



AVANCE Y PERSPECTIVA

núms.16-17 2ª época

abril - julio 1983 México

*Magnetismo
en metales de
transición*

Celdas solares

ISSN 0185-1411

Sumario

<i>Columna del Director</i>	1
<i>Magnetismo en metales de transición/José Luis Morán López</i>	2
<i>Celdas solares: fundamentos físicos, investigación, tecnología y aplicaciones/Jaime Mimila Arroyo</i>	12
<i>Noticias del Centro</i>	37
<i>Matices: El arte, el pensamiento mágico y la ciencia/Ruth Paradise</i>	48
<i>Libros: Recientes viejas ediciones/Carlos Chimal</i>	54
<i>Documentos: Discursos de Héctor O. Nava y Manuel V. Ortega</i>	57

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. (CINVESTAV).

Dr. Héctor O. Nava, Director.

Editor: M. en C. Carlos R. Ramírez Villaseñor.

Consejo editorial: Carlos Chimal, Arturo Piera,

Carlos R. Ramírez Villaseñor.

Impreso en los talleres de Editorial Penélope, S.A. de C.V.
Av. Country Club 208, Col. Country Club, 04220 México,
D.F.

Diseño: Alberto Rivera.

Fotografía: Jorge Ramírez Suárez.

Servicios fotográficos: Taller de Comunicación Total.

Certificado de licitud de título 1728 y certificado de licitud de contenido 1001, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas ilustradas de la Secretaría de Gobernación, Reserva de Título No. 705-82 de la Comisión General de Derecho de Autor.

Avance y Perspectiva, publicación bimestral editada por el Cinvestav, Av. I. P. N. No. 2508 esq. Calz. Ticomán; Apartado Postal 14-740, 07000 México, D.F. Delegación Gustavo A. Madero.



bibl.
Area
Biologica

Columna
del
Director



BIBLIOTECA
Depto. de Fisiología

Una verdadera tradición no es el testimonio de un pasado que ya vivimos. Es una fuerza vital que inspira e instruye el presente. Nos asociamos con una tradición a fin de hacer algo nuevo, dinámico y vigoroso, lleno de perspectivas, acorde con el momento, encaminados a construir un futuro diferente. Es en este sentido con el que, tomando los valores humanos que el Centro ha podido cultivar en sus años de existencia, debemos encarar el difícil presente que nos toca vivir como comunidad, como institución. Parte de los valores que compartimos son la seriedad con que realizamos nuestro trabajo, el máximo celo que exigimos para no caer en la simulación o la mediocridad; somos una comunidad comprometida con nuestro tiempo y con la sociedad que nos da sustento, y por ende con los problemas actuales de nuestro país. Así iniciamos las acciones para poner en marcha los mecanismos que nos permitan seguir muy de cerca el desarrollo actual del Centro, el análisis de sus logros y dificultades, y la implementación de sus métodos de autoevaluación.

Un primer paso se ha dado al establecer la Comisión Ordinaria de Promoción y Becas de Exclusividad, que ha recogido las opiniones de diferentes miembros del sector académico para establecer sus procedimientos, y que en el pasado mes de mayo culminó una de sus etapas al llegar a su término el período de permanencia de tres de sus miembros, los doctores Hugo Aréchiga, Augusto García y Eugenio Filloy, a los cuales agradezco aquí toda su entusiasta colaboración. Los criterios de evaluación no comprenden aún cabalmente el área de la ingeniería. Se ha integrado una subcomisión para estudiar este asunto. Procederemos al nombramiento de los nuevos miembros para instalar próximamente otra Comisión que continúe con la labor de evaluar las diferentes áreas del Centro y sus actividades sustantivas: docencia, investigación, desarrollo tecnológico, extensionismo y difusión. Esperamos que con nuevas aportaciones del personal académico se enriquezcan nuestros procedimientos a fin de preservar y mejorar nuestros niveles académicos. En la misma dirección deberán orientarse los grupos de trabajo que surjan dentro del Consejo Académico Consultivo, con objeto de elaborar los lineamientos para el otorgamiento del receso sabático; las condiciones académicas para la obtención de la definitividad; las normas y reglamentos que rijan las actividades, deberes y derechos de la comunidad del Centro tanto en los sectores académicos como en aquellos que se preparan para la obtención de sus grados de maestría y doctorado; establecer los criterios académicos sobre la estructura, duración y modalidades de los cursos de graduados. En fin, atender y reflexionar sobre las múltiples inquietudes que existen dentro del Centro con el propósito de proponer las acciones que nos permitan hacer de nuestra institución una de las mejores del país en todos sus aspectos. Tenemos confianza en que con la participación de estos sectores y tomando en cuenta los valores esenciales que dieron origen al Centro, mejorándolos y ampliándolos, podremos cumplir con las expectativas que se han depositado en el desarrollo de los centros de investigación del país, para ser un modelo digno de tomarse como ejemplo. Debemos entonces desechas los intereses de grupos sectarios, las posiciones de autocomplacencia fútil o de la autoestima prepotente; aprender a valorar, sin menosprecio, la intención y la honradez intelectual con que trabajan los grupos o los investigadores que están en proceso de maduración; pero debemos también saber detener o corregir toda desviación que propicie la simulación o la mediocridad.

La salida de este número de *Avance y Perspectiva* nos encontrará elaborando activamente el catálogo de puestos para nuestro personal técnico, administrativo y de servicios. Nuestros criterios y posiciones serán las mismas, el interés del Centro y de sus sectores con objeto de alcanzar los objetivos primordiales de la institución, cumpliendo así con un requisito necesario para el mejor desarrollo de nuestro trabajo. No seremos sensibles a presiones que nada tienen que ver con el funcionamiento interno del Centro. No deseamos establecer un catálogo de puestos en el cual se propicie el desinterés por el trabajo de los demás y la falta de solidaridad entre todos los miembros. Pretendemos compactar el gran número de categorías actualmente existentes, haciendo compatibles las nuevas diferentes posiciones que se definan y la clara identificación de las labores que se realizan con destreza y experiencia reales, además del interés de superación personal. Motivar a la superación, no caer en el burocratismo escalafonario, no es ninguna imposición irracional. Esta dirección hará las consultas pertinentes, según corresponda, a jefes de departamento o a investigadores; tenemos la obligación de hacer un buen trabajo, de corregir errores, de satisfacer en la medida de lo posible las justas aspiraciones de recategorización, reconociendo el trabajo de todo aquel que ha trabajado, dando oportunidad a todo aquel que desea superarse. Estamos convencidos de que lograremos hacerlo. Nada hay más valioso, en el hombre que su trabajo, capacidad creadora y transformadora.

Magnetismo en metales de transición

José Luis Morán López

Ahora canta musa mía, acerca de esta poderosa causa. Explica el Magneto, por qué atrae tan fuertemente, y conduce al Fierro natural a un apasionado abrazo.

Lucrecio Caro: *De Rerum Natura*, Siglo 1 antes de nuestra era.

El magnetismo no es de ninguna manera un campo nuevo en el conocimiento humano. Desde tiempos remotos se conocen, a través de leyendas, crónicas y pasajes poéticos ideados por los filósofos de la antigüedad, descripciones¹ de propiedades misteriosas en las sustancias minerales magnéticas. Probablemente fueron los griegos los que primero reflexionaron sobre las poderosas propiedades de la magnetita ($\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$). Este mineral, que aun en su estado natural atrae fuertemente al hierro, se extraía en la provincia de Magnesia. Las primeras descripciones griegas de la magnetita datan del año 800 antes de nuestra era, y éstas prevalecieron durante los 23 siglos posteriores.

La atracción magnética, con su propiedad de atraer a distancia, no pudo ser comprendida en su fundamento por los antiguos filósofos, lo cual condujo inevitablemente a que la gente atribuyera al magnetismo la manifestación de ciertas fuerzas espirituales. No es por accidente que el término magnetismo se usara como sinónimo de fenómenos ocultos.

El pensamiento griego está representado principalmente por dos escuelas: la animista y la atomista. Los animistas aseguraban que las extraordinarias propiedades de la magnetita tenían un origen divino. Tales de Mileto, y posteriormente Anaxágoras, creyeron que la magnetita tenía alma, idea adoptada nuevamente en el siglo XVII. Por su parte, los atomistas sostenían varias teorías. La más sofisticada de ellas se debe a Empédocles, a Epicuro y a Demócrito, y suponía la existencia de emanaciones invisibles entre el hierro y la magnetita.

Fueron William Gilbert de Colchester (1544-1603) y René Descartes (1596-1650) los primeros en estudiar el magnetismo de una manera sistemática. El primero inauguró el método experimental. *De Magneto*², publicado en 1600, contiene los resultados de diecisiete años de estudio. En esta obra se encuentra todo el conocimiento que se tenía del magnetismo hasta la fecha. Entre otros experimentos, Gilbert reprodujo aquellos realizados por Peregrinus varios

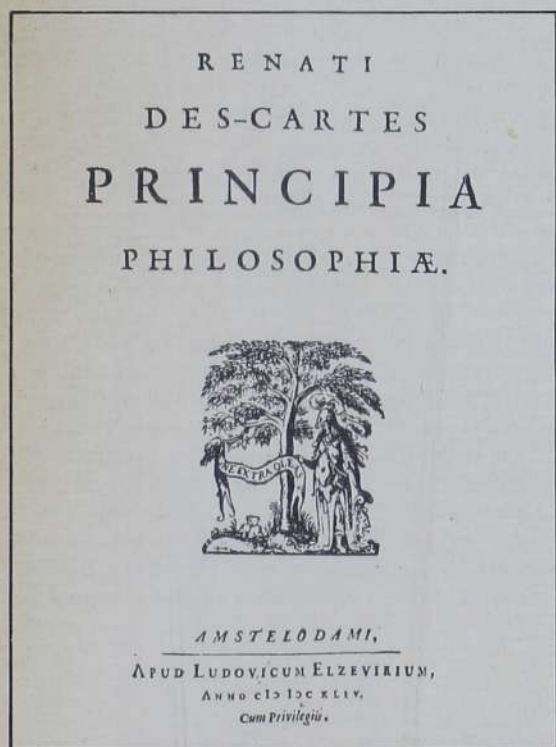


Técnica de fundición en la época de William Gilbert Colchester.

siglos antes, que consistían en colocar sobre una esfera de magnetita una pieza ovoide de hierro y trazar las líneas en la dirección que ésta se orientaba. Se encontró que estas líneas envolvían la esfera de magnetita en una dirección análoga a la de los meridianos terrestres y cruzaban la esfera en dos puntos. A estos puntos les llamó los polos del magneto, en analogía con los polos de la Tierra. Basándose en tales experimentos, Gilbert fue el primero en proponer que la Tierra es un enorme magneto.

Al contrario de Gilbert, Descartes fue un filósofo que ignoraba los hechos experimentales. No obstante, su mérito consiste en despojar de la supuesta alma a la magnetita, fincando así las bases de la teoría racional. Autor de la primera teoría extensa del magnetismo³, aceptó la hipótesis de Gilbert de que la Tierra era un

También propuso que a las partículas les resultaba más fácil viajar a través de la Tierra que por el aire, de tal manera que atravesaban cualquier magnetita a su paso. Incluso algunas se quedaban girando alrededor de ella, sin continuar su trayecto original. Este modelo se muestra en la figura 1. En la figura 2 se muestra un diagrama de las líneas de flujo magnético terrestre, a fin de establecer la comparación. El Sol produce perturbaciones y distorsiona el campo magnético producido por la Tierra (en la figura, éste se encuentra del lado izquierdo).



magneto gigante y propuso una teoría. En ella supone la existencia de pequeñas partículas que se mueven en órbitas cerradas, las cuales atraviesan la Tierra a través de canales, entrando por un polo y saliendo por el otro. Además, propone la existencia de dos clases de partículas: aquellas que sólo pueden entrar por el polo norte y salir por el polo Sur, y aquellas que hacen el viaje de regreso por el aire.

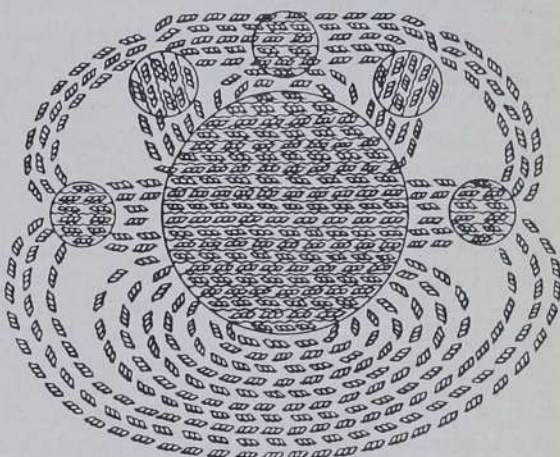


Figura 1. Según la teoría de Descartes, en este esquema se muestran las pequeñas partículas que atraviesan la Tierra (esfera central), alrededor y dentro de otros cuerpos magnetizados.

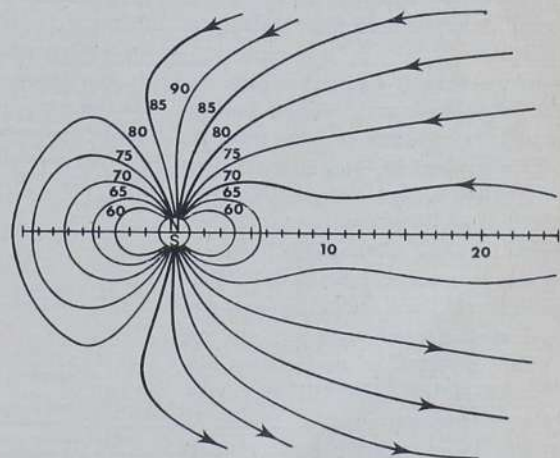


Figura 2. Líneas del campo magnetosférico obtenidas recientemente (1965).



René Descartes.

La filosofía de Descartes marca la transición entre la metafísica y el pensamiento científico, y su teoría de magnetismo prevaleció hasta el siglo XVIII. No fue sino hasta mediados de ese siglo cuando se abordaron de manera científica los problemas del magnetismo, caracterizados por la interrelación entre teoría y experimento, y fundados en hipótesis racionales. Por un buen tiempo la teoría del magnetismo fue desarrollada con base en la teoría de fluidos. Maxwell es una de las figuras de ese entonces. Sin embargo, es hasta que se descubrió el electrón cuando la teoría del magnetismo pudo ser colocada sobre bases más sólidas.

La teoría de fluidos fue propuesta originalmente como una explicación a la corriente eléctrica, después de que Stephen Grey descubrió en 1792 que la electricidad podía transmitirse de un cuerpo a otro; Benjamín Franklin interpretó la carga estática como la falta o exceso de fluido eléctrico. Aplicada esta teoría al magnetismo, se suponía que existían dos tipos de líquidos, llamados austral y boreal, en correspondencia con los dos polos. El fierro en el estado natural no magnético contenía mezclados igual cantidad de los dos líquidos. El efecto de magnetizar la muestra era

entonces separarlos y acumularlos cerca de los polos.

Charles Augustin Coulomb (1736-1806) impulsó notablemente la teoría de los fluidos. A partir de sus experimentos encontró que cantidades infinitesimales de los dos fluidos se atraen o se repelen, con una fuerza que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa⁴. Además de este importante descubrimiento se dio cuenta de que los fluidos magnéticos no podían moverse libremente, como los fluidos eléctricos, sino que estaban ligados a moléculas. Así, propuso que cada molécula se polariza en el proceso de magnetización y pudo explicar por qué a partir un iman se generan dos imanes.

La fuente de campos magnéticos es el movimiento de cargas eléctricas, o sea, corrientes eléctricas. Desde el punto de vista atómico hay dos tipos de corrientes microscópicas asociadas con electrones y nucleones: corrientes orbitales relacionadas con el movimiento de rotación de las partículas respecto del centro de gravedad y corrientes que están relacionadas con la rotación de las partículas alrededor de su propio eje (espín). Los núcleos atómicos y las capas electrónicas que los envuelven, al estar compuestas de nucleones y electrones, se caracterizan por cantidades orbital o de espín que resultan de la contribu-

ción de cada uno de sus componentes.

La medida cuantitativa del magnetismo de una partícula se conoce como momento magnético, μ . Este tiene componentes asociadas al movimiento orbital y al movimiento de espín. Para ilustrar la componente orbital se puede hacer notar que, al moverse un electrón en una órbita circular con periodo τ , genera una corriente unitaria ($i = e / \tau$). La magnitud del momento asociado a este movimiento es igual a la corriente por el área del círculo, y la dirección del vector $\vec{\mu}$ está determinada por la regla de la mano derecha⁵ (figura 3), la cual establece que si se toma como eje el pulgar de la mano derecha, y la corriente fluye en la dirección de los otros dedos, el momento magnético apunta precisamente en la dirección del pulgar.

Los elementos fundamentales de la materia, electrones, protones, etcétera, poseen momentos magnéticos. Por lo tanto, cualquier combinación de éstos (núcleos atómicos y capas electrónicas) o combinación de estas combinaciones (átomos, moléculas y cuerpos macroscópicos), pueden ser fuentes de magnetismo. Sin embargo, la fuente principal de magnetismo son los electrones. La contribución de los núcleos es varias órdenes de magnitud menor y en general se desprecia.

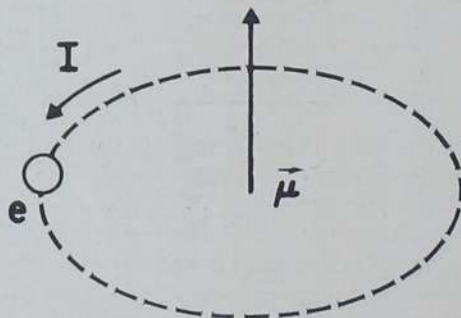


Figura 3. Momento magnético asociado al movimiento orbital de un electrón.

En un átomo, la forma como se distribuyen los electrones en los diferentes niveles atómicos y la forma como se acoplan los componentes orbital y de espín están dadas por las reglas de la mecánica cuántica⁶. Las reglas de Hund establecen cómo se van llenando con electrones los diferentes niveles atómicos y la aproximación de Russell-Saunders indica la manera como se acoplan las componentes orbital y de espín del momento magnético. De acuerdo a ellas, sólo los átomos con capas llenas, o los que les falta un electrón para estar semillenas, poseen un momento magnético total nulo⁷.

En un cuerpo sólido, los átomos están colocados espacialmente de una manera periódica e interactúan unos con otros. Esto hace que la descripción de las propiedades magnéticas en cuerpos sólidos sea más complicada. Sin embargo, algunos sistemas se pueden explicar con base en un modelo sencillo, que consiste en suponer que los sitios de la red están ocupados por átomos con momentos magnéticos que pueden interactuar con mayor o menor intensidad (figura 4). La cantidad llamada magnetización, M , es la diferencia entre momentos magnéticos que apuntan hacia arriba y momentos magnéticos que apuntan hacia abajo. Este modelo llamado localizado^{8, 9}, nos servirá para describir algunos de los diferentes materiales magnéticos que se presentan en la naturaleza.

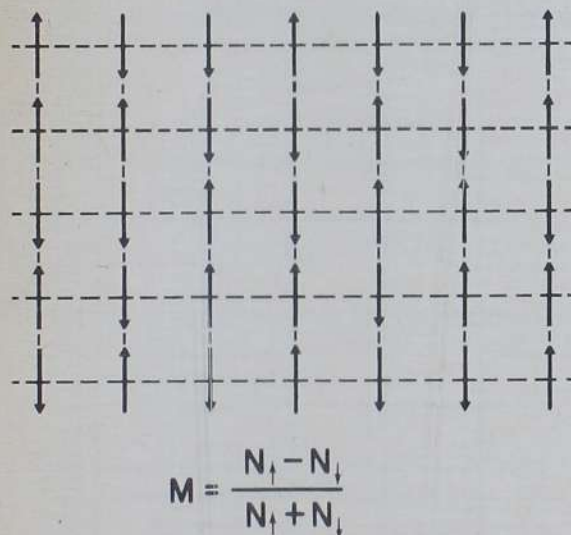


Figura 4. Modelo localizado para un sistema magnético.

En la antigüedad se conocía sólo un tipo de materiales magnéticos, llamados ahora ferromagnéticos.

Actualmente, además de éstos, existen otros, a los que se les clasifica de acuerdo a la forma como responden a campos magnéticos aplicados, H . La relación entre la intensidad de la magnetización, M , y el campo magnético aplicado, H , se puede expresar como

$$M = \chi H \quad (1)$$

A χ se le llama susceptibilidad magnética, y puede tomar valores positivos o negativos. A los materiales con χ negativa se les llama diamagnéticos, mientras que los que se caracterizan por una χ positiva se conocen como paramagnéticos.

El origen del diamagnetismo es el movimiento orbital de los electrones y por ende característico de toda la materia condensada. El campo magnético aplicado induce corrientes que a su vez producen campos magnéticos dirigidos en dirección opuesta al campo aplicado. Este efecto es muy débil comparado con cualquier otro tipo de magnetismo.

El paramagnetismo ocurre si en los átomos existe un momento magnético diferente a cero. En estos sistemas la magnetización es proporcional al campo aplicado, y se puede entender, según el modelo de la figura 4, en la ausencia de interacción entre los momentos magnéticos. A temperaturas finitas y en la ausencia de campos aplicados, los momentos están agitados térmicamente y orientados al azar, dando como resultado una magnetización total nula. Al aplicarse el campo externo, éste tratará de orientar los momentos magnéticos atómicos intrínsecos en su propia dirección. Como resultado se crea un momento paralelo positivo al campo.

Las interacciones internas entre momentos magnéticos atómicos tienen una influencia considerable en las propiedades magnéticas de las sustancias. En algunos casos, la situación es tal que desde el punto de vista de estas interacciones, es más favorable energéticamente un ordenamiento magnético atómico espontáneo (independiente de campos externos). Si los momentos magnéticos se ordenan paralelos, se les llama sustancias ferromagnéticas, y si se alternan (paralelo, antiparalelo) se les llama antiferromagnéticas.

En el caso del ferromagnetismo, los momentos se alinean paralelamente como resultado de una fuerte interacción, actuando entre los momentos vecinos (figura 5a). El ordenamiento espontáneo tiene su valor máximo a temperatura $T = 0^\circ \text{K}$. Al aumentar la

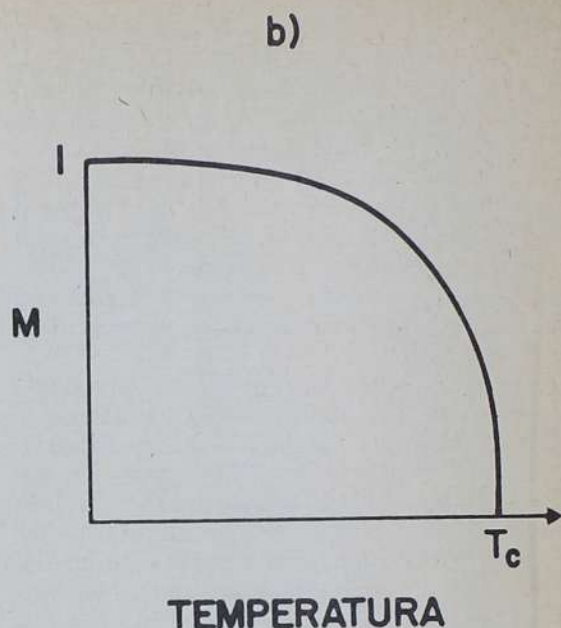
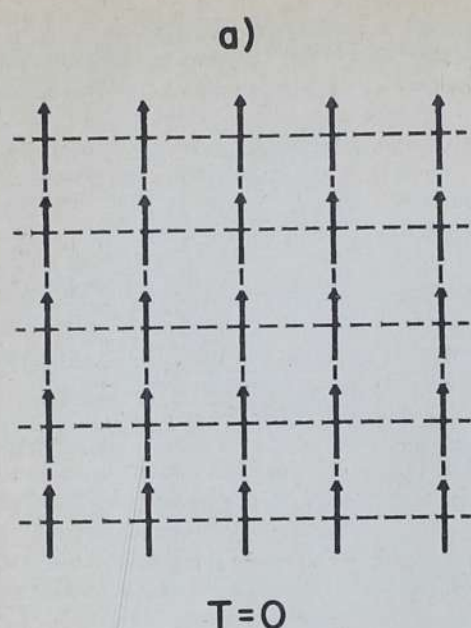


Figura 5. a) Ferromagneto a $T = 0$; b) Dependencia de la magnetización en la temperatura de un ferromagneto.

temperatura, el arreglo de los momentos se perturba por la agitación térmica, volteándose algunos momentos en la dirección opuesta. Como resultado se obtiene una dependencia de la magnetización con la temperatura, como se muestra en la figura 5b. Arriba de un valor crítico llamado temperatura de Curie, T_c , la magnetización se anula, lo que origina una situación análoga a la que se describió cuando no existía interacción entre los momentos magnéticos vecinos. En este caso $1/x$ es cero en T_c , y se incrementa linealmente con la temperatura (Ley de Curie-Weiss⁸).

El antiferromagnetismo es un magnetismo débil que, en forma similar al paramagnetismo, posee una susceptibilidad positiva pequeña. Estos sistemas están caracterizados por el hecho de que abajo de una temperatura crítica, llamada temperatura de Neel, se establece un arreglo antiparalelo de momentos magnéticos, de tal manera que a temperatura cero un momento magnético está rodeado únicamente de momentos magnéticos que apuntan en dirección opuesta. En la figura 6 se muestra un antiferromagneto a temperatura cero.

Existen en la naturaleza pocos materiales magnéticos. Entre ellos se encuentran los metales de transición 3d; hierro, cobalto y níquel son ferromagnéticos, y cromo es antiferromagnético. Estos metales son de los más antiguos que se conocen y sin embargo sus

propiedades magnéticas no se han podido explicar con base en una sola teoría; existen dos, completamente diferentes.

Una supone que los electrones d están localizados en los átomos, dando origen a momentos magnéticos localizados. La versión simplificada de este modelo es la que hemos ilustrado anteriormente. La otra teoría

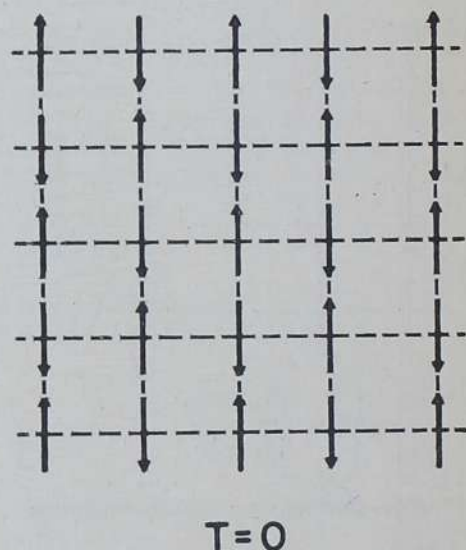


Figura 6. Antiferromagneto a $T = 0$.

supone lo contrario, es decir, que los electrones se mueven a través del sólido. La descripción del movimiento de los electrones a través del sólido sólo puede hacerse mediante la mecánica cuántica, de la cual los principales conceptos son los siguientes¹⁰:

- i) Los sólidos o cuerpos cristalinos están formados por átomos distribuidos en una estructura regular y periódica que satisface ciertas relaciones de simetría.
- ii) La estructura periódica de los átomos del cristal actúa como una red de difracción para los rayos X y otras ondas de similar longitud.
- iii) El fenómeno de difracción (llamado difracción de Bragg) sólo ocurre cuando la longitud de onda y la dirección de propagación de ésta satisface condiciones bien definidas con respecto a la orientación y distancias características de la red cristalina.
- iv) Las partículas microscópicas de la física (los electrones, fotones, etcétera) presentan una dualidad partícula-onda que permite asociar un determinado vector de onda, $\vec{k}$, a la cantidad de movimiento o momentum, $\vec{p}$, y viceversa, y una determinada energía, E , a la longitud de onda, λ . La relación entre E y la longitud de onda está dada por la famosa relación de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{(2mE)^{1/2}}, \quad (2)$$

donde h es una constante universal llamada constante de Planck:

$$h = 6.624 \times 10^{-27} \text{ erg seg.}$$

- v) Los electrones, debido al carácter ondulatorio de esta dualidad, pueden sufrir efectos de difracción de Bragg en los cristales.
- vi) La difracción de Bragg produce ondas estacionarias y la consiguiente formación de una estructura de bandas en el espectro electrónico.

Estas observaciones valen independientemente del espín de los electrones; sin embargo, en general se espera que el movimiento de ellos dependa del espín y por lo tanto también las bandas de energía. En particular, si se aplica un campo magnético al sólido, los electrones

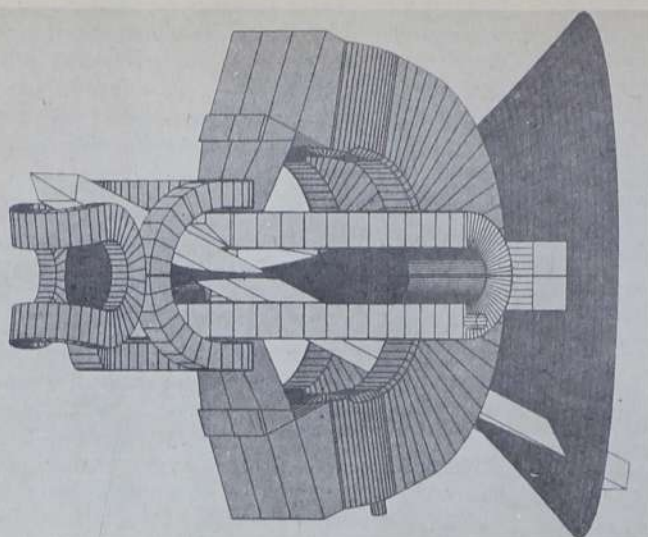
responden de manera diferente si el espín es paralelo o antiparalelo al campo. Tomando en cuenta la interacción entre los electrones de diferente espín y la interacción con campos aplicados, se pueden calcular dentro de este modelo las propiedades magnéticas de los sólidos. A esta teoría se le conoce como teoría de bandas o de Stoner⁸.

