparar el terreno para una eventual y futura situación de aplicación tecnológica. Antes de iniciar la respuesta a esta cuestión, quisiera señalar que la misma objeción que he desarrollado respecto a la educación, puede hacerse a las otras formas de romper el aislamiento de la actividad científica que hemos mencionado; tanto la divulgación, como los compromisos de colaboración con otras instituciones y los aportes inmediatamente productivos, todas estas actividades pueden limitarse a un nivel de "cómo hacer" cosas para resolver problemas materiales, pero mantener su distancia respecto del "modo de ser" de las sociedades y los individuos. Al hecho de que los conocimientos científicos apuntan a objetivos diferentes de las preocupaciones fundamentales de la cultura, es a lo que me refiero al decir que no tienen relación, en la forma en que actualmente se disponen ambos sectores del pensamiento social. Los ámbitos en que se mueven las dos actividades espirituales resultan esen-

cialmente ajenos, por lo cual no es suficiente que se incremente el lugar que ocupa la ciencia en la sociedad para que salga del "gheto" en el que la coloca la cultura dominante. Recuerdo un ejemplo muy ilustrativo; cuando explicaba el Principio de Arquímedes a partir de la Ley Fundamental de la Hidrostática, una alumna redujo la discusión con categórico laconismo "Ah, esa es la explicación", dijo con cierto aire de satisfacción por el progreso que sentía haber conseguido; pero cuando organicé la discusión sobre el origen de la fuerza que produce el ascenso de un cuerpo con densidad menor que el líquido en el que está sumergido, todo se atascó y no fueron pocas las reacciones de irritación - cuando expliqué que la fuerza de gravedad es la que a fin de cuentas produce el movimiento "hacia arriba". He aquí un típico caso en el que los estudiantes demandan, de acuerdo con la formación recibida, que la información acerca de la naturaleza se restrinja a un conocimiento operativo, que permita hacer previsiones, circunscritas a su ámbito de referencia inmediata, pero que no se extiendan a visiones globalizantes, que no exijan esfuerzos para tender lazos unificadores que enlacen situaciones de carácter aparentemente contrapuesto.

Estas exigencias no se dan en la cultura tradicional, en la que la literatura, la historia y hasta la sociología acostumbra las paradojas, muestran relaciones entre categorías contrapuestas y exponen procesos de análisis mental en los que se requiere flexibilidad y disposición para buscar las conexiones no de manera rectilínea, sino a muy diferentes niveles. Por el contrario, ante las ciencias de la naturaleza pareciera exigirse un sistema de razonamiento siempre de lo más particular a lo más general, en un proceso que iría excluyendo huecos o que al menos intentaría llenar siempre los elementos intermedios, pero que jamás se permitiera intentar el descubrimiento de relaciones entre fenómenos de diferente nivel de conceptualización. En esta comparación o mejor dicho, en esta contraposición es donde se pone de manifiesto la inconveniencia o falta de compatibilidad entre la estructura genéricamente aceptada del conocimiento científico y la de la cultura tradicional; la relación entre ambos productos del pensamiento no solamente es débil o nula, no sólo lo encierra incomprensión, sino que tiene extrañeza, es decir, tiene dinámicas, lógicas o pretensiones incompatibles. Lo que cuadra a uno, no encaja en la otra.

Volvamos ahora la atención al asunto del camino por el cual se puede romper el cerco en el que se encuentra la actividad y el pensamiento de los -

científicos. Mi opinión es que los diferentes enlaces o puentes de comunicación con la sociedad que ya hemos mencionado, deben rodearse o impregnarse de propósitos culturales que rebasen los niveles escuetamente informativos; este rebasamiento creo que debería tener un tema central: la discusión de la imagen que se tiene de la naturaleza. Junto a este tema central está, el de difundir el método científico y una serie de actitudes muy firmemente arraigadas en la cultura de los científicos y que tienen valor universal, algunas con mayor vigencia, como la tolerancia hacia el pensamiento divergente o la honestidad intelectual. Me parece que podemos hacer una analogía entre la perseverancia o regularidad con la que los humanistas extraen conclusiones formativas del material concreto de su estudio y la necesidad de que en el trabajo de difusión de la ciencia hacia la sociedad se atiendan estos elementos plena y cabalmente culturales.

No conozco estudios acerca de la capacidad de "penetración" o permeabilidad social de las ciencias físico-matemáticas y las médico-biológicas, pero creo haber detectado indicios de que los coeficientes de penetración en la sociedad son mayores en el caso de las médico-biológicas; al menos entre la población actual del bachillerato, he podido constatarlo de manera empírica pero indudable por mi trabajo en ese medio durante quince años. Me parece que la explicación de ello es de carácter cultural y no tan estrechamente ligada al famoso mito de que la biología ofrece un refugio bastante seguro contra las matemáticas; si la clave estuviera en esto último, todavía tendríamos el problema de explicarnos por qué se ha llegado a la situación de crisis tan universalmente reconocida de la enseñanza de las matemáticas. Dejando esto de lado, la tesis que propongo explicaría la menor penetración de la física, en particular, a causa de que las imágenes de la naturaleza asociadas con los fenómenos biológicos son más ampliamente comentadas y comprendidas que las relacionadas con los fenómenos físicos en la estructura cultural de nuestro país.

La imagen de la naturaleza es un producto cultural, resultante de un proceso muy complicado en el que intervienen informaciones tanto de carácter escolar como de origen extraescolar. La educación recibida desde los primeros años, las figuras que se asocian con muchas expresiones coloquiales y cotidianas, las narraciones imaginarias y de la literatura universal que aluden a fenómenos naturales, todas éstas son fuentes de elementos que integran la imagen que cada quien se forma de la naturaleza. Hay algunos grandes temas que siem-

pre se incluirán en la imagen que tenemos del mundo: la forma y el tamaño del cosmos; las nociones de continuidad y discontinuidad asociadas al espacio; el lugar y el papel que le corresponde al hombre en el llamado concierto universal; las conexiones y la delimitación de la esfera de la vida y la de los seres inanimados; el sentido que se atribuye a la evolución o desarrollo de la naturaleza; las ideas acerca de la casualidad, la regularidad y otras categorías por el estilo. Junto a estos grandes temas hay enorme cantidad de elementos que adquieren importancia por diferentes razones, cuyo estudio y clasificación sería una de las preocupaciones culturales que deberían formar parte de la actividad científica. Sin la menor pretensión, podría mencionar éstos: el átomo, sus formas de movimiento, enlace y transformación; la célula y sus maravillosas funciones; las reacciones químicas; las maravillas de la luz; los fenómenos meteorológicos; la estructura de los gases; el problema de los colores y sus efectos psicológicos, etc.

Por supuesto que también es parte de nuestra cultura saber diferenciar entre las historias de ficción, los cuentos infantiles o las mitologías y las explicaciones científicas, pero hay elementos de nuestra experiencia inmediata que no tienen nada de ficticios, como el de la "tendencia al reposo" de los cuerpos que vemos, el "horror al vacío" que muestra la naturaleza en el seno de nuestra atmósfera; puedo citar un caso muy interesante en la historia de la ciencia, que fue refutado por Descartes antes de la formulación galileana de la inercia, consistente en la historia de que un proyectil no alcanza su máxima velocidad al instante de ser arrojado, sino "un poquito después", por necesitar algo de tiempo para algo así como desplegar toda su potencialidad, la cual historia es plenamente aceptada entre campesinos de diferentes regiones del país en relación con el movimiento de las balas, cuya velocidad evidentemente no han medido ni medirán. Estos elementos de la experiencia inmediata o estas explicaciones no verificables, no son tan fáciles de aislar como las historias de hechicería en las que una bellota se transforma en león; de modo que las imágenes de la naturaleza tienden a formarse en un proceso que nadie supervisa ni tiene nadie por qué supervisar. Lo que a mi juicio se requiere es que quienes cultivan y desarrollan la ciencia contemporánea se lancen a introducir sus productos culturales en esa circulación informativa que hace correr nociones, conjeturas y teorías válidas por el organismo social. La abstención de participar en esta vida cultural cede voluntariamente un terreno ya ganado por el prestigio social de la ciencia, para que sea ocupado por los viejos prejuicios.

cios, por las concepciones de la naturaleza obsoletas e incluso por auténticos mercachifles que colocan la respetable etiqueta de "científico" a cientos de - mercaderías que no sólo causan daño por ser un medio de fraude económico, sino que además perjudican en el terreno cultural, al impregnar de nociones falsas la mentalidad de sus víctimas.

Las historias acerca de la forma de moverse de los OVNIS, por ejemplo, no pueden dejar de imprimir ideas sobre el movimiento mecánico, aunque la mayoría de la población diferencia entre la realidad probada y la conjetura por ve rificar de que otros mundos nos vigilan; la conocida anécdota de los astrónomos de que los taxistas o sus conocidos eventuales le envían por su conducto saludos al más prestigioso de sus colegas: Pedro Ferriz; las hazañas de Uri Gell-ler; el torrente de publicaciones de todo tipo sobre los poderes de la mente - no ha dejado de repercutir en los ingresos de nuestros brujos profesionales; - las referencias de tiras cómicas a comunicaciones de sus personajes con plan- tas no deja de buscar una resonancia con los juicios sobre las emociones de los vegetales y por este camino, contribuye a la formación de imágenes de la naturaleza; así puede hacerse un trabajo de localización de las fuentes que - aportan ingredientes para la formación de los aspectos culturales distorsionados que se contraponen a las concepciones que requeriría una conexión fructife ra entre la cultura socialmente dominante y la ciencia contemporánea. Este - trabajo que puede y que debería hacerse, para detectar los factores aberrantes, no es sin embargo al que deseo referirme cuando inicio estas reflexiones globa les sobre las relaciones entre la cultura dominante y el pensamiento científico.

Si dejamos de lado las formulaciones aberrantes del concepto de lo - científico, aún tenemos el problema de que las imágenes de la naturaleza formadas al abrigo de la cultura tradicional entran en choque con las bases filosófico-culturales que requieren las ciencias físicas desde el siglo XVII. Un - problema destaca por encima de los otros: la relación entre movimiento y estatismo o inmovilidad; las transformaciones conceptuales aportados por Galileo, Newton y demás en ese siglo tuvieron -entre sus otras consecuencias- un claro punto de ruptura respecto del pasado en la cuestión de qué prefiere la naturaleza: el reposo o el movimiento. Este cambio es uno en el que no caben dudas acerca de que hubo discontinuidad y abandono de una concepción para asimilar - otra; desde el punto de vista de la filosofía y la historia de la ciencia es - quizá, la transformación revolucionaria mejor estudiada en Europa y E.U.

Las razones por las cuales nuestra cultura es inmovilista en su esencia, van más allá de la continuidad histórica con la vieja cultura aristotélica que nos trajeron los españoles y que hemos desarrollado y modulado dentro de patrones esencialmente literario-humanistas; por supuesto que también debemos encontrar razones para ello en las experiencias cotidianamente presenciadas por todo mundo en las que el reposo se presenta como el "estado natural" por excelencia. Pero la médula del asunto es que el espacio ganado en la cultura mexicana por las concepciones asociadas a la imagen dinámica de la naturaleza, nacida hace treécientos años, es muy reducido. Si fuera una diferencia calificable de cuantitativa, es decir, que se subsana difundiendo un dato más, del estilo de dar a conocer información adicional sobre un fenómeno conocido, el problema no sería tan grave; el punto conflictivo es que justamente no se trata de una deficiencia de información concreta, sino de una mentalidad que requiere de un cambio de rumbo, de una reconfiguración esencial.

Detectando y diagnosticando el problema de la concepción estática del universo, como uno de los principales a resolver, sería necesario promover una verdadera campaña nacional, con duración de varios años, que sometiera a crítica los libros de texto a todos los niveles, que promoviera una "galileización" en la mente de quienes trabajamos en la educación, que destacara este tema en los trabajos de divulgación y que buscara una ruptura explícita para elevar el peso relativo de la concepción dinámica del universo frente a la estática.

Claro que este mismo proceso puede darse a lo largo de muchos años, sin esfuerzos expresamente concentrados, basándose en las imperceptibles modificaciones que propician los cambios de generaciones. Pero del diagnóstico - primeramente presentado, en el sentido de que hay razones para creer que en un periodo de tiempo relativamente breve (unas dos o tres décadas, por decir al--go) se puede aspirar a un cambio en el lugar que la ciencia ocupa en la sociedad, más bien se desprende que se requiere de esfuerzos intensos para promover los cambios culturales que propicien el desarrollo de las ciencias contemporáneas.

La "cultura del reposo" en lo relacionado con la imagen de la naturaleza no tiene su mayor repercusión en la vulgarización tantas veces comentada de que la teoría de la relatividad queda en un: "como dijo Einstein, todo es relativo"; en la que se confunde la relatividad einsteniana con la galileana.

Tampoco tiene sus peores consecuencias en las confusiones entre los estudiantes de física en relación a la explicación de la llamada "paradoja de los gemelos", basada en la dilatación relativista del tiempo. Donde esta cultura es verdaderamente catastrófica, es en las limitaciones que impone para manejar creativamente las teorías científicas y técnicas asociadas con la tecnología moderna. El concebir a la naturaleza como dinámica por excelencia se refleja en imágenes distintas en lo referente a la construcción de máquinas, a procesos químicos, a muchos fenómenos biológicos, a procesos industriales basados en gases, etc.; es en este campo de la vida productiva donde dos concepciones culturales producen dos tipos de imágenes, una de ellas opuesta a lo que realmente sucede y otra favorable. He aquí la razón productiva, material, persuasiva y convincente, por la cual se necesita cambiar la cultura literaria tradicional, por otra que resulte más propicia para que las ciencias salgan de su condición segundona de estructuras del "cómo hacer", para que sean admitidas entre las disciplinas que tienen la suficiente autoridad como para contribuir a la definición del "modo de ser" de los individuos.

Más adelante veremos con mayor detalle aspectos culturales de la concepción contemporánea de la naturaleza. De los diferentes caminos para abrirles paso a los científicos al mundo de la cultura dominante, quisiera comentar otro más. Se trata de la necesaria divulgación y precisión de las imágenes del universo que han existido en diferentes épocas históricas; estas imágenes que acerca del hombre nos formamos en la época moderna. Hay muchas explicaciones teóricas antiguas del mundo exterior al hombre que son de gran unidad, en las que la sociedad y la naturaleza se funden, ligándose de mil maneras; pero actualmente proyectamos sobre ellos nuestra dualidad para estudiar por un lado la sociedad (humanidades) y por separado a la naturaleza (ciencias), con el resultado de que la hegemonía de la cultura literaria propicia el conocimiento de una de las facetas de la mentalidad de esas épocas, con el desconocimiento de la otra.

Un caso excelente como ejemplo es el célebre de los pensadores griegos. Para comenzar, sus escritos conservados son tratados de modo distinto, pues mientras que los referentes al espíritu, a la sociedad, a las costumbres y a la filosofía, son conocidos muy ampliamente, es casi imposible conseguir en nuestro país sus tratados sobre fenómenos naturales, más todavía los que se refieren a los fenómenos físicos. El "De Coelo", de Aristóteles, es casi incon-

seguible, ya sea en librerías o en bibliotecas viejas o modernas; los escritos sobre filosofía natural de otros pensadores griegos menos conocidos son también poco difundidos. Sin embargo, donde es más abrumadora la diferencia en el tratamiento de ambos aspectos culturales es en el estudio, la investigación y la reflexión a que han sido sometidos los tratados griegos dedicados a uno u otro aspecto de la cultura, pues mientras que es apabullante, rico y diversificado, el estudio humanístico-literario, el referente a la naturaleza es pobre, descuidado y marginal; como resultado, las traducciones de los textos del primer tipo son numerosas, las ediciones son cuidadas y existe un andamiaje en las universidades que favorecen su estudio y comprensión. Por el contrario, las obras del segundo tipo son desconocidas y las que se divulgan tienen un contexto desventajoso. Como remate a todo esto, mientras que el pensamiento de los griegos sobre la sociedad recibe una contextualización histórica bastante clara, de modo que sus opiniones sobre la esclavitud o sobre los vicios y virtudes se explican en un cuadro social subrayadamente diferente al que vivimos, su pensamiento acerca de la naturaleza es tratado con una verdadera violencia histórica, expresada brutalmente en esa atribución a Demócrito de una genialidad que le permitió prever más de veinte siglos antes la teoría atomística del siglo pasado. En fin, la forma en que cada una de estas dos vertientes culturales, la humanística-literaria y la científico-tecnológica, participa en la vida espiritual de nuestro país, es muy contrastante. Una contribución de la mayor importancia que puede hacer la teoría sobre la historia de la ciencia a la reorientación cultural que vengo mencionando, es la de que contribuya a rectificar la manera de evaluar o reconstruir el conjunto de ideas que en cada época se crean acerca de las técnicas productivas o las imágenes de la naturaleza, pues perjudica mucho ese afán infundado de trasladar a épocas preteritas las concepciones con que hoy rodeamos los términos de "ciencia", "tecnología", "teoría atómica", "técnicas industriales" y otros, de modo que se siente a reconocer como legítima sólo la parte del pensamiento antiguo que tiene una correspondencia más o menos directa con nuestras concepciones, introduciendo una fractura artificial en las visiones culturales de otros pueblos y otros períodos históricos. Se abusa, por ejemplo, de términos como "la astronomía maya", "la física griega". Al proceder así se descuartiza lo que fue un ente vivo: la conceptualización teórica que esas sociedades crearon; ya descuartizadas se pueden analizar algunos de sus ingredientes, pero será un análisis esquematizador, parecido al estudio de un órgano de un animal muerto, en el que ya no se pueden reconocer las interrelaciones con el organismo vivo al

que perteneció. Las cosmovisiones, como suele llamarse a las estructurales culturales que tenían los pueblos antiguos, integraban sus partes constituyentes de modo distinto a como ahora lo hacemos; es por ello que no conviene a la ciencia moderna el que se acepte la proyección mecánica de nuestras clasificaciones culturales sobre las estructuras culturales del pasado. Esta rectificación de la orientación que se ha dado a la historia de la ciencia quede aquí señalada, de paso, como una más de las tareas que deben abordarse para promover la reorientación cultural.

Volviendo al tema de la necesidad de divulgar y precisar las imágenes del universo que han existido en diferentes épocas históricas, debe señalarse que la que con mayor urgencia debe estudiarse y definirse es la que está asociada con el nacimiento en Europa de las modernas ciencias físicas, desde el siglo XVII. Es grave el hecho de que haya tan pocos textos fundamentales del citado nacimiento en español y, peor aún, que los existentes tengan en México un conocimiento tan escaso. Ya se ha señalado el gran hueco, apenas recién cubierto por los españoles, de las traducciones de los "Principios Matemáticos de la Filosofía Natural" y de la "Optica" de Newton, del "Revolutionibus" de Copérnico, de las principales obras de Galileo y otros trabajos así. Pero además de señalarse la ausencia de obras de este tipo, muchos todavía sin traducir, como la "Mecánica Celeste" o la "Mecánica Analítica", no parece haber suficiente conciencia de que las concepciones de la naturaleza no solamente se forman por los trabajos técnicos que dan el fundamento esencial a tales concepciones, sino que además se integran con los trabajos filosóficos y generalizadores que "por arriba" soportan y orientan el desarrollo de las mismas; por esta causa, no se plantea como una deficiencia en nuestros conocimientos actuales, el desconocimiento de una buena cantidad de trabajo filosófico desarrollado en el tiempo de gestación de las teorías científicas modernas, como el ampliamente reseñado, por ejemplo, en la obra "El problema del conocimiento" de Ernest Cassirer, sobre cuestiones como el espacio, el tiempo, el concepto de fuerza, problemas del método y muchos otros temas que constituyen pilares de cualquier concepción de la naturaleza.

Hacia el mes de mayo o junio de 1987, apareció en México una traducción de "El Mundo" de Descartes, el cual pertenece a este tipo de trabajos. Se tiene tal falta de sensibilidad hacia estas reflexiones, que no dudo ni un momento que esta publicación pase inadvertida, de la misma forma en que corren por allí

a algunas publicaciones de Giordano Bruno, las que resultan incomprendidas por un ambiente cultural en el que los filósofos carecen de una cultura científica suficientemente organizada y los científicos tienen poca participación en la vida cultural propiamente dicha. Así, la mencionada publicación de "El Mundo" se debe a una investigadora de la UNAM en filosofía y, por sus notas introductorias, parece que se empeñó en su traducción y publicación debido a su interés en Descartes mismo, más que por juzgar que el conocimiento de esa obra en particular pueda desempeñar un papel específico en el desarrollo del pensamiento social o colectivo de la nación mexicana. Qué bueno que se haya realizado dicha traducción, pero qué inconveniente que no se ponga en juego su potencial cultural.