De manera experimental se observa que los metales de transición presentan comportamientos característicos tanto del modelo localizado como del de bandas. Por ejemplo, la presencia de ondas de espín¹¹ en metales ferromagnéticos y la fuerte dependencia en la temperatura de la susceptibilidad magnética, representan propiedades que se pueden entender en la base de modelos localizados, mientras que la fuerte contribución de los electrones al calor específico a bajas temperaturas⁸ y la presencia de momentos magnéticos por átomo no múltiplos de un medio, son propiedades que se pueden explicar fácilmente por la teoría de bandas.

Recientemente, varios grupos de investigación en el mundo han propuesto teorías en las que se trata de conjugar los dos modelos mencionados^{12, 14}. Estas son teorías de bandas que suponen que los electrones se muevan en un sólido en el que existen momentos magnéticos en cada sitio de la red. Tomando en cuenta las interacciones entre los electrones de diferente espín, y permitiendo que éstos se muevan a través del sólido, el modelo más sencillo consiste en suponer que los momentos locales apuntan hacia arriba o hacia abajo a lo largo de una dirección dada. Así, los electrones son dispersados en cada sitio de la red por un potencial que depende de la orientación y magnitud del momento magnético.

En forma análoga al modelo localizado descrito anteriormente, a temperatura cero todos los momentos apuntan hacia arriba, y al aumentar la temperatura algunos de los momentos se voltean. La temperatura de Curie se alcanza cuando el número de momentos que apuntan en ambas direcciones es el mismo. En esta teoría la magnitud de los momentos magnéticos depende del grado de ordenamiento magnético, y se tienen que evaluar de manera autoconsistente. Así, hay dos contribuciones al cambio de magnetización al aumentar la temperatura: uno proviene del hecho de que el número de momentos magnéticos que apuntan en ambas direcciones cambia y el otro es que la magnitud de los momentos mismos está cambiando también.

Esta teoría mixta¹⁴ es capaz de explicar las principales propiedades observadas en fierro y permite en-



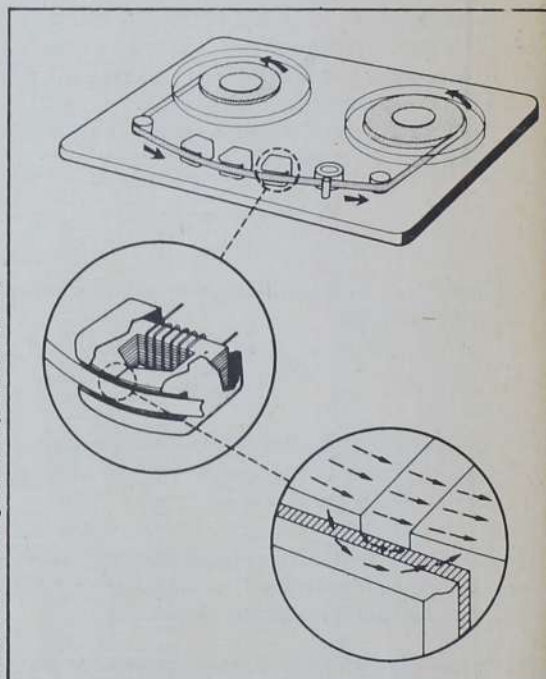
Sistema de magnetos constituido por varias bobinas diseñadas mediante computadora. La perspectiva del dibujo se sitúa frente al extremo del plasma espejo en tándem (Tandem-mirror), dispositivo de construcción limitada por el Laboratorio Lawrence Livermore. Las bobinas sobre la derecha actúan como un enchufe terminal de un espejo magnético; las otras bobinas generan un campo magnético en la región de transición entre el enchufe terminal y la sección central del solenoide que se encuentra en el artefacto. La región con rayas entrecruzadas representa la superficie del plasma encerrada por las líneas que delimitan el campo magnético. Esta superficie tiene un diámetro de treinta centímetros en la sección central del solenoide. La línea diagonal representa el patrón de un haz neutral proyectado.

tender mejor el antiguo problema del magnetismo en metales de transición. Sin embargo, intensa investigación tendrá que hacerse aún para entender y predecir otros fenómenos igualmente importantes, como son magnetismo en superficies o aleaciones.

Las propiedades magnéticas en la superficie de ferromagnetos pueden ser muy diferentes de las del interior del sólido ¹⁵. Esto es una consecuencia de la diferente simetría de los átomos superficiales, ya que la invariancia translacional a lo largo de la dirección perpendicular a la superficie se pierde. La caracterización experimental de superficies magnéticas es en general muy difícil, y apenas recientemente se han reportado resultados ^{16,17} en la superficie de Ni y Cr. Por otro lado, se han reportado algunos cálculos para magnetizaciones superficiales ^{15,18-20}, pero habrá que esperar nuevos resultados experimentales para colocar a éstas en bases más sólidas. Problemas igualmente importantes, en catálisis por ejemplo, son los efectos que gases absorbidos en superficies pueden provocar en la magnetización superficial. Responder a preguntas ^{20,22} tales como: ¿cuál es el efecto de adsorción de hidrógeno sobre la magnetización superficial de Ni o Fe?, ¿cómo afecta la magnetización superficial la energía de adsorción de hidrógeno?, ¿cómo modifica la magnetización superficial la razón de disorción de moléculas de hidrógeno?, es vital para el entendimiento del papel que juega el magnetismo en catálisis.

Otros sistemas, aún más importantes desde el pun-

to de vista tecnológico, son aleaciones con componentes magnéticos. Aleaciones de cromo y hierro son



Los sistemas de reproducción de sonido en cassette utilizan cintas magnéticas de hierro, níquel y cromo. Actualmente se estudian nuevos materiales a fin de lograr una óptima calidad sonora.

materiales fundamentales para la elaboración de memorias magnéticas. La industria de la computación está basada en este tipo de materiales; grandes compañías japonesas, estadounidenses y alemanas invierten cantidades enormes de dinero en el estudio y desarrollo de nuevas aleaciones.

Los problemas que plantean estos sistemas desde el punto de vista teórico son todavía más complejos que los mencionados anteriormente. El problema fundamental en la teoría electrónica de aleaciones consiste en la pérdida de la periodicidad de los potenciales, característica de un sólido puro. En sistemas paramag-

néticos este problema ha sido resuelto, empleando diversas aproximaciones, de las cuales las más conocidas son la aproximación de la red de Bethe^{2,3} y la aproximación del potencial coherente^{2,4}. Sin embargo, sólo pocas investigaciones en aleaciones magnéticas han sido reportadas^{2,5-2,3}, y aún quedan muchos resultados experimentales sin explicación.

Los problemas o propiedades mencionados en este artículo son sólo algunos de la gran cantidad que los sistemas magnéticos presentan, y tendrá que ahondarse en su investigación para entender y predecir éstos y nuevos fenómenos. ❁

Referencias

- ¹ Lucrecio Caro, *De Rerum Natura*, traducción de Th. Crech, Londres, 1714.
- ² W. Gilbert, *De magneto*, traducción de Gilbert Club, Londres, 1900, edición revisada (Basic Books, Nueva York, 1958).
- ³ R. Descartes, *Principia*, Parte IV.
- ⁴ *Collection des Mémoires Relatifs à la Physique*, vol. 1, Société Française de Physique, 1884.
- ⁵ F. Kip, *Electricity and Magnetism*, McGraw Hill, 1962.
- ⁶ D. Wagner, *Introduction to the Theory of Magnetism*, Pergamon Press, 1972.
- ⁷ N. W. Ashcroft y N.D. Mermin, *Solid State Physics*, Holt, Rinehart y Winston, 1976.
- ⁸ J. Crangle, *The Magnetic Properties of Solids*, Edward Arnold, 1977.
- ⁹ D.C. Mattis, *The Theory of Magnetism*, Springer Verlag, 1981.
- ¹⁰ L.M. Falicov, *La estructura electrónica de los sólidos*, Monografía 3 del Departamento de Asuntos Científicos, Organización de los Estados Americanos, 1967.
- ¹¹ Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley, 1971.
- ¹² J. Hubbard, *Phys. Rev. B* 19 2626 (1979).
- ¹³ H. Hasegawa, *J. Phys. Soc. Japón*, 46, 1504 (1980).
- ¹⁴ J.L. Morán-López, K.H. Bennemann y M. Avignon, *Phys. Rev. B* 23, 5978 (1981).
- ¹⁵ J. Dorantes-Dávila, J.L. Morán López y M. Avignon, *Phys. Rev. B*. En impresión.
- ¹⁶ S.F. Alvarado, M. Campagna y H. Hopster, *Phys. Rev. Lett.* 48, 51 (1982).
- ¹⁷ F. Meier, D. Pescia y T. Schriber, *Phys. Rev. Lett.* 48, 645, 51 (1982).
- ¹⁸ P. C. Hohenberg y K. Binder, *Magnetism and Magnetic Materials*, 1974, AIP Conf. Proc. Núm. 24, p. 300.
- ¹⁹ P. Fulde, *Physica*, 81B, 251 (1977).
- ²⁰ J.F. Aguilera-Granja, Tesis de Maestría, Departamento de Física, IPN (1982).
- ²¹ J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *Phys. Rev. B* 26 (1982).
- ²² J.F. Aguilera-Granja, J. Urías y J.L. Morán-López. En preparación.
- ²³ L.M. Falicov y F. Indurain, *Phys. Rev. B* 12, 5664 (1975).
- ²⁴ P. Soven, *Phys. Rev.* 156, 809 (1967).
- ²⁵ J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *Phys. Rev. B* 19, 1470 (1979); *B* 20, 3900 (1979).
- ²⁶ J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *J. Phys. C* 13, 1915 (1980).
- ²⁷ J. Urías y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* 23, 2759 (1981).
- ²⁸ F. Mejía-Lira, J. Urías y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* 24, 5279 (1981).

Datos curriculares del autor

José Luis Morán López es actualmente profesor titular en el Departamento de Física del Cinvestav. Estudió en la escuela de Física de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y realizó su maestría en Ciencias (física) en el Centro. Más tarde asistió a la Escuela Institut für Theoretische Physik, Freie Universität, en Berlín, y obtuvo el grado de doctor *Rerum Naturalium*. Otros estudios de posgrado los llevó a cabo en la Universidad de California en Berkeley. Ha participado en diversos proyectos de cooperación internacional con el Instituto de Física Teórica de la Universidad Libre de Berlín, RFA; con el Grupo de Transiciones de Fase del CNRS, Grenoble, Francia; con el Departamento de Física de la Universidad de California en Berkeley, y el Instituto de Física de la Universidad Federal de Río Grande del Sur, Brasil.

Entre sus publicaciones se cuentan:

Electronic theory for segregation at the surface of transition metal alloys. G. Kerker, J. L. Morán-López y K.H. Bennemann, *Phys. Rev. B* **15**, 638 (1977).

Surface effects on the order-disorder phase transition of A_3B alloys. J. L. Morán-López y K.H. Bennemann, *Phys. Rev. B* **15**, 4769 (1977).

Magnetism at the surface of transition metal alloys, J.L. Morán-López, F. Brouers y K.H. Bennemann, *Phys. Rev. B* **17**, 263 (1978).

Theory of surface effects in binary alloys I: Ordering alloys, J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *Phys. Rev. B* **18**, 2542 (1978).

Theory of surface effects in binary alloys II: Clustering alloys, J. L. Morán-López y L. M. Falicov, *Phys. Rev. B* **18**, 2549 (1978).

Spin waves at the surface of dilute ferromagnets, J. L. Morán-López y L. M. Falicov, *Phys. Rev. B* **19**, 1470 (1979).

Magnetic excitation at the surface of alloys with two ferromagnetic components, J. L. Morán-López y L.M. Falicov, *Phys. Rev. B* **20**, 3900 (1979).

Surface Composition of the binary alloy system: Fe-Co, J.L. Morán-López y H. Wise, *Appl. of Surface Sci.*, **4**, 93 (1980).

Simple model for inhomogeneous mixed valence systems: application to Sm_3S_4 and Eu_3S_4 , J. L. Morán-López y P. Schlottmann, *Phys. Rev. B* **22**, 1912 (1980).

On Magnetism in Transition Metals, J.L. Morán-López, K.H. Bennemann y M. Avignon, *Phys. Rev. B* **23**, 5978 (1981).

Theory of surface effects in binary alloys III: Stepped surfaces, V. Kumar, C.E.T. Gonçalves da Silva y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **23**, 2752 (1981).

Theory of surface effects in binary alloys IV: Ordering alloys with two ferromagnetic components. Jesús Urías y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **23**, 2759 (1981).



Electronic theory of surface segregation: Noble metal alloys, C.A. Balsero y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **21**, 349 (1980).

Order-Disorder transformations in ferromagnetic binary alloys, F. Mejía-Lira, Jesús Urías y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **24**, 5270 (1981).

Electronic theory for surface segregation in CuNi alloys, S. Mukherjee, J. L. Morán-López, V. Kumar y K.H. Bennemann, *Phys. Rev. B* **25** (1982).

Self-consistent model of hydrogen chemisorption on ferromagnetic transition metals, J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *Phys. Rev. B* **26**, 2560 (1982).

Phase separation in binary alloys with one magnetic component, Jesús Urías y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **26**, 2669 (1982).

Electronic theory of binary alloys with face centered cubic crystal structure, F. Mejía-Lira, K.H. Bennemann y J.L. Morán-López, *Phys. Rev. B* **26**, 5398 (1982).

Ground state solutions of the Hubbard model, J. Dorantes-Dávila, J. L. Morán-López y M. Avignon, *Phys. Rev. B* **27**, 575 (1983).

Theory of order-disorder transitions for inhomogeneous mixed-valence systems, J.L. Morán-López y P. Schlottmann, *Phys. Rev. B* **27**, 5122 (1983).

s-p hybridization effects on the metal-non-metal transition in expanded liquid mercury, R. Linke, J.L. Morán-López y K. H. Bennemann, *Phys. Rev. B* **27**, 7348 (1983).

Artículos de divulgación

Electrones de Baja Energía, J.L. Morán-López, en *Ciencia y Desarrollo* (México), núm. 32, p. 135 (1980).

Algunos trabajos presentados en congresos internacionales

Theory for the Electronic Structure at the Surface of Transition Metal Alloys, J.L. Morán-López, G. Kerker y K.H. Bennemann, *The Seventh International Colloquium on Magnetic Films*, Regensburg, RFA, abril 22-25 de 1975.

The Local Electronic densities of States at the Surface of Binary Alloys, J.L. Morán-López, G. Kerker y K.H. Bennemann, mayo-abril de 1976.

Electronic Theory for Segregation at the Surface of Transition Metal Alloys, G. Kerker, J.L. Morán-López y K.H. Bennemann, *March Meeting of the APS*, San Diego, marzo 21-24 de 1977.

Charges in Work Function due to Charge Transfer in Chemisorbed Layers, J.L. Morán-López y A. ten Bosch, *Third International Surface Science Conference*, York, Inglaterra, mayo 27-30 de 1977.

Order Disorder Phase Transition at the (100)- Surface of A3B Alloys, J.L. Morán-López y K.H. Bennemann, *International Conference on Physics of Transition Metals*, Toronto, agosto 15-19 de 1977.

Magnetism at the Surface of Cu_xNi_{1-x} Alloys, J.L. Morán-López, F. Brouers y K.H. Bennemann, *International Conference on Solid Surfaces*, Viena, septiembre 12-16 de 1977.

Short-Range Order-Disorder Transformations at the Surface of Binary Alloys, J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *March Meeting of the APS*, Washington D.C., marzo 27-30 de 1978.

Dependence of Work function on the Order Disorder Phase Transition in Chemisorbed Layers, A. ten Bosch y J.L. Morán-López, *March Meeting of the APS*, Washington D.C., marzo 27-30 de 1978.

On the Selective Catalytic Behaviour of the Cu-Ni Alloy Surface, J.L. Morán-López y K.H. Bennemann, *First European Conference on Surface Science*, Amsterdam, junio 5-9 de 1978.

Spin Waves at the Surface of Dilute Ferromagnets, J.L. Morán-López y L. M. Falicov, *March Meeting of the APS*, Chicago, marzo 19-23 de 1979.

Atomic Ordering and Ferromagnetism in Two Dimensional Binary Alloys, J.L. Morán-López, *The Ninth International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces*, Poznan, Polonia, agosto 28-31 de 1979.

Spin Waves at the Surface of Ferromagnets: A cluster Bethe Lattice Approach, J.L. Morán-López y L.M. Falicov, *International Conference on Magnetism*, Munich, septiembre 3-7 de 1979.

Electronic Theory of segregation at the Surface of Au-Ag₁ Au-Cu and Ag-Cu Alloys, J.L. Morán-López y C. Balseiro, *Segunda Reunión de Superficies*, Cocoyoc, Mor., enero 2-5 de 1980.

Segregation at Stepped Surfaces, V. Kumar, J.L. Morán-López y C.E.T. Gonçalves da Silva, *March Meeting of the APS*, Nueva York, marzo 24-28 de 1980.

Electronic Theory for Surface Segregation: Noble Metal-Transition Metal Alloy, S. Mukherjee, J.L. Morán-López y K.H. Bennemann, *March Meeting of the APS*, Nueva York, marzo 24-28 de 1980.

Electronic theory for Surface Segregation: Noble Metal Alloys, J.L. Morán-López y C. Balseiro, *March Meeting of the APS*, Nueva York, marzo 24-28 de 1980.

Ein model für die inhomogen gemischtvalenten System Sm_3S_4 and Eu_3S_4 , J.L. Morán-López y P. Scholottmann, *Frühjahrstagung DPG*, Freudenstadt, marzo 17-21 de 1980.

Ferromagnetism and Spatial Long Range Order at the Surface of Binary Alloys, J. Urías y J.L. Morán-López, *27th National Symposium of the American Vacuum Society*, Detroit, Mi., octubre 13-17 de 1980.

Teoría de efectos de superficie en aleaciones binarias: Superficies con escalones, V. Kumar, C.E.T. Gonçalves da Silva y J. L. Morán-López, *Coloquio Latinoamericano de Física de Superficies*, Niteroi, R.J., Brasil, diciembre 1-6 de 1980.

Magnetic Effects at the Surface of Binary Alloys, J. Urías y J.L. Morán-López, *3a. Reunión de Superficies*, Cocoyoc, Mor., enero 5-7 de 1981.

Landau Theory for Discontinuities in the Specific Heat of Systems with Coupled Order Parameters, F. Mejía-Lira, Jesús Urías y J.L. Morán-López, *March Meeting of the APS*, Phoenix, Arizona, mayo 16-20 de 1981.

Magnetic Moments at the Surface of 3d Transition Metals, J. Dorantes Dávila, J.L. Morán-López y K.H. Bennemann, *2nd. International Conference on Solid Films and Surfaces*, College Park, Maryland, junio 8-11 de 1981.

Metallic Surfaces, J.L. Morán-López, *VII Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido*, Gramado, R.S., Brasil, 14-25 septiembre de 1981.

Theory of Hydrogen Chemisorption on Ferromagnetic Transition Metals, J. L. Morán-López y L.M. Falicov, *International Symposium on the Electronic Structure and Properties of Hydrogen in Metals*, Richmond, Va., USA, marzo 4-6 de 1982.

Hydrogen Chemisorption on Close-Packed Surfaces, F. Mejía-Lara y J.L. Morán-López, *International Symposium on the Electronic Structure and Properties of Hydrogen in Metals*, Richmond, Va., marzo 4-6 de 1982.

Magnetic Effects on the Surface Segregation of CuNi Alloys Near the Curie Temperature, J. Urías, J.L. Morán-López y R. D. Parks, *March Meeting of the APS*, Dallas, Tx., marzo 8-12 de 1982.

Application of the Hellmann-Feynman theorem to the Study of Substitutional Impurities, P. Villaseñor-González, J. Urías y J.L. Morán-López, *March Meeting of the APS*, Dallas, Tx., marzo 8-12 de 1982.

On the Ground State Solutions of the Hubbard Model, J. Dorantes-Dávila, J.L. Morán-López y M. Avignon, *International Conference on Magnetism*, Kyoto, Japón, septiembre 6-10 de 1982.

Self-consistent Solutions for the Inversion of a Local Magnetic Moment in a Ferromagnet, J. Dorantes-Dávila, J. L. Morán-López y M. Avignon, *March Meeting of the APS*, Los Angeles, Ca., mayo 21-25 de 1983.

Magnetic Long and Short-Range Order at the Surface of Ferromagnets, F. Aguilera-Granja, J.L. Morán-López y J. Urías, *March Meeting of the APS*, Los Angeles, Ca., mayo 21-25 de 1983.

Celdas solares: fundamentos físicos, investigación, tecnología y aplicaciones

Jaime Mimila Arroyo

Introducción

En la búsqueda de nuevas fuentes de energía, en particular de energía eléctrica, la solar ocupa un lugar importante debido a la enorme cantidad que de ella se recibe en la superficie terrestre, la cual, además, es prácticamente inagotable respecto de la escala de tiempo humana. Actualmente, existen dos vías bien determinadas para su conversión en energía eléctrica: la fotovoltaica y la fototérmica, denominadas directa e indirecta respectivamente. Ambas son objeto de gran interés en el mundo y en particular en México, donde se lleva a cabo una gran variedad de proyectos en una y otra vía, destinados a aportar soluciones más eficientes y accesibles que proporcionen energía confiable y barata por este medio. Estas dos vías de uso de la energía solar con frecuencia se confunden, dificultando el entendimiento de su mecanismo, sus aplicaciones, sus limitaciones. Las diferencias físicas, tecnológicas y económicas que existen entre éstas

han sido ya analizadas por el autor¹, y en este artículo se tratará únicamente el dispositivo básico de la vía fotovoltaica: la celda solar.

Los diferentes aspectos de la celda solar que serán considerados aquí, son los mínimos necesarios para poder entender los fenómenos físicos que ocurren en ella durante la conversión de luz en electricidad: la forma en la que esta electricidad se extrae de la celda para hacerla circular a través del circuito eléctrico, al usar la celda o arreglo de celdas solares como fuente; las limitaciones intrínsecas al efecto fotogenerador, al dispositivo; las debidas al estado actual de la tecnología y otras.

Se iniciará el análisis mediante un recordatorio de la distribución espectral de la luz sola. A continuación se describirá el fenómeno de absorción de luz y profundidad de penetración de ésta en los materiales semiconductores, por ser dichos materiales los que constituyen

el elemento absorbente y, en la mayoría de los casos, los que convierten luz en electricidad. Se considerará en seguida el origen del movimiento preferencial de portadores de carga eléctrica positiva y negativa, que se da en el seno de una celda solar, que es la adaptación tecnológica del efecto fotovoltaico para la generación de electricidad. Ahí se analizarán cada uno de sus elementos constitutivos, para presentar luego la ley que gobierna la entrega de potencia eléctrica de la celda a la carga eléctrica, exterior a la respuesta espectral de ésta. Después señalaremos los campos de investigación más activos, se citarán sus aplicaciones potenciales y las partes de la celda que el mundo científico se empeña en mejorar, reducir costos o simplificar su tecnología. Hagamos ahora un bosquejo histórico de los elementos más significativos en la evolución de la conversión de luz en electricidad a través de celdas solares.

Algunos acontecimientos

El primer reporte de la observación del efecto fotovoltaico (conversión directa de luz en electricidad) ocurre en la segunda mitad del siglo pasado, entre 1870 y 1874, cuando Adams y Day lo observan en selenio. Posteriormente, entre 1914 y 1920, se observó en Cu_2O , lo cual llamó fuertemente la atención y se

aprovechó para la construcción de detectores de luz y medidores de radiación luminosa. En 1954, Chapin lo produce en cristales de silicio y Reynolds en monocristales de Sulfuro de Cadmio. Este mismo año, los laboratorios Bell, de Estados Unidos presentan la batería solar con celdas de silicio, que tienen una

eficiencia de conversión de 4%, y cuya estructura es ya la de las celdas actuales. En 1974, Woodal y Hovel alcanzan eficiencias de conversión de 20% usando Arsenuro de Galio como semiconductor activo; simultáneamente, en Francia se construyeron celdas solares empleando como material de base pelí-

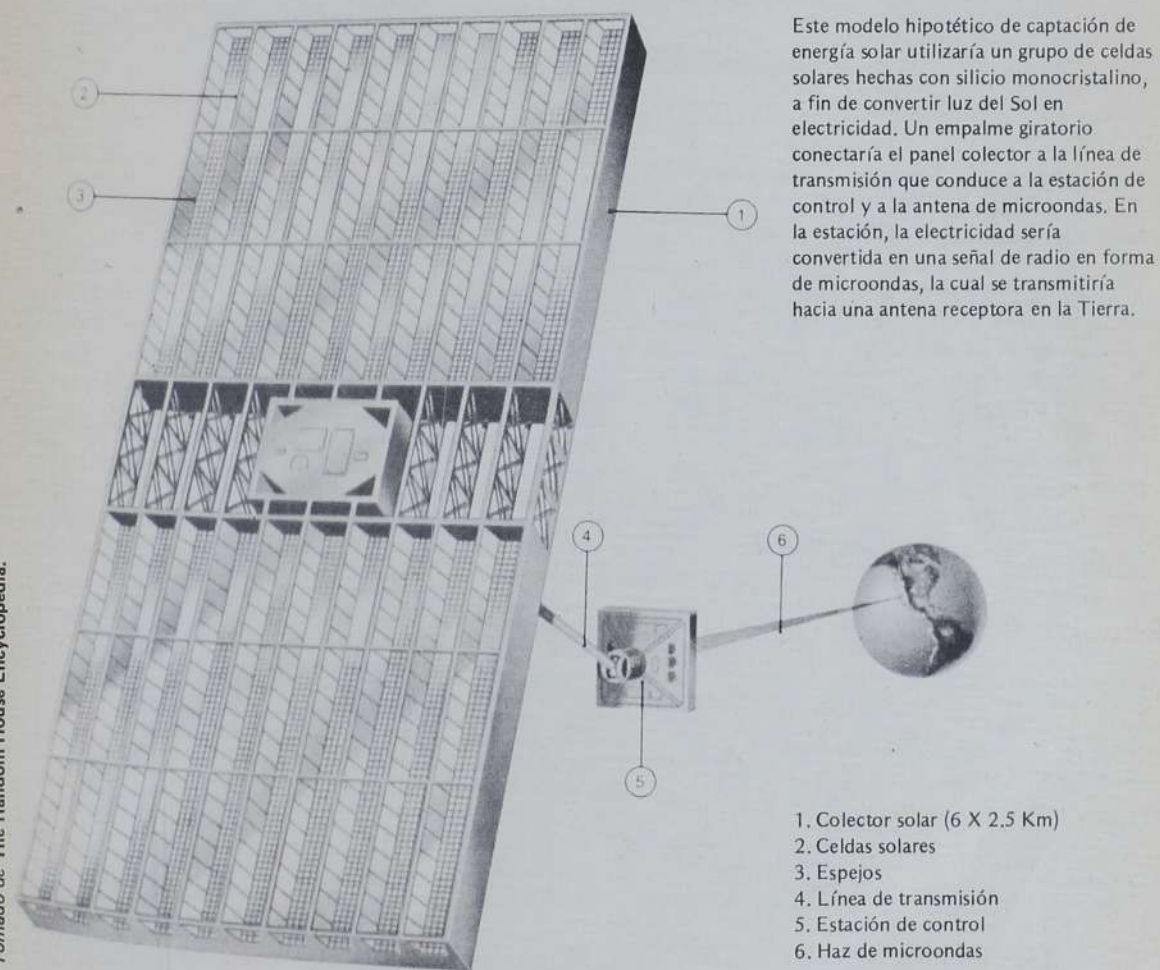
culas delgadas de Sulfuro de Cadmio. Estas celdas tenían eficiencias entre 5 y 7%. Un año después aparece el silicio amorfo como un material potencialmente interesante para producir celdas solares de regular eficiencia y bajo costo².

En México, la actividad de investigación y desarrollo se inicia en los

años 1965-1968, en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav. En 1972 se realizó el primer módulo de un watt de potencia³. Más tarde, en 1975-1976 se realizan módulos solares de ocho watts, y en esta misma época el entonces Centro de Investigación de Materiales de la UNAM inicia actividades de

investigación en el campo. En 1978, el Cinvestav desarrolla módulos de 17 watts, mismos que continúa produciendo hasta ahora, e inicia actividades de investigación en otras estructuras y materiales para celdas solares.