Al hacer los anteriores apuntes sobre la relación entre la ciencia y la cultura, apenas si intento llamar fugazmente la atención sobre el hecho de que las diferencias o deformaciones comentadas limitan la capacidad nacional para hacer uso de la ciencia. Desde luego que creo que parte del esfuerzo para subsanar las fallas aludidas corresponde a la comunidad científica, aunque sea imposible que ella sola, con sus propias fuerzas, pueda resolver problemas tan gigantescos. El cumplimiento por los científicos de algunas tareas, requeriría del desarrollo de especialidades y capacidades nuevas, pero en parte se podrán abordar con la ya existente, a condición de que se hagan ajustes en las normas de las instituciones que soportan el trabajo científico, como el caso concreto de la orientación del Sistema Nacional de Investigadores, que no incluye entre los rubros a dictaminar para conceder puntos al trabajo de divulgación.

Una razón aducible para rechazar las consideraciones que aquí expongo sería la de que en los países avanzados no se han necesitado esfuerzos expresamente orientados a desempeñar un papel de integración cultural de la ciencia, - en el sentido señalado. Pero creo que una mentalidad que así evalúe nuestra situación es incorrecta, pues requerimos justamente de la independencia de criterios para poder reconocer nuestras especificidades, lo que tenemos de peculiar, tanto para tomar ventaja del hecho de llegar a la necesidad de la ciencia cuando ya se ha producido tanto fuera de nuestras fronteras, como para reconocer la desventaja de que lo medular de ese proceso se haya realizado en sociedades con dinámicas culturales tan ajenas a la de nosotros. Los europeos y los norteamericanos ya resolvieron estos problemas, por su propio camino. Lo están resolviendo los japoneses, también a su manera. Ellos tienen sus propios y peculiares problemas nuevos, sobre los cuales hacen estudios y reflexiones, para conti

nuar reforzando sus puntos fuertes y subsanando sus debilidades. Esta metodología, de avanzar sobre su propio terreno, creo que es algo que deberíamos aprenderles. Los ingleses no necesitan estudiar la gestación de la mecánica newtoniana desde el mismo ángulo que nosotros porque ellos produjeron esa teoría hace trescientos años, en un proceso social que contó con la contribución de instituciones y corrientes culturales y muchos de los más distinguidos miembros de su élite intelectual; es claro que no tienen las tareas pendientes que nosotros debemos aun cumplir, de otra manera y con otros ritmos, de formas nuevas y con los procedimientos propios del siglo XX, pero evitando el error de creer que la cultura tradicional, reluctante a la ciencia contemporánea, puede permanecer - sin cambios y sin embargo permitir la expansión vigorosa junto a ella de un conocimiento que forma inevitablemente parte de la cultura. Parafraseando la consigna publicitaria, deberíamos hacer resonar la afirmación de: "la ciencia es cultura".

El "ghetto" en que se encuentra la ciencia es ampliamente reconocido. Se han formulado diferentes soluciones, como la llamada "desmitificación" y - otras. La médula de lo planteado en este capítulo es que deberá auspiciarse una reflexión sistemática sobre el papel de la ciencia en la sociedad mexicana, y las tareas que deben abordarse, creando algo así como "la crítica científica" o la "crítica de la ciencia", equiparable a la crítica literaria, de modo que - se eleve la conciencia evaluativa del papel que deben jugar las diferentes contribuciones de los científicos en el desarrollo de la capacidad nacional para - dominar, crear y usar las ciencias contemporáneas.

CAPITULO IV

EL APRENDIZAJE DE LA FISICA

Sinopsis

La comprensión y el dominio de las ciencias físico-matemáticas tienen en nuestro país, dificultades adicionales a las que se presentan en los países desarrollados o "subdesarrollantes". Estas dificultades son de mayor o menor grado, según la configuración del ambiente cultural en que se ha formado el estudiante; hay estratos más "europeizados" o "modernizados" que otros.

Para progresar en dilucidación de estas dificultades, en este capítulo se estudian los principales cambios que en la imagen de la naturaleza produjo la creación de la ciencia de la mecánica en el siglo XVII; se contraponen el aspecto del movimiento mecánico contenido en la imagen medieval de la naturaleza, con la mera concepción del mismo movimiento sustentada en la entonces naciente imagen mecanicista del universo. Se describen también los nuevos procedimientos, creados entonces, que sirvieron como instrumentos para el desarrollo de las nuevas ciencias, sobre todo los métodos analíticos de matematización y los recursos de abstracción de inspiración axiomática.

Como conclusión se deduce la necesidad de diseñar los programas de estudio de la física, tomando en consideración las características culturales de un país y haciendo más intencionada su orientación según la finalidad formativa que en el curso de física en cuestión se persiga, pues una homogeneización impracticable muestra un dominio deficiente en la generalización de esta ciencia, con lo cual desemboca en una práctica roma, poco viva y menos motivadora.

EL APRENDIZAJE DE LA FISICA

Para aplicar los juicios atrás expuestos al problema específico de favorecer la asimilación de las ciencias físicas modernas se requiere un amplio y arduo trabajo, destinado a determinar cuales serían los "requisitos por - - arriba" o presupuestos culturales que sostendrán el aprendizaje de las modernas ciencias de la naturaleza inerte.

Este trabajo requiere de la concurrencia de diferentes disciplinas, como lo expusimos atrás. Una de ellas es la historia de la ciencia, particularizada al caso de la física. En este capítulo incluiremos algunas consideraciones que parecen fundamentales acerca de cómo valorar la estructura histórica de la física con el enfoque de precisar las rupturas de importancia para el objetivo que nos planteamos.

La primera mojenera que debe considerarse es el siglo XVII. Está suficientemente documentada la afirmación de que nuestra ciencia física nació en - ese siglo; precisando, diríamos que entonces fue creada la ciencia de la me cánica, convertida con el tiempo en el pilar de la física.

El periodo comprendido entre los trabajos de Copérnico y los de Newton, pue de tenerse por la fecha en que vino al mundo esa sorprendente criatura del espíritu humano. Antes de Copérnico existen numerosos antecedentes, tanto de estudios técnicos acerca del movimiento mecánico, como de reflexiones - científicas y filosóficas acerca de la validez de los cimientos de lo que - podemos llamar la física de Aristóteles; pero esos antecedentes corresponden al largo proceso de gestación de la nueva manera de ver el mundo que a la larga abrió paso al Renacimiento y que adquirió forma sistemática en la ciencia de la mecánica.

Para juzgar correctamente el significado de la revolución teórica del siglo XVII debemos considerar no sólo las leyes newtonianas que rigen el movimien to mecánico, sino también las grandes transformaciones que se operaron en -

la imagen que nos hacemos de la naturaleza, en cuanto a concepción cosmológica, en cuanto parte constituyente de la cultura en general.

Para dar una visión sintética del segundo tipo de ingredientes, me valdré - de una contraposición, presentando primero la visión del mundo que vinieron a transformar el Renacimiento y el siglo XVII. Conviene recordar que esta concepción, predominante durante el periodo histórico conocido como la Edad Media Europea, no admite la diferenciación que ahora acostumbramos hacer entre los conocimientos científicos expresamente relacionados con la naturaleza y los conocimientos humanísticos y literarios, dedicados a la sociedad y al espíritu humano propiamente dicho; precisamente, en esa misma época de transformaciones tan profundas nació esta nueva estructura cultural en la que todavía nos movemos.

Los rasgos principales de la concepción del mundo desplazada por las ciencias modernas son los siguientes:

- a) El universo se divide en dos partes, perfectamente ajenas e incluso contrapuestas en buena medida; son la región celestial o etérea y la sublunar o terrestre. En la primera todo es perfecto y en esa perfección se incluye su condición eterna, su inalterabilidad; su movimiento natural es el circular con rapidez constante, lo que no es casual sino resultado del hecho de que el círculo es la única figura "siempre semejante a sí misma". En la región sublunar existe la corrupción o degeneración, las cosas son imperfectas y perecederas*. Las sustancias de que están hechas las cosas pertenecientes a estas dos regiones tienen esencias diferentes.
- b) Los astros están soportados por "esferas" concéntricas, dispuestas en torno a la tierra. Entre los sistemas astronómicos, gozó de amplia aceptación el de nueve esferas.

* Suele decirse que consideraban al rectilíneo como el movimiento natural en esta región, pero creo atinada la observación del Dr. Lozano acerca de que se requiere una investigación en fuentes originales sobre esta cuestión, pues una concepción semejante del movimiento local constituiría un antecedente del principio de inercia que no se ha señalado con explicitud. Podría tener otros matices esta alusión.

- c) Para explicar el movimiento de los planetas se hicieron complicadísimas combinaciones de movimientos de estas esferas, basadas siempre en círculos perfectos, los cuales incluían epiciclos guiados por círculos fundamentales llamados deferentes, a cuyo resultado se hacían correcciones con ayuda de los excéntricos y de centros virtuales llamados ecuantes.
- d) No existían leyes abstractas del movimiento como ahora las conocemos, sino que la conducta mecánica de los cuerpos estaba asociada a su esencia. Los cuerpos "celestes", de sustancia diferente a la de los cuerpos "sublunares", tenían también movimientos diferentes, en consonancia con la naturaleza diferente de ambos.

Dentro de los sublunares, había categorías distintas, en primer término los "graves" se diferenciaban de los "leves", pues mientras los primeros tendían a moverse "hacia abajo", los segundos lo hacían en sentido contrario. De esta manera, no podría asemejarse el hecho de aplicar una fuerza a un cuerpo de una categoría, con el de aplicarla a un cuerpo de la otra especie, pues a cada uno se atribuía una tendencia intrínseca llamada "potencia" que cuando es transformada en "acto" por algún motor, origina el movimiento. Había así otras clasificaciones que obstruían la identificación de los factores comunes en muy diferentes fenómenos; esta compartimentación es uno de los valores culturales más profundamente derruidos por la ciencia de la mecánica, la cual estableció una semejanza absolutamente universal entre todos los fenómenos en los que intervienen masas, sean del tipo que sean, se encuentren en la condición en que se encuentren.

- e) El movimiento sólo se conserva por la acción de un "motor"; si el "motor" deja de operar, el movimiento es imposible. Hay que agregar que el movimiento mecánico que agrupa un tipo especial de

fenómenos en nuestra cultura sobre la naturaleza, no tenía ni remotamente la importancia que ahora le damos; el concepto mismo de movimiento englobaba todos los procesos transformativos y los casos que ponían en aprietos a esta concepción no tenían gran relevancia, como es el vuelo de una piedra lanzada por cualquier medio, cuyo "motor" era localizado en torbellinos del aire que enigmáticamente sostenían el vuelo impulsando a la piedra por detrás, al mismo tiempo que ese aire no obstruía el vuelo al chocar por delante de la piedra retirándole "impulso" para poder formar los torbellinos.

- f) Cuando un cuerpo ha llegado a su lugar "natural" sólo se le puede mover con "violencia". Los movimientos violentos son de naturaleza diferente a la de los movimientos naturales.

Con estos ingredientes, obligadamente debió tomar cuerpo una imagen de la naturaleza y una estructura cultural muy diferentes a las nuestras. Algunos aspectos de la visión medieval han sido pulverizados total y completamente, en particular el de la diferencia esencial entre los objetos y fenómenos del universo extraterrestre y los de nuestro planeta; también la noción de los lugares privilegiados en el mundo se ha visto muy conmovida. Pero creo que no es difícil percatarse de que los fundamentos culturales -- que apuntalan la preminencia del movimiento mecánico como primera y fundamental abstracción de los fenómenos naturales, no tiene nada de obvia ni -- tampoco es desprendible de la experiencia cotidiana inmediata.

Suele decirse que la explicación del movimiento mecánico es una de las mayores hazañas del pensamiento teórico de la humanidad; creo que esta afirmación atañe a un hecho de enorme importancia para la temática que estamos considerando. Por una parte, es verdadera al pie de la letra, lo cual debería hacernos pensar en lo complicado y difícil que tiene que ser, necesariamente, adentrarse con éxito en uno de los mayores logros de la reflexión teórica, para cuya creación se requirieron muchos de los mejores cerebros -

de las naciones más avanzadas, laborando durante muchas décadas. Por otra parte, la importancia de la mecánica teórica debe matizarse en dos sentidos: en su formalismo técnico tiene una trascendencia muy diferente para las actividades científico-tecnológicas y para el resto de las actividades culturales; el otro sentido en que debe matizarse es en el de que su preeminencia tiende a reducirse conforme aparecen fenómenos naturales y sociales que se niegan a quedar encuadrados en esa generalización filosófica de la visión mecánica del mundo que es el mecanicismo. Para los propósitos de esta tesis, me limitaré a la complejidad de asimilar los enfoques propios de la mecánica y al diferente peso que tiene la mecánica teórica en las ciencias físico-matemática y en la vida social en general.

Acercas de lo primero, lo difícil que en realidad es compenetrarse o familiarizarse con el estilo de razonamiento propios de la mecánica, se puede valorar si se hace un recuento, aunque sea breve, de los temas que hubieron de considerarse para dar cuerpo a esta forma de razonamiento. Es ya elocuente el hecho de que la formulación matemática de las leyes de la mecánica se dedujo, en su parte esencial, del cielo y no de la tierra; si pasamos revista a los grandes creadores de la mecánica: Copérnico, Kepler, Galilei, Huygens, Borelli, Hooke, Wren y Newton veremos que en sus intereses se cruzan siempre las reflexiones sobre los fenómenos celestes con los estudios sobre procesos terrestres; mientras se avanza desde Copérnico hasta Newton, cada vez ocupan lugares más importantes los problemas locales. Esta característica del génesis de la mecánica ya no tiene vigencia en nuestros días, por lo --cual vale la pena considerar con detenimiento el papel que debería seguir --jugando el movimiento circular de acuerdo con la estructura tradicional de la teoría mecánica y contra la falta de vivencias entre los jóvenes actuales que deben estudiar esa teoría sin referencias hacia ese movimiento; no es difícil percatarse de los numerosos problemas que acarrea la comprensión de las magnitudes fundamentales, sobre toda la aceleración en este tipo de movimientos y, en mi opinión, ello proviene del hecho de que las pocas experiencias directas dejan al estudiante limitado para recorrer el proceso de abstracción requerido, mientras que los libros de texto o los profesores no

encuentran referencias en las cuales apoyar su exposición.

Además de la importancia que tuvieron los movimientos celestes, concurrieron en la formación de la mecánica varias preocupaciones muy específicas y nada espontáneas, como el interés por estudiar la caída y el choque de los cuerpos o el vuelo de los proyectiles, la enconada discusión de aquel tiempo acerca de si era posible la acción de unos cuerpos sobre otros sin la intervención de medios o agentes transmisores de esa acción (problema en el que son decisivas las ideas acerca del espacio y el vacío), el interés y la posibilidad de medir el tiempo con una precisión desconocida hasta entonces; los resucitados temas que habían atraído el interés de Arquímedes y, como acontecimiento de particular trascendencia, el planteamiento de la pregunta acerca de qué mueve a los cuerpos que caen y a la luna o a los planetas que son desviados de su trayectoria rectilínea, es decir, la reflexión que desembocó en la teoría de la gravitación, teoría de las que mayor revuelo -- han causado con su aparición. Junto a estos temas concretos sometidos a estudio, aparecieron procedimientos metodológicos bastante ajenos a la concepción y a los métodos medievales, entre los que cabe destacar la exitosa incorporación de la matematización de los modelos teóricos, tanto por lo que hace a la construcción concreta del aparato matemático, como por lo que hace al método de la axiomatización que tan fuertemente marcó a la mecánica; a esta categoría pertenece el recurso sistemático a la experimentación, la invención de métodos para controlar variables, como el genial uso del plano inclinado por Galilei.

La mera enumeración de los ingredientes que concurrieron a la formación de la ciencia de la mecánica, nos persuade de que es un producto teórico profundamente distinto a los procreados en la cultura anterior al siglo XVII. Y así como sus ingredientes son nuevos, también sus productos resultan poco asimilables desde la experiencia inmediata o con base en la cultura previa. Nuestra cultura tradicional no ha sufrido las transformaciones necesarias para contrarrestar en la dosis conveniente las vivencias cotidianas y por ello ofrece estructuras mentales más contrapuestas que favorables al enfo -

que implícito en la mecánica. Como sabemos, los resultados concretos que arrojó esta nueva manera de reproducir teóricamente la naturaleza fueron un gran conjunto de conceptos y leyes, entre los que destacan: la noción de masa puntual, el complejo y fundamental principio de inercia, el concepto de fuerza, los de aceleración e ímpetu, las leyes de Newton y la de gravitación. Estos elementos, integrados en un cuerpo teórico, constituyen un mundo intelectual autosuficiente, dentro del cual es posible conseguir avances extraordinarios, hacer previsiones y pronósticos de gran trascendencia práctica acerca de un buen número de fenómenos naturales; pero un mundo intelectual que ofrece todas esas ventajas a cambio de un precio: el acoplamiento con sus cánones, la admisión de sus métodos y procedimientos. Mientras no se paga este "derecho de admisión" no se puede disfrutar de sus beneficios.

Si revisamos el proceso de enseñanza de la ciencia del movimiento mecánico, desde la primaria, veremos que este "derecho de admisión" todavía no se paga por parte de la mayoría de los alumnos ni en los niveles de la secundaria, de modo que al arribar al bachillerato permanecen como extraños ante ese mundo intelectual; pero sucede que la estructura de nuestros cursos de mecánica en el nivel medio superior ya es básicamente axiomática, heredando con asombrosa fidelidad el esquema general de desarrollo que le imprimió Newton a su exposición contenida en los "Principios". Desde el punto de vista del rigor esto es muy ventajoso, pero desde el punto de vista de propiciar a los estudiantes el acceso a los métodos y conceptos básicos de este enfoque, ello es bastante inconveniente. En efecto, quien no se ha comprometido en un nivel aceptable con los procesos de abstracción requeridos para concebir la noción de masa puntual, no puede evitar el asimilar una imagen confusa del concepto de trayectoria y, por lo mismo, de toparse con obstáculos esenciales para manejar las ecuaciones de movimiento; es frecuente y lógico encontrarse con jóvenes que pueden manejar el aparato matemático de la mecánica elemental, pero no aciertan a conectar esta representación abstracta de la realidad con los procesos concretos asociados a determinados problemas que se les pide resuelvan.

Tenemos un ejemplo ilustrativo en la definición o discusión que a veces puede encontrarse en los libros de texto de nivel bachillerato o comienzo de licenciatura, en los que se ofrece un sistema de referencia de grandes ventajas para simplificar la representación matemática de los movimientos mecánicos, el cual se define... con movimiento rectilíneo y uniforme respecto de las estrellas fijas! Bueno, ello es persuasivo para quien tenga una comprensión del problema, pero esa persona ya no necesita que se le tranquilice argumentándole las bondades de estos sistemas, sino que ya ha aceptado y asimilado las reglas del juego. Otro círculo vicioso se da cuando se definen los mismos sistemas como aquellos en los que sí tienen validez las leyes de Newton, sin agregarles términos no deducibles dentro del sistema.

Como conclusión, se requiere programar el llamado pago de admisión en algún punto de la educación o, en su caso, aceptar que aún está pendiente de realizarse y no proceder con el supuesto de que ya ocurrió.

El otro aspecto a comentar es el de la enorme diferencia de la importancia de interiorizar la metodología y los esfuerzos de la mecánica, entre los integrantes de la comunidad científico-tecnológica y el resto de la sociedad. La necesidad de modificar la cultura general ha sido expuesta con cierta amplitud en capítulos previos, pero mientras ello no ocurra estamos ante un problema urgente: en el ghetto científico-tecnológico es una necesidad imperiosa assimilar esa metodología y esos enfoques, mientras que para los demás habitantes no es socialmente necesarios, gracias justamente a que se mueven en una cultura unilateralmente humanístico-literaria. El prestigio de la ciencia ha orillado a que se incluyan los estudios de mecánica de modo relativamente universal, pero todos los problemas reseñados hacen que tales estudios sean forzados y con buen grado de ineficacia; por una parte, los alumnos menos cercanos al pensamiento axiomático y abstracto requerido por la mecánica, son un lastre y ofrecen a veces hasta una resistencia consciente al avance en los cursos, mientras que por el otro, los más próximos a pagar el costo conceptual que permite comprender esta ciencia no reciben la atención requerida para consolidar su avance; de esta manera, ha sido un progreso la inclusión de estos cursos en los planes de estudio, pero ello ha acarreado inconvenientes de importancia, como el de que casi nadie quede fi-

nalmente contento, reduciéndose el número de personas interesadas en consagrarse profesionalmente a la ciencia. Tal reducción no tiene esta única - causa, pero no es nada difícil localizarla como uno de los factores que producen dicho resultado, si vemos que al seleccionar materias optativas en - los últimos semestres del sistema CCH, hay una clara preferencia a favor de la biología y desfavorable a la física y a la química, a pesar de que esta selección en dicho sistema no tiene repercusiones administrativas en la carrera que se desee continuar al terminar el bachillerato.