Cronología del desarrollo de las celdas solares

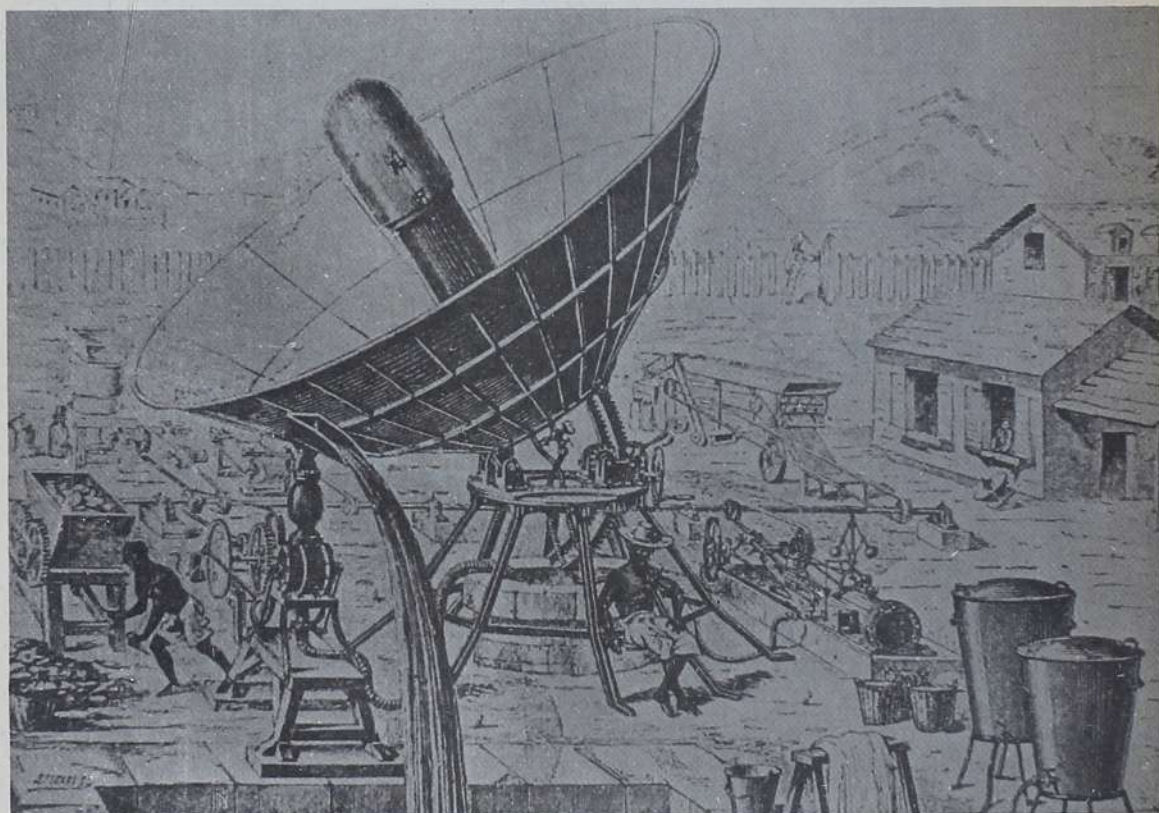


- 1983 Se anuncia la producción masiva de celdas de Si amorfo.
Planta de 0.5 M watts usando celdas bajo luz concentrada.
Celdas de Si amorfo.
- 1974 Celdas de GaAs con 24% de eficiencia.
Hovel y otros.
Silicio policristalino para celdas solares.
- 1961 Contactos eléctricos de Ti-Ag.
- 1954 Celda solar de sulfuro de Cadmio. Reynolds. Celda solar de silicio (con estructura actual). Pearson y otros.
- 1949 Teoría de la Unión p-n. Shockley.
- 1940
- 1920 Celda fotovoltaica de CuO_2 . Grondahly Geiger. Crecimiento de monocristales. Czochralski.
- 1900 Fotoactividad de CuO_2 . Hallwachs. Celdas fotovoltaicas de Selenio.
- 1874 Efecto fotovoltaico en Selenio. Adams y Day.
- 1840 Efecto fotovoltaico. Becquerel.
- 1820 Obtención de silicio. Berzelius.

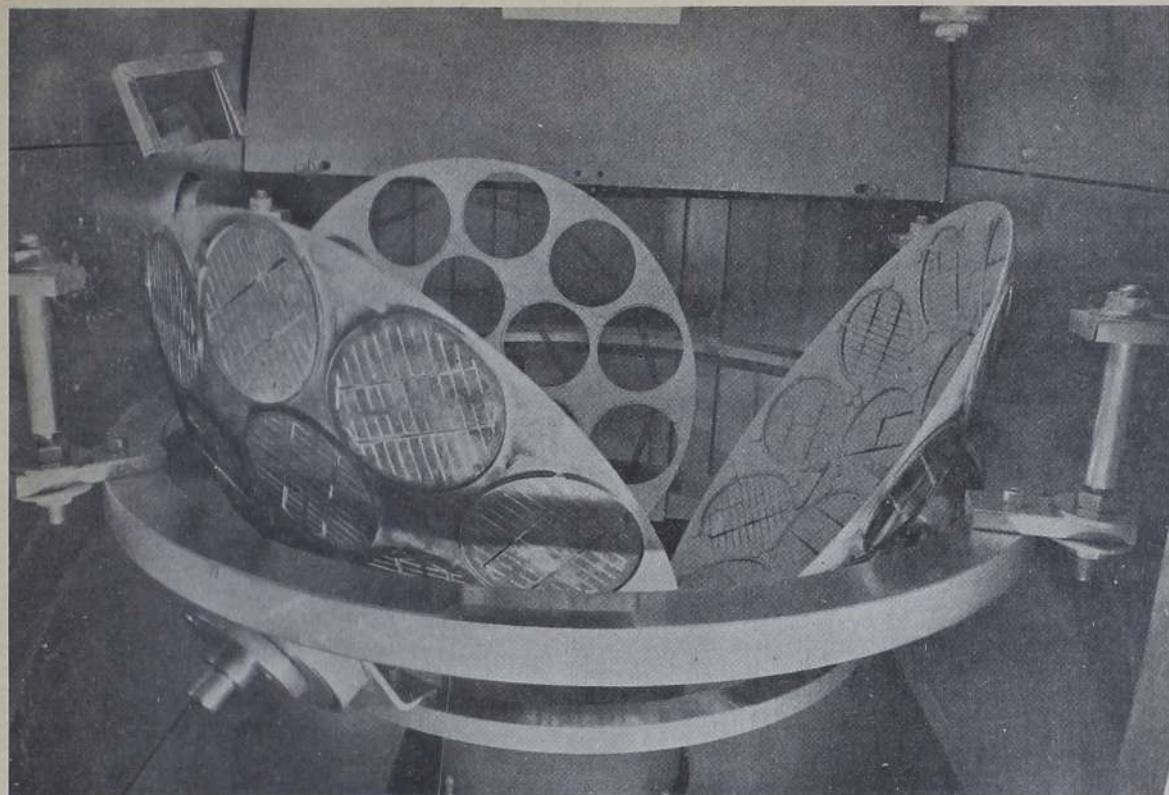


Instalaciones del más grande y moderno generador de energía a partir de la luz del Sol, el horno solar de Odeillo, Francia.

Foto de Jaime Mimila.

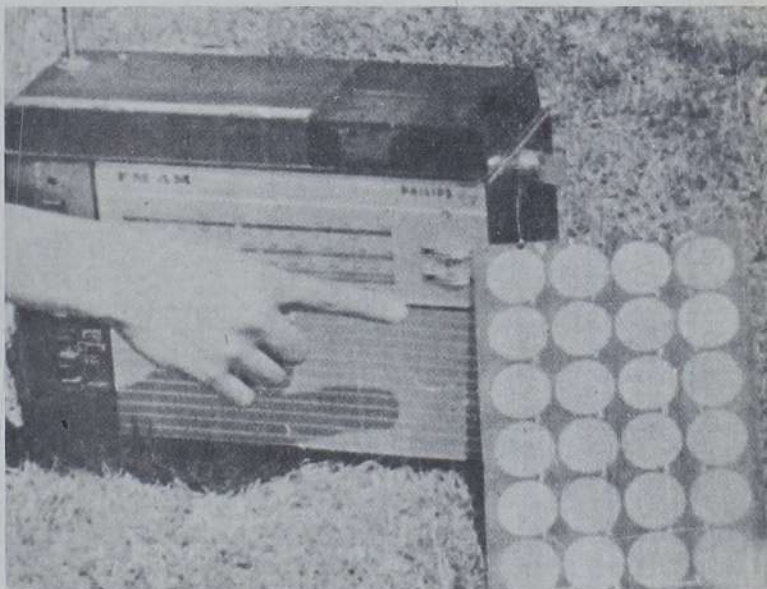


Los primeros intentos de uso de la energía solar fueron dirigidos a la producción de calor para su transformación en energía mecánica. La ilustración muestra la bomba solar de agua de Mouchot en 1879, París.



MÉXICO

- 1982 Investigación sobre celdas solares bajo concentración luminosa. J. Mimila, J. Ortega (Cinvestav).
- 1981 Celda solar $\text{SnO}_2\text{-Si}$ (n) 14% de eficiencia. E. Saucedo y J. Mimila (Cinvestav). Bomba solar. E.J. Pérez (Cinvestav). Investigación de celdas solares de GaAs. J. Mimila (Cinvestav).
- 1979 Línea piloto de producción de celdas solares. E. Pérez y Del Valle (Cinvestav). Investigación en celdas de Si policristalino. Del Valle (Cinvestav).
- 1976 Primer Telesecundaria con celdas solares. Bienvenido de Galeana, Puebla (Cinvestav). Módulos solares de 8 watts. E.J. Pérez (Cinvestav).
- 1975 Inicio del estudio de celdas electrolito semiconductor (CdTe). F. Sánchez (Cinvestav). Inicio de actividades en celdas solares. R. Magar (IIM-UNAM).
- 1974 Celdas solares de $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$. J. Mimila y E. Pérez (Cinvestav).
- 1972 Módulo solar de un watt. J. Mimila y E. G. León López (Cinvestav).
- 1966 Celdas solares (2 cm^2). E.G. León, J. M. Borrego, H. Dutton y Del Valle (Cinvestav).



Primer módulo solar con celdas de silicio, de un watt, hecho en México en 1972 (Cinvestav).

Foto proporcionada por el autor.

Luz solar: distribución espectral o energética

Es necesaria una descripción de la radiación emitida por el sol pues dicha radiación es el "combustible" que hará funcionar las celdas solares; su conocimiento mínimo facilitará el entendimiento de cómo funcionan las celdas y algunas de sus limitaciones teóricas y prácticas. La distribución espectral o energética

de los fotones que constituyen la luz solar que llega a la parte exterior de la atmósfera terrestre se puede aproximar a la radiación emitida por un cuerpo negro que estaría a una temperatura de 5760°K . Sin embargo, la distribución espectral de la luz que se recibe en la superficie terrestre es modificada por la

absorción de los diferentes constituyentes de la atmósfera. Así, la radiación solar recibida a nivel del mar es de aproximadamente 1 Kw/m^2 (1.3 caballos de potencia/ m^2) con la distribución espectral o energética que se muestra en la figura 1^a, de la cual se observa que la energía de los fotones que

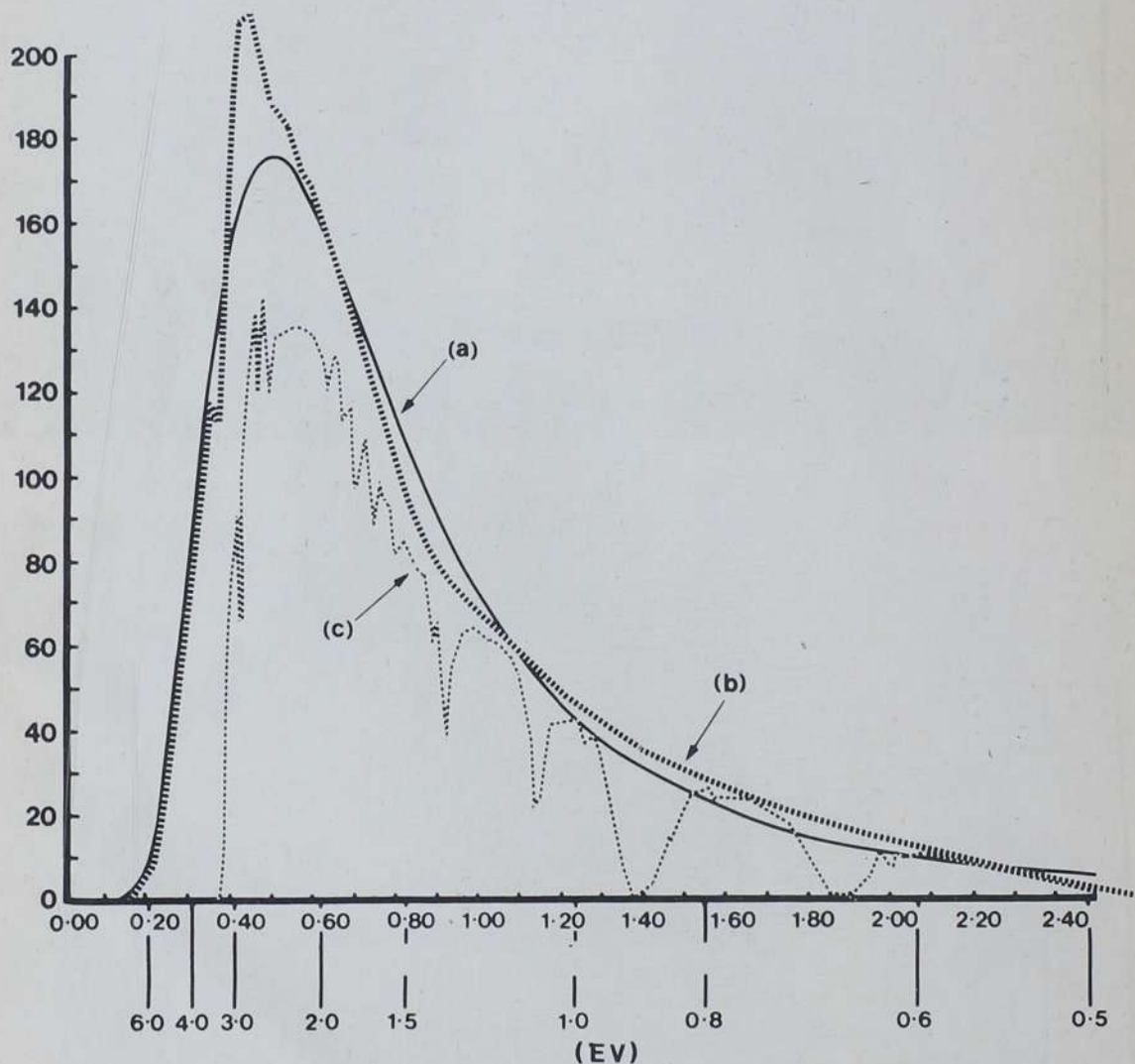


Figura 1. Distribución espectral de la luz solar fuera de la atmósfera, curva (b); a nivel del mar, curva (c), y radiación de cuerpo negro a $T = 5760\text{ K}$, (a).

llegan a la superficie de la Tierra oscila entre 3.5 y 0.5 eV. El número de fotones para cada energía es directamente proporcional a la ordenada de la curva para la energía correspondiente. A partir de esta curva es posible estimar el número de fotones contenidos en el espectro solar con energía mayor o igual a cualquier valor E_0 predeterminado; tales fotones se corresponden (figura 1) con el número total de fotones que contiene el espectro a

la izquierda del valor arbitrario E_0 . Como ejemplo véase la tabla I, donde se da el número de fotones contenidos en el espectro solar con energía mayor o igual a algunos valores arbitrarios. Como puede inferirse, el número de fotones se reduce conforme el valor E_0 de la energía mínima de éstos se aumenta. Lo anterior establecerá un límite en la fotocorriente que se puede obtener en una celda solar.

TABLA I

E_0 (eV)	Número de fotones con $E \geq E_0$ ($\text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$)
0.34	5.0×10^{17}
0.68	4.2×10^{17}
1.07	2.8×10^{17}
1.45	1.8×10^{17}
2.25	5.8×10^{16}

Efecto fotovoltaico

Absorción de luz, separación de cargas

El efecto fotovoltaico, entendido como la aparición de una diferencia de potencial entre dos puntos de un material o dispositivo por efecto de su iluminación, requiere al menos de la incidencia de dos fenómenos: Absorción de la luz por el material o dispositivo en cuestión, y que de alguna manera se dé una circulación de carga eléctrica en una dirección preferencial.

En esta sección se analizará cómo ocurre el fenómeno de absorción de luz en los materiales semiconductores, y de qué manera hay circulación de carga eléctrica en una dirección preferencial en la estructura semiconductor específica que constituye el elemento básico de la celda solar actual: la unión p-n (que justamente sólo se puede realizar con esos materiales).

De entre los diferentes mecanismos mediante los que un material puede absorber la luz, hay uno de interés particular para la conversión de la energía solar en electricidad. En él la absorción de un fotón se realiza cuando éste interacciona con un electrón del material absorbente, y el resultado de esa interacción se manifiesta mediante un incremento temporal de la energía potencial que posee el electrón dentro del

sólido, sin que la absorción del fotón traiga como consecuencia un cambio en su energía cinética, o bien éste sea despreciable comparado con el cambio de energía potencial. La cantidad en que el electrón puede aumentar su energía potencial es una constante para cada material, denominada E_g . Entonces, el incremento de energía potencial temporal que puede obtener un electrón es independiente de la energía del fotón, siempre que ésta sea mayor o igual al valor E_g característico del material en cuestión. (Este mecanismo se ilustra en la figura 2.) Si los fotones incidentes tienen una energía (E_f) mayor que la constante E_g , la diferencia de energía $E_f - E_g$ se disipa en el sólido aumentando su temperatura. Cuando la energía E_f de los fotones incidentes es menor que E_g , éstos no serán absorbidos. La absorción de luz anteriormente descrita es la que tiene lugar en las celdas solares. Es necesario aclarar que no todos los materiales absorben fotones e incrementan la energía potencial de sus portadores de carga o electrones. La tabla II muestra los materiales más comunes y su E_g correspondiente. Todos ellos tienen la característica de ser semiconductores.

Fotovoltaica

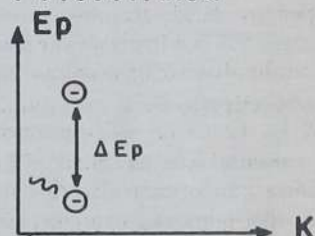


Figura 2 a. Absorción de luz por un material en el que los electrones incrementan su energía potencial.

Fototérmica

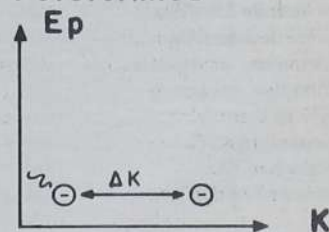


Figura 2 b. Absorción de fotones mediante el incremento de energía cinética de electrones, lo que provoca un aumento de temperatura del material.

Coeficiente de absorción (α) y profundidad de penetración de la luz (π)

Es indispensable aclarar que si bien es cierto que un fotón de energía $E_f \geq E_g$ únicamente produce un incremento en la energía potencial del electrón igual a E_g , el exceso de energía del fotón, con respecto a E_g , tiene consecuencias sobre la "rapidez" con la que ocurre la absorción. Esto se manifiesta a través del coeficiente de absorción y profundidad de penetración de fotones, cuyos conceptos se detallan a continuación, mismos que tienen una importancia capital en lo que más adelante designaremos como respuesta espectral de la celda solar.

Cuando un material semiconductor es iluminado, parte de la luz incidente es reflejada y el resto penetra en el semiconductor. La luz que penetra puede ser absorbida o no, según sea que la energía de sus fotones resulte mayor o menor que E_g , respectivamente. En el caso de que $E_f \leq E_g$, la luz no será absorbida, y se considera que puede viajar una distancia prácticamente infinita dentro del semiconductor. En este caso se dice que la profundidad de penetración (π) es infinita y el coe-

ficiente de absorción (α) es igual a cero.

Para el caso en el que $E_f \geq E_g$ los fotones son absorbidos, pero antes recorren una distancia media, que depende del exceso de energía del fotón con respecto a E_g , de tal forma que cuanto mayor es el exceso de energía, menor es la distancia recorrida antes de ser absorbidos. Esta distancia es función de parámetros intrínsecos al semiconductor en cuestión. La figura 3 muestra la profundidad media de penetración de la luz en función de la energía de los fotones para dos semiconductores diferentes, silicio y Teluro de Cadmio, curvas (a) y (b). El coeficiente de absorción se puede definir, en general, como el inverso de la profundidad media de penetración. Las curvas de la figura 3 muestran también el coeficiente de absorción para tales semiconductores.

Dicho coeficiente se utiliza para establecer la ley que gobierna la variación de la concentración o número de fotones dentro del ma-

terial, en función de su número inicial y la energía de cada fotón. Esta ley se representa en la ecuación (1):

$$N_f(x) = N_0 e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

en la que N_0 es el número de fotones que entró en el semiconductor; $N_f(x)$, el número en el punto x dentro del semiconductor, medido a partir de la superficie; y α es el coeficiente de absorción para estos fotones.

La profundidad media de penetración de la luz tiene consecuencias en el desempeño de una celda solar. Esto se debe a que habrá electrones excitados en regiones muy diferentes del semiconductor, según la energía del fotón que los excitó. Además la celda será iluminada con luz solar, la cual tiene fotones en una amplia gama de energías, así que éstos serán absorbidos en una región grande de profundidades. Como se verá más adelante, esto da lugar a una sensibilidad espectral de la celda que requiere ser señalada y explicada. La figura 4 muestra el volumen

TABLA II

Material	E_g (eV)	Material	E_g (eV)
Arseniuro de Aluminio	AlAs 2.15	Antimoniuro de Galio	GaSb 0.72
Fosforo de Aluminio	AlP 2.45	Antimonio de Indio	InSb 0.8
Antimoniuro de Aluminio	AlSb 1.6	Fosforo de Indio	InP* 1.3
Sulfuro de Cadmio	Cds 2.42	Silicio	Si* 1.1
Teluro de Cadmio	CdTe* 1.5	Silicio amorfo	Si (a) 1.3-1.6
Selenuro de Cadmio	CdSe 1.7	Selenuro de Zinc	ZnSe 2.67
Fosforo de Galio	GaP 2.25	Teluro de Zinc	ZnTe 2.28
Arseniuro de Galio	GaAs** 1.4	Sulfuro de Cobre	Cu2S 1.1

Por otro lado, de las tablas I y II resulta claro que, para un semiconductor dado, hay un número máximo de fotones que pueden ser absorbidos y que contribuyen a la fotocorriente.

* Se han producido celdas con eficiencia superior a 10%.

** Eficiencia de celdas solares $\geq 20\%$.

de fotoexcitación de electrones para dos haces de fotones de energías diferentes en silicio.

En resumen, tenemos que en los semiconductores la penetración media de la luz varía según la energía de los fotones; la absorción de luz se realiza incrementando temporalmente la energía potencial de los electrones. Dicha temporalidad varía entre 10^{-10} y 10^{-3} segundos (diez mil millonésimas a milésimas de segundo). Durante ese tiempo, los electrones excitados pueden moverse a una distancia media con respecto al punto donde fueron excitados, que varía generalmente entre 0.01 y $500 \mu m$ (millonésimas de metro). Esta distancia es propia de cada semiconductor e independiente de la energía del fotón que excitó el portador de carga. Pasado este tiempo, el portador excitado decae a su estado base, emitiendo un fotón o entregando la diferencia de energía al material en forma de vibraciones elásticas que aumentan su temperatura.

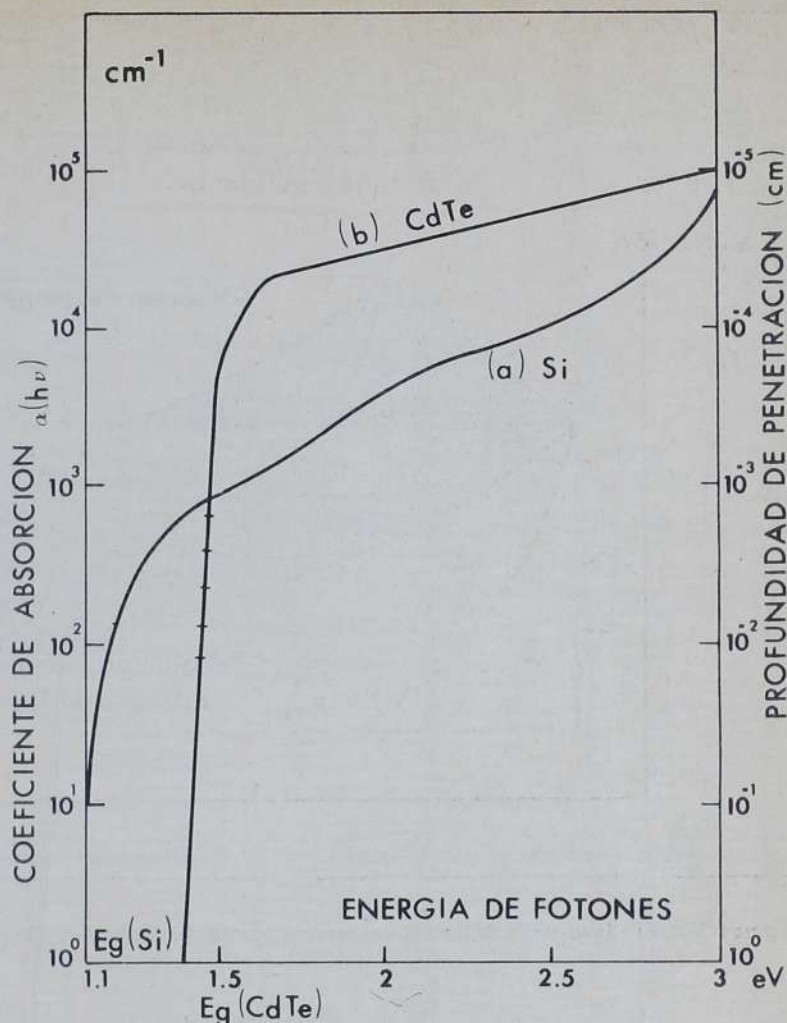


Figura 3. Coeficiente de absorción y profundidad de penetración de fotones en función de su energía para silicio (a) y Teluro de Cadmio (b).

Dirección preferencial de movimiento de los portadores de carga eléctrica

Ahora describiremos cómo ocurre el fenómeno de circulación preferencial de los electrones fotoexcitados en materiales semiconductores. Esto requiere un conocimiento mínimo de lo que es un semiconductor y sus propiedades más importantes; sin embargo, si se hacen

algunos supuestos, el análisis fenomenológico que nos interesa es directo y sin complicaciones. Con la intención de mantener la descripción únicamente respecto del efecto fotovoltaico y evitar confusiones aportadas por algún concepto en torno a los semiconductores, se ha

pensado que es más prudente partir de la aceptación de las siguientes suposiciones:

- i) Es posible establecer dentro de los semiconductores, y en regiones perfectamente localiza-

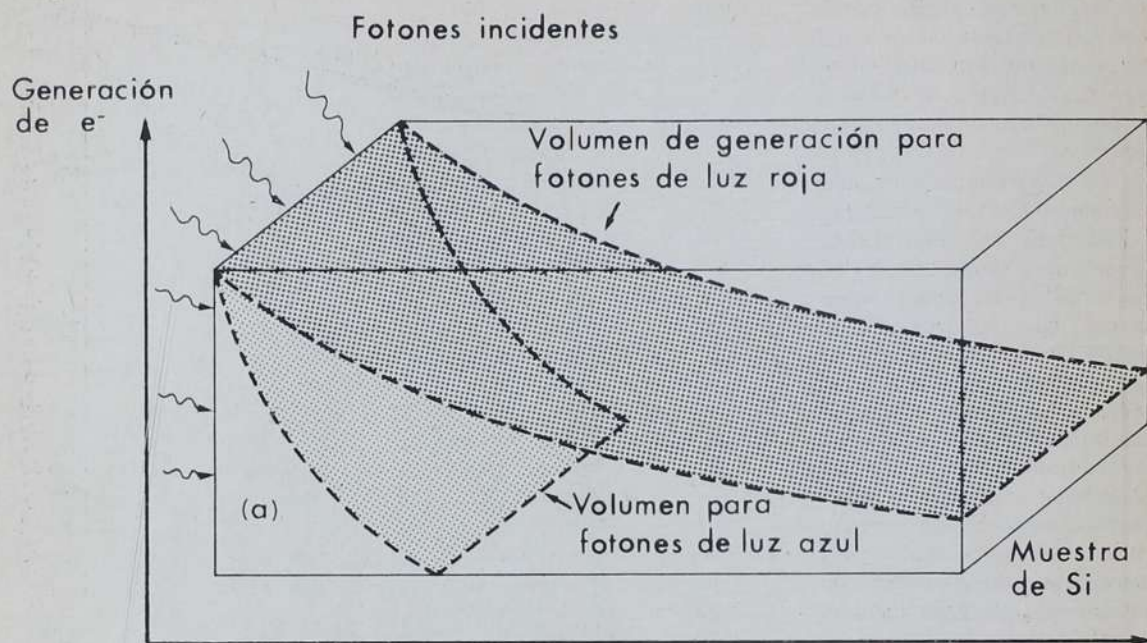


Figura 4. Volumen de absorción de fotones (excitación de portadores de carga) en silicio para fotones de luz roja y azul.

das, campos eléctricos permanentes sin necesidad de baterías externas. La figura 5a ilustra un semiconductor con la región de campo eléctrico típica, y la figura 5b muestra la variación y valor típico del campo eléctrico en función de x , la profundidad en el material.

- ii) El sitio que ocupaba un electrón fotoexcitado se comportará como una carga positiva (figura 6), por lo que al proceso de absorción de luz, mediante este mecanismo, se le designa

como creación de un par electrón-hueco (positivo).

A partir de las suposiciones anteriores, y con la figura 7, donde se ilustra el movimiento de un electrón fotoexcitado, es fácil entender la existencia de una dirección preferencial de movimiento de portadores de carga. Para esto, consideremos, como se ilustra en dicha figura, que la región donde ocurre la fotoexcitación de portadores contiene la zona de campo eléctrico permanente, pero que el electrón en cuestión fue generado en la veci-

dad de dicha zona de campo (figura 7a), de manera que antes de caer a su estado base puede entrar en la zona de campo o ser barrido a la región situada arriba de la zona de campo eléctrico, lo que da lugar a la denominada fotocorriente; mientras la carga positiva queda en la región localizada en la parte inferior de la zona de campo (figura 7b), lo que trae como consecuencia la aparición de una diferencia de potencial entre las dos regiones debido a ese electrón fotoexcitado que fue barrido por el campo. Esto constituye el efecto fotovoltaico.

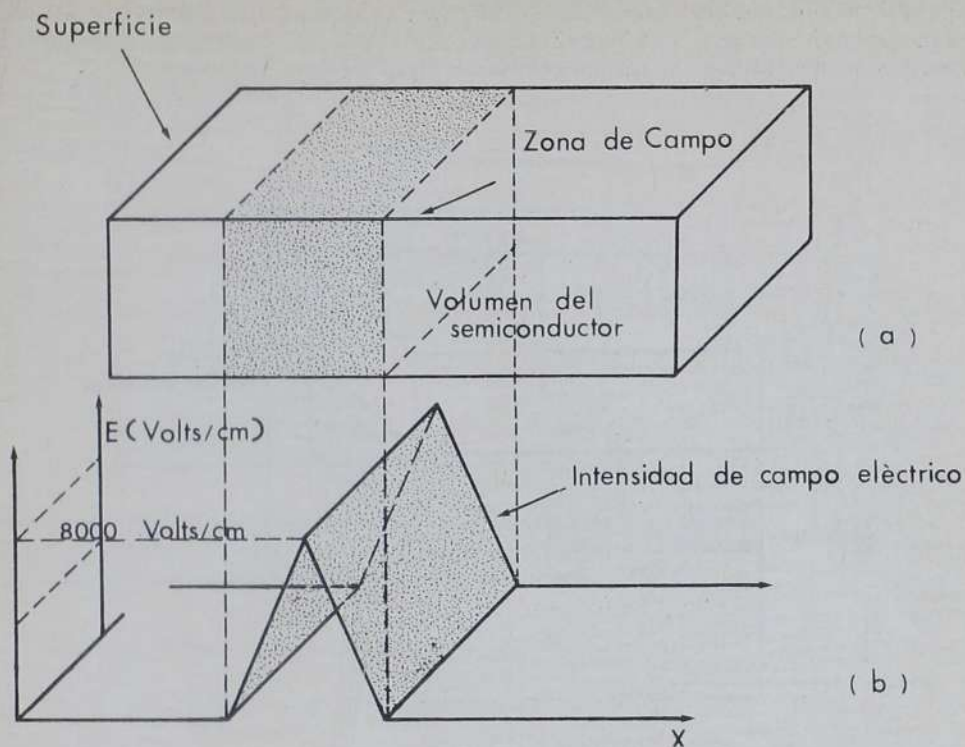


Figura 5. Región de campo eléctrico permanente en un semiconductor (a) y gráfica de la intensidad del campo eléctrico permanente (b).

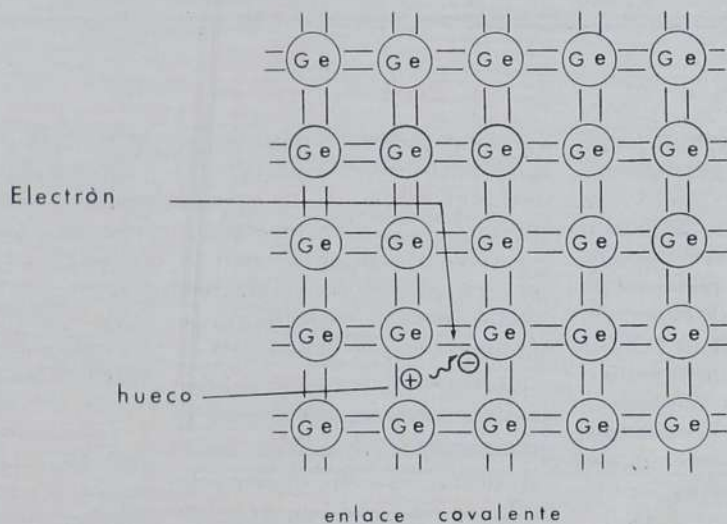


Figura 6. Esquema que muestra un electrón fotoexcitado y cómo su sitio vacío se comporta como una cuasi carga positiva.

Así, se tiene que el efecto fotovoltaico es la aparición de una diferencia de potencial entre dos regiones de un semiconductor debida a

la absorción de luz creando electrones y huecos (positivos) y su separación mediante un campo eléctrico interno permanente. Una vez ex-

puesto el efecto fotovoltaico, que es la base de la celda solar, a continuación analizaremos la celda solar en sí misma.

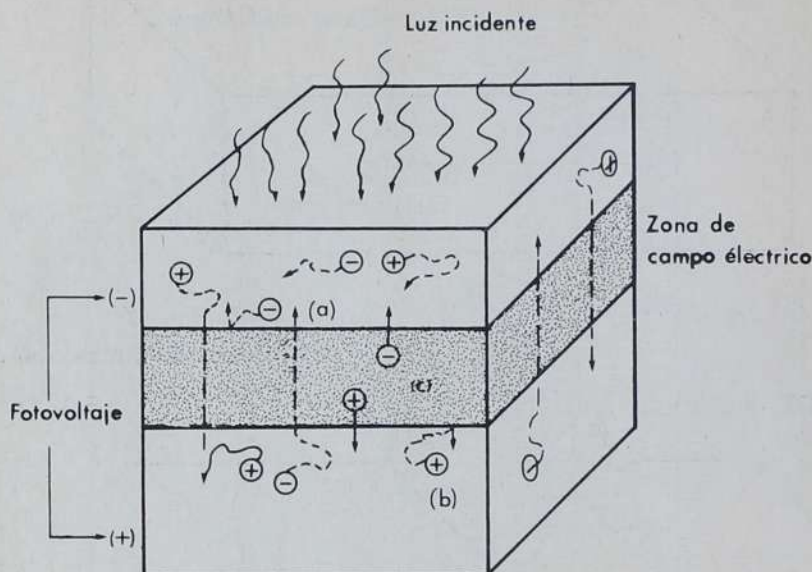


Figura 7. Esquema de la estructura de una celda solar que muestra: Absorción de luz mediante la generación de pares electrón-hueco (a), su separación (c) y la acumulación de carga negativa (a) y positiva (b) a uno y otro lado de la región de campo eléctrico permanente.

Celda solar

La celda solar es fundamentalmente un dispositivo construido a base de semiconductores, en el que se trata de optimizar el efecto fotovoltaico para lograr la mayor conversión de energía luminosa de origen solar en electricidad. La figura 8 esquematiza la estructura básica de la celda solar y el fenómeno de generación de fotocorriente y fotovoltaje debido a la absorción de luz y a la separación de las cargas excitadas mediante el campo eléctrico permanente.

El esfuerzo de optimización antes señalado se aplica a todos los cons-

tituyentes. Entre los más importantes se tienen el material semiconductor mismo, en los aspectos intrínsecos (E_g) y en los modulables tecnológicamente; la posición del campo eléctrico permanente con respecto a la superficie donde incidirá la luz; la técnica para la realización del proceso que da lugar al campo señalado; los metales que, perfectamente adheridos al semiconductor, constituyen los conductos de recolección de la corriente eléctrica, separada por el campo eléctrico interno; la transmisión de

la corriente al exterior de la celda, y las películas de acople óptico para reducir al mínimo las pérdidas por reflexión de luz en la superficie de la celda. La figura 8 muestra la estructura básica y más común de la celda solar de silicio. Usando este esquema se explicará la función de cada una de las partes constitutivas.

1. *Electrodo superior de interconexión.* Su función es la de asegurar el medio de conexión con la carga eléctrica que debe hacer funcionar, o bien para interconectar celdas.

Contacto

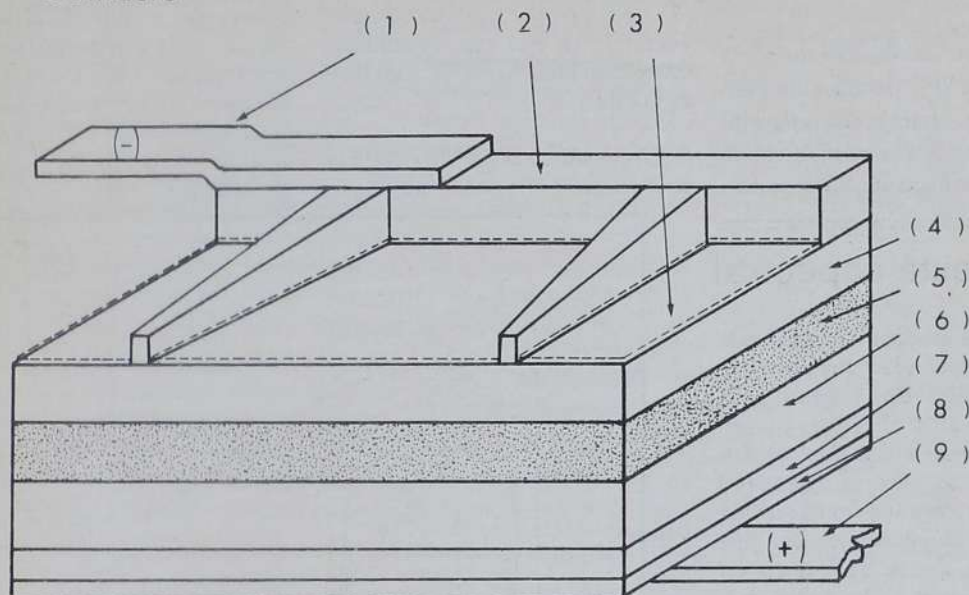


Figura 8. Estructura de la celda solar de silicio actual. 1 y 9: electrodos de interconexión; 2: rejilla de contacto eléctrica, a través de la cual pasa la luz (espesor $E = 0.010$ mm); 3: película antirreflejante ($\xi = 0.00008$ mm); 4: semiconductor N ($\xi = 0.0005$ mm); 5: zona de campo eléctrico permanente ($\xi = .001$ mm); 6: semiconductor P ($\xi = 0.300$ mm); 7: semiconductor p+ ($\xi = 0.005$ mm); 8: contacto de extracción de corriente.

2. *Contacto drenador de la fotocorriente.* Recoge la fotocorriente producida por la zona de campo eléctrico permanente (en forma de rejilla, peine o malla), a fin de que deje pasar la luz, que ésta penetre y genere los pares electrón-hueco. El área de este contacto es generalmente menor a 10% del área en la celda expuesta al sol.

3. *Película antirreflejante.* Su función es reducir al mínimo las pérdidas por reflexión de la luz en la

superficie del semiconductor. Tiene un espesor aproximado de 750 Å.

4. *Región de semiconductor de conductividad N* (que transporta la corriente eléctrica por medio de electrones). Al ponerse en contacto con el material semiconductor (P), región 6, da lugar a la zona de campo eléctrico, región 5. El espesor de ésta varía generalmente entre mil y 5 mil Å, dependiendo de la celda y del material que la constituye.

5. *Zona de campo eléctrico permanente.* Se origina al poner en con-

tacto un semiconductor N y un semiconductor P. Este campo eléctrico es el que separa las cargas negativas y positivas, generadas por la absorción de luz, produciendo una fotocorriente y una fototensión. Su extensión es del orden de 3 mil-10 mil Å.

6. *Región de semiconductor P* (conduce la corriente eléctrica por medio de cargas positivas). Al ponerse en contacto con la región N origina la zona de campo eléctrico permanente. Su espesor mínimo

está determinado por las propiedades del semiconductor; en silicio son del orden de 0.1-0.5 mm, y en Arseniuro de Galio, del orden de 0.002-0.01 mm.

7. *Región del semiconductor sobre impurificada (P⁺)*. Produce un efecto de espejo eléctrico que refleja los electrones excitados hacia la región de campo permanente, aumentando

la fotocorriente y otros efectos que mejoran la celda.

8. *Contacto metálico posterior*. Hace la misma función del contacto (2) pero sobre el material semiconductor P; en este caso el contacto cubre completamente la superficie de la celda.

9. *Electrodo de interconexión*. Con él se cierra el circuito eléctrico y es

equivalente a (1).

Según lo que hasta aquí se ha visto, es evidente que las partes más importantes son el material semiconductor mismo y la zona de campo eléctrico permanente. Sin embargo, todos los elementos constitutivos restantes son objeto de igual atención por parte de los especialistas de la teoría y tecnología de las celdas solares.

Respuesta espectral

La respuesta espectral de una celda solar es la propiedad que establece la dependencia de la sensibilidad o capacidad de la celda para convertir los fotones en electricidad, en función de su energía o longitud de onda. A continuación se explicará más ampliamente en qué consiste y a qué se debe dicha característica de las celdas solares.

En la sección donde se trató la absorción de la luz (pág. 17) se establecieron las características que presenta ésta en los semiconductores. Los aspectos más importantes fueron los siguientes:

- i) Los fotones penetran una distancia media antes de ser absorbidos, determinada por la energía del fotón. Esta distancia fija el volumen de generación o fotoexcitación de pares electrón-hueco en el seno de la celda (figura 4).
- ii) Una vez que el electrón o hueco ha sido excitado, permanece en tal condición un tiempo pequeño, y durante ese tiempo se desplaza una distancia media. Esta última distancia no debe confundirse con la penetración del fotón.

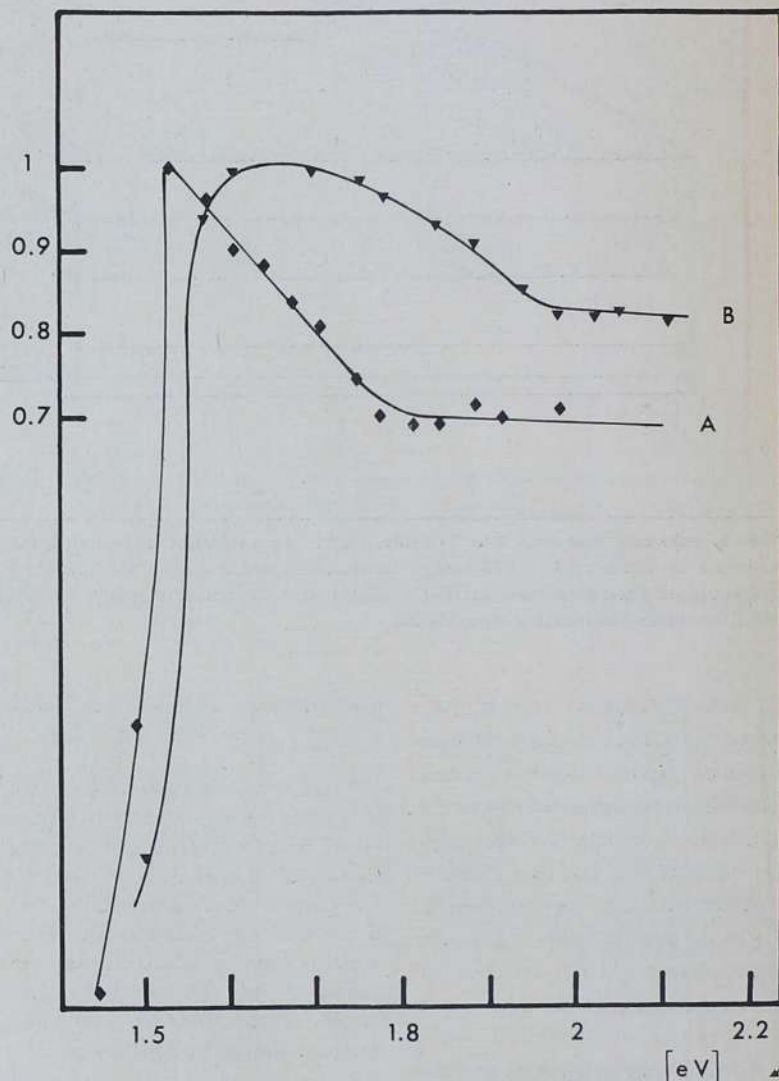


Figura 9. Respuesta espectral relativa de dos celdas solares a base de CdTe; la celda A tiene la región de campo eléctrico permanente más profunda que la celda B.

Ambos, el tiempo de excitación y la distancia recorrida, son características del semiconductor y no dependen de la energía del fotón que los excitó ni del sitio en el que ocurrió la excitación (considerando que el semiconductor es homogéneo).

- iii) Por otro lado, se tiene que, una vez manufacturada una celda solar, la posición donde se encuentran el campo eléctrico permanente es fija.

Con los comportamientos anteriores, se llega directamente al fundamento de la respuesta espectral. Considérese dos fotones, uno de energía E_1 , ligeramente mayor a E_g , y otro de energía E_2 , mucho mayor

a E_g . De acuerdo al párrafo anterior, el primer fotón será absorbido a una distancia grande dentro del semiconductor y el segundo fotón será absorbido muy cerca de la superficie, por lo que el primero tendrá que recorrer una distancia mayor que el segundo para llegar a la zona de campo eléctrico. La consecuencia es que el primero tendrá una mayor probabilidad de desaparecer ("des-excitarse") que el segundo, y así, estadísticamente, los fotones del primer tipo lograrán introducir menos electrones en la zona de campo que los segundos. Esto es lo que establece la definición tecnológica de respuesta espectral que se dio previamente (pág. 24).

El cociente que se obtiene de dividir el número de electrones

fotoexcitados que introdujeron al campo fotones de una energía E_i , entre el número total de fotones de esa energía que entraron en la celda, es lo que se conoce como el rendimiento cuántico interno de la celda:

$$Q(E_i) = \frac{\text{Número de electrones introducido al campo eléctrico/cm}^2 \text{ seg}}{\text{Número total de fotones de energía } E_i \text{ que entraron en la celda}}$$

La figura 9 muestra dos curvas de respuesta espectral para celdas solares hechas de Teluro de Cadmio. La celda que dio lugar a la curva A tiene la región de campo permanente más profunda (retirada de la superficie) que la celda que generó la curva B.

Ley que gobierna la potencia entregada por la celda solar

En toda celda solar existe una relación entre las fotocorriente que entrega y el fotovoltaje que existe entre sus terminales en ese mismo momento, es decir, que el fotovoltaje y la fotocorriente *no* son cantidades que pueden tomar valores independientes entre sí. Hay una relación entre ellos expresada en la ecuación (2):

$$I_f = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{qV_f}{kT}} - 1 \right) \quad (2)$$

En esta ecuación I_f es la fotocorriente que circula por la carga eléctrica; I_{cc} es la corriente máxima que puede generar la celda, que es una constante para una celda e intensidad de iluminación dadas; I_0 es una constante generalmente pequeña ($I_0 = 10^2$ Amp/cm² en cel-

das de silicio); V_f es el fovoltaje en las terminales de la celda cuando entrega la fotocorriente I_f ; q es la carga del electrón; k es la constante de Boltzman, y T es la temperatura absoluta a la que se encuentra la celda solar. La figura 10 muestra la curva I_f en función de V_f para una celda solar de silicio. En esta curva se tienen dos regiones perfectamente determinadas: i) la región a, en la que la fotocorriente permanece prácticamente constante, con un valor igual a I_{cc} , independientemente del valor del fotovoltaje entre sus terminales; ii) la región b, en la que la fotocorriente decrece de manera exponencial hasta el valor igual a cero. (Recuérdese que para la fotocorriente se debe cumplir $0 \leq I_f \leq I_{cc}$.)

En esta curva hay dos puntos particularmente interesantes. El primero es aquel en el que V_f es cero.

Sustituyendo esta condición en (2) tenemos que I_f es igual a I_{cc} . Obsérvese que para tener V_f igual a cero se requiere hacer un corto circuito entre las terminales de la celda; esto quiere decir que cuando se realiza dicho corto circuito, circula por el alambre una corriente I_f igual a I_{cc} . En términos matemáticos se tiene:

$$V_f = 0 \quad (\text{condición de corto circuito}) \quad (4)$$

Sustituyendo en (2):

$$I_f = I_{cc}$$

Este punto se conoce como punto de condición de corto circuito de la celda solar. Generalmente I_{cc} es del orden de 30mA/cm² para una celda de silicio bajo iluminación solar. El segundo punto es aquel en el cual I_f es igual a cero. Sustituyen-

do esto en la ecuación (2) y despejando V_f se obtiene:

$$V_f = V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{cc}}{I_o} \quad (6)$$

Para una celda de Silicio $V_{oc} = 0.6$ volts, y para una de Arsenuro de Galio, $V_{oc} = 1.0$ volts, bajo iluminación del sol. Este punto se conoce como punto de condición de circuito abierto de la celda solar, y se utiliza para determinar el voltaje máximo que ésta puede proporcionar con una intensidad luminosa dada.

La potencia eléctrica que proporciona la celda solar es el producto de la fotocorriente I_f por el fotovoltaje V_f entre sus terminales. Esto se establece con la ecuación:

$$\text{Potencia eléctrica} = I_f \times V_f \quad (7)$$

Si se sustituye en la ecuación (7) la expresión para I_f , es decir, la ecuación (2), obtenemos la expresión analítica para la potencia entregada:

$$P = V_f \left[I_{cc} - I_o \left(e^{\frac{qV_f}{kT}} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

Los términos que aparecen en esta ecuación han sido definidos anteriormente. A partir de la ecuación (8) es posible hacer una gráfica de la potencia entregada en función del voltaje entre las terminales de la celda, V_f . Esta gráfica (figura 11) muestra dos regiones y tres puntos interesantes. Las regiones son:

La región de V_f , comprendida entre $V_f = 0$ y $V_f = V_M$, en la que la potencia entregada crece de manera lineal con V_f hasta un valor máximo P máxima.

La de V_f , comprendida entre $V_f = V_M$ y $V_f = V_{oc}$, en la

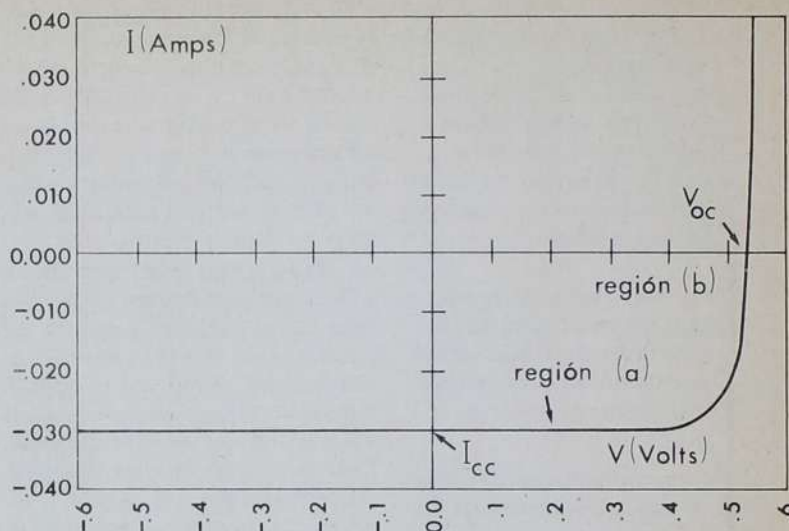


Figura 10. Curva I_f versus V_f para una celda solar de silicio de 1 cm^2 de superficie iluminada con luz solar.

que la potencia entregada decrece de manera exponencial desde P máxima hasta cero.

Y los puntos interesantes:

Los dos en los que la potencia entregada es igual a cero, que ocurren para $V_f = 0$ y V_{oc} . Estos puntos coinciden, respectivamente, con el de corto circuito y el de circuito abierto de la figura 9. Es decir, que en esas dos condiciones la celda no entrega potencia.

El tercer punto interesante es aquel en el que se tiene la potencia máxima. En él la celda entrega una fotocorriente I_M y un fotovoltaje V_M , lo cual conduce a pensar que si se desea la máxima potencia de la celda, hay que hacerla actuar sobre una carga eléctrica que tenga una resistencia dada por la ecuación:

$$R = \frac{V_M}{I_M} \quad (9)$$

que se conoce como resistencia óptima de carga.

Dependencia de la fotocorriente y fotovoltaje con la intensidad luminosa

En la ecuación (2) se estableció la relación que existe entre I_f y V_f para toda celda solar; se consideró I_{cc} como una constante. En esta sección I_{cc} depende de manera lineal de la intensidad luminosa que incide sobre la celda solar. Es decir, si designamos con E_L el flujo luminoso, o sea el número de fotones por centímetro cuadrado por segundo que incide sobre la celda, I_{cc} es función de F_L mediante una expresión del tipo de una recta que pasa por el origen.

$$I_{cc} = A F_L, \quad (10)$$

donde A es una constante.

De esta ecuación se infiere que si para una intensidad luminosa dada tenemos una fotocorriente, cuando se duplica o triplica la intensidad luminosa incidente, la fotocorriente se duplica o triplica en la misma proporción.

En cuanto al fotovoltaje, a partir de la expresión (2) se puede despejar

V_f . La ecuación que se obtiene es la siguiente:

$$V_f = \frac{kt}{q} \ln \frac{I_{cc} - I_f}{I_o}; \quad (11)$$

observe que el fotovoltaje depende logarítmicamente de I_{cc} , y por consecuencia de F_L . Ello establece que variaciones de F_L producen pequeñas variaciones de V_f .

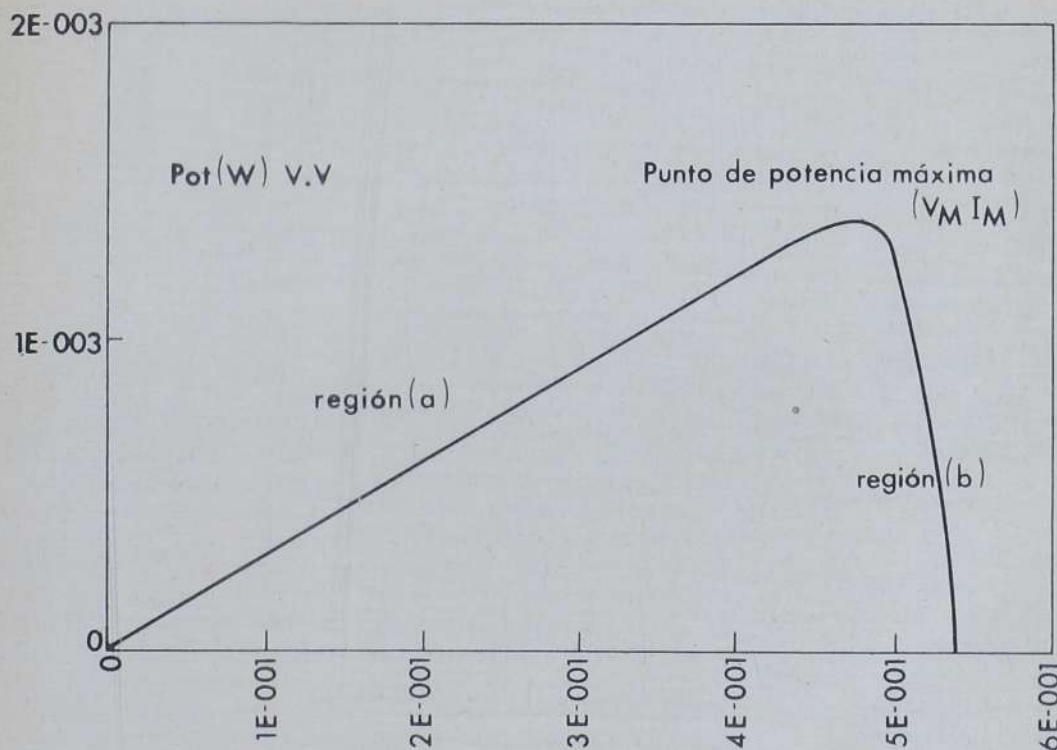


Figura 11. Gráfica que muestra la potencia que entrega la celda en función de fotovoltaje entre sus terminales.

Módulos: Arreglos en serie y en paralelo de celdas solares

Las celdas solares que se encuentran actualmente en el mercado de dispositivos electrónicos son generalmente hechas a base de silicio, lo cual determina que el voltaje de potencia máxima ocurra aproximadamente a

$$V_M = 0.5 \text{ volts.}$$

Y la corriente de potencia máxima correspondiente resulta ser, bajo iluminación solar:

$$I_M = 30 \text{ mA/cm}^2.$$

Como puede notarse, la fototensión es muy pequeña para usos prácticos, por lo que se procede a realizar arreglos donde se colocan varias celdas solares en serie hasta que se alcanza la tensión o voltaje deseado. En el caso de la corriente, se procede de manera similar con arreglos en paralelo. Actualmente se realizan celdas de 7.5-10 centímetros de diámetro que generan una fotocorriente en el punto de potencia máxima

del orden de

$$I_M = 1.0 - 2.0 \text{ amperes.}$$

Generalmente no se realizan montajes con celdas solas sino con módulos, los cuales son un arreglo de celdas en serie. Como ejemplo se cita el módulo que produce el Cinvestav, que tiene un arreglo de 36 celdas en serie y entrega una potencia eléctrica de 18 watts a 18 volts.

Aplicaciones de las celdas solares

Sabemos ya que las celdas solares son dispositivos que convierten la energía de la luz en electricidad. Tal posibilidad hace pensar rápidamente en que se podría satisfacer con ellas cualquier necesidad de electricidad. Pero no es así, por dos motivos.

El costo, impuesto por los materiales y procesos que requiere su elaboración, hace que hasta ahora sea cara una inversión inicial. Segundo, la naturaleza intermitente de la iluminación solar (día, noche, nublados) genera electricidad con idéntica periodicidad, lo que reduce el número de usos y por tanto de dispositivos capaces de tolerar esta condición. En todo caso, habría que almacenar energía, lo que aumenta el costo de las instalaciones, reduciendo nuevamente el número de aplicaciones razonables.

De esta manera, hoy, la aplicación más frecuente se da en los países donde existen zonas no electri-

ficadas por medios convencionales, pero aun aquí la energía solar se emplea en aquellos artefactos que no requieren grandes potencias eléctricas; por ejemplo: televisión, radio-telefonos, repetidoras de microondas, telecomunicaciones en general, iluminación doméstica nocturna, bombeo y purificación de agua, refrigeración en pequeños volúmenes (medicamentos), protección catódica de elementos metálicos (oleoductos, gasoductos, puentes, muelles).

No obstante, una idea sobre la cual empieza a especularse con insistencia es la de usar las celdas para satisfacer algunos excesos de consumo de electricidad convencional en las "horas pico". En ciertas condiciones resulta más económico instalar las celdas que alcanzan esa capacidad "pico" mediante generación convencional. De cualquier manera, realmente no se usa todavía dicha energía para proporcionar

electricidad en grandes cantidades, como las que requieren los grandes conglomerados humanos e industriales.