Pues bien, para los dos problemas que hemos analizado, resultaría un alivio el rediseño de los programas de los cursos de física tomando en cuenta esta condición cultural propia de los países atrasados -México entre ellos-, a - modo de buscar orden y un enfoque a los temas, y determinar los complemen--tos culturales que favorezcan el salto conceptual que se requiere para in--corporarse al mundo intelectual de la mecánica. En mi opinión, los diferentes ensayos que se han hecho de intentar exposiciones conceptuales de la física, sin matemáticas, corresponden a preocupaciones como las arriba señaladas, por más que este enfoque tiene sus deficiencias inmediatamente perceptibles. La clave está en reconocer expresamente que el pago del "derecho - de admisión" es inevitable y que, cuando no se ha hecho, es necesario ayudar a que se haga por los que deben jugar un papel creativo no sólo dedicados a la ciencia, sino también en cualquiera de las actividades técnicas - que involucren a las ciencias físicas. Una vez reconocida esta necesidad, sería menester el diseño de actividades que reconozcan las diferentes exi--gencias de quienes deberán incorporarse a la comunidad científico-tecnológica y quienes no lo harán, para estar en libertad de optimizar el dominio - del formalismo entre los primeros y concentrar el esfuerzo de los segundos en los aspectos culturales básicos de la visión implicada por la ciencia moderna.

Estas consideraciones acerca de la enseñanza de la mecánica están basadas - en la idea de que dicha ciencia concentra la primera gran ruptura histórica, hace trescientos años, con la imagen de la naturaleza mejor asimilada y entroncada con la cultura humanístico-literaria tradicional. Requieren evi--dentemente de mucha elaboración y de muchos trabajos para su desarrollo, pero creo que son una aplicación prometedora de los juicios expuestos en los pri

meros capítulos, que pueden ser un aporte a la decisión del rumbo por el que deben desarrollarse las investigaciones y los intentos de solución. Recuérdese que lo que podemos llamar la visión aristotélica del mundo no sólo tiene como alimento la vieja cultura, sino las vivencias diarias, en las que la ausencia de una reflexión que avance por los carriles de las ciencias modernas deja un espacio de refuerzo a una imagen estática, parcelada y no-matematizable de la naturaleza.

Pero la enseñanza de la física no se detiene en el terreno de la mecánica. Esta sigue constituyendo, hoy por hoy, en todo lugar de la tierra, la puerta de entrada a la física, pero ya no estamos en el siglo XIX. Parece que la historia de la ciencia puede auxiliarnos nuevamente para establecer pautas sobre la mejor manera de promover el conocimiento de la física con el propósito de favorecer su comprensión según los requerimientos de nuestro tiempo; es decir, con la mirada puesta en el objetivo global formulado, de acelerar la capacitación del país para apropiarse de las ciencias contemporáneas.

Según esto, deberíamos puntualizar los aportes del siglo XVII que se necesita rescatar y hacer los agregados correspondientes para que la enseñanza y, en general, la imagen de la naturaleza que promovamos, tenga la actualidad pertinente..

En un intento de síntesis de los rasgos de la concepción creada sobre la formulación de la ciencia de la mecánica, reseñaré los siguientes:

- a) Se diferenciaron las especulaciones metafísica no comprobables de los juicios, leyes y relaciones experimentalmente verificables, con lo cual se abrió una vía novedosa y fecunda para un estilo de creación intelectual diferente al de épocas previas. Esto no debe tergiversarse, por cierto, como un abandono total y completo de la búsqueda de las causas o los "por qué", para restringirse en los "cómo", sino que los criterios para aceptar preguntas sobre las causas deben encuadrarse en el nivel de desarrollo histórico de la ciencia, sin pretender subjetivamente alcanzar "causas últimas" o dar respuestas cerradas y definitivas.
- b) Se usaron sistemática y exhaustivamente los recursos auxiliares de la experimentación y la matematización para el desarrollo de las teorías. Tam

bién en esto es posible una interpretación inadecuada, llevando a extremos deformadores el papel de ambos recursos, pretendiendo que sólo la experimentación es fuente del desarrollo de la ciencia como si la especulación teórica y los encuadres culturales no fueren decisivos; o bien como si el crecimiento o avance de la ciencia física tuviese como criterio su premo de calificación su deducción matemática del cuerpo teórico preexistente. Las dos deformaciones acarrear restricciones en la mentalidad - que debiera ser creativa y se convierte en titubeante y dudosa, esperando que de la evidencia experimental concreta se infieran las ideas teóricas o que del solo aparato matemático se deduzcan las soluciones.

- c) Se abandonaron los afanes de sistematización universal, según los cuales la sabiduría aspiraba a formular esquemas teóricos capaces de cubrir todos los fenómenos naturales, sociales y hasta la conducta normal de los hombres, a partir de los "elementos" fundadores de los sistemas. En su lugar, se abrió paso a la creación de teorías específicamente fundadas en los conocimientos acumulados, paso a paso, en los campos específicos de la realidad, dando origen así a las ciencias particulares, cada una de las cuales ha creado sus propias técnicas, sus magnitudes características y sus leyes fundamentales. En este punto también es posible la tergiversación, si se subraya unilateralmente la especialización de las ciencias o incluso las ramas dentro de las ciencias, ignorando la existencia real de las concepciones culturales globalizantes, que siguen estableciendo nexos y lazos de condicionamiento mutuo entre los diferentes ámbitos de la vida intelectual, en el sentido en que más atrás hemos comentado. Estas concepciones globalizantes no son equivalentes a las pretensiones totalizadoras metafísicas del pasado, pues su condición apriorística es más contenida o contrarrestada, que en el caso de los sistemas universales, por el rigor con el que las ciencias modernas apoyan las generalizaciones a partir de los conocimientos positivos de cada una; los planteamientos filosóficos generalizan, a su vez, las experiencias y los desarrollos de las ciencias particulares, tomándolos como los elementos concretos sobre los cuales practican una generalización de orden superior.

- d) Se practicaron con sistema y regularidad una serie de procedimientos naturales y prácticos, en los cuales el aspecto analítico predominó sobre la obsesión sistematizadora de la cultura previa. Un ejemplo es la búsqueda sistemática de los componentes elementales de cada fenómeno; otro lo encontramos en la propia experimentación, la cual consiste a fin de cuentas en una "abstracción práctica", que permite concentrar la atención en un aspecto de los objetos o procesos; otra expresión de este enfoque analítico está en los esfuerzos por reconocer los ingredientes -- fundamentales, en su menor número, con la mira de estructurar axiomáticamente las teorías.
- e) Dentro de los modelos matemáticos, se limitó el papel de los recursos - geométricos y se cultivaron un gran éxito los analíticos. Destaca como creación de notable poder, la de las ecuaciones diferenciales.
- f) En el campo de la mecánica, se construye un verdadero modelo teórico -- aproximativo de la naturaleza, basado en el concepto de corpúsculo (la-masa-puntual es su fundamento teórico matematizable), en el de trayectoria, en los de espacio y tiempo absolutos, en la casualidad rigurosa y en un determinismo a nivel de partícula. Este esquema es tan autosuficiente y exitoso que grandes filósofos, Kant en especial, fincan su reflexión en el mismo, tomándolo como la suprema reconstrucción teórica - del mundo.

De estos puntos que pretenden sintetizar las contribuciones del siglo --- XVII, creo que todos tienen vigencia actual, excepto el último cuya redefinición es uno de los mayores problemas que deben resolverse; del seno de - la propia física han surgido ya teorías que muestran los inconvenientes de una generalización desmedida de la concepción del mundo basada en los enfoques de la mecánica, pero ni siquiera sabemos si de la ciencia natural volerá a surgir otra teoría de una influencia tan vasta como la que llegó a tener la mecánica; podemos decir que la mecánica cuántica, en particular, es una teoría tan firmemente establecida como lo fue en su tiempo la mecánica clásica, en lo que hace a teoría científica, pero no tiene ni la me-- nor posibilidad de competir, por así decirlo, como visión del mundo.

Es por ello que no se puede dar una respuesta sencilla y aplicable a niveles educativos elementales al asunto de qué enseñar en lugar de los conocimientos básicos fundados en la mecánica newtoniana.

Por lo tanto, parece que podemos representarnos el estado actual de la situación así: la mecánica sigue siendo- y lo seguirá por el tiempo previsible- la puerta de entrada a la imagen contemporánea de la naturaleza, pero requiere de algunos ajustes que no se pueden desprender de los últimos --- avances de la física. ¿En donde buscarlos?.

El trabajo más riguroso sería el de hacer una disección epistemológica de - las diferentes ciencias con las que nos representamos a la naturaleza, para buscar algo así como los elementos fundamentales indispensables para soportar a las teorías más importantes que nos dan capacidad transformadora sobre la naturaleza. Estos elementos fundamentales constituirían los componentes de la cultura básica. Este trabajo, sin embargo, requiere de instituciones y especialistas, en un nivel que ni siquiera creo que tenga sentido práctico el planteárselo en México en un corto plazo.

La historia de la ciencia nos permite, nuevamente, una aproximación evaluable en términos muy realistas. Para ello consideremos los procesos que llevaron a la física desde el estudio del movimiento mecánico a su temática de frontera actual; esta temática se puede agrupar en las siguientes ramas: -- atómica, nuclear, partículas elementales, estado sólido y óptica, las cuales engloban a un porcentaje aplastantemente mayoritario de los trabajos de investigación; el porcentaje se hace mayor si atendemos a las investigaciones con mayor probabilidad de repercutir productivamente en el futuro previsible. Al considerar esos procesos, lo que reproduciré aquí, no creo muy difícil reconocer como punto de inflexión más importante el período que incluye los siguientes progresos teóricos: las teorías sobre la conservación de la energía de Mayer, Rumford, Joule y Helmholtz; la creación de la teoría electromagnética culminada por Maxwell y las concepciones y teorías estadísticas de Maxwell, Boltzmann, Kirchhoff y Gibbs. Me parece fundamental también el formalismo de Hamilton, por la posición preeminente que otorgó a la energía. Creo que estas son las transformaciones que produjeron una reconfiguración de suficiente trascendencia desde la creación de la mecánica. Con los cambios aportados por estas teorías, se pudo asimilar la termodinámica

mica a los métodos y enfoques característicos de la mecánica, preservando su espíritu generalizador y unificador; se sentaron las bases para poder entenderse las con las radiaciones y, con todo ello, quedó el escenario - dispuesto para la gran hazaña, en la que se encuentra actualmente comprometida la fuerza principal de la física: la invasión del micromundo. La otra gran dirección de avance es la cosmología, cuya significación parece mayor en un sentido cualitativo que en el cuantitativo.

Si admitimos las consideraciones del párrafo precedente, encontramos también una aceptable coincidencia con el carácter de la parte de la física que ofrece un apoyo o que tiene una colaboración con la química; es decir, el terreno compartido por ambas viene a caer dentro del campo sostenido -- por estas teorías. A fin de cuentas, la química en cuanto ciencia teórica es medularmente una ciencia de lo microscópico. En lo que respecta a las relaciones de la física con la biología, donde al parecer el campo más dinámico es el de la biofísica ligada a la biología molecular, también podríamos argumentar que sus fundamentos provienen de lo creado en las décadas que engloban el periodo del siglo pasado mencionado más arriba.

Queda así planteado, por lo tanto, el tema de identificar la forma en que debe matizarse la enseñanza de la mecánica, para adecuarla a un rumbo propicio a una asimilación de los enfoques y métodos incluidos en el periodo de la física posterior a la década de los 70 del siglo pasado. Ante todo debemos preguntarnos cuáles han sido los conceptos nuevos o emergentes y cuáles los grandes perdedores; después sería necesario puntualizar las mayores diferencias entre las concepciones fundamentales, con el fin de buscar una orientación a los esfuerzos por localizar los ajustes requeridos.

En el siguiente capítulo se harán algunos aportes a la solución de este complicado cuestionamiento

CAPITULO V

LA EPOCA PRESENTE EN LA FISICA

Sinopsis

La ciencia de la mecánica abrió el paso a una nueva representación de la naturaleza, pero luego de jugar el papel de umbral o puerta de entrada, esa ciencia ha dejado de dar el tono en cuanto a la comprensión medular de los fenómenos naturales. Este cambio ocurrió durante las primeras décadas de la segunda mitad del siglo pasado, cuando quedó demolida la optimista imagen de reloj perfecto que del universo se había formado el mecanicismo.

Para desarrollar la capacidad nacional de apropiación de las ciencias contemporáneas, se debe eludir el error de conservar sin crítica los aspectos ya superados del mecanicismo. En el capítulo quinto se dilucidan algunos de los más prominentes rasgos del nuevo cambio ocurrido el siglo pasado, consecuencia de tres creaciones teóricas fundamentales de las ciencias físicas: la ley de conservación de la energía, la teoría cinética de los gases y el electromagnetismo.

La imagen de mayor actualidad que acerca de la naturaleza incluyen las ciencias físicas está fincada en la segunda gran ruptura en el pensamiento teórico occidental, constituida por las nociones dinámicas y estadísticas que, según se muestra, ocurrieron en el lapso citado del siglo XIX.

Como un corolario, se sostiene la tesis de que se requiere ubicar las creaciones de la física propias del siglo XX en un contexto que le dé continuidad, mostrando sus raíces en los cambios mencionados; se sostiene que cuando se subraya unilateralmente la novedad de la teoría cuántica, en especial, se desarma culturalmente para el dominio adecuado de esta teoría.

LA EPOCA PRESENTE DE LA FISICA

El nacimiento de la física moderna se asocia con estos grandes descubrimientos: los rayos X, el electrón, el efecto Zeeman y la radioactividad, la radiación del cuerpo negro y el efecto fotoeléctrico; y con la creación del concepto de los cuanta y de la teoría de la relatividad, es decir, se ubica en los años alrededor del 1900. En este capítulo sostendré que desde el punto de vista del desarrollo conceptual más profundo -el cual es el definitivo, a fin de cuentas, en el campo de la enseñanza correcta de esta ciencia- tiene inconvenientes plantear de esta manera la delimitación de las épocas históricas de la física.

Hacia fines del siglo XVIII el mecanicismo llegó a su máximo esplendor; se convirtió en la concepción de la naturaleza predominante en toda Europa, lo mismo en la Francia materialista que en la idealista Alemania. La sola enumeración de los nombres relevantes de la Academia de Ciencia de París durante las últimas décadas de ese siglo y las primeras del siguiente da una viva imagen de la riqueza de frutos que obtuvo la ciencia en tal período: D'alembert, Lagrange, Legendre, Laplace, Biot, Lavoisier, Arago, Poisson, Monge, Dulong, Liouville, Fourier, Ampère Fresnel, (Arago, 131, ss). En efecto, en la medida en que los científicos formados en la concepción nacida en el Siglo XVII, crearon las condiciones para que la física abordase problemas distintos a los de la mecánica corpuscularista, se ampliaron los alcances de la ciencia pero además se incubaron cambios en la estructura de las teorías; el concepto de fuerza le prestó su trono al de potencial, que resultó tan fecundo que procreó al de la energía, con un ascendiente como muy pocos conceptos en cualquier rama de la ciencia.

Por otra parte, el desarrollo de los enfoques analíticos y la creación de las ecuaciones diferenciales, hicieron posible que el centro de gravedad de la investigación teórica en la física se trasladara a los fenómenos ondulatorios en cuerdas, membranas, láminas, en mecánica; o que se extendiera a los problemas del calor como conducción y calores específicos o a las semejanzas entre los fenómenos de las radiaciones caloríficas y los de la luz. Al mismo tiempo se desarrollaba la teoría de las probabilidades. Paralelamente se acumulaban conocimientos sobre las leyes de los gases y sobre la estructura interna, desde un punto de vista químico, de las sustancias.

El panorama conceptual hacia fines del XVIII era el siguiente: el movimiento mecánico era interpretado como lo hacemos también ahora, pero fuera de él subsistían muchísimos remanentes de tipo escolástico. Los fluidos penetraban las sustancias e intervenían dondequiera que el modelo corpusculista no era satisfactorio: el flogisto en la química, el calórico en los cambios de temperatura, el eléctrico en los fenómenos de atracción y repulsión a corta distancia, la electricidad animal para los fenómenos del galvanismo, el éter para los fenómenos ópticos y astronómicos. La estructura presente del mundo y el universo se consideraba eterna y a la naturaleza no había llegado el devenir histórico; en esta consideración de la eternidad del universo encontró la más efusiva aceptación la memoria que Laplace presentó a la Academia y en la cual demostró que las perturbaciones de los planetas no eran acumulativas, sino desviaciones originadas por movimientos periódicos complementarios, con lo cual afirmó la convicción en la imagen del reloj perfecto que sobre el universo se tenía. Esta memoria fue calificada como "la más notable jamás presentada a una sociedad científica" (Newman, 53). Federico Engels describe magistralmente el estatismo predominante en aquel tiempo por lo cual me permitiré una cita un tanto extensa:

"...Las estrellas descansaban para siempre, fijas e inmóviles, en sus puestos, sosteniéndose las unas a las otras por la gravitación universal. La tierra había permanecido invariable desde siempre o (según los casos) desde el primer día de la creación. Los "cinco continentes" conocidos habían existido desde siempre; las montañas, los valles y los ríos no habían sufrido variaciones; siempre habían existido el mismo clima, la misma flora y la misma fauna, fuera de los casos en que la mano del hombre se había encargado de modificarlas o trasplantarlas. Las especies vegetales y animales habían quedado establecidas de una vez para siempre desde su misma aparición; lo cual engendraba continuamente lo igual, y ya era mucho el hecho de que Linneo admitiera la posibilidad de que ocasionalmente aparecieran nuevas especies por cruzamiento... Las ciencias naturales, al comienzo tan revolucionarias, se enfrentaban de pronto con una naturaleza totalmente conservadora, en la que todo seguía siendo hoy lo mismo que había sido ayer y siempre y en la que todo -hasta el fin del mundo o por toda la eternidad- seguiría siendo como siempre y desde el comienzo mismo había sido". (Engels, 6).

Tal ambiente de estatismo no era propicio para una visión dinámica de la materia como la requerida para representar adecuadamente los fenómenos atómicos

y moleculares. Una prueba categórica de ello es el rechazo sistemático que durante cien años dió el mundo científico a la idea de que el calor es una forma de movimiento y no una sustancia o fluido; ya en 1738 Daniel Bernoulli en su "Hidrodinámica" (Papp, 148) expuso una bastante clara teoría cinética de los gases, pero tenía el grave "defecto" de que interpretaba la presión y la temperatura como consecuencias del movimiento de las partículas del gas; posteriormente Boerhaave escribió un libro titulado "Tratado sobre el fuego" en el cual se presenta la teoría de que el calor, al igual que el sonido, era el producto de la vibración de un cuerpo (Brown, 93). Este libro fue estudiado por Rumford, quien hacia los últimos años del siglo se atrevió a poner francamente en entredicho la existencia del calórico y consideró que el calor debía ser movimiento, aunque con ciertas reticencias, por no encontrar los mecanismos mediante los cuales ese movimiento se produce o trasmite dentro de los cuerpos (Brown, 100). Humphry Davy, en cambio, con la audacia de sus 21 años, en 1799 escribió: "el calor no puede ser una forma de la materia" (Crowther, 39). Pero, a pesar de los trabajos de Rumford, Davy y otros pocos, en 1820 todavía la Royal Society de Londres rechazó los primeros artículos de John Herapath sobre los gases, en los cuales encontró que la velocidad media de las moléculas de un gas debía ser próxima a la velocidad del sonido en el mismo gas (Holton, 506). No fue sino hasta los años 40 cuando pudo abrirse paso, definitivamente, entre los medios científicos europeos, la noción de una materia con plena capacidad para el movimiento microscópico. Esto da una idea de la profunda diferencia entre una concepción microscópicamente estática y otra dinámica de la materia; no hubo prácticamente quienes cambiaran de opinión, sino que debieron terminarse las generaciones de caloricistas o partidarios del calórico para que las nuevas, libres de la vieja concepción llegaran a la ciencia incorporadas a la nueva forma de ver las cosas. Así como había generado la imagen de un universo en movimiento, la ciencia nacida el siglo XVII se resistió a admitir el movimiento interno de todas las sustancias.

La nueva transformación cultural que ocurriría el siglo pasado no se limitaría a extender el dinamismo a la imagen del mundo microscópico, sino que incluyó también la admisión de una evolución histórica, lo cual se inició con el desarrollo de la geología y fue rematada por Darwin. Uno de los productos indirectos de mayor valor para la física de los que arrojó la geología fue la acumulación de informaciones y reflexiones sobre el calor; justamente en el estudio de la historia térmica de la tierra se basó Fourier para construir su gran obra sobre el calor, con lo cual el brillante aparato matemático de los analistas franceses no sólo enriqueció intrínsecamente, sino que amplió sus perspectivas de una - -

manera insospechada como dispositivo para representar a la naturaleza. El desarrollo de cualquier función como una serie infinita de funciones trigonométricas - abre una ruta nueva respecto de la aspiración a lograr soluciones completas de las ecuaciones diferenciales. Una muestra de lo novedoso de la teoría de Fourier es que ya incluye explícitamente el concepto de irreversibilidad respecto al tiempo, cosa inconcebible en la imagen de la naturaleza directamente derivada de la mecánica newtoniana. (Holton, 417).

Con la pila de Volta se pudo identificar entre sí a los diferentes tipos de electricidad que antes de 1800 se consideraban como independientes y ello permitió tender un lazo común de gran generalidad entre todas las sustancias y objetos o seres de la naturaleza. Ya en 1805 Grotthuis dijo: "Si la columna de Volta es un imán eléctrico, también tienen polaridad las moléculas elementales de agua" (Papp, 183). Para entonces ya habían trabajado muchos investigadores en la electrólisis, en particular se había efectuado la del agua por Nicholson y Carlisle (Jeans, 325). Davy había logrado éxitos notables. En 1820 Oersted descubre el magnetismo inducido, Arago la imanación por bobina, Ampere presentó a la Academia las leyes de la electrodinámica, Biot y Savart establecen las leyes de desviación de la aguja; en 1821 se descubre el efecto Seebeck.

Al tiempo que la electricidad y el magnetismo aportaban más y más fenómenos de asombrosa novedad, la teoría ondulatoria de la luz triunfaba durante los mismos años (Papp, 198); recordemos el altísimo aprecio que Einstein tuvo por este avance del pensamiento. Laplace vivió todavía ocho años después de que Fresnel fue premiado por sus trabajos ondulatoristas en 1819, pero jamás aceptó las ideas de Young ni Fresnel (Papp, 200). El instrumento que permitió al hombre obtener información directa, por primera vez, de lo que ocurre dentro de los átomos: el estudio de la radiación, también nació exactamente en este breve y fecundo período, pues fue en 1814 cuando Fraunhofer extrajo conclusiones de las líneas de absorción ocasionadas por la atmósfera del Sol sobre la luz producida en este astro, líneas que habían sido descubiertas poco antes por Wollaston; el mismo Fraunhofer creó las rejillas de difracción y apoyándose en las teorías ondulatorias que habían nacido en Inglaterra y Francia desarrolló ampliamente el estudio de los espectros tanto de emisión como de absorción (Papp, 206 y ss). El hecho de que aún no se asentaba la nueva época queda de manifiesto en la ignorancia que rodeó a los trabajos de Fraunhofer; debieron transcurrir más de -

cuarenta años para que la brillante pareja formada por los también alemanes Bunsen y Kirchhoff, experimentador habilísimo el uno y teórico poderoso el otro, hicieran del análisis espectral una rama de la ciencia perfectamente fundada en sus procedimientos y conceptos básicos. En esos cuarenta años se tocan una y otra vez los hallazgos de Fraunhofer, pues se reseñan trabajos de Talbot, Herschel, Wheatstone, Miller, Foucault, Angstrom, Swan, Stokes y Brewster, pero no fue sino después de 1859 cuando el análisis espectral se convirtió en parte fundamental de la cultura científica, gracias a Bunsen y Kirchhoff. ¿Qué ocurrió en ese período? Sin lugar a dudas no solamente se amplió la información positiva sobre este campo, sino que además se desbordó por todos los medios científicos la aceptación de las concepciones ondulatorias, la concepción dinámica de la materia y, como firme pilar de la nueva interpretación del universo, el concepto del átomo.

En 1808 aparece el "Nuevo sistema de la filosofía química" de John -- Dalton con su tesis revolucionaria sobre la existencia de un número finito -- de partículas en cualquier porción de sustancia; todavía no era ni remota -- mente el átomo de mediados del siglo pasado, aunque ya era muy firme la idea de que todos los átomos de la misma sustancia deberían ser idénticos. Más -- tarde evolucionaría el concepto del átomo hasta convertirse en el personaje principalísimo de los procesos químicos; tardará más todavía en volverse la gran figura de la Física. Nuevamente, lo que ocurrió desde comienzos del -- siglo XIX hasta mediados del mismo fue una evolución de la mentalidad científica hacia los fenómenos del mundo microscópico, precisamente hacia un terreno en el cual la imagen mecanicista del mundo resultaría insuficiente.

El razonamiento sobre las características del átomo proviene de muchas fuentes, especialmente de los procesos de reacciones químicas, de la -- fisicoquímica, de la electroquímica, de la conductividad térmica, de otras propiedades caloríficas, de la conductividad eléctrica, de los estudios de diverso carácter que se concentraron en el estado gaseoso y en algunos cristales. Podemos imaginarnos cómo a lo largo de unos cuarenta o cincuenta -- años el pensamiento culto de Europa empezó una reorientación hacia una forma nueva de ver el universo, en la cual ya no sólo entraban los cuerpos, -- fenómenos y sustancias directamente perceptibles sino que incluiría teorías sobre el mundo microscópico, inaccesible de modo directo para nuestros sentidos. Esta generalización de la nueva concepción de la naturaleza fue muy

lenta y no acabó de afirmarse en la conciencia social de Europa sino en este siglo, pero hacia la década de los sesenta del siglo pasado, entre los hombres de ciencia, era ya una forma natural de razonar sobre las indagaciones de la "Filosofía natural"; se cuenta, por ejemplo, que cuando en 1859 Kirchhoff concluyó que hay sodio en la atmósfera del sol después de estudiar las líneas de Fraunhofer y dio a conocer sus hallazgos, éstos lograron una notable resonancia, lo cual demuestra que ya existían elementos de receptividad que formaban un criterio capaz de valorar algunos de los avances más importantes de la nueva concepción, aunque fuesen sólo los más impresionantes. El otro aspecto de la situación, el atraso en la aceptación general de la validez de tal forma de proceder, lo revela un comentario que un colega de Kirchhoff, filósofo de la misma Universidad de Heidelberg en que éste laboraba, le dijo al científico. "¡Imagínese cómo están los tiempos: he sabido de un loco que pretende haber descubierto sodio en el Sol!". Era tan lógica tal actitud que Kirchhoff, según confesó en una carta, ni se molestó por tal comentario, tan sólo le informó a su interlocutor que el loco del que había oído era él.

Junto a todos los elementos que reseñamos aparecieron, una tras otra, las relaciones entre diferentes formas de movimiento o diferentes tipos de fenómenos: el movimiento mecánico y el calor fueron relacionados por Rumford, Davy y Joule; la electricidad y el calor por Ritter, Davy y Seebeck; la electricidad y el magnetismo por Oersted, Ampère y Faraday; el movimiento mecánico y la electricidad y el magnetismo, por Faraday; el flujo del calor y la direccionalidad de las reacciones químicas y la diferencia de potencial eléctrico que podía producirse entre las sustancias reveló un nuevo nexo entre campos distintos de la naturaleza; incluso se estudió, por Rumford, Lavoisier y Laplace la conexión entre el calor animal producido por un conejillo de indias y la potencialidad calorífica de la combustión de los alimentos ingeridos; hubo otros descubrimientos que apuntalaban la visión de un universo unificado: la existencia en las estrellas de algunos de los elementos existentes en la tierra y de ninguno que aquí no se conozca; las propiedades ondulatorias de las radiaciones caloríficas, justo como las de la luz; la capacidad del campo magnético de afectar a la luz; en la medicina perdieron terreno las explicaciones basadas en las misteriosas "fuerzas vitales"

y las causas de los procesos fisiológicos se trataron de localizar en los fenómenos físicos o químicos que con cada día que pasaba se conocían en mayor número.

En medio de esta ebullición científica, advino la primera de las tres grandes creaciones que las ciencias físicas aportaron a la cultura general de la humanidad durante el siglo XIX: la ley de la conservación de la energía; las otras dos fueron la teoría cinética de los gases y el electromagnetismo.

Entre 1842 y 1847, Mayer, Joule y Helmholtz sostuvieron una enconada lucha por abrirle paso a esta idea de un alcance unificador que sobrepasaba todo lo existente. Desde la formulación audaz y llena de especulaciones cualitativas que presentó Mayer, hasta la deducción axiomática y de gran consistencia matemática que debemos a Helmholtz, pasando por la versión plena de sólidos fundamentos experimentales de Joule, la contribución de estos tres grandes pensadores forma parte de una de las más grandes hazañas que el hombre ha realizado. La formulación y desarrollo de esta ley están instructiva y trascendente que muy bien se justificarían un buen número de trabajos consagrados a profundizar la comprensión de las bases metodológicas en las que se fincó su nacimiento, así como de las repercusiones conceptuales que tuvo para la mentalidad del mundo civilizado.

Este primer período del siglo pasado, en el cual se crearon los elementos necesarios para que en la segunda mitad del mismo naciera una nueva concepción de la física, fue testigo de otros muchos hallazgos y desarrollos en muchas ramas del conocimiento, como lo prueba la formulación de la corriente filosófica encabezada por Hegel denominada dialéctica, el desarrollo en el arte de las diferentes tendencias que genéricamente se designan como romanticismo y la aparición de la concepción materialista dialéctica de la sociedad por Marx y Engels; también se inició el proceso que llevó a las ciencias biológicas hasta la teoría evolucionista de Darwin, creada casi simultáneamente con la ley de la conservación de la energía, pues el "Origen de las Especies" fue publicado en 1854. Creo que de esta manera se hace muy claro que desde el punto de vista de la lógica general de la física no es correcto hablar de "los dos siglos siguientes al

de Newton" (Jeans, 267) como un solo bloque, porque entonces se hace inevitable presentar una discontinuidad acentuadamente abrupta con el pasado cuando advienen los cambios del siglo XX. Si se presentan los siglos XVIII y XIX como continuación directa del XVII, se empaña y hasta se borra, sobre todo para el educando, las raíces, fuentes o antecedentes que pudieron sustentar los cambios de la mecánica cuántica que en cuanto a las formulaciones positivas son, efectivamente, muy nuevas, incluso con respecto a la teoría cinética de los gases o del electromagnetismo, pero que no constituyen una nueva concepción de la naturaleza nacida de golpe durante las primeras décadas de nuestro siglo.

Si damos un rápido vistazo al instrumental para la experimentación, también encontraremos una confirmación de que es en torno a la mitad del siglo pasado cuando se opera la modificación que produjo los laboratorios que nos resultan más o menos familiares. Los aparatos básicos de la óptica física, del electromagnetismo, de la termodinámica y de muchos fenómenos de la física-química, fueron diseñados por entonces. Podemos hacer una valoración comparativa de las distancias recorridas por la ciencia si nos imaginamos una visita de Faraday o Maxwell a los laboratorios de la actualidad, en la que esos invitados recibirían un deslumbramiento que, sin embargo, resultaría una nimiedad frente al impacto que produciría a un Boyle o a un Hooke la manipulación de interferómetros o algunas máquinas eléctricas de mediados del siglo pasado. La razón de esta gran diferencia es que hacia la citada mitad del siglo XIX ya estaba planteada como tarea inmediata la de investigar la estructura interna de la materia, junto a numerosos fenómenos que hace tres siglos eran inabordables.

Viendo así las cosas, no es difícil advertir lo adversa que es la suerte para un joven estudiante que en la secundaria y preparatoria conoce solamente las palancas, los termómetros, las probetas, los dinamómetros, los vernieres, las poleas, los péndulos, los espectrómetros, los lentes, espejos, prismas y las máquinas electrostáticas, y que al seguir la carrera de física en muy poco tiempo se ve involucrado en problemas concernientes a la óptica física, con los aparatos del experimento de Franck-Hertz, o con el de Stern-Gerlach, con un conocimiento fugaz y poco práctico de la rica

experiencia empírica del siglo pasado. Un proceso así se produce cuando no hay una comprensión adecuada de que en ese tiempo se abrió paso la nueva concepción de la naturaleza, la que todavía no rompía abiertamente con el esquema del mecanismo newtoniano, pero ya llevaba en sus entrañas ingredientes -- nuevos, que no podían desarrollarse linealmente de la ciencia previa.

También en la matemática en la que se sustenta el formalismo de la física se operó durante el período que mencionamos una transformación anticipadora de lo que durante este siglo ocurriría. Un recurso de formalización, extremadamente importante no sólo por su potencial matemático, sino porque involucra peculiaridades novedosas aún en el marco de la concepción clásica, es el de las coordenadas e impetus generalizados desarrollado por Lagrange -- sobre la base de trabajos previos de Maupertuis , D'Alembert y Euler; pues -- bien, esta representación mecánica fue llevada durante este período de cambio a una formulación propicia para conectarse con la base matemática de la física del siglo XX, (Whittaker, 58). Me parece bastante claro que la generalizada aceptación que tienen libros de mecánica clásica como el Goldstein, reside en su acierto al poner en juego las ventajas de procedimiento comprendidas por este enfoque tan emparentado con la representación de Schrodinger de la mecánica cuántica; también pertenece al mismo período la creación de -- los cuaterniones por Hamilton, con lo cual amplió las matemáticas con un álgebra no conmutativa, por el camino de la cual siguieron otras como la de matrices. "El abandono de la ley conmutativa fue una tremenda ruptura con la tradición" (Whittaker, 60) y "Arthur Cayley ha demostrado que los métodos de los cuaterniones pueden ser usados con ventaja en la discusión de la -- ecuación de P.A.M. Dirac para el espín del electrón" (Ibidem, 61). La profunda actualidad de la concepción dinámica hamiltoniana se pone de manifiesto incluso en la estrecha relación que el principio de indeterminación de -- Heisenberg revela en la dualidad formada por las coordenadas y los impetus.

Para que adviniese la física contemporánea o moderna como es más -- frecuentemente denominada, se requería que a la teoría de las funciones analíticas creada por los franceses ya mencionados se incorporan las creaciones de Euler y Gauss, todos los productos de la gran escuela alemana que siguió a la obra de Gauss.

Hasta aquí he mostrado que una nueva época estaba gestándose durante la primera mitad del siglo pasado; ahora expondré los elementos que serán -- claves para fundar la concepción de la nueva época, mostrando que es hacia la década de los setentas cuando se obtienen los más copiosos resultados de este proceso.

Uno de los conceptos más fundamentales de la física contemporánea es el de campo; y su gestación y nacimiento, acaecido durante la década de los-30 del siglo pasado en el cerebro de Faraday, es particularmente revelador -- de las diferencias conceptuales que hay entre la teoría newtoniana y la -- entonces emergente. El estudio de este concepto es tan vital para lograr una buena enseñanza de la física de nuestros días que, si al menos en este punto, se efectuaran trabajos sistemáticos destinados a reorientar la educación científica de los niveles inferiores, se incrementaría perceptiblemente la receptividad de los educandos por lo novedosa y trascendente que es en realidad -- la concepción contemporánea de la naturaleza. Se abriría paso, por ejemplo, a los cambios ocurridos en las representaciones que nos hacemos del espacio.

Sólo la comprensión del papel que juega una correcta comprensión de -- la trascendencia que tiene el concepto de campo permite explicarse la preocupación de Einstein por escribir con Infeld el magnífico libro de divulgación "La física, aventura del pensamiento" en donde el campo aparece como un personaje imponente, vigoroso y seductor.

Históricamente el campo nació en la cuna que le prepararon la óptica ondulatoria y el electromagnetismo. Su destino fue desplazar al éter del -- prominente lugar que éste disfrutaba y por tal razón las raíces que nutrieron su gestación fueron robusteciéndose justo en la medida en que el éter fue -- obligado por los avances del conocimiento a tomar propiedades definidas y, -- por lo tanto, verificables. Mientras predominó la teoría corpuscular de la luz, durante todo el siglo XVIII, el éter continuó manteniendo un aire misterioso y no se le exigió adaptarse a modelos de corte mecánico muy precisamente definidos, pero justo en la medida en que fue aceptándose la teoría ondulatoria de la luz se precipitaron uno tras otro, los modelos sobre la estructura y comportamiento del éter (Kudriáv'tsev, 250).

El año de 1818 y el nombre del físico corpusculista francés Simón - Poisson están indisolublemente ligados con uno de los momentos más trascendentes y sensoriales de la evolución de la concepción ondulatoria de la luz, a causa del gran favor que a ella le prestó el astrónomo cuando se lanzó a "demostrar" lo incorrecto de las teorías de Fresnel sobre la difracción de las ondas luminosas; dedujo Poisson, de las ecuaciones de Fresnel, la conclusión de que un pequeño disco interpuesto en la trayectoria de un haz debería ocasionar un punto brillante en el centro de la zona sombreada. El laureado matemático era jurado de un trabajo presentado a concurso por Fresnel y un declarado enemigo de las teorías ondulatorias, por lo cual presentó su conclusión como la prueba categórica del error del joven partidario de los borbones -razón esta que le acarreó persecución política y lo orilló a dedicarse a la física-; "he aquí la prueba del carácter absurdo de tales ideas" debió argüir. La historia, con ironía, dió el nombre de Poisson a ese punto cuya inexistencia predijo este matemático. El sorpresivo desenlace de esta historia, confirmando lo correcto de la teoría de Fresnel, contribuyó a la más rápida aceptación de la imagen ondulatoria de la luz.

Para entonces habíanse descubierto ya varios fenómenos que pusieron el tapete para la discusión de la estructura íntima del éter; Malus creó el concepto de polarización para explicar el fenómeno de doble refracción; la polarización cromática fue observada en diferentes circunstancias por Arago y Brewster; el fenómeno de la interferencia y su explicación ondulatoria habían sido estudiados por Young; Malus descubrió la polarización por reflexión; se encontró la rotación del plano de polarización y se descubrieron los cristales de ejes binarios. La representación corpuscular, defendida por sólidos matemáticos, desplegó arte y brillantez en la formulación de teorías matemáticas sobre la propagación de la luz en medios anisótropos y solamente la difracción escapaba por completo a su dominio (Kudriávtsev, 248). En tal ambiente corpusculista apareció Young, con una profunda convicción en que la luz es un movimiento ondulatorio y de que su medio de transmisión era equiparable al gas que sostiene al fenómeno ondulatorio constituido por el sonido y tras él se presentó el genial Fresnel, con su visión revolucionaria, en Francia, el centro del pensamiento teórico de la Europa de aquel entonces.

Incidentalmente, creo que el estudio de los medios científicos franceses, especialmente de la Academia de Ciencias en sus distintas etapas y -- versiones, durante las décadas que estoy analizando, sería especialmente --- fructífero e ilustrativo en la dilucidación de las reglas que sigue la modernización de las concepciones acerca de la naturaleza; por lo menos su inte-- rrés no cederá en nada ante una investigación de lo que ocurrió durante las - primeras décadas de nuestro siglo.

Pero estábamos en las peripecias del éter. Cuando se desarrolló la concepción de la finitud de la velocidad de propagación de las interacciones electromagnéticas (Faraday lo planteó por primera vez durante los inicios de la década de los 30) y se iniciaron las sospechas de nexos entre éstas y la luz, cobró gran importancia la determinación de la velocidad de propagación en diferentes medios mediante la fórmula E/f , donde E representa la elasticidad y f la densidad; por tal camino el carácter mecánico del éter tendió a - precisarse y surgió un agudo conflicto entre las propiedades elásticas y la densidad del mismo. De hecho o con gran conciencia de sus implicaciones, la realidad es que Fresnel aportó un elemento de profundísima divergencia respecto de las concepciones generalmente admitidas cuando postuló el carácter transversal de las ondas luminosas, dando con ello un gran salto respecto de las posiciones de Young. ¿Influyó en esto la ausencia de formación sistemática de Fresnel en las teorías físicas existentes? El asunto es que tras la divergencia entre corpuscularistas y ondulatoristas vinieron sucesivamente -- otras entre los ondulatoristas transversales y los partidarios de las ondas longitudinales; toda la investigación acerca de la polarización dio el triunfo a los primeros y entonces se desarrolló la lucha entre los transversalistas partidarios de la vibración perpendicular al plano de polarización ---- (Fresnel de nuevo entre ellos) y los que sostenían el paralelismo entre la - dirección de las vibraciones y el plano de polarización (Francisco E. New--- mann). Todas estas discusiones tuvieron como base la disputa acerca de si - la densidad del éter es la propiedad que resulta afectada por la materia o - si, por el contrario, su elasticidad es la que sufre el cambio más importante. Claro que estos conflictos no se vieron realmente superados hasta que Maxwell creó condiciones para el abandono del éter y su reemplazo por el campo. Pero mientras ocurría esto en la óptica, los fenómenos eléctricos fue-- ron mostrando gradualmente su profunda complejidad.