Es importante sin embargo hacer notar la trascendencia de esta fuente en las zonas rurales. Considérese, a manera de ejemplo, el cambio producido en una comunidad donde se instala una telesecundaria, un pequeño sistema de video con cursos pregrabados; o bien, una pequeña antena para recepción directa de señal de video*, radio-teleéfono, refrigeración para conservación de medicamentos y un pequeño sistema de bombeo de agua para cultivos. Lo anterior requeriría una potencia únicamente del orden de 1-2 kw.

De hecho, fundamentalmente por razones económicas y técnicas de corto plazo, las aplicaciones actuales se llevan a cabo sólo en sitios no electrificados por medios convencionales, que requieren de pequeñas potencias eléctricas.

* Vía satélite.

Celdas solares materiales. Tecnología e investigación

Conforme lo anotado en el breve bosquejo histórico, en un principio el efecto fotovoltaico se dio y estudió de manera independiente de los semiconductores. Sin embargo, cuando se conoció mejor a estos últimos, en sus aspectos físicos fundamentales y en los tecnológicos relativos a la preparación, se pudo obtener con ellos estructuras en las que el efecto fotovoltaico se manifestaba con mayor intensidad, mejor reproducibilidad y estabilidad. A partir de 1954, año en el que los Bell Tel. Lab. anuncian su batería solar a base de silicio⁷, se utiliza éste como material activo de las celdas solares, y su desarrollo se nutrió de todos los avances teóricos y tecnológicos que se dieron en el área de

dispositivos electrónicos a base de dicho elemento (transistores, diodos, circuitos integrados). Desde el comienzo del programa espacial de Estados Unidos se inicia su desarrollo propio, y en 1974 se lleva a cabo una actividad muy amplia, que cubre prácticamente todos los aspectos de la investigación y desarrollo tecnológico de las celdas, principalmente los que corresponden a nuevos semiconductores y nuevas estructuras de celdas, o bien, nuevas tecnologías para el material clásico, el silicio, e incluso para nuevos materiales.

Las celdas solares que constituyen actualmente los módulos solares, como se ha dicho, están hechas a base de silicio. El material está

pues disponible, de manera que no será una limitación para la expansión del uso de este tipo de celda. A continuación se presenta un resumen de la tecnología empleada en la elaboración actual de celdas solares de silicio:

- i) Obtención del Si de ultra alta pureza a partir del cuarzo (SiO_2).
- ii) Obtención del Si monocristalino a partir del material obtenido en el proceso anterior con características eléctricas apropiadas. En esta etapa se obtienen lingotes de 10 cm de diámetro por 1 m de longitud.

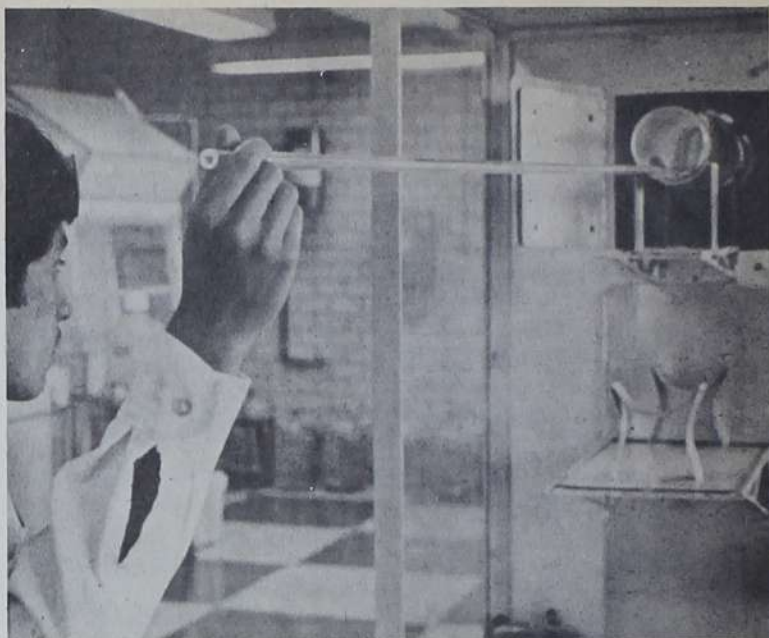


En la foto, en la parte inferior el silicio se encuentra fundido; en la parte superior vemos el lingote de silicio monocristalino que servirá para la construcción de las celdas. La técnica mostrada es la de Czochralski.

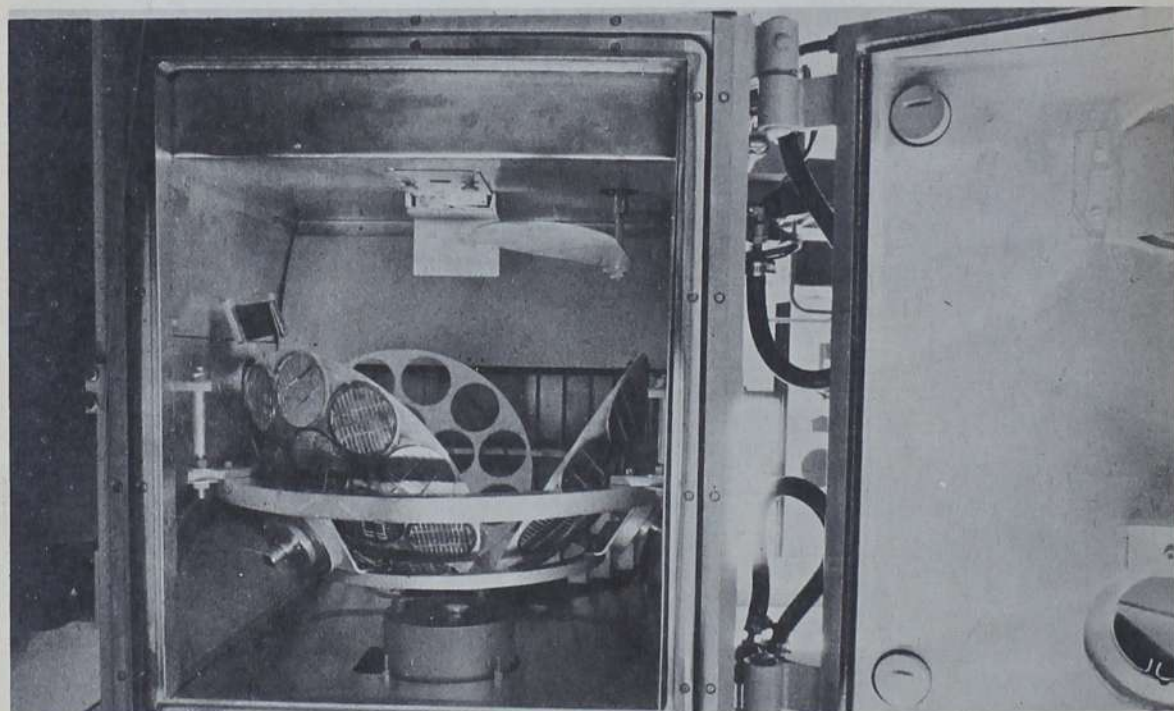
iii) Cortado del cristal de Si del proceso anterior en discos de espesor no mayor de 0.4 mm y con el mismo diámetro del lingote, es decir, aproximadamente 10 cm; en el proceso de cortado se pierde entre 60 y 70% del material debido al grueso de los discos o alambres cortadores.

iv) Limpieza y pulido químicos. Etapa muy importante, que requiere el uso de reactivos químicos de alta pureza.

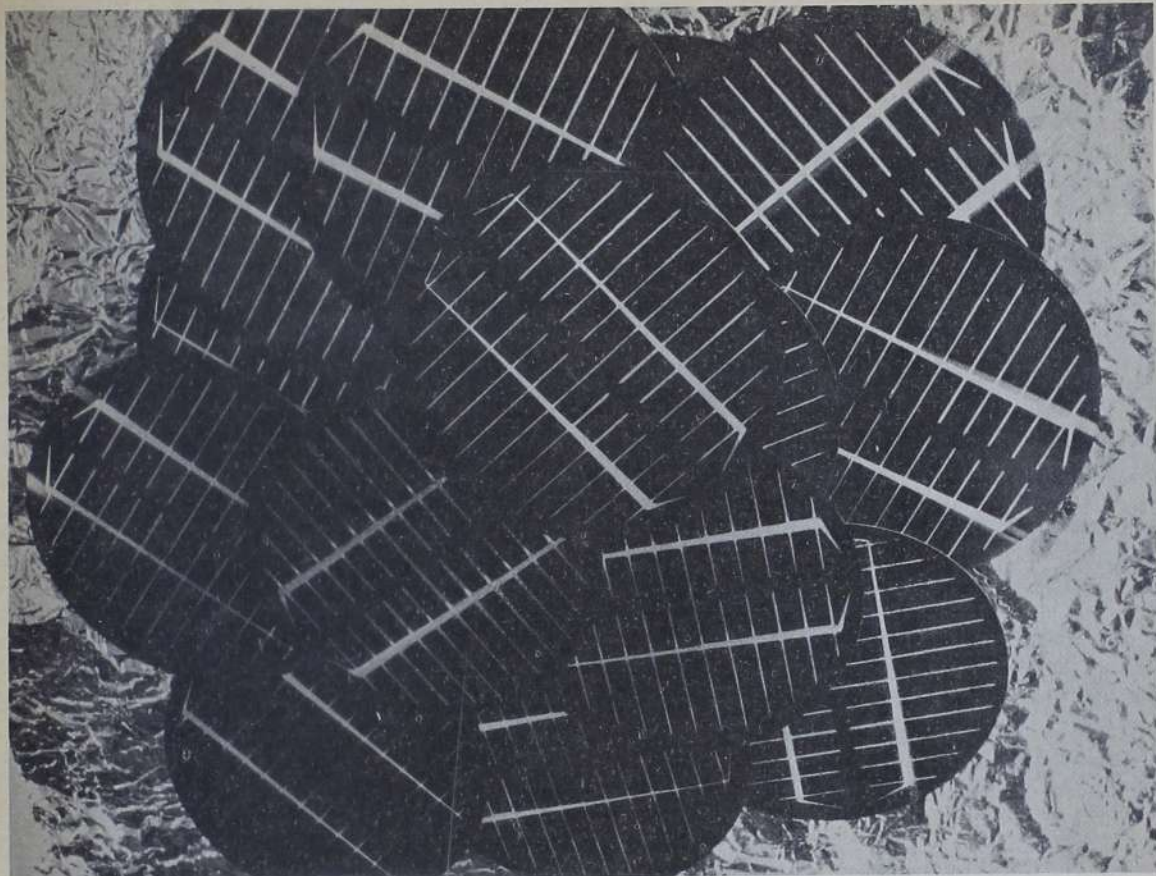
v) Realización de la heterogeneidad química, que da lugar al campo eléctrico interno bajo la superficie. Este es un proceso a alta temperatura (aproximadamente de 800 a 900 °C).



Proceso térmico que da lugar al campo eléctrico permanente, base de la conversión de la luz a electricidad.



Depósito de los electrodos extractores de la fotocorrientes.



Celdas de silicio de ocho centímetros terminadas, antes de montarse en módulos.

- vi) Depósito de contactos eléctricos que extraen la corriente eléctrica producida por la celda. Actualmente se obtienen por evaporación térmica en alto vacío.
- vii) Depósito de película anti-reflejante, sea por evaporación térmica en alto vacío o por rocío químico.
- viii) Pruebas, soldado de arreglos en serie y en paralelo de las celdas solares y encapsulado.

El objetivo principal de la investigación en celdas solares es la reducción del costo. Dicha investigación se puede dividir fácilmente en tres grupos: nuevas tecnologías para el mismo material, Si; nuevos materiales para celdas solares, y nuevas estructuras de celdas solares aplicables a los materiales clásicos: Si, GaAs o a nuevos materiales.

Nuevas tecnologías

La investigación en esta área se encamina básicamente al desarrollo de nuevos procesos; por ejemplo: ob-

tención de silicio más barato y en forma de listones; realización de la heterogeneidad electroquímica mediante cañones de iones o pastas fácilmente aplicables, contactos eléctricos obtenidos mediante procesos cerigráficos que no requirieran realizarse en una cámara de vacío; montaje de celdas en módulos de manera más simple y económica, y más durables.

Nuevos materiales

Como se ha dicho, en 1974 se inició una actividad muy amplia en la bús-

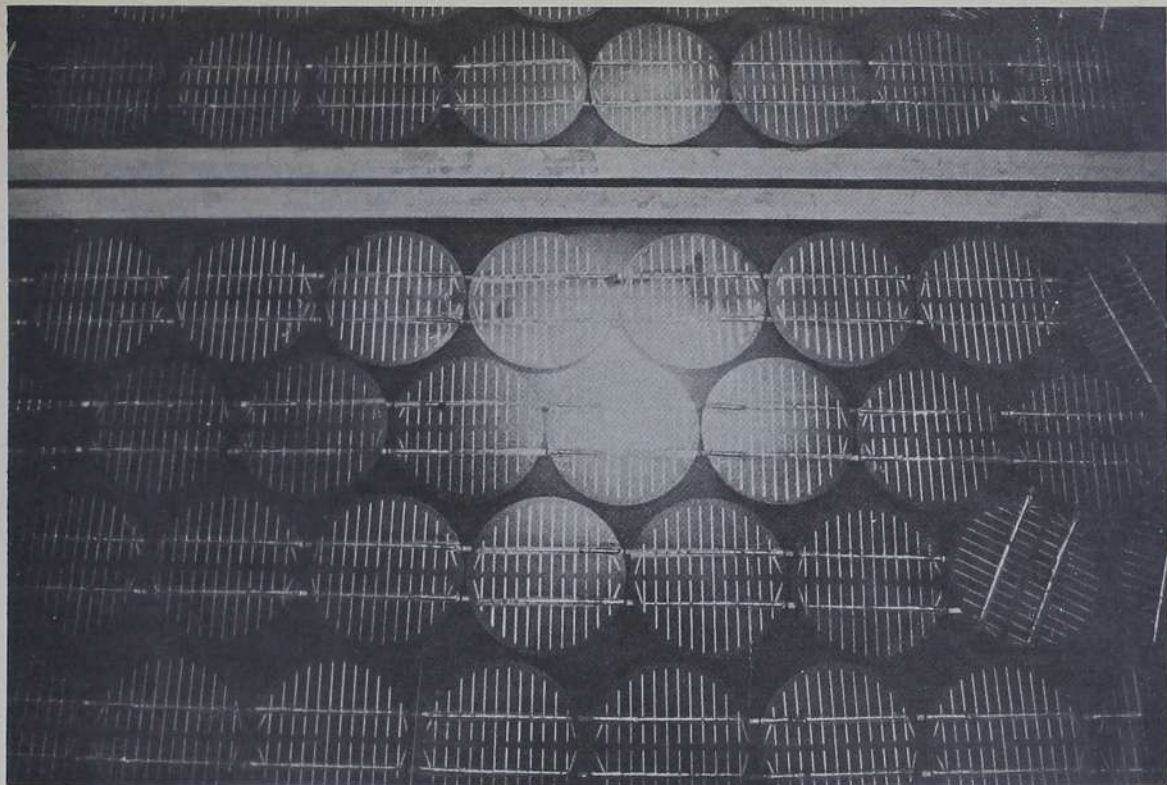
queda de nuevos materiales semiconductores para celdas. Durante este periodo se han sintetizado y estudiado decenas de materiales con resultados variables. Después de prácticamente diez años de iniciada esta búsqueda, el panorama comienza a aclararse y actualmente se continúa trabajando en unos cuantos.

Los principales materiales son: silicio amorfo* y el Arseniuro de Galio, para aplicaciones especiales (en el espacio). El caso del silicio amorfo es un ejemplo muy ilustrativo del esfuerzo que es posible realizar cuando se desea hacer progresar un tópico; hace ocho años era prácticamente desconocido en todo, metalurgia, propiedades químicas, ópticas, eléctricas y mecánicas, y ahora se conoce lo suficiente para creer que en poco tiempo podrá producir celdas y módulos solares de eficiencia razonable a precios bajos.

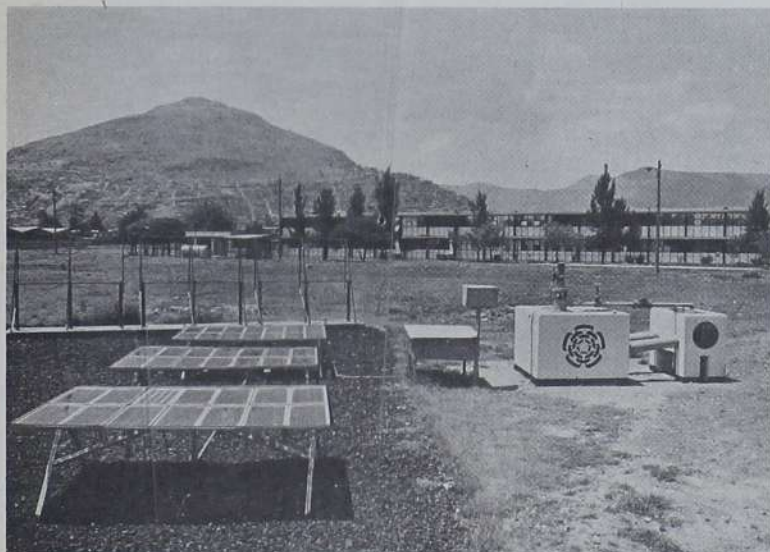
* En el silicio monocristalino los átomos están dispuestos de manera perfectamente ordenada, regular y periódica en el espacio; el silicio amorfo en cambio tiene sus átomos dispuestos de manera aleatoria en el espacio, sin ninguna regularidad ni periodicidad, excepto que la distancia media entre ellas se mantiene constante.



Ensamblado de celdas para constituir los módulos o paneles solares.



Módulos instalados en un sistema fotovoltaico.



Bomba solar desarrollada en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav. De izquierda a derecha: paneles solares, banco de baterías, bomba y cisterna de almacenamiento.

A manera de conclusión se puede decir que el campo de investigación y desarrollo tecnológico generado por las celdas solares es extremadamente rico y fértil. No se conoce un país que teniendo especialistas en el área de semiconductores, no tenga un grupo dedicado a este tema. Esto ha exigido que los foros de intercambio y discusión científica se multipliquen. Actualmente los más prestigiados son: IEEE Photovoltaic Specialists Conference, en Estados Unidos, y el Photovoltaic Solar Energy Conference, en Europa. Tienen lugar cada 18 meses, uno cada nueve. En México existen las reuniones organizadas por la Asociación Nacional de Energía Solar y, recientemente, la Sociedad Mexicana de Física incluye el tema en sus reuniones. ☼

Referencias

Generales

F. Daniels, Direct use of Sun's energy. Yale University Press, 1964.

A. E. Dixo, J.D. Lestic, Solar Energy Conversion. Pergamon Press, 1978.

W. Palz, Electricidad solar, Edit. Blume (UNESCO) 1978.

P. H. Abelson A.L. Hammond, Energy II: Use, Conservation and Supply. American Association for Advancement of Science.

J.C. Mc. Veigh, Sun Power: An introduction to the applications of Solar Energy. Pergamon Press, 1977.

Específicas

¹ J. Mimila-Arroyo, "Las perspectivas de la energía solar. El caso de las celdas solares fotovoltaicas". *Acta Mexicana de Ciencia y Tecnología*. Vol. XIV, núm. 39-42, pág. 9, 1980.

² M. Wolf, "Historical development of Solar Cells". *Proc. 25th Power Sources Symp.* Mayo 23-25 de 1972, pp. 120-124.

³ J. Mimila "Módulo solar de 1 watt con fopilas de Si". Memoria del V Congreso panamericano de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Ramas Afines. Agosto 14-17 de 1973. Bogotá, Colombia.

⁴ M.P. Thekaekara, "Data on incident solar Energy". *The Energy Crisis and Energy from the sun*. Institute of Environment Sciences, 1974.*

⁵ A.G. Milnes y D.L. Feutch, Heterojunctions and metal semiconductor junctions, Academic Press, pág. 126, 1972.

⁶ Ibid, págs. 8 y 9.

⁷ M.B. Prince. "Silicon Solar Energy Converters". *Jour. of Appl. Physics*. Vol. 26, núm. 5, 1955.

* Todos estos artículos se encuentran compilados en: Charles E. Baker (editor), *Solar Cells*, IEEE Press.

Agradecimiento

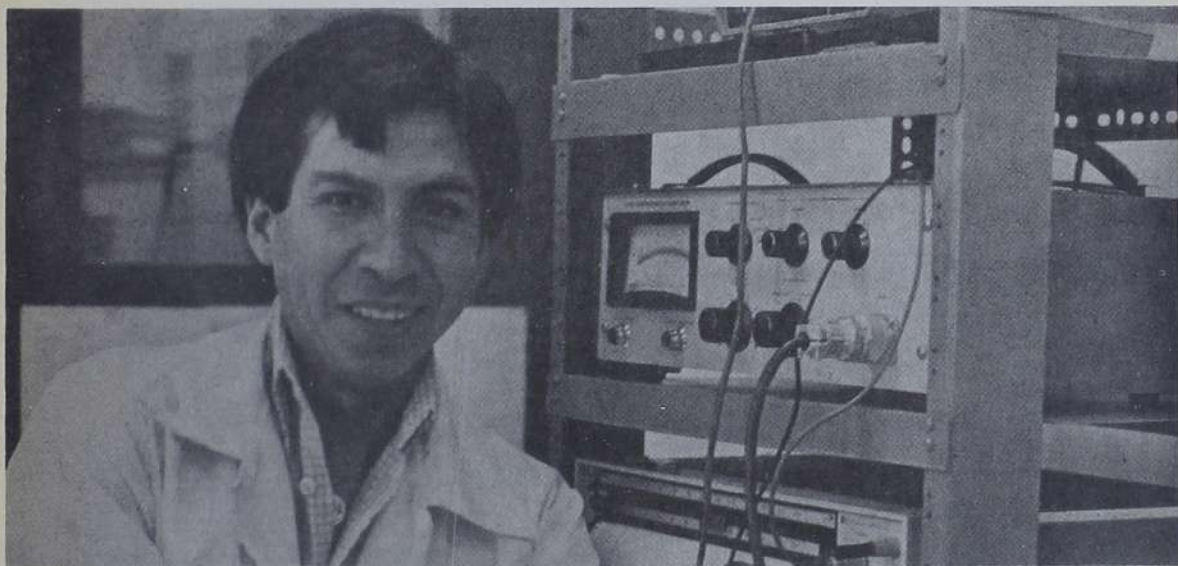
Se agradece a la señora Gloria Masso su cooperación en la realización de este trabajo, así como al Físico Mauricio Ortega por el trazo de las curvas 9 y 10 en computadora.

Datos curriculares del autor

Jaime Mimila Arroyo realizó estudios de licenciatura en Física y Matemáticas, en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN; obtuvo su maestría en Ingeniería Eléctrica, en el Centro, y su doctorado en Física, en la Universidad de París VI "Pierre et Marie Curie".

Su área de investigación se ha orientado hacia celdas solares desde 1971. Construyó en 1972 el primer módulo realizado en México, de un watt con celdas

de Si. Ha trabajado también con nuevos materiales semiconductores para celdas solares (CdTe, GaAs), con nuevas estructuras para celdas solares: MIS, y con celdas bajo concentración de luz solar. Además, se interesa por dispositivos electrónicos a base de semiconductores para operar a altas frecuencias desde 1981, y por la caracterización de propiedades fundamentales en semiconductores.



Entre sus publicaciones se cuentan:

Modelization and Optimizaton of graded band gap CdHgTe solar cells, Bouazzi, Marfaing, Mimila, Rev. de Phys. Appl., vol. 13, p. 145 (1978).

Electric and Photovoltaic Properties of CdTe p-n homojunctions, Mimila, Solal, Marfaing y Triboulet, Solar Energy Materials, vol. 1, núm. 7, enero de 1979.

Simplified theory of reactive close spaced vapor transport, vol. 126, núm. 9, p. 1604. F. Bally, G.C. Solal, J. Mimila, Journal of Electrochemical Society (1979).

Determinación directa del tiempo de vida de portadores minoritarios en CdTe (n), J. Mimila, Acta Mexicana de Ciencia y Tecnología, Vol. XIII, núm. 35, p. 3 (1979).

Las perspectivas de la energía solar. El caso de las celdas solares fotovoltaicas, J. Mimila, Acta Mexicana de Ciencia y Tecnología, Vol. XIII, núm. 39, p. 21 (1980).

Artículos de divulgación

Conversión de energía Solar en energía fotovoltaica, J. Mimila, en Ciencia y Desarrollo (México), núm. 28, p. 64 (1979).

Algunos trabajos presentados en congresos internacionales

Módulo solar fotovoltaico de Si de 1 watt de potencia, J. Mimila, V Reunión del Co. Pan. de Ing. Mec. Elect. y R.A. Bogotá, agosto 13-17 de 1973.

Fotopilas en película delgada de CdS, J. Mimila, Congreso Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, LATINCON 74, Sao Paulo, Br., julio 14-20 de 1974.

V Convención Centroamericana de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Managua, Nicaragua, 1-4 de agosto de 1974.

Accroissement des longueurs de diffusion de porteurs minoritaires sous l'effet d'un gradient de bande interdite", J. Mimila, A. Bouazzi, Solar Electricity International Conference, Toulouse, Francia, marzo 1-5 de 1976.

Homojunction CdTe par croissance épitaxiale en phase vapeur J. Mimila, A. Bouazzi, Cohen Solal, II Congress International on CdTe and its applications, Estrasburgo, Francia, junio de 1976.

Homouniones CdTe para celdas solares, J. Mimila, Cohen Solal, A. Bouazzi, Primer Coloquio Internacional de Energía Solar, Barcelona, 23-25 de febrero de 1977.

Optimization of graded band gap CdHgTe Solar Cells, J. Mimila, Photovoltaic Solar Energy Conference (C.E.E.) Luxemburgo, septiembre 27-30 de 1977.

CdTe homojunctions solar cells, D. Lincot, J. Mimila, C. Solal, R. Triboulet, Photovoltaic Solar Energy Conference (C.E.E.), Berlín, abril de 1979.

A 14% efficiency $\text{SnO-SiO}_2\text{-Si (n)}$ Solar Cell, E. Saucedo, J. Mimila Arroyo, 14th Photovoltaic Specialist Conference, San Diego, enero 7-11 de 1980.

Transient capacitance Spectroscopy in polycrystalline Silicon, J. Mimila et al, Journal of Applied Physics, vol. 53, núm. 12, p. 8633 (1982).

Epitaxial GaAs by CSVT Method, J. Mimila, J. of Appl. Physics, septiembre de 1983.

Enhancement of minority carriers diffusion length in grains of cast Si by hydrogen heat treatments, J. Mimila, 15th Photovoltaic Specialists Conference, Kissimmee, Florida, mayo 12-15 de 1981.

Growth of GaAs epitaxial layers by close Spaced Vapor Transport, J. Mimila, 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, septiembre de 1982.

Analysis of Arsenic Vacancy Complex in GaAs, J. Mimila, VII Seminario Latinoamericano de Física del Estado Sólido.

Estudio de contactos óhmicos en GaAsP_{1N} .

Caracterización del crecimiento y propiedades del SnO_2 detenido por rocío químico.

Epitaxia en fase líquida de GaAs y GaAlAs.

Epitaxial CSVT by closed Spaced Vapor transport.

Modelización de celdas solares por computadora; aplicación a la unión p-n de CdTe, J. Mimila, II Encuentro Internacional de Nuevas fuentes de energía, Morelia, febrero de 1979.

Películas epitaxiales de GaAs para celdas solares, obtenidas por CSVT, J. Mimila, III Reunión Latinoamericana de Energía Solar, Guadalajara, septiembre 30 de 1981.

Síntesis y caracterización de películas delgadas de SnO_2 obtenidas por rocío químico, J. Mimila, Ibíd.

Incremento de la longitud de difusión mediante hidrogenación de silicio policristalino para celdas solares, J. Mimila, Ibíd.



Ceremonia de entrega de diplomas



El titular de la Secretaría de Educación Pública, licenciado Jesús Reyes Heróles, entregó el pasado 3 de mayo diplomas a los alumnos que cursaron estudios durante el periodo del primero de abril de 1982 al 31 de marzo de 1983. Se entregaron 65 grados académicos, cinco de doctor en Ciencias y 60 de maestro en Ciencias, uno más que el año anterior. Además del secretario de Educación —que presidió la ceremonia en representación del presidente De la Madrid— estuvieron presentes el doctor Héctor Mayagoitia, director general de Conacyt; el ingeniero

Manuel Garza Caballero, director general del IPN; el doctor Manuel V. Ortega, subsecretario de Educación e Investigación Tecnológicas; el doctor Jorge Flores, subsecretario de Educación Superior e Investigación Científica; y el doctor Octavio Rivero Serrano, rector de la UNAM, entre otros funcionarios.