En este campo nos encontramos con un caso ilustrativo en el científico francés Ampère, partidario acérrimo de la acción a distancia, producida - por interacciones con velocidad infinita (Kudriavtsev, 251). Para su tiempo el mecanicismo estaba muy estrechamente ligado a la concepción del movimiento como un fenómeno en el vacío, y la acción a distancia con velocidad infinita era parte fundamental de la cultura científica dominante; con este enfoque, Ampère analizó la interacción entre corrientes eléctricas basado en el concepto de "elemento de corriente" y aplicó de modo sistemático el principio de que el magnetismo se ocasiona por corrientes eléctricas al fenómeno del ferromagnetismo, al magnetismo terrestre, a la imanación permanente, a la interacción entre imanes y corrientes eléctricas, etc. Con esta forma de concebir las causas de un fenómeno tan complejo pudo "liberar a la física de la hipótesis de los fluidos magnéticos" (Papp. 188); es claro que las contribuciones de este científico revelan una comprensión de los fenómenos electromagnéticos de mayor profundidad que cualquiera de sus contemporáneos y sin embargo está el hecho paradójico de que habiendo observado que basta establecer o suprimir la excitación de un electroimán para comunicar impulsos a un anillo de cobre situado en su proximidad (Papp. 189); es decir, habiendo observado la inducción electromagnética, no pudo configurar este fenómeno como parte de la imagen teórica que tan genialmente desarrolló en los otros aspectos. Este hecho es asombroso, pues un hombre cuyos trabajos despertaron tal entusiasmo en Maxwell que lo llevaron a calificarlo como "el Newton de la electricidad" fue incapaz de racionalizar convenientemente tan precioso hallazgo. ¿Qué fue lo que se lo impidió?. La ausencia de los elementos conceptuales que sí poseía Faraday y que no consisten en ninguna información adicional o en cierta pieza formal que pudiese encajar como agregado cuantitativo en la vieja concepción corpusculista, sino que son elementos de otra lógica, son productos de una mentalidad orientada en otra dirección, justamente en la requerida para arribar al concepto de campo.

Las fuerzas electrodinámicas ya no son fuerzas de carácter newtoniano; ya no satisfacen en general la tercera ley de Newton y la mentalidad innovadora de Faraday fue la primera en plantearse la posibilidad de entrever las interconexiones de modo distinto a la acción a distancia y en otra dirección diferente a la del pasado. Durante 10 años, de 1821 a 1831, persiguió Faraday la simetría que sugerían los descubrimientos de Ampère y de Biot y Savart; cuando encontró la inducción, muy por el contrario de la insensibilidad de Ampère, el inglés pudo madurar su sistema teórico y llegar a conclusiones de la mayor im

portancia. En el mismo 1831 entregó una comunicación a la Real Sociedad en la que sostenía la tesis de que las interacciones electromagnéticas se propagaban con una velocidad finita; desecha toda hipótesis que incluya al éter - en cualquiera de sus versiones mecanicistas: "a mi parecer, el conjunto de - dos o más líneas de fuerza se encuentra en condiciones adecuadas para una acción que puede considerarse equivalente a la vibración transversal, mientras que en un medio homogéneo, análogo al éter, no parece apropiado para ello o - no parece más apropiado que el aire o el agua" (citado en Kudriáv'tsev, 253); al eliminar las ideas sobre el éter de su teoría, Faraday habla de que las señales electromagnéticas constituyen "cierto tipo superior de vibración"; arriba incluso al umbral del concepto de corriente de desplazamiento al decir que "la propia inducción (electrostática) constituye en todos los casos una acción de las partículas contiguas y la acción eléctrica a distancia no tiene lugar más que a través de una sustancia intermedia" (citado en Kudnavtsev, 254). Es muy claro que las ideas sobre las líneas de fuerza pertenecen a una concepción distinta a la corpusculista, por más que esta nueva concepción no esté, ni mucho menos, configurada para esos años. Además de esto, Faraday estaba ya bastante hecho a la idea de la transformación mutua de diferentes formas de movimiento, como se deduce de una narración de John Tyndall, sucesor de Faraday - como superintendente de la Royal Institution; "Una vez le pregunté que tué lo que había atraído su atención hacia la magnetización de la luz. Tenía ciertas opiniones sobre la unidad y convertibilidad de las fuerzas naturales; ciertas ideas respecto de la vibración de la luz y sus relaciones con las líneas de fuerza magnéticas, estas opiniones y estas ideas lo impulsaban a la investigación" (Mac Donald, 65). Con esta comparación entre la formación cultural científica de Ampere y Faraday se ilustra el que la aparición de uno de los grandes conceptos de la física contemporánea, el de campo, está asociado con una forma de razonar distinta a la del siglo XVIII.

Otro hecho que es imposible ignorar si se trata de puntualizar la división histórica de los diferentes períodos de la física es la inclusión implícita de los fundamentos de la teoría de la relatividad especial en las ecuaciones de la electrodinámica. Aunque es muy sabido que Einstein llegó a su teoría basado en las transformaciones de Lorentz, citaré unas palabras del físico alemán incluidas en sus "Notas Autobiográficas" sobre una paradoja en la que había reparado a los 16 años de edad: "si yo persigo un haz de luz con la velocidad debería observarlo como un campo electromagnético oscilatorio en reposo. Sin embargo no ocurre tal cosa sobre la base de la experiencia o de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell. Desde el principio me pareció intuitivamente

claro que desde el punto de vista de tal observador, todo ocurriría según las mismas leyes de un observador que estuviera en reposo respecto a la tierra. - Pues, de otro modo ¿cómo sabría el primer observador que se encuentra en un estado de movimiento uniforme?" (citado en Holton Brusch, 748). El mismo autor en el párrafo inicial de su artículo sobre la electrodinámica de 1905, dice: "Es sabido que cuando la electrodinámica de Maxwell se aplica a cuerpos móviles, conduce a unas asimetrías que no parecen inherentes a los fenómenos. Tómese, por ejemplo, la acción electrodinámica recíproca de un imán y un conductor. El fenómeno observable depende sólo del movimiento relativo del conductor y el imán, mientras que es costumbre hacer una clara distinción entre los dos casos, en los cuales uno u otro de estos cuerpos están en movimiento". Por supuesto que la de Einstein no fué una contribución limitada a extraer un corolario de los conocimientos configurados, pues grandes matemáticos y físicos, quizá con una información más completa que él, Poincaré por ejemplo, no pudieron llevar adelante a la ciencia en la dirección en que la condujo su obra; pero este hecho, soslayado durante los cursos introductorios a la relatividad con mucha frecuencia, pone de manifiesto que si la cultura científica se funda en una comprensión más amplia del desarrollo histórico de la física se reduce el espacio favorable a la superstición sobre la "genialidad" y otros prejuicios que amedrentan y entumescen la mente del estudiante. La verdad es que ese elemento difícil de aprehender que es la capacidad creativa tiene, a pesar de su dificultad, muchos elementos culturales definibles y que es dañino en extremo fomentar las ideas acerca de que los "genios" proceden por vías imposibles de imaginar siquiera para los mortales. El creador de la teoría de la relatividad se distinguió de muchos de sus contemporáneos porque además de conocer lo esencial de la física de su tiempo y de tener acceso a formulaciones más o menos precisas de los problemas que en sus días estaban en el orden del día, también recibió influencias filosóficas que lo capacitaron para cumplir con la tarea que se echó a costas, por ejemplo la tesis que había formulado Ernst Mach contra el carácter absoluto del espacio (Holton-Brusch, 749).

Transcribiré un párrafo que Einstein escribió en una necrología de Mach en 1916 y que ilustra con toda explicitud su profunda comprensión de la necesidad que toda época tiene de sopesar la validez de las bases conceptuales en las que descansan las teorías positivas: "los conceptos que han resultado útiles en la ordenación de las cosas adquieren rápidamente entre nosotros tal autoridad que olvidamos su origen terreno y los consideramos hechos inmutables. Entonces reciben el marchamo (la etiqueta) de necesidades conceptuales, situa

ciones apriorísticas y cosas por el estilo. Con frecuencia estos yerros hacen intransitable por largo tiempo el camino del progreso científico. Por eso no es un juego ocioso dedicar nuestras facultades al análisis de los conceptos familiares y a señalar las condiciones de que dependen su justificación y su utilidad según fueron coligiéndose de los hechos de la experiencia. De este modo se les priva del exceso de su autoridad, si se ve que ya no son válidos se desechan; si su coordinación con las cosas dadas es poco atinada, se corrigen; o si se puede establecer un nuevo sistema preferible por alguna razón, se reemplazan por otros". (Einstein- Born, 201).

Solamente un hombre con tan profunda comprensión de la necesidad de reconsiderar los conceptos fundamentales y poseedor de los elementos filosóficos que lo orientaran por el rumbo del razonamiento apropiado para su época, pudo ser el que procesara la información para encontrar soluciones tan revolucionarias; pero, a la vez, el proceso que hizo posible la existencia de condiciones para la creación de esta nueva forma de pensar no pudo aparecer de la noche a la mañana, en unos pocos años, sino que fué un proceso cuyas raíces se encuentran desde los comienzos del siglo pasado.

Cuando el mecanicismo a lo largo del siglo XVIII, alcanzó su mayor ascendiente sobre el pensamiento social, algunos pensadores incurrieron en una aspiración tan ilegítima como aquella del escolasticismo que los creadores del propio mecanicismo habían rechazado: la de imponer a los demás fenómenos sus pautas o paradigmas; hubo científicos y filósofos que razonaban como si la naturaleza estuviese obligada a reproducir en todos sus ámbitos aquellas pautas de funcionamiento que le resultaron apropiadas para los fenómenos en los que habría tenido éxito la mecánica. De esta suerte, resultaba algo así como que algunas personas intentaban imponerle a los fenómenos nuevos una estructura preconcebida, una organización "desde fuera" a la imagen que intentaban hacerse de los nuevos campos de la realidad, en lugar de acceder a reconocer desprejuiciadamente las pautas propias de cada nuevo conjunto de fenómenos a estudiar; pero en tales circunstancias, muy acorde con el tono apropiado a las tendencias innovadoras a que hemos hecho mención, apareció la termodinámica, la cual es una ciencia que busca unificar la explicación de muy variados fenómenos desde un nivel de mayor generalidad; desde el nuevo enfoque, con las nuevas funciones termodinámicas definidas por Clausius, Helmholtz, Gibbs, Boltzmann y otros, fué posible respetar nuevamente la "iniciativa propia" de mu-

chas ramas de fenómenos sin que esto precipitase a la ciencia hacia un desmembramiento semejante al de los oficios empíricos inconexos. Los fenómenos en gases, muchos fenómenos electromagnéticos, la físico-química, la radiación, todas estas ramas de la naturaleza pudieron ser interconectadas por esta poderosa arma. Quisiera hacer notar, de pasada, que el desdén por el contexto cultural requerido para una comprensión profunda de la ciencia conduce a esos cursos secos y aburridos de la termodinámica, ocasionados por la exposición escueta de técnicas y procedimientos apropiados para la resolución de cierto tipo particular de problemas; he llegado a escuchar que luego de aprender a resolver problemas de gases "ya no se aprende más termodinámica" si se procede a aplicar los conocimientos adquiridos al magnetismo o a la radiación. Todo esto sucede porque se pasa por alto la trascendencia formativa de esta ciencia, la cual precisamente proviene del nuevo ataque implícito en el alto grado de abstracción que hace posible la aplicación de las mismas técnicas a aspectos de la naturaleza diferentes; yo creo que nunca se sabrá suficiente termodinámica mientras no se logre transitar con naturalidad de uno de estos aspectos a otros en un plano de profundidad conceptual aceptable. El concepto de sistemas es peculiar y distintivo de la física contemporánea, pero tal concepto es producto de la termodinámica en su forma más acabada y nunca cobrará toda su trascendencia si sólo se le muestra como un recurso circunstancial de conveniencia operativa. Como escribió Einstein en su Autobiografía: "Una teoría es más impresionante cuanto mayor sea la simplicidad de sus postulados, el número de cosas -- que relacione y la extensión de su campo de aplicación. De aquí la impresión tan profunda que me ha causado la termodinámica. Es la única teoría física de contenido universal de la cual estoy convencido que, por lo que respecta al campo de aplicación de sus conceptos básicos, nunca será destituida. Por sólo estas razones, es una parte muy importante en la educación de un físico".

Pues bien, esta innovadora y poderosa arma nació del estudio de los gases, los cuales eran estudiados desde siglos atrás sin que hubieran tenido la decisiva importancia que alcanzaron en la segunda mitad del siglo pasado. También aquí nos topamos con un caso ilustrativo: el de Daniel Bernoulli, quien en 1738, en su "Hidrodinámica" publicó una teoría cinética de los gases basada en conceptos muy propios del siglo XIX: la interpretación del calor como movimiento, la constitución de los gases por partículas que se mueven en el vacío, la presión como resultado de los choques de las partículas contra los re-

científicos y otros; pero hubieron de pasar más de 100 años, hasta mediados del siglo pasado, para que esta teoría pudiera abrirse paso. ¿Qué impidió la generalización de los resultados de Bernoulli?. Aquí se repite la historia de la determinación que una lógica general impone al desarrollo de los resultados positivos; en torno a Bernoulli la cultura científica se basaba en resultados ajenos a su pensamiento, pues los gases se concebían formados por partículas - inmóviles con una especie de "atmósfera" por el estilo de la que concebía Newton; casi todo mundo era caloricista y muchos incluso pensaban que la "atmósfera" de las partículas gaseosas era de calórico; el concepto de átomo aún no era admitido y las propiedades microscópicas de los gases, como la difusión o la viscosidad, eran todavía desconocidas; no conozco la obra mencionada pero me he encontrado con referencias que afirman que la deducción de que la presión del gas debería ser proporcional a la energía cinética media de las partículas de los gases se originó en el razonamiento de que dicha presión depende de los choques y que un incremento en la velocidad de las partículas produce dos efectos: un impacto más enérgico y mayor número de ellos, por lo cual un incremento en la velocidad significa una presión proporcional al cuadrado de la velocidad de dichas partículas; sería necesario indagar si estas conclusiones de Bernoulli tuvieron fundamento más consistente. Por lo demás el concepto de energía, con la generalidad que ahora tiene no existía en su tiempo y las propiedades térmicas de los gases estaban tan poco estudiadas que incluso los calores específicos fueron muy posteriores al científico suizo.

No es casual que de la teoría cinética de los gases, junto con el estudio de las máquinas térmicas, fuese la base que sustentó a una ciencia tan poderosa como es la termodinámica, porque la misma teoría sobre el estado gaseoso es ya un portento de poder teórico. Basta con pensar detenidamente en la enorme distancia que debe salvarse desde las magnitudes microscópicas como el tamaño de las moléculas, su camino libre medio y su velocidad instantánea, hasta las consecuencias macroscópicas de estas magnitudes como la presión, la viscosidad o los calores específicos, para percatarse de que esta teoría es una de las maravillas de las que puede ufanarse el hombre; esta hazaña suele presentarse a los alumnos con el mismo apasionamiento que el exhibido por un guía de turistas al repetir por vigésima vez en un día su oración memorizada sobre alguna reliquia histórica; y en estas circunstancias es natural que ni por asomo surja la posibilidad de que se hagan esfuerzos por profundizar en el estudio de tan riquísima teoría.

El impresionante alcance de sus consecuencias, sin embargo, no debe hacernos perder de vista una peculiaridad de la mayor importancia: la teoría cinética de los gases es una ciencia que abre de par en par las puertas al conocimiento limitado de un sistema y, sobre la limitación aceptada, desarrolla leyes de un carácter muy distinto al de las conocidas anteriormente. Su sentido estadístico tiene una esencia común con la mecánica estadística, sobre la cual Heisenberg ha dicho: "Esta teoría ya en sus principios fundamentales diverge considerablemente de la mecánica newtoniana, estudia las consecuencias que pueden sacarse del conocimiento imperfecto de un sistema mecánico complicado.... Gibbs y Boltzmann lograron dar adecuada formulación matemática al modo de imperfecto conocimiento y en particular Gibbs pudo mostrar que el concepto de temperatura está en estrecha conexión con la insuficiencia de conocimiento. Cuando conocemos la temperatura de un sistema esto quiere decir que dicho sistema forma parte de un conjunto de sistemas equivalentes. A este conjunto de sistemas se le puede describir matemáticamente, pero no al sistema especial de que se trata en cada caso. Con ello dió Gibbs, un tanto sin darse cuenta, un paso que más adelante habría de producir las más importantes consecuencias. Gibbs introdujo en la Física, por vez primera, un concepto que sólo puede aplicarse a un objeto natural en cuanto nuestro conocimiento del objeto es insuficiente. Si, por ejemplo, conociéramos el movimiento y la posición de todas las moléculas de un gas, hablar de la temperatura de dicho gas sería una insensatez. El concepto de temperatura no puede aplicarse más que cuando el sistema es insuficientemente conocido, y cuando queremos sacar conclusiones estadísticas de este conocimiento insuficiente" (Heisenberg, 37). Esta nueva forma de abordar el estudio de la realidad, que seguramente es el punto más álgido en la controversia presente sobre las consecuencias gnoseológicas de la física contemporánea, nació en realidad a mediados del siglo XIX y no con las primeras conclusiones de carácter cuántico durante nuestro siglo. En realidad podemos decir que la vieja teoría cuántica no tuvo asociada una concepción estadística y que aún la versión de 1927 excluyó originalmente una interpretación de este carácter. Dice Born acerca del Premio Nobel que le concedieron "... Fueron mayores mi sorpresa y mi alegría porque el premio no me lo daban por el trabajo realizado con Heisenberg y Jordan, sino por la interpretación estadística de las funciones ondulatorias de Schroedinger, por mí ideada y verificada. No es sorprendente que ese reconocimiento tardara 28 años en llegar, porque todos los grandes del primer período de la teoría cuántica eran

enemigos de la interpretación estadística: Planck, De Broglie, Schoedinger y, no el menos importante, el propio Einstein. No debe haberle sido fácil a la Academia sueca luchar con votos tan poderosos, por esto tuve que esperar a que mis ideas se convirtieran en parte del acervo común a todos los físicos. En gran parte fue decisiva la cooperación de Niels Bohr y la escuela de Copenhague, cuyo nombre suele llevar todavía lo que se relaciona con el rumbo de pensamientos por mi marcado en Física" (Einstein-Born, 285). Hay todavía otra opinión del mismo Born que ayuda a comprender mejor el hecho de que las concepciones estadísticas han constituido un viraje de la mayor trascendencia, al grado de que no sólo hubieron de remontar la inhospitalidad de los físicos del siglo pasado que ignoraron durante mucho tiempo los trabajos de Gibbs, a pesar de que éste contara entre sus propagandistas, en Europa, nada menos que con Maxwell. Antes de reproducir la opinión de Born citaré una parte de la conferencia inaugural del curso de física experimental que Maxwell pronunció en 1871 y que refiere con elocuencia lo novedosa y desacostumbrada que también entonces resulto la concepción estadística: "Este método de tratar un conjunto de átomos, que llamamos método estadístico, ... implica el abandono de los principios dinámicos estrictos y la adopción de los métodos matemáticos que pertenecen al cálculo de probabilidades. Es probable que mediante la aplicación de este método, que hasta ahora es poco conocido y que no nos resulta familiar, se alcancen resultados importantes. De ser otra la historia de la ciencia y suponiendo que las ideas más familiares para nosotros hubieran sido aquellas que deben expresarse en esta forma, es posible que la existencia de una cierta clase de probabilidad sería un mero sofisma". (Crowther, 211). Por supuesto que una vez trascendida la barrera conceptual que significa el anclarse en la visión corpuscular-mecanicista, todo el panorama es diferente. Ello se evidencia en estas palabras de Boltzmann: Un matemático reconocerá la obra de Cauchy, Gauss, Jacob, Helmholtz, después de leer unas pocas páginas, lo mismo que un músico reconocerá a Mozart, Beethoven o Schubert desde los primeros compases. La perfecta elegancia en la expresión corresponde a los franceses, aunque a veces combinada con cierta debilidad en las conclusiones. El rigor dramático corresponde a los ingleses, y por sobre todos a Maxwell. ¡Quién no conoce su teoría dinámica de los gases!. Al comienzo se desarrollan majestuosamente las variaciones sobre la velocidad, luego aparecen,

por un lado, las ecuaciones de estado y, por el otro, la ecuación del movimiento en un campo central. El caos de las fórmulas se eleva gradualmente hasta que de pronto se oyen las cinco palabras: "hagamos ene igual a cinco". El espíritu maligno v (velocidad relativa de dos moléculas) se desvanece, y es reducida a silencio de pronto la figura dominante en el bajo, siendo -- así eliminado de un solo golpe lo que parecía insalvable. Ni hay tiempo siquiera para ver por qué se hizo tal o cual sustitución, y quién no se adapte a esto que haga el libro a un lado, pues Maxwell no es autor de música programada que tenga que encabezar la partitura con una explicación. Las fórmulas doblegadas dan un resultado tras otro, hasta que, como final inesperado, surge el equilibrio térmico de un gas ponderable, luego cae el telón" --- (Crowther, 189) ii Si así se enseñara siempre la física!! Pero no, no es posible que sea frecuente esta forma de enseñar la física en los medios académicos unilateral y excesivamente concentrados en los procesos técnicos o positivos de la ciencia, en los cuales se desdeña la comprensión del contexto cultural que engendró a las grandes teorías y que es obligatorio recrear para hacer posible la asimilación de las mismas.