En el discurso inaugural el doctor Héctor O. Nava Jaimes, director del Cinvestav, recordó la creación del Centro, el 17 de abril de 1961, y afirmó que nació para satisfacer “la formación de investigadores científicos, profesores especializa-

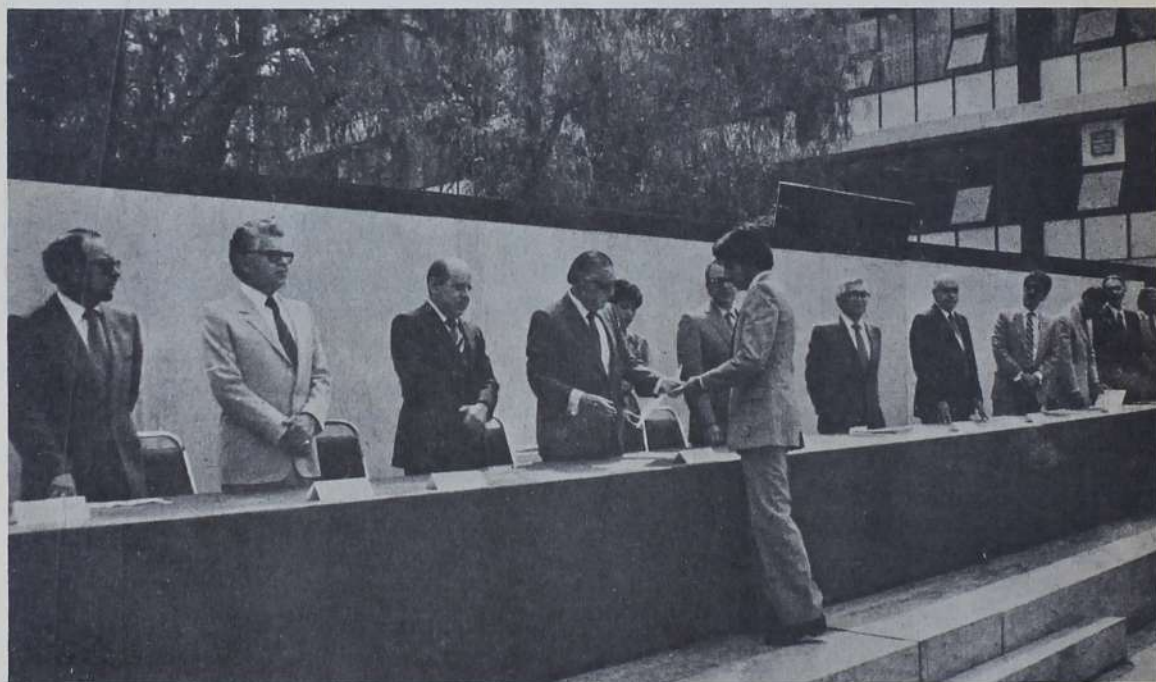
dos y expertos que se dedicasen a promover la constante superación de la enseñanza y a realizar investigaciones científicas y tecnológicas a fin de permitir mejorar las condiciones de vida y contribuir al desarrollo del país”. Enfatizó que en aquel momento, aunque ya existían grupos de investigación establecidos en el IPN y en la UNAM, la creación del Centro significó un hecho importante en la historia educativa del país, ya que fue la primera vez que el Gobierno Federal se comprometió formalmente a crear y sostener un centro de investigación y de ense-

ñanza a nivel de posgrado. Recalcó, además, que el Centro, con su nuevo ordenamiento jurídico, se reafirma en las tareas por las que fue creado, e inclusive le abre nuevas perspectivas y posibilidades. Asimismo, hizo un balance del programa de Cursos en Provincia del Cinvestav. De 1979 hasta la fecha se han impartido 68 cursos en 23 universidades con la participación de 242 profesores y con la asistencia de 2189 alumnos. En cuanto a las actividades académicas actuales, el doctor Nava señaló que las investigaciones del Centro se desarrollan en cuatro modalidades: la básica, la aplicada, la tecnológica y la educativa. En la Unidad Zacatenco existen más de 300 investigaciones, las básicas representan el 46%, las aplicadas el 31%, las tecnológicas el 14% y las educativas el 9%. Finalmente, se refirió a los momen-

tos difíciles por los que atraviesa el país y por ende la labor científica, que requiere de mayores esfuerzos. "Hacemos nuestros —dijo— los planteamientos de la comunidad científica en los foros de consulta organizados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, en particular aquellos que se refieren a la preservación de la planta de investigadores (. . .) Igualmente importante es la conservación de los medios de trabajo, por ejemplo con la creación de un fondo de emergencia para la adquisición e importación en su caso, de substancias, materiales de consumo, refacciones, etcétera, a fin de no detener las investigaciones en curso."

Por su parte, el doctor Manuel V. Ortega, calificó al Centro como "el puesto de avanzada en la productividad científica, en la formación de

especialistas e investigadores, en el desarrollo de procesos tecnológicos innovativos". Afirmó que las máximas autoridades educativas del país han reconocido al Centro como la cúpula del Sistema Nacional de Educación Tecnológica. Apuntó que las investigaciones que el Centro ha desarrollado a lo largo de muchos años en algunos de sus departamentos, ya están iniciándose en su fase de desarrollo industrial. "Por primera vez —dijo— hay una participación directa del organismo responsabilizado de estas acciones, la Subsecretaría de Fomento Industrial, para que desarrollos en las áreas alimentaria y farmacéutica logradas por los investigadores del Centro sean explotados industrialmente." Puede encontrarse mayor información en la sección Documentos (pág. 57).



De izquierda a derecha: Jorge Flores, subsecretario de Educación Superior e Investigación Científica; Héctor Mayagoitia, director de Conacyt; Manuel V. Ortega, subsecretario de Educación e Investigación Tecnológicas; Jesús Reyes Heróles, titular de Educación Pública; Manuel Garza Caballero, director del IPN; Héctor O. Nava, director del Cinvestav; Octavio Rivero, rector de la UNAM, y Miguel Limón, subsecretario de Planeación Educativa.

Graduados 82-83

Maestros en Ciencias en la especialidad de Biología Celular

Eva Edilia Avila Muro
Fernando Díaz Barriga Martínez
José Aurelio Díaz Moreno
José Manuel Hernández Hernández
María de Fatima Knaippe Dibe
José Raúl Mena López
José Luis Rosales Encina

Universidad de Guadalajara
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Autónoma de Zacatecas
Universidad de Guadalajara
Universidad Federal de Río de Janeiro
Universidad de Yucatán
Universidad Autónoma de Zacatecas

Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Molecular

Sigifredo Arevalo Gallegos

Universidad Autónoma de Chihuahua

Maestros en Ciencias en la especialidad de Bioquímica

Rafael Moreno Sánchez
Mitla María García Maya
Diego González Halphen
José de Jesús Pérez Mutul
Abigail Rayas Vera
Víctor Javier Sánchez Bustamante

Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto Politécnico Nacional
Universidad de Yucatán
Universidad de Guanajuato
Universidad Autónoma Metropolitana

Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología

Jorge Fernando Toro Vázquez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Maestros en Ciencias en la especialidad de Educación

Rosa Nidia Buenfil Burgos
Rafael Quiroz Estrada
Daffny Jesús Rosado Moreno

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto Politécnico Nacional
Instituto Politécnico Nacional

Maestros en Ciencias en la especialidad de Farmacología

José Luis Alvarado Acosta
Mélida de León Hernández
Claudia Angélica Soto Peredo

Universidad Juárez del Estado de Durango
Universidad Autónoma de Santo Domingo
Instituto Politécnico Nacional

Maestros en Ciencias en la especialidad de Física

Juan Faustino Aguilera Granja
Nora Eva Bretón Báez
Arturo Refugio Gómez Camacho
Gerardo Moreno López
José Mustre de León
Raúl Pérez Marcial
Gerardo Torres Delgado

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Autónoma de Puebla
Instituto Politécnico Nacional
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Iberoamericana
Universidad Autónoma de Puebla
Universidad Autónoma de Nuevo León

Maestros en Ciencias en la especialidad de Fisiología y Biofísica

José Bargas Díaz
Juan José Bolívar González
Ana Josefa Cardona Lira
José Luis Cortés Peñaloza
María Elvira Galarraga Palacio
Jesús Roberto Gamboa Aldeco

Universidad de Yucatán
Universidad de Yucatán
Universidad Anáhuac
Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Anáhuac
Universidad Nacional Autónoma de México

Ubaldo García Hernández
 Arturo Hernández Cruz Hernández
 Ismael Jiménez Estrada
 Alejo Magallanes Zamora
 Carlos Guillermo Onetti Percello
 Marcos Solodkin Horowitz

Universidad Nacional Autónoma de México
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
 Universidad Anáhuac

Maestros en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica

Leopoldo Bárcenas y Uribe
 José Fernando Calva Sainz
 Rafael Castro Linares
 Fernando Chávez Ramírez
 Felipe Gómez Castañeda
 Jorge Augusto Hernández Albin
 Miguel Martínez González

Instituto Tecnológico Regional de Querétaro
 Instituto Politécnico Nacional
 Instituto Politécnico Nacional
 Instituto Politécnico Nacional
 Universidad de Guadalajara
 Universidad Científica Médica de Grenoble
 Universidad de Guadalajara

Maestros en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa

Tenoch Esaú Cedillo Avalos
 Antonio Chalini Herrera
 Alejandro Ruiz Aguilar

Escuela Normal Superior
 Instituto Politécnico Nacional
 Universidad Nacional Autónoma de México

Maestros en Ciencias en la especialidad de Matemáticas

José Enrique Aguilar Sánchez
 Luis Fernando Burgos Góngora
 Dulce María García Baqueiro
 José Luis Huerta Flores
 José Francisco Marroquín
 Ismael Antonio Muñoz Maya

Instituto Politécnico Nacional
 Universidad de Yucatán
 Universidad de Yucatán
 Instituto Politécnico Nacional
 Universidad de El Salvador
 Universidad Nacional Autónoma de México

Maestro en Ciencias en la especialidad de Neurociencias

Rafael Cueva Rolón

Universidad de Guadalajara

Maestros en Ciencias en la especialidad de Química Orgánica

Antonio Martínez Richa
 Lucía Eloísa Valle Aguilera

Universidad Nacional Autónoma de México
 Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Cincuenta y nueve maestros en Ciencias

Doctor en Ciencias en la especialidad de Física

Gerardo Francisco Torres del Castillo

Universidad Autónoma de Puebla

Doctor en Ciencias en la especialidad de Fisiología y Biología

José Carlos Orozco Buenrostro

Instituto Politécnico Nacional

Doctor en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica

Emmanuel Saucedo Flores

Universidad Autónoma de Nuevo León

Doctores en Ciencias en la especialidad de Matemáticas

Sithanatham Kanthimathinathan
 Mario Zuluaga Uribe

Universidad de Madras, India
 Universidad Nacional de Colombia

Cinco doctores en Ciencias

Se amplían las actividades del Cinvestav en provincia

- Se imparten cursos en universidades estatales y en institutos tecnológicos
- El Centro extiende sus cursos al Sistema Tecnológico Nacional

La sección coordinadora de Cursos en provincia del Cinvestav gestionó ante la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la SESIC, el financiamiento del Programa de Cursos de Formación de Profesores-Investigadores para univer-

sidades estatales. El Programa ha sido aprobado y se impartirán nueve cursos en diferentes universidades del país para el periodo de julio a noviembre del presente año. (Vea tabla 1.)

TABLA 1. PROGRAMA DE CURSOS PARA UNIVERSIDADES ESTATALES

Curso	Sede	Fechas	Profesores	
Escuela de verano	Departamento de física Cinvestav	Junio-agosto	Dr. Miguel Angel Pérez A. Dr. Feliciano Sánchez M. G. Jesús Dorantes	Dr. Miguel Socolovsky Dr. Enrique Campesino
Biología molecular	Universidad de Guanajuato	Junio-julio	Dr. Carlos Fernández T. Dr. Patricio Cariglio	Dr. Samuel Zinker
Tópicos de la química contemporánea	Universidad de Guanajuato	Julio-agosto	Dr. Luis Alfonso Torres Dr. Pedro Joseph Nathan	Dra. Hilda Morales Alanís Dra. Rosalinda Contreras
Estructura y función de las membranas biológicas	Universidad Autónoma de Nuevo León Cinvestav	Julio-agosto ---	Dra. Martha Fernández Dr. Carlos Gómez Lojero	Dr. Alberto Hamabatta Dr. Boanerges Rubalcava
Perspectivas de la farmacología contemporánea	Universidad de Yucatán Cinvestav	Julio-agosto --- Agosto-septiembre	Dr. Julián E. Villarreal Dr. Jorge Peón	Dra. Marisabel Mourelle Dra. Amparo Leal de C.
Genética microbiana	Universidad de Guanajuato	Agosto	Dr. Gabriel Guarneros	Dra. Cecilia Montañez
Instrumentación y fisiología experimental	Departamento de Fisiología Cinvestav	Agosto	Dr. Leonardo Nicola Siri Dr. Julio Muñoz Dr. Jorge Aceves Dr. Fidel Ramón Romero	Dr. Gabriel Gota P. Dr. Carlos Mendez Dr. Hugo Aréchiga Dra. Martha Romano
Álgebra y análisis modernos	Universidad de Guadalajara Cinvestav	Septiembre --- Octubre	Dr. Daniel Gallo Dr. Horacio Tapia	Dr. Elías Micha Dr. Samuel Hohn G.
Temas selectos de biología celular	Universidad Autónoma de San Luis Potosí Cinvestav	Octubre-noviembre --- Noviembre	Dr. Ruben López Revilla Dr. Jesús Calderón Tinoco	Dr. Walid Kuri Harcouch Dra. Adela Mujica

El Programa para universidades estatales ha mantenido una tradición de once años ininterrumpidos, en los cuales se han obtenido resultados muy positivos. Muchos grupos de investigadores, formados en los cursos del Programa, ya se encuentran trabajando en sus universidades de origen. Además, para el presen-

te año, el Cinvestav ampliará el Programa de Cursos en provincia al Sistema Tecnológico del país; gracias al apoyo financiero de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la SEIT, dos departamentos del Centro impartirán siete cursos durante el verano. (Vea tabla 2.)

TABLA II. PROGRAMA DE CURSOS PARA INSTITUTOS TECNOLOGICOS

Curso	Sede	Fechas	Profesores
Tópicos de biotecnología y bioingeniería	Centro de graduados del Instituto Tecnológico de Celaya	Agosto	M.C. Gilberto Iniguez C. M.C. Vicente López Mercado Ing. Próspero Genina Soto M. Sc. Luis Bernardo Flores Cotera
Control de procesos por computación digital	Instituto Tecnológico de Veracruz Cinvestav	Agosto --- Agosto	Dr. Joaquín Álvarez Gallegos Dr. Jaime Álvarez Gallegos
Programación estructurada utilizando lenguajes estructurados y no estructurados	Instituto Tecnológico de Durango	Agosto	Ing. Miguel Angel Fernández Sánchez In. Adriano Gutiérrez Pérez
Instrumentación en los procesos industriales	Instituto Tecnológico de Cd. Madero	Agosto	Dr. Jaime Álvarez Gallegos M.C. Mpisés Bonilla Estrada
Fundamentos de informática	Instituto Tecnológico de Toluca	Agosto	M.C. Adriano Gutiérrez M.C. Miguel Martínez Dr. Adolfo Guzmán Arenas Ing. Angel Pacheco Landis
Procesamiento digital de señales	Instituto tecnológico de Monterrey	Agosto	M.C. Arturo Merino Castellanos Dr. Alfonso Rodríguez Bobadilla
Redes de comunicación de datos	Instituto tecnológico de San Luis Potosí Cinvestav	Agosto Agosto	M.C. José Luis Silva García M. C. Arturo Merino Castellanos Dr. Alfonso Rodríguez Bobadilla

Nuevos convenios

Con la SEIT

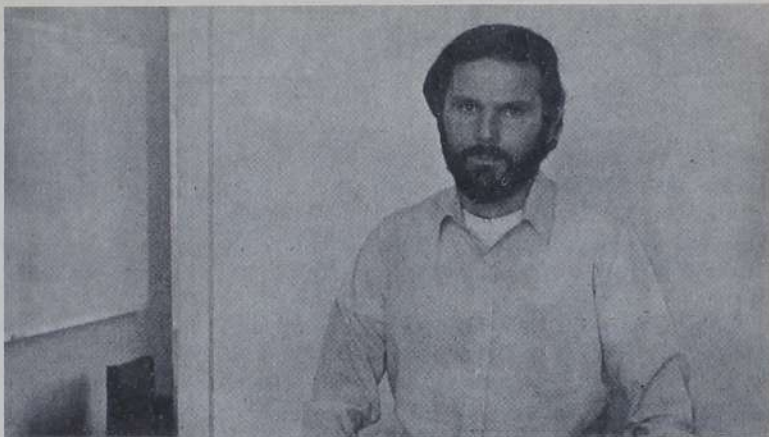
La Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) y la Dirección General de Institutos Tecnológicos (DGIT) suscribieron convenios con el Centro. El convenio con la DGETA tiene por objeto mejorar la calidad de la educación, la orientación de la investigación y la eficiencia en el uso de recursos materiales y humanos de la Unidad Irapuato del Centro y la DGETA, mediante la colaboración interinstitucional, tanto académica como de servicios. Con la DGIT el convenio establece la creación de un Programa de Maestría Abierta en Matemática Educativa en el Instituto Tecnológico de Durango.

Con Azúcar S. A.

El Centro suscribió convenio con la CNIA, ahora Azúcar S.A., para investigar el proceso de humificación de residuos de bagazo y cachaza de ingenios azucareros, y el grado en que es necesario el uso de inoculantes para activar el proceso de degradación de dichos residuos. En este convenio participarán específicamente investigadores del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, siendo el responsable el doctor Fernando Esparza García.

Nombramientos

El doctor Luis Enrique Moreno Armella fue designado coordinador de la sección de Matemática Educativa a partir del primero de junio. Sustituye al maestro en Ciencias Jesús A. Riestra, quien renunció a la Coordinación por compromisos académicos.



El doctor Enrique Campesino Romeo fue designado por el director del Centro como el nuevo secretario técnico de la Dirección y coordinador general de Cursos en Provincia. El doctor Campesino Romeo sustituye al maestro en Ciencias Carlos R. Ramírez Villaseñor, quien renunció para ocupar el cargo de asesor de investigación y evaluación del Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica (Cosnet).

El Departamento de Biología Celular tiene nuevo coordinador, el doctor Rubén López Revilla, designado el 16 de junio por nuestro director en sustitución del doctor Adolfo Martínez Palomo, quien renunció para dedicarse exclusivamente a la coordinación de la Sección de Patología Experimental.



Taller de metalurgia no ferrosa

Del 18 al 21 de abril se realizó el Taller de Metalurgia no Ferrosa, en el Hotel La Mansión de San Juan del Río, Qro. Este evento contó con el apoyo conjunto de la National Science Foundation, de Estados Unidos, y el Conacyt, y su objetivo fue el de promover la realización de actividades de investigación entre instituciones de México y de los Estados Unidos en el área de la Metalurgia no Ferrosa. Esto se logró mediante la participación de gente de la industria y de centros de enseñanza de ambos países, fungiendo como presidente del grupo mexicano el doctor Jorge Fonseca G., director de la Unidad de Metalurgia No Ferrosa del Cinvestav. La ceremonia de inauguración estuvo a cargo del doctor Asdrubal Flores L., director adjunto de Relaciones Internacionales del Conacyt, y el acto de clausura fue realizado por el doctor Fonseca G., en representación del doctor Nava Jaimes.

Participó el Centro en mesas redondas sobre microbiología

Dentro de los actos conmemorativos del 40 aniversario de la fundación de El Colegio Nacional, del 13 de mayo al 3 de junio se llevaron a cabo seis mesas redondas sobre la microbiología. Coordinó el evento el Q. B. Carlos Casas-Campillo, profesor titular del Departamento de Bioingeniería y Biotecnología del Centro. La mesa sobre microbiología Industrial se efectuó en nuestro Auditorio y la moderó el propio Q.B. Casas-Campillo. Otros miembros del Centro que participaron como ponentes en las diversas mesas fueron el doctor Fernando Esparza García, el doctor Ignacio Magaña Plaza, el doctor Jacobo Yankel Kupesztoch, y nuevamente el Q.B. Carlos Casas-Campillo.

Premio Ruth Allen para un miembro del Centro

El premio *Ruth Allen* de la American Phytopathological Society de Estados Unidos, que se otorga desde 1965, fue concedido al doctor José Ruiz Herrera, profesor titular del Departamento de Genética y Biología Molecular. El doctor Ruiz

Herrera, quien además dirige el Instituto de Biología Experimental de la Universidad de Guanajuato, obtuvo el premio gracias a sus investigaciones y aportaciones para el descubrimiento y elucidación de citosomas y su función.



Otro becario Guggenheim



El doctor Gabriel Guarneros Peña, jefe del Departamento de Genética y Biología Molecular, obtuvo la beca que otorga la fundación Guggenheim con sede en Nueva York. Anualmente la fundación otorga becas a científicos, escritores y pintores de América Latina. Una vez más un investigador del Cinvestav obtiene esta beca por sus investigaciones, que da inicio en septiembre y dura un año.

Proyectos de investigación vigentes en el Centro con el apoyo de Conacyt

El Centro y el Conacyt han establecido convenios de cooperación para realizar proyectos de investigación en todas las áreas. Este apoyo es de suma importancia si consideramos la difícil situación económica del país. A partir de este número *Avance y Perspectiva* presen-

tará relaciones de proyectos de investigación que se realicen con el apoyo de Conacyt y de otras instituciones*. Entre paréntesis aparecen los nombres de los investigadores responsables.

* Relación al mes de junio de 1983.

Area biológica

1. Respuesta de las células inmunes a infección por *Entamoeba Histolytica* (Dr. Jesús Calderón).
2. Control de la diferenciación en cultivos de células de los fibroplastos 3T3 a adipositos (Dr. Walid Kuri H.).
3. Biología molecular de *Entamoeba Histolytica* (Dr. Rubén López Revilla).
4. Biología celular de *Entamoeba Histolytica* *Onchocerca volvulus* y *Trypanosoma Cruzi* (Dr. Adolfo Martínez Palomo).
5. Localización y cuantificación de tubulina y actina en células epiteliales (Dra. Isaura Meza).
6. Organización y expresión del gen de tubulina (Dra. Isaura Meza).
7. Identificación, caracterización y localización intracelular de proteínas que constituyen a los geles citoplásmicos de actina derivados de tejido nervioso de rata (Dra. Jane Elizabeth Palmer).
8. Inactivación de los genes de actina y tubulina durante la infección lítica de células humanas con el virus de la estomatitis vesicular y con el poliovirus (Dr. José Luis Saborio López).
9. Expresión de los genes que codifican para las diferentes isoformas de la actina de células isoformas de la actina de células musculares y no musculares (Dr. José Luis Saborio López).
10. Estudio sobre la estructura y la organización supramolecular de las proteínas contráctiles en células no musculares (Dr. José Luis Saborio López).
11. Desarrollo de un ensayo para detectar sustancias químicas carcinogénicas (Dr. Saúl Villa Treviño).
12. Análisis de la interacción entre el ovocito y el espermatozoide a través de un enfoque de reconstitución (Dr. Alberto Darszon).
13. Propiedades fisicoquímicas de sistemas membranales (Dra. Marta Susana Fernández).
14. La estructura y función de la membrana celular, estudiada a través del sistema adenilil ciclasa y los receptores hormonales de hígado de rata (Dr. Boanerges Rubalcava).
15. Detergentes de uso común en México, su biodegradación y aspectos de su impacto ecológico (Dr. Fernando Esparza García).
16. Estudio de los productos intermedios y finales en la degradación de la lignina (Dr. Fernando Esparza García).
17. Farmacología clínica de anticonvulsivantes (Dr. Pedro A. Lehmann).
18. Liberación, captación y efectos postsinápticos de la dopamina en el cuerpo estriado y la sustancia nigra (Dr. Jorge Aceves Ruiz).
19. Caracterización bioquímica y fisiológica de péptidos neuroactivos en crustáceo. II caracterización fisiológica (Dr. Hugo Aréchiga).
20. Estructura y función de monocapas celulares cultivadas (Dr. Marcelino Cerejido).
21. La bomba de sodio y potasio Na^+K^+ ATPasa de las células MDCK (Dr. Marcelino Cerejido).
22. Autorregulación del corazón de mamíferos (Dr. Carlos Méndez).
23. Alteraciones de la regulación neurotrófica en la intoxicación producida por los principios activos de la tullidora [Karwinkia Humboldtiana] (Dr. Julio Muñoz Martínez).
24. Estudio de los patrones de activación de las interneuronas que median la depolarización de aferentes primarios en la médula espinal de los vertebrados (Dr. Pablo Rudomín).
25. Acople, excitación, contracción en músculo esquelético (Dr. Enrique Stefani).
26. Mecanismos de expresión genética en células de eucariotes (Dr. Patricio Gariglio).
27. Unidad de microscopía electrónica de macromoléculas (Dr. Patricio Gariglio).
28. Regulación de la recombinación integrativa del bacteriófago lambda (Dr. Gabriel Guarneros Peña).
29. Unidad de biología molecular de ácidos nucleicos (Dr. Gabriel Guarneros Peña).
30. Estudio de la función C II del bacteriófago lambda. Factores que influyen en su actividad, síntesis y estabilidad (Dr. Gabriel Guarneros Peña).
31. Relación huésped-parásito en *Entamoeba Histolytica* (Dra. María Esther Orozco).
32. Adhesión de *Entamoeba Histolytica* a eritrocitos humanos y a células epiteliales en cultivo. Caracterización por medio de la obtención de mutantes deficientes en factores de adhesión (Dra. María Esther Orozco).

33. Bases bioquímicas de la diferenciación de hongos (Dr. José Ruiz Herrera).
34. Regulación de la expresión de los mRNAs de las proteínas ribosomales en la levadura *S. Cerevisiae* (Dr. Samuel Zinker).
35. Fosforilación de proteínas ribosomales en células HeLa infectadas por el virus de la poliomielitis (Dr. Samuel Zinker).

Area de educación

36. Un programa experimental de matemática en escuela primaria (Psic. Grecia Gálvez).
37. Desarrollo de un modelo de enseñanza de las ciencias experimentales y la tecnología en la escuela primaria (Dra. María Salud Núñez).

Area de física

38. Influencia de la absorción sobre la magnetización superficial de metales de transición (Dr. Jorge S. Helman).
39. Celdas solares de homounión, heterounión y barrera de Schottky (Dr. Cornelius Menezes).

Area de ingeniería eléctrica

40. Creación de infraestructura de un laboratorio de control de procesos industriales (Dr. Jaime Alvarez Gallegos).
41. Estudio, diseño y realización de un simulador digital de procesos de destilación (Dr. Joaquín Alvarez Gallegos).
42. Fortalecimiento de la infraestructura tecnológica para el desarrollo de la conversión fotovoltaica de la energía solar (Dr. Juan Luis del Valle).
43. Ingeniería de sistemas fotovoltaicos (Dr. Juan Luis del Valle).
44. Diseño y realización de un transistor de potencia vmos. (Dr. José A. Moreno Cadenas).
45. Desarrollo de la infraestructura de un laboratorio de microelectrónica para dispositivos discretos de potencia y circuitos integrados para telecomunicaciones (Dr. José A. Moreno Cadenas, Dr. Ruberto Osorio O. y Dr. Mariano Gamboa).

Area de matemáticas

46. Ecuaciones parciales, lineales y diferenciales (Dr. Alfonso Castro).
47. Sistemas disipativos y leyes de conservación (Dr. Sául Hahn Goldberg).
48. Sistemas de partículas y campos aleatorios (Dr. Luis G. Gorostiza).
49. Sistemas con perturbaciones estocásticas de intensidad pequeña (Dr. Onésimo Hernández).
50. Variedad abelianas en baja dimensión y variedades de PRYM (Dr. Horacio Tapia).
51. Sistemas dinámicos y foliaciones (Dr. Alberto Verjovsky).

Area de neurociencias

52. Estudio multidisciplinario del gluten, las proteínas y los péptidos de las variedades de trigo mexicano. Su papel en la patogenia de la esquizofrenia y la enfermedad celiaca (Dr. Alejandro Oscós y Dra. Dalila Martínez).

Area de química

53. Síntesis de compuestos boro-fósforo (Dra. Rosalinda Contreras).
54. Reducción del oxígeno en carbonatos fundidos; aplicaciones a celdas de combustibles (Dr. Gerard Poillierat).

SCADMA

55. Control de calidad en medicamentos (Q.B.P. Ma. Teresa Rivas y Q.F.B. Artemisa Posada).

Unidad Irapuato

56. Localización inmunofluorescente de microtubulos durante diferenciación de células del xilema (Dr. John H. Dodds).
57. Unidad de investigación agrícola en Guanajuato (Dr. Alejandro Blanco).

Unidad de metalurgia no ferrosa

58. Establecimiento de una unidad de investigación en metalurgia no ferrosa (Dr. Jorge Fonseca García).

Taller sobre producción y calidad de sorgo, este mes

La Unidad Irapuato del Cinvestav, junto con el INIA, la Universidad de Guanajuato, La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, la Universidad Autónoma de Sinaloa, el Programa Universitario de Alimentos de la UNAM y la Unidad de Investigación Agrícola del Bajío y el Departamento of Soil and Crop Sciences de la Texas A and M University, organizan el Taller sobre Producción y Calidad de Sorgo que se llevará a cabo del 26 al 29 de septiembre en la Escuela de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, en Irapuato. El objetivo del Taller es analizar y divulgar la investigación que se realiza para mejorar la producción y calidad de sorgo, tanto para consumo humano como animal, y contribuir a la formación de recursos humanos en esta área. Entre los temas a tratar se encuentran: Usos de sorgo en alimentación humana y animal, Tecnología de manejo y almacenamiento, Genética, Fitomejoramiento, Producción de sorgo, Valor nutricional. Para mayores informes diríjase a la Unidad Irapuato del Cinvestav, doctor Octavio Paredes López. Apartado Postal 629, 36500 Irapuato, Gto. Tels: (426) 650-19 y 718-60. Y en México D.F., al Departamento de Graduados e Inv. Alimentos, ENCB del IPN, maestra en Ciencias Yoja Gallardo Navarro. Carpio y Plan de Ayala, México D.F. Tels: 541-0087 y 547-2874.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES EDUCATIVAS



CINVESTAV-IPN
Cuadernos de
Investigaciones
Educativas



EL USO DEL TIEMPO Y DE
LOS LIBROS DE TEXTO DE
PRIMARIA.

LA ENSEÑANZA DE LAS
CIENCIAS NATURALES EN
CUATRO GRUPOS DE PRI-
MARIA.