Pero regresemos a la época presente, en la cual volvemos a encontrar nos dificultades para que las concepciones estadísticas logren aceptación -- también en la época cuántica, según nos informa Born: "Mientras tanto apareció la mecánica ondulatoria de Schrödinger y se ganó la aprobación de los físicos teóricos en tal medida que nuestro método de las matrices (el método de Born, Heisenberg y Jordan) quedó totalmente arrinconado, sobre todo después de que el propio Schrödinger demostró la equivalencia matemática de la mecánica ondulatoria y la matricial. Pero Jordan y yo estábamos convencidos de que nuestro método era el mejor y que la preferencia por la ecuación ondulatoria de Schrödinger se debía a que partía de las ideas tradicionales de la física matemática (problemas de valor propio de los sistemas oscilatorios), Schrödinger afirmaba incluso -y lo sostuvo durante toda su vida- haber eliminado peculiaridades teóricas cuánticas, por ejemplo los saltos cuánticos, con su teoría. Nosotros éramos de la opinión de que el método de Heisenberg calaba más hondo... Verdad es que yo había apoyado mi interpretación estadística de la mecánica cuántica (1926) con el argumento, entre otros, de que consideraba la colisión de partículas con otras partículas a manera de dispersión de ondas. Pero esto era solamente un caso límite simple en el --

que era posible la descripción tridimensional e intuitiva. Jordan y yo veíamos en la mecánica cuántica, tal y como la habíamos creado en Gotinga e independientemente de Dirac de Cambridge, la aplicación del principio de correspondencia de Bohr" (Einstein-Born, 135).

Una y otra vez puede uno encontrarse con reflexiones sobre la ruptura que significó el enfoque estadístico de la naturaleza con los cánones precedentes; acerca de la interpretación estadística que Boltzman hizo de la segunda ley de la termodinámica, Lorentz emitió el siguiente juicio: "Boltzman rebasó los límites de la termodinámica clásica... Si se define la magnitud N como entropía se unirá a esta palabra un concepto claro incluso cuando el estado interno del gas no sea estacionario. En este punto de nuevo se revela la superioridad de la atomística sobre la teoría fenomenológica" (citado en Kudriavtsev, 245)

Por sobre todas las características mencionadas, se argumenta con la mayor frecuencia que el estudio del mundo microscópico, en el cual ocurren fenómenos que no podemos ya concebir por simples analogías con lo que conocemos gracias a la percepción directa, es lo que traza una línea demarcatoria entre la concepción "clásica" y la cuántica del universo. Pero nuevamente, si se desconocen los senderos por los cuales fue la ciencia descendiendo hasta la oscura y misteriosa profundidad de lo atómico es imposible adquirir un criterio que permita juzgar y evaluar los procedimientos y las teorías que permiten hoy en día explicar los novedosísimos fenómenos que actualmente constituyen el objeto central de la física. ¿Cuál es el origen del concepto de orbital electrónico? ¿Cómo evitar que el principio de complementariedad aliente en agnosticismo estéril? Para que las respuestas a estas preguntas no sean tan confusas, que solamente reafirmen la superstición existente en torno a la física contemporánea, es preciso que se puntualicen una serie de temas concernientes a la forma en que debe capacitarse a los educandos para usar las representaciones matemáticas como modelos, a las convenciones o presupuestos implicados en los modelos formulados para dar explicación a los distintos fenómenos

microscópicos y a otros elementos formativos que nunca podrán explicitarse por el mero dominio pragmático de las modernas teorías.

Una realidad innegable que demuestra la necesidad de conducir el pensamiento de los que aprendan física por un camino distinto al consistente en presentar a la física del siglo XX como una revolución originada por un desplazamiento abrupto e inesperado, es que actualmente predomina entre los jóvenes una imagen del átomo más próxima a la de una divinidad o un ser irreal que a un elemento perfectamente cotidiano, con el cual los hombres han tratado - desde que son hombres; ese átomo se concibe ligado a espectros extraños, a fenómenos desconcertantes y aparatos exóticos, en manos de genios fantásticos y premios nòbeles, y tan inaccesible que para llegar a tener contacto con algunos átomos es preciso reunir condiciones de excepción, penetrar en los recintos sagrados y pasar por los ritos de iniciación. El mundo atómico es esotérico.

Todo esto no podrá evitarse si no se logra convertir en un elemento más de la cultura científica la comprensión del importante papel que han tenido los estudios sobre las radiaciones y las conclusiones que de tal estudio se extrajeron para formular modelos atómicos; deberá establecerse cuáles fenómenos microscópicos de carácter electromagnético, calorífico y mecánico, cuya explicación es ejemplar desde el punto de vista microscópico, deben conocerse más general y ampliamente en los medios docentes ligados a las ciencias naturales. Y tal cosa es imposible de realizar si no se admite que el advenimiento de la física presente tiene - sus raíces en el proceso, que pertenece al siglo pasado, y que condujo el trabajo científico hacia este complicado y enigmático mundo del átomo ¿Qué tan complicado y enigmático es? Pues lógicamente que es complicadísimo para nosotros, para los hombres del siglo XX, pero dentro de unos cien años el panorama será muy distinto, con toda certeza; será parecido a la forma en que ahora enfocamos la fuerza de gravedad o la idea que tenemos del funcionamiento de un motor eléctrico.

El saber evaluar correctamente la importancia cultural que tiene la presente investigación del mundo subatómico, aún cuando no tenga la misma significación tecnológica, es un puntal decisivo para abrirle paso a la modernización de los conceptos básicos de las ciencias naturales. En el mundo de la educación estos conceptos o teorías fundamentales son algo equivalente a las vitaminas para el organismo humano: constituyen elementos rectores, factores de calidad que trazan rutas y deciden el futuro de los otros alimentos, cuantitativamente más significativos. Una incomprensión de la esencia de la investigación atómica lleva a esas deplorables clases que en la actualidad se dan en la secundaria sobre los números cuánticos, en los cuales el átomo está tan precisa y definidamente conocido como una piedra, pero con tales caprichos y tan abundantes detalles, que se necesita una memoria extremadamente fiel para aprender la manera como se deben distribuir los electrones en los niveles, subniveles y capas. Para colmo, toda esta sabiduría, meditarán nuestros educandos, no sirve de nada porque uno... ¡nunca va a armar un átomo! y la mayor parte de la gente ni siquiera se topará en su vida con uno de esos enredados dispositivos.

La realidad es que la ciencia física entró en la dinámica en que hoy se encuentra desde mediados del siglo pasado, con conceptos como el de átomo, de número de Avogadro, de molécula, de interacción microscópica en el estado gaseoso y aún en el sólido, de reacción química, de equilibrios dinámicos en la físico-química, etc. Ocurre que se han divulgado más algunas conclusiones sueltas de todo este proceso de investigación, sobre todo los modelos atómicos, que los fundamentos y los estudios señeros gracias a los cuales se arribó a tales conclusiones. Desde el punto de vista de la investigación de frontera, en los campos de la física sin crisis conceptuales, es más importante, en efecto, la conclusión concreta, pero no es lo mismo desde un punto de vista educativo; es equivalente a la enseñanza del funcionamiento de cualquier aparato, cuando no basta con describir los aspectos superficiales del mismo, aunque sean a fin de cuentas los elementos conclusivos.

En la comprensión del quehacer científico actual es necesario robustecer la idea de que se estudia el átomo partiendo de fenómenos macroscópicos y con la finalidad última de volver a los fenómenos de orden normal; la física de altas energías no extrapolará mecánicamente sus recursos técnicos, sino que a partir de ellos se producirán nuevos y maravillosos procedimientos capaces de incrementar la capacidad del hombre para transformar la naturaleza, de una forma semejante a lo que ocurre con las investigaciones de la biología molecular o con la química de las moléculas gigantes o los catalizadores.

Esta importancia del mundo atómico no sólo se desprende de la necesidad de formar buenos físicos, sino que es parte de la cultura actual, de la cultura que forjará criterios de ingenieros de toda índole en sus estudios de todo nivel, de filósofos y humanistas que en su vida toparán una y otra vez con juicios concernientes a la actividad científica de su tiempo, de abogados y sociólogos, que si bien en su mayoría son ajenos a estos intereses, participan en la configuración de opinión pública, la cual sí pesa y decide rumbos de la ciencia. No se diga mientras el poderoso gremio de la abogacía continúe monopolizando el codiciado derecho de "sacrificar la vida" en el desinteresado servicio al pueblo.

El orientarse o no hacia los estudios del mundo microscópicos decidió la buena o mala fortuna de quienes se dedicaban a la física a fines del siglo pasado. Con toda seguridad que Rutherford no habría logrado su obra si permaneciera en su nativa Nueva Zelanda y mantiene su empeño en sus primeras invenciones sobre la radiotransmisión, pues habría sido un caso equivalente al de Marconi; para hacer un Rutherford de aquel impetuoso y descuidado joven que en 1896, a los 24 años, llegó a Cambridge, era imprescindible un J.J. Thomson y un medio en el que con la participación de mucha gente se habían resuelto muchos problemas sobre la jerarquía de los fenómenos que se debían investigar, sobre el rumbo que en esos días debía tomar la investigación científica, etc. (Lovett, 20). Si Rutherford no recibe esta bienhechora influencia toda su fuerza de carácter, toda su energía e inteligencia no habrían dado el aporte que dieron a la física. He aquí un ejemplo elocuente de lo decisivo que es no

solamente dotar a los medios científicos de los instrumentos conceptuales, - los recursos técnicos y la información concreta necesarios para abordar pro - blemas fundamentales, sino también proporcionarles elementos para juzgar con madurez sobre el peso y la significación de los distintos temas de estudio -- que se encuentran sobre el tapete.

De cuanto he expuesto se concluye que sólo parcialmente es correcta - la afirmación de que la física tuvo un viraje excepcionalmente espectacular - con la aparición de la mecánica cuántica. Hay un prejuicio que apoya la vi-- sión más generalmente aceptada de este asunto y es el de considerar que la - imagen lograda hasta la actualidad por la ciencia física es tan acabada y con forme que sólo la tradición impide que todo mundo la acepte tal cual es. Me parece que este prejuicio debería también ponerse en entredicho y aceptar, -- aunque fuese tan sólo como una opinión de referencia y un punto de vista a to mar en cuenta, la tendencia a juzgar al estado actual de la física como una - situación transitoria, como un estado inacabado, que debería dejar lugar a - otra forma de la teoría que ofrezca soluciones esencialmente distintas a los dilemas vigentes hoy día. Es decir, el atreverse a pensar como de Broglie: - "...durante varios años la física cuántica ha estado abordando problemas que no ha podido resolver y actualmente parece haber llegado a un punto muerto. Esta situación sugiere vehementemente que sería recomendable hacer un esfuer zo para modificar el marco de ideas en que voluntariamente se ha envuelto la física cuántica" (Bohm, 8). Esto lo afirmó en 1957. La enseñanza de esta importante y decisiva ciencia no debe comprometerse dogmática y ciegamente - con ninguna de las grandes tendencias filosóficas que se disputan el día de hoy la primacía en la orientación general de su desarrollo, sino que debe ad mitir la necesidad de una lucha serena, objetiva y creadora entre cuantas -- concepciones tengan algo que decir al respecto.

Así es como, en mi opinión, vivimos en una época que se inició, desde un punto de vista cultural o de entorno, desde los mediados del siglo pasado. Esta época es estadística, ha logrado sus frutos característicos y peculiales en la investigación de los fenómenos cuya regularidad es de un nuevo carácter respecto de la propia de la época corpusculista. Esta época nuestra es, además, dialéctica; en ella lo natural y cotidiano es admitir la mutación de una forma de movimiento en otra, la relación indisoluble entre --

elementos opuestos como la de vacío-no vacío, de continuo-discreto, la unidad y la fragmentabilidad, etc.; también incluye la admisión explícita de la unidad del universo, fincada en la obra de muchos hombres, desde Newton y -- Descartes, hasta la de los "particulistas" y astrofísicos de la actualidad, pasando por las conclusiones espectroscópicas de Kirchhoff, o la unidad entre los diferentes fenómenos eléctricos y los electromagnéticos que establecieron tantos científicos insignes.

Esta concepción propia de nuestro tiempo cuenta con sus propias presuposiciones metodológicas, con sus creencias distintivas, se basa en fin, - en sus propios paradigmas, en el sentido de Kuhn. Los elementos más generales de este marco condicionante pertenecen a la filosofía, pero hay otro nivel más particular de conceptos no positivos, al cual he llamado la lógica - general propia de esta época y que aseguro se distingue del propio de la concepción corpuscular-mecanicista. La lógica de nuestra ciencia se desprende de la concepción estadístico-dialéctica.

CAPITULO VI

LA INVESTIGACION SOBRE ENSEÑANZA

DE LA FISICA

Sinopsis

El estudio de los componentes de la imagen de la naturaleza es una tarea necesaria para avanzar en la solución de los problemas arriba planteados. Ello no se circunscribe a la enseñanza de la ciencia, sino que es un trabajo de investigación de carácter fundamentalmente epistemológico; sin embargo, según la intención anunciada en la Introducción de este trabajo, me circunscribo al enfoque educativo.

En este capítulo se presentan algunas ideas sobre los caminos que puede seguir la reflexión sobre la temática expuesta, para apoyar la optimización de la enseñanza de la física, en lo que a su fundamento cultural se refiere. Se mencionan un cierto número de nociones y conceptos que pueden tomarse como centros de interés, para proceder a desarrollar, en torno a ellos, el estudio de la problemática implicada en la formación de una imagen de la naturaleza desde el ángulo de las ciencias físico-matemáticas.

LA INVESTIGACIÓN SOBRE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

El esfuerzo para dotar a las teorías científicas de una base conceptual y lógica es indispensable para la creación de ciencia novedosa, como tiene que ser -por definición- la que ofrezca respuestas a los problemas no esclarecidos por la ciencia pre-existente. No es este, desde luego, el lugar para analizar la compleja problemática de las relaciones entre la continuidad y la ruptura en los esquemas teóricos que nos sirven para formarnos imágenes de la naturaleza; es suficiente asentar la idea de que la creación científica es un acto intelectual esencialmente innovador, cuya esencia es ajena a la repetición burocrática, de lo cual es inevitable desprender que su fecundidad no puede alimentarse exclusivamente del dominio de los formalismos técnicos, sino que necesita de lo que con mucha justeza puede llamarse cultura científica, para tener vigor.

A grandes rasgos, puede afirmarse que la cultura especializada de una comunidad científica debe rastrear las raíces conceptuales y lógicas, con mayor profundidad y finura, en proporción directa a los alcances que tenga el conflicto entre las concepciones precedentes y las que se requiere establecer para dar pasos adelante. Pero una característica del progreso de la ciencia es que la profundidad del mencionado conflicto es impredecible, no se puede juzgar a priori. De todo ello, se concluye que en la formación de una comunidad científica -madura, con influencia en las decisiones de la sociedad que debe sostenerla, se requiere que junto al dominio de las técnicas positivas, se refuerce el trabajo destinado a esclarecer las bases conceptuales, lógicas y filosóficas de su ciencia. La manera de practicarlo entre los investigadores escapa a los alcances de este trabajo.

Los juicios de los dos párrafos anteriores se han abierto paso, en los años recientes, entre grandes sectores de la comunidad científica mexicana, lo cual es un claro signo de madurez. Ahora bien, planteada como tarea la de "dotar a las teorías científicas de una firme base conceptual y lógica", necesariamente debe esclarecerse qué es esta base, que componentes la forman, cómo se desarrolla, etc. Estas preguntas distan mucho de tener respuestas obvias. Esta base conceptual entendida como parte de la cultura social, debe jugar su papel -

en dos direcciones diferentes, aunque complementarias: hacia el fortalecimiento de la capacidad creativa de la comunidad científica propiamente dicha y hacia la elevación de la capacidad de la sociedad para apropiarse de las ciencias contemporáneas, tanto para fines culturales como productivos; con este mero planteamiento de las tareas a cumplir por la "firme base conceptual y lógica" de las ciencias naturales, ya podemos valorar la complejidad de su contenido.

En el presente capítulo, expondremos algunas opiniones acerca de cómo contribuir al desarrollo de la mencionada base conceptual y lógica en la enseñanza de la física; con ello daremos cierta relevancia mayor a las funciones que debe desempeñar esa base en las tareas propias de la comunidad científica, aunque de ninguna manera pretendería ser esto un ensayo sobre la epistemología de la física contemporánea.

Puesto que en algunos capítulos precedentes he realizado numerosas consideraciones a partir de la historia y de la sociología de la ciencia o de la física en particular, quisiera aclarar que no creo que la enseñanza directa y generalizada de la historia de la física juegue un papel destacado en la formación de físicos o de ingenieros que adquieran conocimientos positivos fundamentados en una buena base de cultura científica. El estudio de la historia, y en buena medida el de la filosofía de la ciencia, debe más bien ser un instrumento que algunos especialistas de la comunidad científica deben usar para hacer investigación acerca de la forma de construir y reforzar la cultura científica en el proceso de transmisión de los conocimientos positivos. Para mostrar la importancia de este enfoque, comentaré brevemente que uno de los conceptos más fecundos de la historia de la ciencia en nuestros días es la tesis de que al estudiar un concepto, una ley o una teoría de cualquier época es necesario contextualizarla como históricamente dada, reconociendo su marco ideológico y cultural condicionante, lo cual pone a salvo de esa tendencia egocéntrica que juzga a todas las opiniones del pasado en función de lo directa y apropiadamente que se orientan a apoyar o favorecer los conceptos que sustenta el historiador; la concepción de la historia de la ciencia, tan usada en los libros de texto, que lleva a mencionar como "antecedentes de los conceptos actuales" incluso nociones muy ajenas a los mismos, tan sólo porque recuerdan algunos aspectos de los conocimientos que se intentan enseñar, es una concepción que distorsiona la imagen de cómo progresa el conocimiento científico porque lleva implícita la idea de la -

evolución lineal. Así como ese método enseña a ver la imagen del pasado en un espejo, con la ciencia actual en primer plano y todo lo anterior existiendo solamente para gloria y honoer del presente, también induce la formación cultural apropiada para creer en una linealidad inexistente.

Es necesario rectificar la forma de abordar la historia de la ciencia, entonces, por una doble razón; para convertirla en una disciplina objetiva o profesional y para evitar el daño formativo que se induce cuando se habitúa al estudiante a desconectar hechos y teorías científicos del contexto histórico en que nacieron. Con un enfoque correcto, la historia de la ciencia tiene otros papeles que jugar en la cultura general, pero ciertamente no es significativa, como contribuyente directo, en la investigación, pues la propia historia de la ciencia muestra que los grandes descubrimientos por analogía son raros. En todo caso, no abogo por la historia de la ciencia como el gran instrumento formativo de uso universal, sino que sostengo que es un recurso de análisis para desentrañar, en el interior mismo de la ciencia física, los temas y los enfoques apropiados para enseñarla de modo que se fortalezca su base conceptual.