G. Galvez, E. Rockwell, R. Pa-
radise y S. Sobrecasas.

UN ANALISIS SOCIAL DE LA
EDUCACION EN MEXICO.

Maria de Ibarrola

DE HUELLAS, BARDAS Y
VEREDAS: UNA HISTORIA
COTIDIANA EN LA ES-
CUELA.

Elsie Rockwell

LA POSIBILIDAD DE ESCRI-
TURA DE LA NEGACION Y
LA FALSEDAD.

Emilia Ferreira.

SOCIALIZACION PARA EL
TRABAJO. LA INTERAC-
CION MAESTRO-ALUMNOS
EN LA ESCUELA PRIMARIA.

Ruth Paradise

LA EDUCACION POPULAR
EN AMERICA LATINA.

C. Braslavsky, M. de Ibarrola, J.

C. Tedesco, C. Vilas, E. Taboa-
da, V. Paiva.

LAS CLASES POPULARES Y
LAS MODALIDADES EXTRA-
ESCOLARES DE LA EDUCA-
CION.

O. Jara, E. Cervantes, J. Garcia
Huidobro, S. Schmelkes, J. Al-
ba, V. Edwards, D. Paas, C.
Rodriguez Brandao.

LAS CLASES POPULARES Y
LA INSTITUCION ESCOLAR.

S. Gómez Tagle, B. Freitag, R.
Preston, G. Namo de Mello, E.
Rockwell y J. Ezpeleta.

EL CRECIMIENTO DE LA ES-
COLARIDAD SUPERIOR EN
MEXICO.

Maria de Ibarrola.

LOS ADULTOS NO-ALFA-
BETIZADOS Y SUS CONCEP-
TUALIZACIONES DEL SISTE-
MA DE ESCRITURA.

Emilia Ferreira et al.

LA OPOSICION ESTUDIAN-
TIL: ¿UNA OPOSICION SIN
ATRIBUTOS?

Ilán Semo.

Informes: Jovita Barrientos, José María Velasco 101
Teléfono: 534-29-60

Se llevó a cabo el Tercer Coloquio del Departamento de Matemáticas

Del 7 al 26 de agosto pasado se llevó a cabo el Tercer Coloquio del Departamento de Matemáticas en el Centro Vacacional "La Trinidad", Santa Cruz, Tlaxcala. Los objetivos del Coloquio fueron promover la discusión interdisciplinaria entre ingenieros, científicos y matemáticos activos en la utilización de modelos matemáticos en la enseñanza, la investigación y sus aplicaciones; coadyuvar a la actualización de pro-

fesores de matemáticas del nivel medio superior; generar textos y material educativo, y orientar a los estudiantes avanzados que deseen realizar maestría o doctorado, sobre algunas áreas de investigación en matemáticas que se desarrollan activamente en México.

Patrocinaron el coloquio la SEIT y la SESIC de la Secretaría de Educación Pública, el Instituto Politécnico Nacional, el Consejo Nacional

de Ciencia y Tecnología, y el Cinvestav. Las actividades incluyeron cursos de 22.5 horas y cursos cortos de siete horas; conferencias diarias por profesores invitados, tanto nacionales como extranjeros; dos talleres: Talleres de Varias Variables Complejas, que coordinó el doctor Enrique Ramírez de Arellano, y el Taller de Topología Algebraica, que coordinó el doctor Enrique Antonio. ☼

El arte, el pensamiento mágico y la ciencia

Ruth Paradise

La capacidad para producir y apreciar obras de arte es propia del ser humano. Junto con el lenguaje, el mito y los rituales (sistemas también de producción y uso de símbolos significativos), la actividad artística caracteriza y define al ser humano, separándolo de los otros animales por una diferencia no de grado sino de clase, de calidad. El antropólogo ya no se fija tanto en el hecho de que vivimos en sociedades, ni en nuestra capacidad para hacer y usar herramientas; reconoce que el ser humano se diferencia más por su actividad simbólica.

El arte produce y comunica un conocimiento que difiere del conocimiento que nos llega por otros sistemas simbólicos. Según Lévi-Strauss, el "genio" del pintor

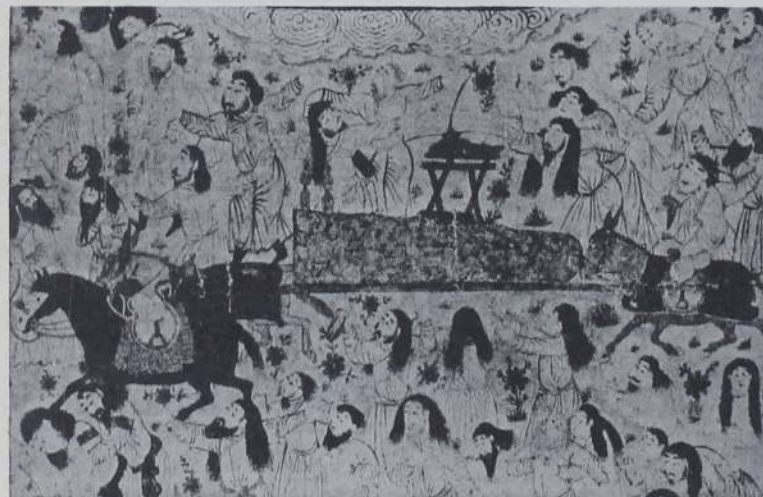
consiste en unir el conocimiento interno y externo, un 'ser' con un 'llegar a ser'; en producir con su pincel un objeto que no existe como tal y que sin embargo él puede crear sobre tela (1966:25).

Esta combinación del conocimiento "interno y externo" significa que el conocimiento que se adquiere a

través del arte difiere cualitativamente del conocimiento que produce la ciencia moderna. Esta genera conocimiento empírico del mundo "externo" a través de la manipulación experimental. El arte, por su lado, no depende de la experimentación, de la racionalidad y la prueba lógica.

El arte se encuentra entre el conocimiento científico y el pensamiento mítico o mágico. Es del dominio público que el artista es un poco científico y un poco 'bricoleur'. Por su sentido artesanal construye un objeto material que es también un objeto de conocimiento (Lévi-Strauss 1966: 22).*

La manera particular de concebir el arte también destaca cuando se le compara a éste con la ciencia. No entendemos una verdad artística de la misma manera que entendemos un conocimiento o verdad científica, ya que se involucran otras formas de comprensión menos discutidas y menos reconocidas, formas que no dependen de la racionalidad. Joseph Cambell hace referencia a esta diferencia cuando enuncia lo que para él es



Esta lámina corresponde al manuscrito Shahnameh, realizado en Irán entre los años 1330 y 1340. Representa los funerales del joven héroe Esfandiyar, obligado por el destino a batirse en duelo y caer vencido a manos del poderoso Rustam.

* El "bricoleur" es el que obra sin plan previo y con medios y procedimientos apartados de los usos tecnológicos normales. No opera con materias primas, sino ya elaboradas, con fragmentos de obras y trozos; es el que trabaja con sus manos, utilizando medios desviados por comparación con los del hombre de arte, según el mismo Lévi-Strauss explica (N. de la R.)

el primer axioma de todo el arte creativo. . . el arte no es, como la ciencia, una lógica de referencias sino una renuncia a ellas y la representación de la experiencia inmediata (1981: 42).

Por lo tanto, no podemos entender realmente una obra de arte si dependemos sólo de nuestro intelecto, de nuestra capacidad de hacer referencias y asociaciones racionalizadas.

Cuando comprendemos una obra de arte la sentimos; no se trata sólo de glosar un símbolo en particular hasta encontrar sus diversos significados. El que comprende una obra de arte no es necesariamente el mismo que por la facilidad de manejar un sistema de referencias intelectuales nos puede explicar las raíces de la obra y su contenido en función de una serie de referencias simbólicas. Se trata de un fenómeno mucho más complejo.

Clifford Geertz hace referencia a esta problemática cuando señala que

la cuestión de cómo percibimos las cualidades en cosas, pinturas, libros, melodías, obras de teatro, que no creemos poder asegurar que estén allí literalmente, ha llegado a ser, en los últimos años, el mero centro de la teoría estética (1977: 23).

Este modo distinto de asimilar/comprender/percebir las cualidades o las características de una obra de arte se ve más claro cuando se compara el arte como comunicación simbólica con otro tipo de comunicación simbólica: el lenguaje escrito. Parece ser que cuando entendemos un texto escrito es porque por un nivel nos involucramos en la tarea de descifrar una serie de elementos lingüísticos. Por otro nivel se requiere una interpretación que implica la unión de dos "horizontes", el del lector y el que se representa en el texto. Juega un papel también lo que el lector sabe de antemano acerca de lo que dice el texto. La comprensión entonces del lenguaje escrito es un fenómeno bastante complicado. Sin embargo, se puede decir que al entender una comunicación escrita el intelecto juega un papel primordial. Con el arte, la dinámica y la estructura de su comprensión es diferente. Cuando una obra de arte es realmente comprendida, se involucran de manera directa las emociones y algo del ser total. El intelecto y la razón, como conceptos, aún no empiezan a describir los mecanismos de esa comprensión.

Se puede tomar como ejemplo la poesía, esa forma de arte que se confecciona con el lenguaje, que se crea y transmite a través de la palabra escrita (dejando a un lado por ahora la poesía oral). ¿Cómo se puede sostener que la poesía se comprende a través de un proceso que no sea primero un proceso intelectual, de descifrar el significado de los símbolos lingüísticos? ¿No parecería que de hecho la base de la capa-

cidad de comprender y usar el lenguaje es la misma que se utiliza para apreciar y entender la poesía? ¿Existe de verdad una diferencia cualitativa, de base, entre la comprensión de un texto cualquiera y un poema?

De hecho se puede argüir que sí existen dos "bases" diferentes que inciden en la comprensión de un texto por un lado y un poema por el otro. Este puede ser cierto aunque no hay una producción lingüística que no tenga su elemento "artístico", y no hay una obra de arte que no tenga su elemento "lingüístico". Interpretar puede ser básicamente una tarea del intelecto; no lo es tanto en la medida en que se acerca al mundo del arte.



Detalle de la figura anterior. Nótese la diversidad de tipos étnicos que habitaban Irán a principios del siglo catorce, y que el autor captura oportunamente.

El poeta A.E. Housman, en su indagación sobre la naturaleza de la poesía, se refiere varias veces al hecho que la poesía *no* es una serie de palabras y su comprensión por el intelecto. "No me satisface el hecho de que existen cosas tales como ideas poéticas . . . La poesía no es lo que se dice sino cómo se dice. . . La poesía me parece más bien física que intelectual. . . El intelecto no es la fuente de la poesía; de hecho puede obstaculizar su producción, e incluso no se puede confiar en que la reconozca cuando ésta se produce (1933:34,35,45,37)".

Así nos remitimos otra vez a la observación de Lévi-Strauss, que indica que el arte es la unión del "conocimiento interno y externo". ¿Qué es el interno que menciona Lévi-Strauss? ¿Qué es "la fuente" de la poesía que la hace para Housman más "física" que intelectual? Gregory Bateson explica que el arte es una integración de las diversas partes de la mente, "en particular esos niveles múltiples de los cuales un extremo se llama la 'conciencia' y el otro la 'inconciencia'" (1978:129).

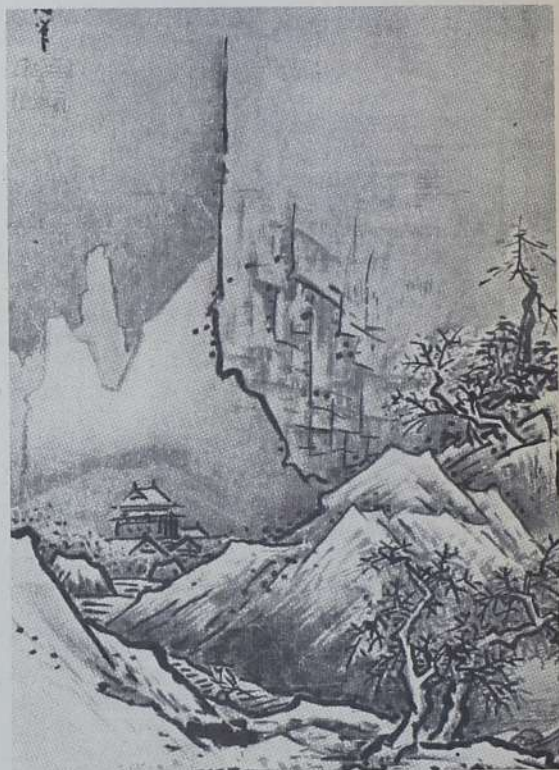
El arte no es ni de uno ni del otro extremo, tampoco representa una simple combinación de los diferentes niveles de la conciencia y la inconciencia. Resulta más correcto describirlo como una integración de esos niveles que nos enseña, tal vez mejor que cualquier otra creación humana, algo acerca de lo que es el ser humano en su totalidad. Allí se unen su lado "espiritual" con su lado "racional".



Pergamino Pájaro sobre una rama, de Kam Zin-choon, tinta sobre papel. Coreano contemporáneo influido por los individualistas chinos, como Chu Ta.

Este estatus especial integrador se reconoce explícitamente en algunas sociedades donde se utiliza el arte en forma directa para expresar y enseñar valores

fundamentales que no se comunican por otros medios. En estos casos no hace falta que la expresión artística se tradujera a otro medio de expresión. Por ejemplo, en el caso de los Abelam, un grupo de Nueva Guinea, las pinturas que crean juegan un papel importante en la vida social y religiosa. Durante el periodo de la iniciación, cuando la sabiduría y el conocimiento de los viejos se transmiten formalmente a los jóvenes, parte de esa instrucción consiste en mostrarles ciertas pinturas sin explicaciones de ningún tipo. No sólo en esta situación particular es así, en general las pinturas no se describen ni se analizan; nadie tampoco pregunta acerca de su significado.



Paisaje invernal de Sesshū (1420-1506), uno de los primeros japoneses en aplicar un estilo chino al escenario nativo.

Todos los elementos tienen nombre y están ensamblados en composiciones armoniosas, que aparentemente actúan en forma directa sobre el observador, sin que haga falta que sean nombradas. El arte Abelam se ocupa de vínculos, no de cosas. Una de sus funciones es relacionar y unir cosas distintas en función de su lugar en el orden ritual y cosmológico. Esto se hace directamente, sugería yo, y no como una ilustración para algún texto basado en otro sistema simbólico como el lenguaje (Forge 1972: 289-290).

No existe una sociedad que no tenga su arte en una forma o en otra. En este sentido no se trata de una actividad secundaria, de divertirse o de ornamentar. Se trata de una actividad que debiera reconocerse como primordial. A lo mejor la sobrevivencia de una sociedad humana depende tanto de la comprensión de su arte como del uso de lenguaje. Las producciones artísticas no sólo representan un balance psicológico. Bateson nos sugiere la posibilidad de que el arte

tiene una función dedicada a mantener lo que he llamado 'sabiduría', es decir, a corregir una visión demasiado utilitaria de la vida y hacerla más sistemática (1978: 147); el arte es parte de la búsqueda del hombre por la gracia (129).

Necesitamos el arte, no sólo como individuos sino también como miembros de una sociedad humana. Nos permite descubrir y experimentar algo de nuestro espíritu y nos confiere un conocimiento del mundo y de nosotros mismos, una especie de sabiduría, que sigue estando completamente fuera del alcance de nuestros otros métodos de conocer, basados más en la racionalidad. El arte nos proporciona la oportunidad de desarrollar la capacidad de manejar otro sistema simbólico, de aprender a asimilar verdades que no son necesariamente el resultado de un proceso intelectual, sino que tienen sus raíces en un ámbito al que también tenemos acceso.

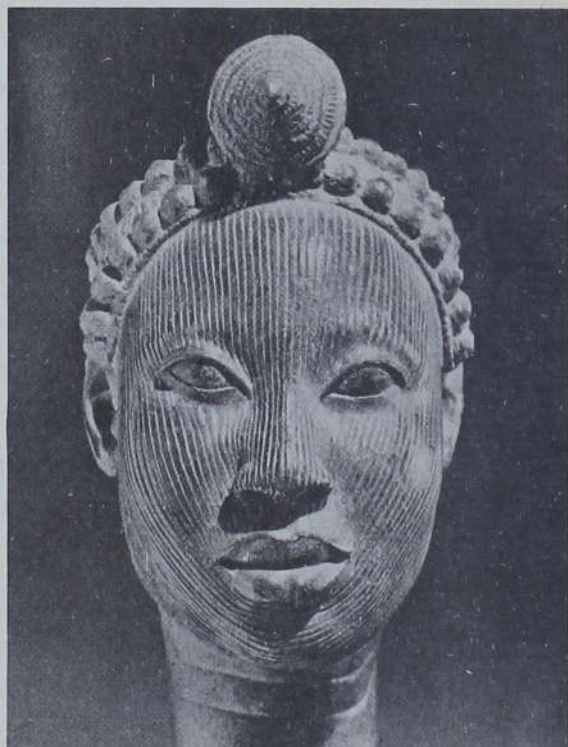
En el modo de percibir y conocer típico del arte se muestra y se empeña nuestra capacidad para lo que se ha llamado, en general de modo derogatorio, el "pensamiento mítico o mágico". Hoy día, en círculos científicos, esa clase de percepción o de "pensamiento" generalmente se clasifica como "primitivo", es decir, una manera de comprender y concebir al mundo natural que la ciencia moderna ha ido superando desde sus principios identificados con las obras de Galileo y de Newton.

La división moderna entre la ciencia por un lado, y el arte y la religión por el otro, es una realidad cultural que se refleja en esa clasificación. El amanecer de la ciencia moderna se ha concebido frecuentemente como el triunfo de la luz sobre la oscuridad, el conocimiento sobre la ignorancia, y la racionalidad sobre la irracionalidad. Como caminos hacia la verdad el arte y la religión han tomado un lugar claramente secundario, y su "pensamiento mágico" característico se concibe como una falla, una limitación identificada con una etapa particular en la evolución humana, una equivocación o limitación que ahora ha sido superada, por lo menos por un segmento iluminado de la humanidad.

Como se ha intentado demostrar con la discusión del modo de producir conocimiento y comprenderlo típico del arte, se trata de una capacidad humana que no se puede descartar simplemente como un método de conocer y relacionarse con el mundo que es de dudosa validez. No se trata de vías hacia el conocimiento que simplemente son equívocas y no confiables.

Se ha investigado el método científico de producir conocimiento, y se han dedicado volúmenes a la discusión del positivismo y empirismo. No es el mismo caso de los principios o los mecanismos de esa integración del conocimiento interno y externo que se aplican cuando uno produce una obra de arte. Formalmente no sabemos mucho de ningún aspecto del "pensamiento mágico" ni tenemos términos para designarlo de una manera que no sea con algo de desprecio. Los estudiantes del campo de psicología y de psiquiatría podrían proporcionar alguna explicación sobre esos procesos; desafortunadamente no siempre existe una receptividad a sus descubrimientos y las implicaciones de sus trabajos se pierden.

Lévi-Strauss es el antropólogo que más ha estudiado el pensamiento primitivo o mágico. Sus contri-



Cabeza coronada, bronce, de una altura de 24 centímetros, que se encuentra en el Museo de Antigüedades de Ifé, Nigeria.

buciones han llevado a muchos a conocer mejor y respetar más la "mente primitiva". El ha reconocido la importancia de saber más acerca de los mecanismos y procesos que se involucran en este "pensamiento". Algunas de sus conclusiones son provocadoras.

Uno se priva de todos los medios que llevan a entender el pensamiento mágico si trata de reducirlo a un movimiento o etapa en la evolución técnica y científica. . . El pensamiento mágico no debe entenderse como un comienzo, un rudimento, una parte de una totalidad que todavía no se ha materializado. . . Por lo tanto, resulta mejor no contrastar la magia y la ciencia, sino comparalas como dos modos paralelos de adquirir conocimiento (1966: 13).

Lévi-Strauss nos enseña también la importancia de indagar más sobre este problema:

Estas relaciones [entre la ciencia y el pensamiento mágico] son la consecuencia de las condiciones objetivas bajo las cuales el conocimiento mágico y científico aparecieron. . . El hecho de que la ciencia moderna ha existido sólo desde hace algunos siglos presenta un problema que los etnólogos no han considerado suficientemente. La Paradoja Neolítica sería un nombre justo para este problema. . . Fue durante los tiempos neolíticos cuando la dominación del hombre sobre las grandes artes de la civilización —la cerámica, el tejido, la agricultura y la domesticación de animales— llegó a establecerse con firmeza. Hoy en día ya nadie consideraría atribuir estos avances enormes a la acumulación fortuita a través de una serie de descubrimientos por azar; tampoco creería que sean revelados a una percepción pasiva de ciertos fenómenos naturales. . . Sólo hay una solución a la para-

doja, es decir, que existen dos modos distintos del pensamiento científico. Estos, seguramente, no son los resultados de etapas diferentes en el desarrollo de la mente humana, sino dos niveles estratégicos en los cuales la naturaleza se hace accesible a la investigación científica: uno que se adapta aproximadamente a la percepción y la imaginación; el otro lejos de él. Es como si a las conexiones necesarias que son el objeto de toda ciencia, neolítica o moderna, pudiera llegarse por dos rutas diferentes, una muy cerca a, y la otra más lejos de la intuición sensible (1966: 13-15).

Se puede considerar que en muchos sentidos esta "intuición sensible" es la misma que nos permite percibir lo que Geertz ha descrito como "las cualidades en cosas. . . que no creemos poder asegurar que estén ahí literalmente". La reconocemos además como un elemento consistente en la construcción de la experiencia religiosa. Pero este nivel de percepción e imaginación no tiene lugar, por lo menos no formalmente, dentro de la moderna metodología y actividad científica. Y cualquier conocimiento que pueda conferir tampoco



Retrato del sacerdote Muchaku a cargo del escultor Unkei (1142-1212), que vivió en Kamakura, a 500 kilómetros de Kyoto, ciudad capital que perdía poder mientras aquella imponía su vigor, elegancia y refinamiento, y criaba a los samurais.



Dos figuras de arcilla, el más joven y el más viejo de los discípulos de Buda, hallados en una cueva en Tun-huang, Turquestán, siglos 16-17.

tiene lugar en nuestros principios y verdades científicas.

Se puede llegar a saber más acerca de este "pensamiento" (u otro "nivel estratégico") si se estudian los principios de la revolución científica cuando la ciencia moderna todavía estaba formándose y existía una lucha para llevar a cabo esa distinción entre lo científico y lo mágico.

Goethe fue una figura preponderante en la vida intelectual al fin del siglo XVIII y a principios del XIX, cuando esta revolución todavía sucedía, cien años después de la formulación por Newton de la ley

de gravitación universal. Goethe se reconoce como un gran pensador que dejó su marca principalmente como literato y poeta. Como científico se le considera un fracaso (un juicio que aparentemente resentía), aunque él mismo dijo en muchas ocasiones que su poesía no era algo extraordinario, pero que su mayor contribución se hallaba dentro de la difícil ciencia de los colores, donde pretendió ser el único de su tiempo que sabía la verdad (Uberoi 1978:68).

Su teoría del experimento científico contradecía la de Galileo y Newton. Sostuvo que el intento del experimento físico de aislarse de la influencia del hombre era una ilusión. Sorprendentemente llamó "objetiva" a su propia ciencia natural, contrastándola con la física moderna, que calificó de "subjetiva". Se consideró a sí mismo un mejor científico que Newton. No existe ninguna duda acerca de cuál de las dos corrientes con sus definiciones distintas de la ciencia prevaleció. Sin embargo, descartar de antemano las ideas de Goethe sobre estos temas como simplemente erróneas sería precipitarse. Un estudio profundo de sus ideas podría dar algunos indicios acerca del problema que estoy tratando de exponer, es decir, acerca de la naturaleza del "pensamiento mágico" y sus procesos.

El método de Goethe rechazó la separación positivista entre la ciencia y la poesía, entre la verdad y la belleza, y entre el descubrimiento de los hechos literales del mundo y las fantasías mentales de la invención poética. Al contrario, dijo que uno servía como guía confiable para llegar al otro. 'La belleza es la manifestación de las leyes secretas de la naturaleza que, si no fuera por su revelación a través de la belleza, hubieran quedado sin conocerse para siempre' (Uberoi y Goethe citado por Uberoi 1978: 73).

A lo mejor lo que sucede es que Goethe no se equivocó tanto; tal vez no entendemos bien lo que está señalando, a qué está haciendo referencia.

Aunque no sabemos casi nada de la ciencia que provocó la revolución neolítica, sí sabemos algo de otras tradiciones científicas como las de los aztecas y los mayas, de la India antigua, y de la China antigua. Comparando la ciencia moderna con estas otras ciencias, una diferencia básica es que la nuestra es la única que ha llegado a establecer una separación tajante e inequívoca entre los métodos de conocimiento y las verdades científicas por un lado, y los métodos de conocimiento y verdades estéticas y religiosas por el otro. La ausencia de una separación entre esos aspectos es lo que acerca las ideas de Goethe sobre la ciencia con las tradiciones científicas antiguas. Considero que la separación es un logro que ha permitido el desarrollo de un método y una actitud científicos que ilustran avances enormes en el cono-

cimiento tanto como en el control técnico sobre el medio ambiente.

No obstante, el desarrollo fenomenal que la ciencia moderna ha engendrado y llevado a fruición durante los últimos siglos, representa una etapa en un proceso de evolución que sigue, una evolución que en algún momento pueda abrirse a una integración nueva que permitirá incluir otras formas de llegar al conocimiento, formas que admitan la sabiduría y experiencia que ahora se sitúan únicamente al lado de la experiencia religiosa y estética. Sería una integración a otro nivel y con características muy diferentes que cualquier integración previa. Quizá el problema radica en reconocer y cultivar las semillas de esa integración cuando aparezcan. ❁



Doctora Ruth Paradise, profesora adjunta del Departamento de Investigaciones Educativas.



Recientes viejas ediciones

Carlos Chimal

Objetivos y métodos del conocimiento físico

Después de treinta y ocho años de su primera edición en español (El Colegio de México, 1945), el Fondo de Cultura Económica ha tomado la feliz decisión de reimprimir esta obra de Hans Reichenbach, conservando el prólogo del doctor Juan David García Bacca. Insistir en la necesidad de que las nuevas generaciones de científicos mexicanos se acerquen a textos heterodoxos nunca estará por demás, ya que, como el mismo García Bacca apunta, "lo peor que puede acontecer a una ciencia es que sus cultivadores lleguen a persuadirse de que ésta llena las condiciones de no contradicción, independencia, suficiencia y definibilidad absolutas".

Hans Reichenbach, nacido en Hamburgo en 1891 y muerto en el año de 1953, fue uno de los fundadores del Círculo de Berlín, grupo de pensadores que sostenía ideas afines a las del Círculo de Viena, y uno de los principales divulgadores del empirismo lógico. Como filósofo de la ciencia, y en plena madurez, publicó dos trabajos importantes para la epistemología moderna, *Filosofía del espacio-tiempo* y *Fundamentos filosóficos de la mecánica cuántica*. En 1929, también bajo un punto de vista epistemológico, aparece la obra que nos ocupa. En ella Reichenbach aborda el problema de precisar el valor de la ciencia física que, en última instancia, radica en la voluntad de conocer, lo cual

elimina de una vez por todas las tendencias a buscar un valor supremo, la utilidad de las aplicaciones técnicas o las manías metafísicas, por ejemplo. Así, teniendo en cuenta la plenitud del trabajo científico, evita puntos de vista unilaterales que subrayan valores diversos y su interpolación.

Enseguida se propone delimitar la física con respecto a las demás ciencias de la naturaleza. En principio, separa la física de la biología según el desarrollo histórico de ambas, y afirma que la primera se ocupa de la naturaleza inanimada y la segunda, de la animada. Sin embargo, no sigue por este camino, ya que también la naturaleza viva ofrece fenómenos que caen bajo leyes físicas. La diferencia es de método, y encuentra su expresión más clara en que la biología emplea como conceptos elementales aquellos que a la física se le presentan como extraordinariamente complicados.

No obstante, deja entrever que, quizá, si llega a demostrarse que la biología constituye una forma macroscópica de la física, algo así como una física de los cuerpos albuminóideos, cabría la posibilidad de que se fundieran en una sola. Ahora sabemos que, de hecho, esta frontera se ha borrado con el nacimiento de la biofísica.

Respecto de la matemática, ésta es una ciencia puramente conceptual en la que ningún papel desem-

peña el concepto de experiencia; es la ciencia de la posibilidad, mientras que la física lo es de la realidad. Esta es la razón por la cual la matemática se ha convertido en la gran máquina pensante de la física; nos enseña lo que está permitido y lo que está prohibido, pero nunca lo que sea físicamente correcto; muestra sólo las conexiones conceptuales que tendrán que ser tenidas en cuenta en el conocimiento natural.

Al enfrentarse al problema de la realidad, ha debido aclarar ciertas cuestiones relativas a la percepción. Un característica de tal cualidad es que no está sometida a nuestra voluntad. Hay además gradaciones en los hechos que se perciben. Una misma agua se aprecia, metiendo la mano, una vez como caliente y otra



como fría, según que la mano haya estado en agua más fría o más caliente. De esta manera la percepción no es más que la llave para el conocimiento de la naturaleza, y la ciencia se nos presenta como una elaboración metódica de contenidos perceptivos en teorías. La experiencia cotidiana percibe hechos de grado pero, es decir, que una sensación significa "caliente" y la otra "frío", lo cual no involucra la temperatura objetiva del agua. De ésta se ocupa la ciencia cuando enfrenta hechos de grado superior. Así, no se trata de si existen realmente las cosas en el mundo exterior, sino de qué es lo que propiamente queremos decir cuando hacemos esta afirmación de existencia.

Este concepto de realidad se apoya, sobre todo, en la diferencia entre percepción y representación, para lo cual no hay más justificación que la diferencia cualitativamente vivida que el hombre sano lleva a cabo de manera intuitiva.