Al hablar mostrando una relación tan estrecha de la enseñanza con la investigación, no lo hago por suponer que son dos actividades equivalentes, si no porque la formación cultural que se proporcione en la educación será sin duda uno de los elementos que definan esa inaprehensible capacidad conocida como -- creatividad humana. Los conocimientos positivos, la destreza y el oficio en la rama que se cultive, son las herramientas inmediatas del investigador, pero las nociones culturales científicas dan la orientación estratégica acerca de cómo usar esas herramientas. La otra forma de próxima relación entre enseñanza e investigación, en el tema que tratamos, es que la definición de los criterios culturales que deben inducirse en la enseñanza deben decidirse a fin de cuentas -- desde la práctica de la investigación, es decir, desde la visión que proporciona el cultivo de la física en los temas de mayores exigencias técnicas. Para subrayar esto, podemos hacer la analogía entre los mecanismos que se usan para determinar los criterios para enseñar historia o civismo y los que usamos en México para definir los criterios para la enseñanza de la física; los mecanismos para el civismo o la historia conceden una máxima autoridad a los ideólogos y responsables del funcionamiento social de México, pero los mecanismos para la física conceden esa máxima autoridad a los pedagogos, formados por supuesto en

la cultura literario - humanística, la que se siente en la obligación de monopolizar todo lo que puede la cultura, incluida la educación. En la definición de criterios para la enseñanza elemental de la física, los mejores científicos no juegan papel alguno.

La riquísima y compleja problemática involucrada en la reflexión filosófica y cultural acerca de la física contemporánea, debe ser objeto de un estudio profundo y sistemático, siguiendo las líneas que arriba he esbozado, para poder extraer consecuencias concretas y convenientemente fundamentadas, acerca de las modificaciones que deben introducirse en su enseñanza en los diferentes niveles. Pero algunas propuestas y ciertas pistas a desarrollar pueden muy bien hacerse; hacia allá vamos a continuación.

Los temas de formación cultural que pueden ponerse a consideración recorren una amplia variedad, pudiendo localizarse algunos universalmente aceptados, como el de la condición dinámica del universo, hasta otros lo suficientemente controvertidos como para excluirlos de la formación básica, como el asunto del determinismo. En medio, están un gran número de problemas que requieren grandes esfuerzos para determinar su significación en la formación que necesitamos dar y la manera en que deben comunicarse.

Uno de los elementos conceptuales de mayor trascendencia es el de campo. Su nacimiento es también, como el de otros ya mencionados, pre-cuántico, no obstante que es en la física de nuestro siglo cuando ha llegado a la altísima jerarquía que hoy tiene. Es también sabido que su desarrollo tuvo lugar con traponiéndose al concepto de corpúsculo, en el sentido de que el primero subraya las representaciones continuas de la materia, mientras que para el corpúsculo viene a ser definitiva la enorme abstracción del pensamiento humano que es la masa puntual, concepto esencialmente discontinuo; la problemática encerrada en la dualidad continuidad - discretez, orientada a iluminar los fundamentos -- cultural-filosóficos del concepto de campo, muy bien podría ser uno de los trabajos de investigación claves en la dirección que señalo.

En la asimilación del concepto de campo están involucradas formas de percepción del espacio, asunto de importancia para la física contemporánea, especialmente por las implicaciones en la teoría de la relatividad. En este sentido, los contactos entre la imagen del espacio y el concepto de campo deben rastreadse desde el siglo pasado, pues en el aferramiento que hubo al "éter" lo que encuentro es una incapacidad para concederle propiedades al espacio, -- que es lo que a fin de cuentas hace la noción de campo. Así, pasamos de inmediato al concepto del vacío, uno de los elementos ante los cuales deben tomar posición todas las concepciones de la naturaleza, por lo cual se pueden rastrear las nociones acerca del vacío desde los remotos orígenes. A través de las ideas acerca de este concepto se pueden asociar algunos aspectos de fenómenos muy diversos, como muchos relativos a los gases y otros concernientes al movimiento mecánico; las imágenes para representarse el movimiento de las partículas constituyentes de un gas aluden a la relación entre vacío y corpúsculos, pero el movimiento de una partícula, en especial la noción de inercia, también remite a una manera de concebir el espacio. Suele decirse, por ejemplo, que la aceptación de la teoría atomística, a lo largo del siglo pasado, encontró fuertes resistencias por la dificultad que había para concebir el vacío; creo además que un estudio cuidadoso de los numerosos modelos atómicos que se propusieron durante ese siglo, sería una fuente de rica reflexión acerca de cómo se razona en torno a la constitución interna de las sustancias, no sólo de las gaseosas. Es decir, abordando el tema desde diversos ángulos, se obtienen diferentes posibilidades de estudiar los grandes conceptos de la física, como ahora mostramos con el de campo.

Otro terreno para excavar en la historia en busca de información que enriquezca la génesis de un concepto es el de la noción que acerca de él se tenían en situaciones culturales diferentes. Podemos ejemplificar este tratamiento con la comparación entre los componentes de tres formas de concebir el campo; los de Descartes, Faraday y Einstein, para lo cual nos tomamos una licencia nada pequeña a fin de ampliar este concepto para que alcance a incluir al pensamiento cartesiano acerca de la naturaleza, pero que se justifica por la abundante reflexión de este pensador acerca de los componentes primigenios del mundo. En lo relativo a la relación entre el vacío y su rechazo creo que las tres concepciones conciben al espacio sin vacío, ya que Descartes lo afirmaba explícitamente; Faraday concebía que las líneas de fuerza eran manifesta

cciones de la acción inmediata con existencia tan real como para que sus vibraciones produjeran fenómenos perceptibles y Einstein entendió por vacío absoluto lo que quedaría fuera del universo, es decir, una nada en todo el sentido de la palabra, lo que no cuadra con el concepto moderno de campo, el cual atribuye al espacio propiedades características, de modo que no es esa nada que sería el vacío absoluto. Y sin embargo, ¡qué diferencia hay entre las tres concepciones del espacio!

Las concepciones de los tres pensadores coinciden en representarse la forma de acción de unos cuerpos sobre otros como acción local, o sea, contrapuesta a la imagen que se desprendió de la teoría de la gravitación, cuya noción de acción a distancia fue en un tiempo tan acremente escandalizadora como lo vino a ser en su tiempo la cuantización de la energía. Pero esta acción local no se realiza de la misma forma, pues Descartes no admite las fuerzas, Faraday sí y Einstein no las incluye en la teoría de la relatividad general. Por otra parte, Descartes al parecer pensaba en una transmisión infinita de señales, mientras que Faraday y Einstein no creían en ella. La cuestión de cómo concebían estos pensadores la relación entre la masa y el espacio, es un tema de interés inmediato.

De una reflexión como la del párrafo anterior, pueden obtenerse importantes ganancias en el rastreo de los elementos culturales que soportan las imágenes de la naturaleza. Análogamente, el complicado concepto de sustancia puede dar una rica veta para investigaciones epistemológicas sobre la estructura de la física que debemos enseñar y eventualmente, la que debemos desarrollar. La idea einsteiniana acerca del campo no incluye propiedades sustanciales, lo que aporta un viraje profundo en la manera de concebir al mundo. Al respecto, Descartes concebía la materia con una propiedad esencial: su extensión, mientras que Leibnitz, más próximo que el francés a la imagen matemática que acerca del mundo se gestaba en su tiempo, destacaba las fuerzas; ahora Einstein nos condujo a un cierto regreso a la ponderación de las propiedades puramente geométricas, pero ya no busca la sustancia, sino que más bien se guía por la invariancia frente a las transformaciones. Para Einstein ya no hay propiedades intrínsecas, sino que el espacio se funde o unifica con los restantes componentes de la naturaleza; de aquí que cuando se dice que la masa tiende a infinito en el contexto einsteiniano, con frecuencia se comprende equivocadamente desde el contexto cultural precedente, como si algo debiera

crecer para hacer plausible el proceso.

En el análisis de las ideas acerca del espacio no puede dejarse de lado el tema quizá más repetido: el del papel que juega el espacio absoluto en la imagen de la naturaleza subyacente en la mecánica newtoniana. Habría que indagarlo con detenimiento, pero parece ser que ese no fue un problema en ese tiempo, en el sentido de que no fue una cuestión ante la cual se requiriese una posición explícita que deslindara entre dos opciones; como quiera, Newton lo enunció como un requisito junto al tiempo absoluto, Mach sujetó a crítica los cimientos de la mecánica clásica y Einstein reconstruyó este aspecto de nuestra imagen de la naturaleza. Como tema para indagación epistemológica, este asunto está que ni mandado a hacer, sobre todo con la abundante literatura que hay sobre teoría del conocimiento acerca de los conceptos básicos de espacio y tiempo, tan propicia a un esfuerzo interdisciplinario.

De las consideraciones que se hicieran en torno al concepto de campo, podrían deducirse numerosas pistas o recomendaciones acerca del papel que pueden jugar el estudio de diversos fenómenos cuando se intenta inducir una determinada imagen de la naturaleza o un conjunto de nociones que formen parte de esa imagen. Diferentes fenómenos de fluidos, la representación de movimientos ondulatorios y la dinámica en diferentes campos, por ejemplo, pueden dar un rico material formativo para los distintos niveles educativos y pueden usarse según los objetivos planteados. La organización del instrumental matemático necesario es un trabajo igualmente importante de investigación pedagógica, que exigiría crear formalismos que hicieran plausibles las deducciones de fórmulas en algunos fenómenos de representación compleja, pero que sobre todo exigiría un esfuerzo para recombinar la preparación matemática con la comprensión cualitativa de los fenómenos en estudio. Quizá sea mucha ambición, pero acaso hasta surgiesen ideas que reforzaran la enseñanza de las matemáticas, tan urgida de salidas en la actualidad.

Toda la problemática que comprende el concepto de campo viene, a su vez, a quedar englobada en los problemas de la continuidad y la discontinuidad. En este nuevo nivel de agrupamiento, el campo constituye una de las manifestaciones centrales de los aspectos de la naturaleza que tiene continuidad: si nos orientamos ahora hacia la discontinuidad nos encontramos con los estudios de la

física que están introduciendo modificaciones más sustanciales a la imagen de la naturaleza, que son los estudios cuánticos. Digo esto en el sentido de -- que si bien la relatividad acarreó cambios conceptuales en los cimientos de la imagen de la naturaleza muy profundos, podemos decir que al edificio propiamente dicho de esa imagen lo dejó intacto, dentro de las restricciones derivadas de los cambios conceptuales que ocasionó; en contraste con ello, el estudio de los fenómenos que sólo admiten explicación en el marco de la física cuántica nos ha colocado en una ruta cuya profundidad y alcance nos resulta del todo imprevisible.

Al considerar la formación cultural requerida para asimilar adecuadamente los conceptos usados en la representación de la estructura microscópica de la materia, creo que resulta benéfico y aleccionador analizar estos conceptos en confrontación con los de carácter continuista. Pero esto no sería sino uno de los enfoques del problema, ya que los temas de mayor amplitud para la investigación epistemológica e histórica de los conceptos discontinuos está en las representaciones atomísticas y cuánticas.

El solo hecho de rastrear las huellas de la imagen corpusculista del movimiento, desde la noción de masa puntual hasta los modelos de la mecánica estadística, creo que resultará ilustrativo. Junto al requerimiento formal de la cultura que ha rodeado a la evolución de la imagen corpusculista tenemos el proceso tortuoso a través del cual se abrió paso a lo largo del siglo XIX el concepto de átomo. Incidentalmente, podemos comentar que la alusión, tan frecuentemente repetida, de que Avogadro formuló como hipótesis la existencia del número que ahora recibe su nombre, desde 1811, sin comentario adicional, resulta conceptualmente engañosa, porque entre su formulación y su aceptación media una historia no sólo larga, sino de complicadísimos y enconados debates, los que resultan burdamente simplificados si se reduce todo a una confrontación entre atomistas y "energetistas" en los términos que vino a tener el problema cuando se acercó a su desenlace, a fines del siglo. Para concebir la complejidad de la situación a lo largo de ese tiempo, debemos considerar que la investigación se realizaba acumulando datos concretos acerca de los fenómenos físico-químicos, sobre propiedades térmicas de las sustancias y con una atención concentrada en los gases; la investigación de ese tiempo se realizaba sobre fenómenos con fundamento microscópico, pero aun no existían los conceptos que permitieran lanzarse directamente a desentrañar la estructura que

ahora llamamos "íntima de las sustancias.

Como resultado de la compleja situación de entonces, se formaron diversas corrientes dentro del propio campo de los atomistas y "no todas ellas representaban a los átomos como un conjunto discreto de elementos que constituyen la materia; había teorías que representaban a los átomos por vértices en el éter, o bien como campos de fuerza entre puntos, etc., esto es, por un número infinito de grados de libertad" (R. Alexander, 181). Esta forma de evolución del pensamiento nos ilustra sobre lo artificial que vienen siendo nuestros esquemas teóricos, pues si en la historia se han dado entrecruces de conceptos tan distinguibles como los de continuidad y discretez, ello significa que en el desarrollo real de los fenómenos tal separación no es esencial, sino que tiene una fuerte dosis de carga cultural; es decir, que el dinamismo propio de la reflexión teórica de la ciencia ha profundizado el distanciamiento entre estos dos conceptos pero la independencia que les atribuimos no necesariamente tiene una correspondencia en la naturaleza. Si en la historia de la física esos conceptos tan ajenos se han entrecruzado, bien podemos esperar que en la realidad los fenómenos no se comporten como nuestro modelo acabado. En efecto, la propia mecánica cuántica de nuestro siglo nos ha conducido a replantear de una forma nueva la relación entre lo continuo y lo discreto; tan nueva es dicha forma que su formulación es uno de los problemas pendientes hoy en día.

Además de los modelos atomísticos propiamente dichos, la imagen corpuscular de la naturaleza debe incluir los componentes de su último producto: la mecánica estadística. Creo que esto será particularmente fecundo si se aceptan los orígenes no cuánticos de la física cuántica. La imagen dinámica del universo no sólo es un elemento necesario para asimilar las representaciones microscópicas que hoy tenemos de la materia, sino que también se ve directamente apuntalada por éstas últimas; los valores numéricos de las principales variables con que se describen los fenómenos de este campo resultan particularmente útiles para concretar la imagen física que se debe comunicar en la enseñanza. Así como el manejo de ecuaciones cinemáticas y dinámicas de la mecánica son cimientos imprescindibles pero difíciles de asir firmemente, creo que algunas deducciones de la mecánica estadística son de más fácil comprensión en su significado físico, aunque su papel en el formalismo general de la física no sea tan decisivo o fundamental como el de aquellas. La comparación del papel formativo que cada tema de la física puede jugar debería hacerse atendiendo al desarrollo

de los estudiantes tanto en el dominio del formalismo, como en la formación cultural que deben adquirir, la cual comprende los numerosos aspectos conceptuales a los que hemos venido aludiendo.

Hay otros aspectos globalizantes de la enseñanza de la física que tienen un peso destacado. Uno de ellos es el existente en torno al concepto de sistema. Creo que el primer momento en que se impone la definición consciente de los sistemas con los que se trabajará es a lo largo de la gestación de la termodinámica, bordeando los mediados del siglo pasado; tengo la impresión de que en nuestro tiempo ese concepto ha cobrado una relevancia significativa en muy diferentes ciencias, lo cual daría a la habilidad para manejar este concepto una importancia formativa de mayor extensión. La determinación de los temas por los cuales la física puede hacer un aporte en la difusión de este concepto, en variados niveles de educación, requiere lógicamente de que se especifiquen las necesidades que podrían tener las diferentes disciplinas científicas y ello corresponde a un proceso todavía más ambicioso que el destinado a mejorar la enseñanza de la física; lo comento como una muestra del dinamismo y los alcances que pueden caracterizar a una orientación de la enseñanza de la ciencia en la que explícita y sistemáticamente se analicen los "requisitos por arriba" que conviene antecedan a los conocimientos positivos.

Por otra parte, la dirección de los implícitos culturales de una concepción científica arroja un cierto número de analogías o de obstáculos, cuya consideración expresa puede mejorar la comprensión cualitativa de conceptos o leyes poco asimilados en la cultura general. La imagen espontánea de que en el verano la tierra se encuentra en el perihelio, por ejemplo, es una expresión de la gran simpleza con la que se concibe la explicación de la mayor temperatura promedio en el hemisferio norte; la rectificación de este valor cultural, da pie a varias consideraciones sobre los efectos de la forma esférica de nuestro planeta, puede usarse para subrayar los aspectos cuantitativos de la mínima variación de la energía recibida del Sol a lo largo de una órbita de pequeña excentricidad y la reflexión sobre el fenómeno puede alentarse fácilmente al poner en crisis la primera impresión recordando que en el hemisferio sur de la misma Tierra, en el mismo momento viven el invierno. Si a lo anterior agregáramos los cambios de rapidez orbital, creo que se podría unir un fenómeno estudiado en toda la primaria con algunos conceptos que presentan más dificultades

de las que debieran en su enseñanza, como el de velocidad areolar en este caso; más argumentable todavía es lo anterior si consideramos que mucha gente memoriza la segunda ley de Kepler sin comprender su significado.

Una formulación muy afortunada de la ley gravitatoria es la que habla de la "caída de la luna", cuya paternidad desconozco, pero que ha venido abriéndose paso rápidamente. El cálculo numérico que hizo Feynman para sus famosos cursos en el Caltech es una excelente muestra de la manera en que el formalismo queda sujeto a una meta cultural en la educación.

El difícil de aprehender concepto de fuerza puede hacerse más accesible si se tiene una regular comprensión de la energía y luego se presenta la fuerza como conducto o transmisor de energía. Por muchas razones parece que el omnipresente concepto de energía debería ser objeto de cuidadosas investigaciones acerca de su comprensión y su enseñanza; en las versiones de divulgación se destaca siempre el fuego y la energía solar, con frecuencia derivado hacia la fotosíntesis en las plantas, pero este enfoque margina las formas mecánicas de la energía, más abstractas por supuesto que la química.

De igual forma, muchos otros temas y conceptos de diferente jerarquía pueden estudiarse desde los puntos de vista expuestos, como el de masa puntual, el de sistemas inerciales, el de diferencia de potencial eléctrico, el de ímpetu angular, etc.

Un trabajo organizado y sistemático, en el que se considerasen tanto las grandes metas formativas de las ciencias físicas contemporáneas, como la estructura epistemológica de sus teorías, leyes y conceptos centrales, daría una amplia variedad de subproductos, usables en la educación, lo mismo que en muchas formas de divulgación y difusión cultural. La exitosa realización de este trabajo requeriría la concurrencia de personas con variadas especialidades, pero en particular necesitaría de físicos conocedores de las diversas ramas en el más riguroso nivel; parece que la tendencia a considerar que este es un trabajo para físicos de segunda no sólo es incorrecta, sino que resulta profundamente dañina.

La investigación educativa de tono preponderantemente cultural, tendrá

un complemento en el trabajo que se ha hecho y que deberá seguirse realizando en relación con los requisitos tradicionalmente considerados. No hay, en rigor, una contraposición entre estos dos enfoques, sino una complementariedad, cuando se abandona la orientación monopolizadora.

El estudio del lugar que deben ocupar los formalismos matemáticos es, análogamente, una parte de la investigación educativa sobre la enseñanza de la ciencia desde el enfoque culturalista. Sin el formalismo matemático la física no podría sostener su poderosa y admirable estructura, pero dicho formalismo - debe sujetarse a los propósitos de los físicos, ya sea con intenciones educativas, de investigación o de divulgación; no es útil ni aceptable que el formalismo subyugue a la estructura conceptual. Con toda su importancia, el papel de establecer las orientaciones no corresponde al formalismo sino a la conceptualización física. Por cierto, que la inseguridad en el uso de dicho formalismo dificulta su colocación al servicio de los propósitos teóricos, lo cual agrega una complicación adicional a la formulación de los programas de estudio tan seriamente restringidos por el tiempo disponible para su cobertura.

Estas reflexiones constituyen una plataforma básica de arranque. En ellas se incluyen consideraciones muy variadas, como elementos condicionantes de un enfoque en el uso de la física, en una escala nacional, que no constituyen ideas ni propuestas concretas de las que haya vestigio en el país; más - - bien, podemos encontrar que la tendencia de desarrollo del uso de las ciencias contemporáneas va engendrando numerosas actividades coincidentes con la orientación impresa a las reflexiones precedentes. Las actividades de este tipo, - reflejan y producen actitudes y mentalidades también nuevas, de modo que este trabajo se ubicaría en este conjunto de preocupaciones y formas de ver el uso de la ciencia, con la intención de contribuir sobre todo al robustecimiento - de las fuerzas espirituales que han de salvar a nuestra agobiada nación.

A MODO DE CONCLUSION

La comprensión de la física contemporánea presenta dificultades de índole muy variada; según se vayan superando tales dificultades, se adquirirá un grado de dominio cada vez más calificado en alguna o algunas ramas de esta ciencia. El tipo de físico -si se permite la expresión- que requiere la comunidad científica de un país dado, no puede ser único, sino que será ventajosa una diferenciación que vaya más allá de la especialización y que tenga que ver con lo que podríamos llamar la orientación cultural de su capacitación; esta necesidad proviene del carácter poco preciso del rumbo de avance de la física, en cuanto ciencia y en cuanto rama del conocimiento que juega con frecuencia el papel de precursora o de puntera en el estudio de algunos aspectos de la naturaleza, tras de cuyos pasos avanzan otras disciplinas.

En un amplio frente, acotado por el nivel de desarrollo del conocimiento, los caminos por los cuales pueden progresar la física son extraordinariamente numerosos y sus posibles combinaciones y entrecruces alcanzan un grado de complejidad difícil incluso de imaginar; es por ello que la comunidad científica de un país estará mejor capacitada para contribuir al desarrollo de la física de su tiempo, en la medida en que cuente con miembros preparados en las ramas fundamentales o de mayor dinamismo, y en que, al mismo tiempo, tengan una diversidad aceptable de preparaciones. A esta capacidad de respuesta y de participación en el proceso internacional de desarrollo de la física se le podría llamar "creatividad colectiva", o de toda la comunidad; constituye una especie de apuesta a diferentes opciones que se consideren razonablemente probables, por medio de la cual se incrementan las posibilidades de éxito del esfuerzo comunitario, aunque la suerte individual quede sujeta a un mayor grado de indeterminación.

El planteamiento anterior suena muy aceptable y lógico, cuando se considera como un estado de cosas que es deseable alcanzar, pero en cuanto se plantea la pregunta de cuáles son los mecanismos o los recursos o las palancas que sirven para propiciar lo que he llamado la orientación cultural, inevitablemente afloran las profundas divergen-

cias que de hecho existen en las ideas acerca de este aspecto de la ca
pacitación científica. Puesto que la calificación de una comunidad --
tiene como fundamento la preparación individual, parece conveniente de de
tectar el aspecto de la formación de un científico que entraría en re-
sonancia con la mencionada orientación cultural.

Creo detectar tres niveles de configuración de los conocimientos
englobados por lo que conocemos como ciencia de la física. El primero,
y con mucho el mejor conocido, es el de los conocimientos positivos, --
que incluye los conceptos, leyes y teorías incluidos en la generalidad
de los libros de texto; el tercero sería el de las concepciones filosó-
ficas que subyacen en forma un tanto remota en los conocimientos del -
primer nivel y es tema de estudio de filósofos o científicos con incli-
naciones filosóficas; en medio de los dos niveles anteriores parece ha-
ber otro, que trasciende los formalismos concretos, propios de las teo
rías positivas pero que pertenece totalmente el campo de los propios -
físicos. Este segundo nivel no se comunica expresamente en su parte -
medular, sino que va implícito en las teorías positivas; se le puede -
considerar la lógica de la física en una época determinada, tiene que
ver con la imagen de la naturaleza que nos formamos a partir de las --
teorías positivas y que la gran mayoría de las veces orientan la bús-
queda de soluciones, tanto a problemas de frontera como a problemas de
aplicación, ya sea de índole práctica o de ejercicios de texto.

Al segundo nivel corresponden, por ejemplo, las nociones sobre tor
bellinos que todo lo penetraban y que con sus mutuos equilibrios pro-
ducían los movimientos circulares de un universo inercial, según Des-
cartes; también las ideas sobre los efectos que la masa produciría so-
bre el éter, según Newton, con las cuales buscó explicaciones a fenóme-
nos luminosos; la representación que se hacía de las líneas de fuerza
Faraday; las imágenes del campo que Maxwell se formó a partir de los --
fenómenos en fluidos, que sirvieron como primera cuna de este concepto;
las ideas que acerca del espacio y el tiempo formuló Einstein en sus --
teorías de la relatividad; la imagen con que nos representamos en la --

actualidad la estructura de los gases, los sólidos y los líquidos; lo que alcanzamos a deducir del formalismo de la mecánica cuántica, etc., etc. Si se domina este segundo nivel, se pueden orientar correctamente las manipulaciones del formalismo del primer nivel, pero además se pueden producir conjeturas y dar explicaciones a quienes son extraños al formalismo, o a quienes lo conocen a niveles relativamente elementales; todo el que no domina este segundo nivel queda condenado a reconstruir las deducciones de manera poco viva y carente de creatividad.

El mayor recurso teórico de la física es su capacidad para traducir algunos aspectos convenientemente seleccionados, de cierto fenómeno natural a una aproximación teórica matematizable, para operar en esta aproximación teórica o modelo y de sus conclusiones matemáticas deducir predicciones cuantificadas acerca del comportamiento de las variables con las que se representaron los aspectos privilegiados del fenómeno en estudio. Este es su gran poder, pero aquí se encierra también su mayor peligro, pues al remontarse del fenómeno concreto a su representación formalizada se corre el riesgo de enajenar la realidad. El aspecto de la física mayormente dañado con esta enajenación es el segundo nivel, lo cual se expresa en la incapacidad para producir explicaciones globalizantes de los fenómenos sobre los que las vivencias inmediatas son más pobres. Un ejemplo es el de algunos aspectos del movimiento circular, como el aumento del momento angular del tronco del cuerpo de una bailarina que recoge los brazos, el cual aumento se produce sin que al parecer haya una torca.

El dominio del segundo nivel, o sea de la lógica de una teoría o de la cultura específica de esa rama, sostengo que está estrechamente asociado con la creatividad personal que se tiene como científico. Recuerdo que alguno de los biógrafos de Maxwell reprodujo la opinión de uno de los profesores del científico inglés, quien dijo: "Parecía incapaz de equivocarse" al recordar a su antiguo discípulo; podría asociarse esta expresión con la manida y trillada idea de la genialidad, de esa misteriosa e incomprensible capacidad de pensar de modo diferen

te al de los normales, pero no he visto que esa asociación ayude en nada y sí que perjudica mucho, por lo cual prefiero buscar una explicación más racional a esos fenómenos y creo localizar en el mencionado segundo nivel la fuente de los éxitos o fracasos que no son atribuibles a deficiencias en los conocimientos positivos. Maxwell debió ser, indudablemente, un tipo muy bien dotado, pero creo que esa "incapacidad para equivocarse" más bien fue una comprensión profunda de la lógica de la física de su tiempo, la misma que le permitió destacar en varias ramas de esa ciencia, no sólo en el electromagnetismo. Algo parecido se puede decir de Fresnel, de Faraday y de muchos otros grandes científicos. Hay casos en los que incluso movidos por premisas equivocadas, quienes estuvieron en la lógica correcta cosecharon éxitos, como el de Copérnico, quien sostuvo la posición central del Sol por razones metafísicas, las cuales finalmente han quedado olvidadas, mientras que la lógica del heliocentrismo lo convirtió en el fundador de una escuela que en su tiempo fue la más creativa en astronomía.

La comprensión del segundo nivel está asociada con las síntesis o globalizaciones que a lo largo de la formación de un científico van realizándose en diferentes niveles de sus estudios; por los casos que he conocido, me parece que estas síntesis en nuestra facultad suelen ocurrir a lo largo de la maestría o el doctorado en su mayoría, mientras que en la licenciatura son pocas las personas que consiguen esa experiencia de poder recrear por sí mismo algo del pensamiento que tuvieron los grandes creadores. Por esta razón, una primera conclusión es que se requiere auspiciar en niveles más tempranos de la formación, la posibilidad de que un mayor número de estudiantes consigan ese tipo de síntesis, en temas que tengan suficiente sencillez para que sean dominables y sin embargo tengan suficiente riqueza como para que la síntesis permita que el estudiante experimente esa singular sensación de dominar una teoría no sólo al nivel de comprenderla, ni tampoco limitado a resolver problemas que se le plantean ya formulados, sino dominarla al grado de poder construir por sí mismo conjeturas, de poder establecer conexiones originales para el

estudiante mismo, que no se le hayan sugerido - con fenómenos de la realidad o con conocimientos adquiridos en otro nivel o rama. Esta capacidad de hacer síntesis y extraer conclusiones es uno de los aspectos de la creatividad; es claramente diferente del dominio del formalismo, el cual sólo permite usar los conceptos y teorías en los marcos de lo que se ha enseñado, lo que es muy alentado por la circunscripción a resolver problemas de texto, con frecuencia ordenados de la misma forma - en que se fueron presentando las fórmulas y enfoques en la exposición teórica, de modo que el estudiante se limita a buscar lo que suele llamarse un "truco" en la representación del problema práctico que se le pide resuelva, lo cual encierra el riesgo de que cientos de problemas resueltos no garanticen que se avanzó significativamente en el dominio de la teoría, porque el vigor del formalismo atrapa, a causa de una especie de autosuficiencia del propio formalismo. Me ha tocado presenciar que en casi todo un grupo escolar se comunican "el truco" los estudiantes, sin que aparezca ni el menor esfuerzo por dilucidar qué significado físico tiene esa simplificación o esa manera de representar al fenómeno en estudio. La verdad es que no es posible seguir los significados o equivalencias físicas de cada paso de las deducciones matemáticas, pero de eso a enajenarse en el formalismo y adquirir el hábito de ignorar las implicaciones conceptuales de los procedimientos, hay una diferencia cualitativa muy trascendente que está emparentada con el desarrollo o la limitación de la capacidad creativa.

Entre los numerosos obstáculos que deben superarse para diseñar cursos en los que puedan alcanzarse síntesis y niveles graduados de creatividad no es el menor el del tiempo, tanto el de las clases como el de tareas; la superación de este obstáculo depende de muchos factores, como el de un estilo de trabajo que no se puede imprimir en sólo una materia, sino que forma parte del ambiente, pero su factor clave es la determinación de los conceptos y su nivel de comprensión, que se requieren para que la síntesis aludida pueda ocurrir. La resolución adecuada de este último problema depende del conocimiento de la estructura epistemológica de la rama de la física que englobe el curso

correspondiente; la dirección formativa de estos cursos se desviaría -- en cierto grado de la componente formalista para incluir otra componen- te: la cultural. La existencia de esta componente es la médula de la - presente tesis.

Puesto que una componente cultural como la mencionada constituye un típico producto social, su existencia implica que la enseñanza de - la física no es una tarea que pueda realizarse de la misma forma en -- todos los países, sino que exige se tomen en cuenta las especificidades nacionales. Sobre todo en lo relativo a la formación básica, se requie- re detectar las particularidades culturales que atañen a la comprensión de las teorías contemporáneas, con el fin de evitar que los físicos -- formados sean un islote más conectado con los centros internacionales de creación científica que con el medio social en que deben fructifi-- car. La formación básica aludida no es la elemental, sino la que da - soporte o fundamento a las teorías especializadas. En la medida en -- que se reconozcan las condiciones propias en que tiene lugar el contac- to entre las teorías modernas y la conciencia social de nuestro medio, se podrá elevar la fluidez de la difusión de los conceptos y teorías - considerados. Esta es la segunda conclusión concreta. Se han hecho - algunos señalamientos de estas peculiaridades nacionales.

El tercer asunto específico analizado a lo largo del trabajo es - acaso el más apasionante y ambicioso: el lugar que corresponde a la --- ciencia en general, y a la física en particular, en la estructura cultu- ral de una sociedad. Este es un problema muy poco estudiado hasta el - presente. Para los países que se han apropiado de las ciencias moder-- nas este no es un problema acuciante, de modo que entre los teóricos - de la cultura no se ha profundizado en la cuestión ; entre los historia- dores de la ciencia esto se ha estudiado solamente en medio de la con-- troversia entre externalismo e internalismo, de modo que no se le ha -- enfocado en detalle; por su parte, los científicos de tales países ---- están inmersos en la producción de ciencia en condiciones básicamente aceptables. Creo que el espacio natural para el desarrollo de estos -

estudios es el de los países con capacidad media para la creación científica, es decir, los que tienen ya instituciones y científicos capacitados pero están todavía muy atados a la tutela de los grandes centros internacionales; en esta situación creo que se encuentra México.

Como una contribución al estudio de las relaciones entre la ciencia y la cultura en general, se propone que el tema de la imagen de la naturaleza acuñada por la ciencia es uno de los conductos principales -- por los cuales la actividad teórica de los científicos tiene efectos -- sobre la cultura en general. En torno a la categoría de la imagen de la naturaleza se hacen algunas consideraciones.

Un cuarto punto en consideración es el de la influencia de los -- científicos en la sociedad que los sostiene. Como es sabido, el desarrollo de la ciencia se determina no sólo por su problemática interna, sino también por lo adecuado o inadecuado de las instituciones destinados a su creación. Por ello es tan determinante esta influencia, la cual no se circunscribe a su aspecto cultural, sino que tiene ingredientes de diverso género. Esta influencia se analiza desde el ángulo de -- lo que los físicos, como físicos, pueden hacer para elevar su ascendiente social; se consideran tareas a cumplir en la educación, pero también se comenta la difusión o divulgación. Un trabajo de importancia, que -- aquí no se atiende, es el de esclarecer o dilucidar lo que sería abordable en las estructuras educativas escolarizadas y lo que requiere de -- otros conductos.

El quinto tema considerado es el de la necesidad de esclarecer -- las bases conceptuales, lógicas y filosóficas de las teorías físicas, -- para contar con el instrumental necesario para avanzar en el cumplimiento de las tareas implicadas en los puntos antes expuestos. Alrededor -- de esto se hacen variadas consideraciones en torno a dos discontinuidades teóricas de nuestra ciencia: la del siglo XVII y la del XIX. Se sostiene una idea operativa acerca del uso de la historia de la ciencia y se intenta mostrar cómo se podría aplicar esa idea en concreto.

En la obligación ineludible de tener que enunciar en pocas palabras una conclusión final, diría que consiste en la necesidad de investigar las formas en que se puede construir y reforzar una cultura científica contemporánea, teniendo como recurso principal la transmisión de los conocimientos positivos comprendidos por las teorías científicas modernas.

Todos los temas reseñados en esta conclusión vendrían a quedar, finalmente, englobados en el gran propósito de contribuir al desarrollo de la capacidad nacional para apropiarse de la ciencia contemporánea. Este propósito es alcanzable gracias a medidas externas al desarrollo de la ciencia y, en última instancia, es una meta de carácter político; sin embargo, la formulación de políticas de fomento y desarrollo de la ciencia no alcanzarán la madurez ni la certeza necesarias, mientras no cuenten con un planteamiento de los problemas internos de las ciencias suficientemente claro y acertado. Siguiendo esta idea, he pensado que la reflexión del físico sobre estos temas es necesaria.

Por lo demás, a estas alturas ya se ha colado a la ciudadela científica esta problemática, por intersticios de condición muy variada. Los análisis se han asociado, como es inevitable que suceda, con las preferencias o filiaciones ideológicas de sus autores; creo que también desde este punto de vista se justifica la discusión de los temas incluidos en este trabajo. No puede sino dejar frutos positivos el abrir la discusión explícita de las ideas que mucha gente viene concibiendo ya sobre estos asuntos.

BIBLIOGRAFIA CON REFERENCIAS
ESPECIFICAS

Las referencias del texto señalan autor y página.

- ALEXANDER R. Einstein y las Moléculas
En RODRIGUEZ/HOJMAN, Comp., Albert Einstein:
Perfiles y Perspectivas, UNAM-Nueva Imagen;
México, 1987.
- ARAGO Francisco. Historia de mi Juventud
Colección Austral, No. 556; Espasa-Calpe;
Argentina, Buenos Aires, 1946.
- BOHM David. Causalidad y Azar en la Física Moderna
UNAM; México, 1959.
- BROWN Sanborn C. El Conde Rumford
Eudeba; Buenos Aires, 1965.
- CASTILLO Isidro. México: Sus Revoluciones Sociales y la Educación
Gobierno del Estado de Michoacán; México, 1976.
- CROWTHER J.G. J. Prescott Joule, William Thomson, J. Clerk Maxwell
Colección Austral, Espasa-Calpe; Argentina,
Buenos Aires, 1945.
- EINSTEIN Albert,
BORN Hedwig y Max. Correspondencia
Siglo XXI; México, 1973.
- ENGELS Federico. Dialéctica de la Naturaleza
Grijalbo; México, 1961.
- ESTRADA Luis, et. al. La Divulgación de la Ciencia
UNAM; México, 1981.
- GARCIA Camarero Ernesto y
Enrique. La Polémica de la Ciencia Española.
Alianza Editorial; Madrid, 1970
- HEISENBERG Werner. La Imagen de la Naturaleza en la Física Actual
Seix Barral; Barcelona, 1969.

- HOLTON Gerald y BRUSH Stephen. Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas. Segunda Edición; Reverté; Barcelona, 1979.
- JEANS James. Historia de la Física ea. ed., Breviario No. 84; Fondo de Cultura Económica, 1968,
- MACDONALD D.K.C. Faraday, Maxwell y Kelvin Eudeba; Buenos Aires, 1966.
- PAPP Desiderio. Historia de la Física Espasa-Calpe; Madrid, 1961.
- SOLANA Fernando et. al. Historia de la Educación Pública en México SEP-FCE; México, 1981.
- WHITTAKER Sir Edmund Taylor. A History of Theories of Aether and Electricity T. Nelson; London, 1953.

Las citas del Capítulo VI corresponden a diferentes artículos. Son las siguientes:

<u>PAG. DEL CAPITULO</u>	<u>AUTOR</u>	<u>TITULO DEL ARTICULO</u>
(76)	Kudriávstev	El Desarrollo de la Teoría del Campo Electromagnético.
(77)	"	" "
(79)	"	" "
(80)	Kudnavtsev	" "
(88)	Kudriávstev	El Desarrollo de las Ideas de la Termodinámica y de la Atomística.

Ambos artículos aparecen en:

- GRIGORIAN y POLAK. Las Ideas Básicas de la Física, Ensayos Sobre su Desarrollo Editorial Pueblos Unidos; Uruguay, 1962.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

1. BACHELARD S. La Formación del Espíritu Científico
Siglo XXI Editores; México; Decimoprimer Edición, 1983.
2. CASSIRER Ernest. El Problema del Conocimiento
Fondo de Cultura Económica; México; Segunda - Edición, 1965.
3. COHEN I.B. La Revolución Newtoniana y la Transformación de las Ideas Científicas
Alianza Editorial; Madrid, 1983.
4. DESCARTES R. Meditaciones Metafísicas
Editorial Porrúa; México, 1976
5. JEANS James. Historia de la Física
Fondo de Cultura Económica; México; Tercera Edición, 1968.
6. KOESTLER Arthur. Los Sonámbulos
Salvat; España, 1986
7. KOYRE Alexander. Del Mundo Cerrado al Universo Infinito
Siglo XXI Editores; México; 2a. Edición, 1978.
8. KOYRE Alexander. Estudios de Historia del Pensamiento Científico
Siglo XXI Editores; México; 2a. Edición, 1978.
9. KOYRE Alexander. Estudios Galileanos
Siglo XXI Editores; México, 1980.
10. LAKATOS Imre, et al. La Crítica y el Desarrollo del Conocimiento
Grijalvo; España, 1975.
11. LOOSE, John. Introducción Histórica a la Filosofía de la Ciencia
Alianza Universidad; España, 1976.

12. LAKATOS Imre, et. al. La Crítica y el Desarrollo del Conocimiento
Grijalbo; España, 1975.
13. LOOSE John. Introducción Histórica a la Filosofía de la Ciencia.
Alianza Universidad; España, 1976.
14. MACH Ernest. Desarrollo Histórico-Crítica de la Mecánica
Compañía Editorial Espasa Calpe; Argentina
1949.
15. PECHEUX Michel y FICHANT Michel. Sobre la Historia de las Ciencias
Siglo XXI; México; 3ra. Edición en Español, 1978.
16. PIAGET Jean, et. al Tratado de Lógica y Conocimiento Científico
Paidós; Argentina, 1971.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José de Jesús Bazán Levy, por su invaluable apoyo, su estímulo y su amistad.

Al Mat. José Agustín Gutiérrez Rentería, por su constante respaldo y eficaz ayuda en la solución de numerosos problemas; por su generosa amistad.

Al Fís. Andrés Porta Contreras, por el gran esfuerzo que realizó en la revisión del borrador de esta tesis y su valiosa orientación.

Al Dr. Francisco Medina Nicolau, al Fís. Juan Américo González Menéndez y al M. en C. Ignacio Campos Flores, por sus numerosos e invaluable - comentarios que me ayudaron a concluir y superar este trabajo.

A la Sra. Ma. de los Angeles Sainz Prince y la Srita. Concepción Sámano, por su ayuda decisiva y generosa.

A todos ellos, mi profundo reconocimiento

Zoilo Ramírez Maldonado