Reichenbach sigue adelante con la conclusión de probabilidad y luego con concepto de verdad física, la que caracteriza y no define, asunto inútil para el conocimiento físico. Precisa el objetivo del conocimiento físico al afirmar que su progreso consiste en establecer leyes más generales con respecto a las cuales las leyes existentes se ofrecen como casos especiales.

Para nosotros los legos, interesados en derrumbar los feudos del idealismo, es apasionante presenciar cómo se refutan los postulados kantianos y neokantianos. Cuando Reichenbach trata el problema del *a priori*, sabemos cuál es la dirección correcta del pensamiento humano y su relación con la naturaleza. No haremos aquí una sinopsis de dicha crítica, pues de cualquier manera es breve; baste decir que se explica una serie de fenómenos con una teoría y se observa que

de este modo se llega a contradicciones; no se deduce que el proceso demostrativo sea falso, sino que es falsa la teoría supuesta.

El autor se ha definido, pues, como realista; ha introducido una nueva interpretación de la probabilidad e indaga gnoseológicamente

los conceptos de tiempo, espacio, causalidad, y se refiere a la significación de las imágenes intuitivas. Como ha escrito García Bacca, "la obra de Reichenbach sirve de tipo de comparación, de hito para apreciar los diversos estadios en la evolución de las teorías físicas".

La entereza de vivir. Importancia de la genética en la vida humana

"Al final morimos, y para nosotros es como si nunca hubiéramos existido. Para el individuo la muerte es la misma nada existente antes de que empezara el alborear de la mente en la infancia; la muerte puede no ser más que la dirección a que apunta



la flecha del tiempo y, una vez ocurrida, carece de sentido. Nos enfrentamos a la extinción del pensamiento cada noche sin estremecernos. Lógicamente, deberíamos sostener la misma actitud hacia la muerte, pero la evolución tiene otras ideas. Es conveniente para la supervivencia de cualquier especie que, por lo menos mientras subsista la capacidad reproductiva, todo organismo individual debe luchar por sobrevivir. Pero aun mucho después de perdida la capacidad generativa, la figura de la vida nos habrá penetrado demasiado profundamente para borrarla de nuestro pensamiento. Puedo mirar adelante con tranquilo

fatalismo, ese olvido que es la muerte; pero sin duda resentiré y lucharé contra lo inevitable cuando empiece el proceso de morir."

Adquirirán mayor significación e intensidad estas palabras si miramos luego la foto que ilustra la portada de la edición en español. Un gran acercamiento al rostro arrugado y sonriente de Macfarlane Burnet, Premio Nobel de Medicina y Fisiología y autor de este libro. Si uno lo piensa un poco, entenderá con gran emoción la obra que está en sus manos; es posible que el autor hubiera muerto al terminar de escribir ese párrafo. Tal es el tema de este volumen, el envejecimiento humano, sus causas y consecuencias.

Si se ha perdido absolutamente la inestabilidad, la idea de la vida después de la muerte, a pesar de la fe, ¿qué satisfactor habrá para aquel que ha ingresado en el ámbito senil? Macfarlane nos da un buen libro, discutible en muchos puntos, pero estricto científicamente. No se trata de la mirada blanda del anciano venerable, sino la del hombre entregado al estudio, sereno frente a la idea de desaparecer en la nada. La muerte puede ocurrir al azar, pero este azar tiene regularidades propias.

Según él, se ha demostrado que después de un largo periodo de madurez en ausencia de episodios ambientales accidentales, la vida parece transcurrir uniformemente,

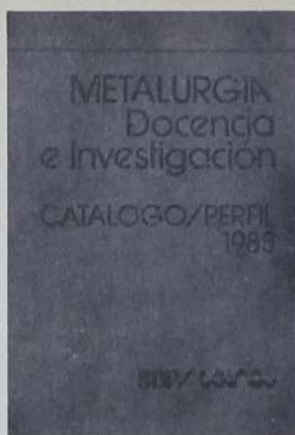
sin signos manifiestos de algún trastorno incipiente. Surgen entonces dificultades aleatorias que se hacen cada vez más evidentes, hasta que, en una u otra forma, acaban con la vida.

Macfarlane habla de un reloj inmunológico (el timo) que se desgasta por varias razones, entre ellas por la mutación somática, causa fundamental del envejecimiento. Si bien podría decirse que la vida es una sucesión de errores, de accidentes, y que la materia prima de la evolución es la mutación, ésta no afecta mayormente a los seres humanos y organismos superiores. Sin embargo, si en una molécula de ADN se produce un daño y la reparación es defectuosa, esto conducirá a nuevos errores que provocarán degeneración y muerte. Dicho de una manera muy esquemática, así es como se llega a la vejez, y entre más lentamente se repara el ADN dañado, más probabilidad existe de morir.

A lo largo de la obra hace referencia al cáncer y a varios grupos de enfermedades autoinmunitarias. Asegura que toda patología genética es una patología del error. Hacia el final, y he aquí los temas discutibles, tratados sobre todo con gran honestidad, explica la conducta social, el desarrollo del lenguaje, el bien y el mal, la violencia, a través de un punto de vista ético, extrañamente humanista, lo cual le coloca en una situación desventajosa respecto de la creencia dominante en las sociedades civilizadas. No cabe duda, es un libro conmovedor. ☞

Hans Reichenbach, *Objetivos y métodos del conocimiento físico*, FCE, México, 1983 (Colección Popular núm. 244), 224 pp.

F. Macfarlane Burnet, *La entereza de vivir. Importancia de la genética en la vida humana*, FCE-Conacyt, México, 1982, 277 pp.



La investigación en tecnología de alimentos.

Catálogo 1983. Volumen primero de una serie de cuatro que el Cosnet y la SEIT ha decidido publicar, encaminada a orientar a estudiantes, investigadores, personal académico, industriales y gobierno federal cuando éstos deseen acercarse al área de alimentos. Tiene como objetivo dar a conocer los recursos disponibles con que cuenta el país, la localización de las unidades de investigación, tipo de investigación, así como la relación del personal dedicado a esta actividad. Incluye además información relacionada con los recursos instrumentales, metodológicos y bibliográficos con que cuentan dichas unidades. El coordinador de este grupo es el M. en C. Santiago Reyes (ENCB-IPN) y el asesor es el doctor Oscar Domínguez Vargas.



Catálogo de carreras y planteles de educación tecnológica 1983-1984. Tiene el propósito de ofrecer un panorama completo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica; informa sobre las 400 carreras y especialidades, ubicación de los 900 planteles y tipo de educación que se imparte en cada una de ellas.

Metalurgia, Docencia e investigación. Catálogo/perfil 1983. Este libro, coeditado por el Cosnet y la SEIT, pretende dar a conocer las instituciones de enseñanza e investigación que realizan estudios en el área de la metalurgia, y su posible vinculación con los sectores productivos público y privado. Expone diversas observaciones y sugerencias que los autores, expertos en la materia coordinados por el doctor Jorge Fonseca (Cinvestav-Saltillo), han derivado de su trabajo. Incluye nombres, datos curriculares y áreas de interés de los investigadores y profesores; institutos, publicaciones, equipo principal y personal capacitado, entre otros aspectos relacionados con el tema.



Perfil de la investigación en tecnología de alimentos 1983. Este segundo volumen de la serie tiene como objetivo dar a conocer información sobre las fuentes en las que se reflejan parcialmente los resultados de la investigación y las experiencias que en el área de la ciencia y la tecnología de alimentos han realizado investigadores en este país. Se han clasificado 2603 citas, que corresponden a 852 eventos científicos, 374 publicaciones en revistas en español, 637 fichas bibliográficas de tesis realizadas en México y 740 que remiten a datos obtenidos en bancos de información.





Los siguientes documentos son los discursos pronunciados por los doctores Héctor O. Nava Jaimes y Manuel V. Ortega, durante la ceremonia de entrega de diplomas del primero de abril a los egresados del Centro que cursaron sus estudios en el período comprendido entre el primero de abril de 1982 y el 31 de marzo de 1983.

Mantendremos las normas y exigencias de calidad que son ya tradición en nuestro quehacer científico y tecnológico: Héctor O. Nava

Sr. Lic. Jesús Reyes Heróles
Secretario de Educación Pública

Ciudadanos del presidium e invitados que
nos acompañan

Jóvenes graduados

Amigos y colegas de este centro de investigación

Señoras y señores:

El estado Mexicano, a través de sus órganos de gobierno, recogió las ideas generosas y visionarias de un grupo distinguido de mexicanos que habían llegado a la conclusión de establecer, hace más de veinte años, lo que hoy es el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Así, este Centro se fundó el 17 de abril de 1961 para satisfacer una necesidad existente, en términos generales, en la educación superior del país, pero en particular, en la educación tecnológica, de responsabilidad directa del Gobierno Federal: la formación de investigadores científicos, profesores especializados y expertos que se dediquen a promover la constante superación de la enseñanza y a realizar investigaciones científicas y tecnológicas, a fin de permitir mejorar las condiciones de vida y contribuir al desarrollo del país.

Esto no quería significar que en aquel entonces no existiesen grupos de investigación establecidos tanto en el Instituto Politécnico Nacional, principalmente en su Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, como

en varios institutos de la Universidad Nacional Autónoma de México. La importancia que tiene la creación de este Centro en la historia educativa del país, reside en que es la primera vez que el Gobierno Federal se compromete formalmente a crear y sostener un centro de investigación y enseñanza a nivel de posgrado, en el que, para ocupar las posiciones de investigador, es exigible la posesión del grado académico de doctor en Ciencias y la dedicación de tiempo completo y exclusivo. Se establece con esto el valor estratégico que le da el Estado a la investigación científica y al desarrollo tecnológico propios, entendiendo que ciencia y tecnología nacionales pueden ser bases fundamentales del desarrollo industrial, económico y social para nuestro país. Se reconoció en consecuencia la necesidad de fortalecer la formación de personal científico y técnico altamente capacitado que constituyese los recursos humanos necesarios a fin de que, en forma multiplicativa en el proceso investigación-educación, se fuese creando nuestra infraestructura científica y tecnológica.

El nuevo Decreto del Centro, que preserva su carácter de organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios, le abre nuevas perspectivas y posibilidades, reafirmando sus esencias fundamentales. Al considerar el Estado Mexicano que el desarrollo científico y tecnológico del país requiere de instituciones dedicadas a la preparación de especialistas e investigadores a nivel de posgrado y de expertos en diversas disciplinas, cuyas actividades coadyuven al desarrollo, incremento y transmisión de la cultura, reitera al Centro uno de sus objetivos fundamentales:

la realización de investigación básica y aplicada de carácter científico y tecnológico.

Desde su creación, y hasta el 31 de diciembre de 1982, el Centro ha graduado a 684 especialistas. En los niveles de maestría, a 447 varones y 120 damas; en el de doctorado, a 91 varones y 26 damas, hechos sin precedentes en las instituciones de educación superior del país. En esta ceremonia de distinguido carácter académico, se entregarán 65 diplomas a las personas que terminaron sus estudios en el periodo comprendido entre el primero de abril de 1982 y el 31 de marzo del presente año; 60 maestros en Ciencias y cinco doctores en Ciencias. Proceden de diversas instituciones nacionales y extranjeras: Trece del Instituto Politécnico Nacional, doce de la Universidad Nacional Autónoma de México, 27 de universidades estatales e institutos tecnológicos, seis de universidades del área metropolitana, uno de la Escuela Normal Superior y siete de universidades extranjeras.

A veintidós años de la creación del Centro, su comunidad está consciente de hacer un análisis retrospectivo de sus logros y de sus dificultades. Es una comunidad madura, pero que se renueva; es crítica pero comprometida con la nación; es plural, respetuosa de los derechos de los demás.

En este sentido, y tomando como referencia el marco legal que le es propio, la comunidad académica del Centro da pasos seguros para crear mejores mecanismos institucionales de comunicación, para mejorar su participación en nuestro Consejo Académico Consultivo, ampliando su composición con la participación de investigadores distinguidos del Centro, estudiantes y profesores.

Dada la formación de su personal, la trascendencia nacional e internacional de las funciones que desempeña y la elevada calidad de su productividad, no tenemos ninguna duda de que con su participación activa elaboraremos el correspondiente reglamento académico interno y las demás disposiciones académicas y administrativas o de carácter técnico que nos permitan una mejor planeación. Una buena planeación democrática y participativa para encarar mejor las situaciones críticas por las que atraviesa el país y laborar en mejores condiciones para un futuro progresista de nuestra nación.

En esas tareas mantendremos como sustantivo las normas y exigencias de calidad que son ya tradición en nuestro quehacer científico y tecnológico, y las de la formación de más y mejores recursos humanos. Estamos de acuerdo con el C. Secretario de Educación Pública, cita textual, en que "... ni la educación, ni la investigación, ni la cultura, pueden estar al margen

de la ley de rendimientos. No hablamos de la rentabilidad o de la inversión intelectual, lo que sería caer en un burdo e infantil economicismo; nos referimos a rendimientos concretos, o sea, frutos y resultados de la educación, sabiendo de antemano que los dividendos que da a la nación son, a largo plazo, altamente positivos".

Estamos convencidos de que la acción creativa del Estado al establecer este centro de investigación hace ya más de dos décadas, para propiciar su desarrollo científico y tecnológico, seguirá en consecuencia manifestándose en estos momentos de crisis de manera sustancial. Es cierto que la situación es crítica, pero para la educación superior representa también un reto y una oportunidad histórica; tendremos que exigirnos a nosotros mismos tareas adicionales y mayores esfuerzos. Siendo parte fundamental del sector de Educación e Investigación Tecnológicas, debemos coordinar aún más nuestras acciones, complementando y planeando para el sistema educativo como un todo, aprovechar instalación y equipos alentando la cooperación interinstitucional en forma horizontal, aumentar nuestros rendimientos y ampliar aún más los programas de formación de profesores para universidades estatales e institutos de educación superior del país.

El Programa de Cursos en Provincia del Cinvestav se inició en 1972 con un curso de Biología celular, en la Universidad de Guadalajara, y dado el éxito obtenido se extendió en los años subsiguientes a otras instituciones de provincia hasta llegar a siete cursos en 1978.

Durante este periodo el Programa fue apoyado económicamente por la ANUIES, habiéndose impartido un total de 24 cursos con la participación de 197 profesores y con la asistencia total de 635 alumnos, jóvenes profesores y alumnos de los últimos años de las carreras médico-biológicas.

En 1979 se expande el programa a nivel institucional, ya que la temática de los cursos, que fue de 1972 a 1978 exclusivamente concerniente al área biológica, se amplía a las áreas de Química, Biotecnología y Bioingeniería, Física y Matemáticas; y a nivel nacional, ya que el número de cursos aumenta a 24, impartidos en quince instituciones de enseñanza superior del país, con lo cual prácticamente se cubre el territorio nacional, puesto que a cada universidad sede asisten alumnos procedentes de otras universidades circunvecinas, pudiendo así ser considerados estos programas como programas regionales.

Aunque en los últimos años ha disminuido la cantidad de cursos, debido a reducciones presupuestales

—especialmente en 1982— se pueden totalizar las acciones del programa durante el lapso 1979 al presente con las siguientes cifras: 68 cursos impartidos en 23 universidades estatales y en el mismo Cinvestav, con un total de 242 profesores participantes y 2 189 alumnos asistentes.

Los objetivos fundamentales de estos cursos han sido:

1. La formación de profesores-investigadores para instituciones de enseñanza superior de los estados de la República.
2. La actualización de conocimientos para profesores en ejercicio.
3. La capacitación de alumnos de últimos grados e instructores de laboratorios.

Los resultados a lo largo de once años de esfuerzo de los profesores y personal involucrado por parte del Cinvestav, de la colaboración de las universidades estatales y del apoyo financiero de las autoridades gubernamentales, pueden ser calificados como positivos ya que, en el periodo comprendido de 1976 a 1982, ingresaron al Cinvestav, a través de este programa, 114 alumnos como candidatos a la maestría en Ciencias.

Podemos mencionar que ha habido casos en que egresados del Centro procedentes de una misma universidad, que han coincidido en especialidad e intereses, al reinstalarse en sus universidades de origen han formado pequeños grupos de investigación independientes. Claros ejemplos de esta situación se localizan en las siguientes instituciones: Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Departamento de Investigación (área biológica) de la Facultad de Medicina de la Universidad de Guadalajara, Centro Básico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (área biológica), Sección de Investigación Básica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Coahuila, Unidad Torreón (área biológica), Departamento de Física del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, Escuela de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Puebla.

Con estas acciones pretendemos contribuir sin prepotencias ni paternalismos en la formación de otras unidades de investigación, propiciando la descentralización de la ciencia y la tecnología. Con este mismo propósito de descentralización, el Cinvestav está llevando a cabo sus propias acciones en provincia, al

crear y operar en forma estable, pero también en proceso de consolidación, sus unidades localizadas en Irapuato, Mérida y Saltillo.

La Unidad Irapuato, cuya vocación es incidir en el campo de la Biología vegetal, haciendo énfasis en la necesidad de llevar a cabo un desarrollo integral, cubriendo aspectos tales como Ingeniería genética, Biología molecular, Bioquímica y Fisiología de plantas, Microbiología de suelos, Tecnología de cereales, así como Almacenamiento de granos y semillas. Nuevamente estamos optimistas de que el Estado continuará apoyando las acciones de fortalecimiento de su estructura científica.

El C. Gobernador del Estado de Guanajuato ha dado su anuencia para que se inicien las construcciones de los laboratorios de investigación y de servicios generales de esta Unidad. Aprovechamos esta ocasión para agradecerle su personal empeño, así como la disposición que nos han mostrado en todo momento sus colaboradores más cercanos. Hacemos extensivo este agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, por la valiosa colaboración técnica prestada en la realización de los estudios arquitectónicos y planos de construcción de la Unidad Irapuato.

En cuanto a las actividades académicas vigentes en el periodo 1982-1983, las investigaciones se realizan en diferentes modalidades: la básica, la aplicada, la tecnológica y la educativa. De más de 300 investigaciones en curso en esta Unidad de Zacatenco, las básicas representan el 46%, las aplicadas el 31%, las tecnológicas el 14% y las educativas el 9%.

El desarrollo de algunas de nuestras investigaciones se ha realizado con instituciones gubernamentales a través de convenios de colaboración, contratos de prestación de servicios o de investigación. Sin ser exhaustivos, podemos mencionar al Instituto Mexicano del Seguro Social, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, Petróleos Mexicanos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Comisión Federal de Electricidad. Igualmente, recibimos una importante canalización de recursos a través de donativos de diversas fundaciones extranjeras y organismos multinacionales como OEA, FAO, UNESCO, ONUDI, PNUD.

Importantes han sido las contribuciones del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en su apoyo a proyectos de investigación básica y aplicada, y constatamos con satisfacción que un número importante de estos proyectos, que estaban detenidos por falta de recursos, empiezan a implementarse en esta nueva administración; esperamos con optimismo y confianza que el Programa Nacional de Becas se amplíe en su

número, como se ha anunciado, y que el monto de las mismas, que ha sido recientemente revisado, se adecue en la medida de las posibilidades económicas del Consejo, a montos compatibles con la realidad económica actual, a fin de que instituciones como la nuestra puedan operar en forma eficiente en el cumplimiento de su labor, formando los recursos humanos que un país como el nuestro requiere.

No podemos dejar de mencionar el apoyo permanente y la agilización de los trámites que en nuestras gestiones presupuestales la Secretaría de Educación Pública y la Secretaría de Programación y Presupuestos nos han prestado. Muchas gracias a todos los funcionarios con los que hemos tenido relación directa o indirecta.

La comprensión con que se están analizando nuestros presupuestos nos permite esperar que la actual crisis económica no debe implicar necesariamente un freno a la investigación científica, sobre todo si tomamos en cuenta que el gasto en educación ha sido considerado prioritario.

Pasamos por momentos que hacen difícil continuar nuestras labores de investigación; hacemos nuestros los planteamientos de la comunidad científica en los foros de consulta organizados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, en particular aquellos que se refieren a la preservación de la planta de investigadores, ya que uno de los peligros es la posible migración de personal calificado al extranjero o la necesidad de este personal de diversificar sus ingresos

mediante la prestación de servicios ajenos al quehacer científico. Igualmente importante es la conservación de los medios de trabajo, por ejemplo con la creación de un fondo de emergencia para la adquisición e importación, en su caso, de substancias, materiales de consumo, refacciones, etcétera, a fin de no detener las investigaciones en curso.

En el trabajo sustantivo de nuestra institución está permanentemente presente nuestro pasado, conscientes de que los pueblos que pierden su memoria histórica no pueden regir su porvenir. En el momento actual de la crisis, la unidad de la nación como un todo es fundamental, y esto no significa en lo absoluto que la pluralidad de pensamientos nos impida una estabilidad política dinámica, con un pleno ejercicio de las libertades consagradas en nuestra Constitución. Sólo un país con historia, sólo un país con libertades, sólo un país unido, no será traspaso de ninguna potencia imperial.

Jóvenes estudiantes que hoy reciben su diploma de grado académico, ustedes son esperanza nuestra. Los frutos de su dedicación y esfuerzo contribuirán a un México mejor.

Permítanme recordarles este pensamiento del poeta León Felipe:

*Voy con las riendas tensas
y refrenando el vuelo
porque no es lo importante llegar solo ni pronto,
sino llegar con todos y a tiempo.*

Pensemos que el momento actual puede ser un verdadero renacimiento para el Sistema Tecnológico Nacional: Manuel V. Ortega

C. Jesús Reyes Heróles,
Secretario de Educación Pública

Distinguidos miembros del
presidium

Señoras y señores:

Un aniversario vale la pena celebrarlo si coinciden en él la confirmación del camino recorrido con los logros que pueden presentarse y con la proyección que hacia el futuro se planea. Así, al celebrar, con un poco de retraso, el XXII aniversario de este Centro, constatamos que las tres fases indicadas se encuentran presentes: un largo trayecto que, pese a las altas y bajas que ha tenido ha sido siempre ascendente, una realidad actual de trabajo y producción demostrada y una planeación participativa sólida hacia el futuro desarrollo científico y tecnológico del país. Se cumplen así los requisitos para que, con toda justicia, celebremos fecha tan memorable. Pero creo que es perfectamente legítimo ampliar la razón, el motivo de esta reunión, y abarcar en ella a todo el Sistema Nacional de Educación Tecnológica.

En unos días más celebraremos el XLVII aniversario de la iniciación formal de este Sistema con la creación del Instituto Politécnico Nacional. Cuarenta y siete años en los cuales crece, se desarrolla, ramifica, florece y fructifica. De este grueso tronco nacen 79 institutos tecnológicos ya bien sean industriales, agropecuarios o marinos, cerca de

500 centros de enseñanza media superior en iguales áreas, 200 unidades del subsistema Conalep, 150 centros de capacitación en y para el trabajo, además de las escuelas y centros del propio Instituto y de la institución en la que nos encontramos. Crecimiento realmente rápido, veraz, necesario. Desarrollo a todo lo largo y ancho del país en todos sus estados, en todas sus regiones. Inversión verdaderamente impresionante en instalaciones, equipo, maquinaria, laboratorios. Incorporación de ingenieros, científicos, tecnólogos y producción acelerada de otros ingenieros, otros científicos, otros tecnólogos. Sistema con grandes improvisaciones pero con resultados, en muchos casos, de valor inestimable. Y, permítaseme repetir aquí lo que se ha expresado ya en otros foros: un sistema creado, desarrollado, sostenido por el Estado y que es, a la vez, el instrumento para ejecutar las políticas educativas, de desarrollo científico y tecnológico y de servicios que el propio Estado considere pertinentes y necesarios. Sistema que en el pasado histórico de nuestro país ha estado presente y ha respondido en forma más que encomiosa, en otras circunstancias críticas para la independencia económica nacional: la expropiación petrolera y la nacionalización de la industria eléctrica.

Pero todo sistema, todo organismo que únicamente pueda presentar las medallas ganadas en el pasado y se encuentre con las manos vacías en el presente y sin la capacidad, la voluntad y el ingenio para enfren-

tar y resolver el futuro, está de hecho muerto, aunque todavía aparente estar vivo.

Por ello, especialmente en estos momentos de crisis y de definición, debemos analizar cuidadosamente la estructura, la organización del Sistema Tecnológico Nacional para, conociéndolo mejor, prevenir y corregir las fallas que le impidan cumplir con sus obligaciones presentes y futuras.

Como prácticamente todos los organismos nacionales, el Sistema Tecnológico se encuentra todavía en su fase feudal. Sus diversas unidades están amuralladas, aisladas unas de otras. La comunicación, la colaboración entre ellas es pobre o simplemente no existe. Todavía se habla en términos posesivos: mi instituto, mi centro, mi escuela, mi laboratorio, mi equipo. Y no es que el amor, el cariño por "la camiseta" sea algo indebido. No, todo lo contrario. Pero de lo que nos olvidamos es que, sobre "la camiseta" particular de cada unidad, de cada escuela o centro, está "la camiseta" del Sistema. Y son precisamente las crisis las que nos obligan a recordarlo. Podemos pensar que el momento que actualmente vivimos, precisamente por la necesidad de cambiar para salir adelante, puede ser un verdadero renacimiento para el Sistema. Como en el renacimiento histórico, las murallas de los castillos feudales dejan de tener sentido y los puentes levadizos deben bajarse permanentemente. Aquel que no lo haga quedará aislado, será dejado a un lado por el proceso histórico que no

espera, que no se detiene. El Estado, que no ha dejado de apoyar al Sistema Tecnológico, irá y más lejos, que no ha dejado de apoyar al Sistema Nacional de Educación Superior, sea éste universitario o tecnológico, espera respuestas positivas para el beneficio de todo el país. Confía en que todos aquellos que están dedicados a la educación superior, a la investigación científica y al desarrollo tecnológico serán, precisamente, los abanderados de este renacimiento. Y lo más satisfactorio es constatar que esto es lo que ya está sucediendo. Aquí, en este Centro, las investigaciones que se han hecho a lo largo de varios años en algunos de sus departamentos están ya en el inicio de la fase de desarrollo industrial. Por primera vez hay una participación directa del organismo responsabilizado de estas acciones, la Subsecretaría de Fomento Industrial, para que desarrollos en las áreas alimentaria y farmacéutica logrados por los investigadores del Centro sean explotados industrialmente.

La capacidad del Sistema Educativo Nacional, tecnológico y universitario, en el área de la computación, será aprovechada al máximo. Tres subsecretarías, las de Planeación Educativa, de Educación Superior e Investigación Científica y de Educación e Investigación Tecnológicas, unidas a la de Fomento Industrial, están coordinando sus esfuerzos para el desarrollo y producción de las mini computadoras que el propio sistema utilizará para modernizar y actualizar su metodología educativa. Aquí se pretende que las murallas de aquellas instituciones tecnológicas o universitarias que deseen participar, dejen de existir. Y, más importante aún que la fabricación de esas computadoras será el desarrollo del *software*, de la programación, de acuerdo a las necesidades y características nacionales. En esta

acción, por parte del Sistema Tecnológico, intervendrán el Instituto Politécnico Nacional, la Dirección General de Institutos Tecnológicos y este Centro.

Acciones participativas en proyectos comunes en las áreas de Ingeniería genética, Metalurgia no ferrosa, Alimentos, Biotecnología y bioingeniería están actualmente en elaboración, de tal manera que se abra su desarrollo a todas aquellas instituciones y grupos que manifiestan el deseo de participar. Cada proyecto estará dividido en acciones definidas que serán ejecutadas por los grupos que tengan la capacidad de desarrollarlos. La unión de todos los resultados particulares dará el producto final al que se abocó el proyecto. Tenemos que aprender a trabajar en forma participativa y a colaborar abierta, francamente. Cada institución que colabore en el proyecto tendrá el reconocimiento debido. Así, el honor y el amor de "la camiseta" estarán a salvo. Además, para el desarrollo de estos proyectos se contará con presupuestos independientes y diferentes de aquellos asignados a las instituciones educativas participantes. Igualmente se contará con la colaboración y apoyo económico de aquellas entidades estatales y paraestatales, que serán beneficiadas directamente por los proyectos que se ejecuten.

En el sentido de producir lo que el propio sistema requiere, la Dirección General de Institutos Tecnológicos se ha comprometido a que cesará la compra de equipos importados para los talleres de los Institutos Tecnológicos ya que todo ese material puede ser fabricado en el país, con la intervención directa de los propios educandos y egresados del Sistema. Y aquí es donde debe de crecer otra faceta de desarrollo participativo, esta vez entre el sistema educativo y la banca nacional. No basta con formar técnicos y

tecnólogos, ingenieros y especialistas. A aquellos que han demostrado capacidad, creatividad y liderazgo tecnológico deberá apoyárseles para el establecimiento de talleres e industrias en áreas esenciales. Aquí es donde puede y debe la banca nacional enfocar un fuerte apoyo para crear trabajos necesarios y productivos, dirigidos por los técnicos que el propio sistema ha formado.

Toda crisis tiene una interfase entre su conocimiento y evaluación, y la adopción de las medidas destinadas a resolverla. En esta interfase es fácil difundir rumores, crear ansiedades. Sabemos que tal cosa ha pasado sobre la definición del tratamiento que se dará a la ciencia básica. Por ello es pertinente públicamente declarar que se continuará apoyando al máximo de la capacidad económica actual el desarrollo de la ciencia básica. Hay ya acciones concretas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en lo que respecta a becas para estudios de posgrado y la conservación y actualización de los acervos bibliográficos. Las dos subsecretarías de Educación que tienen relación directa con el desarrollo científico nacional, en unión con el Consejo, procurarán obtener el apoyo de las secretarías de Hacienda, Programación y Presupuesto, y Comercio y Fomento Industrial para facilitar la compra e importación de los insumos necesarios e indispensables para la marcha adecuada de las investigaciones científicas. Todos estamos conscientes de que no podemos tener un adecuado desarrollo tecnológico sin una fuerte base científica. Por ello estamos seguros de que las instituciones nacionales encargadas de incrementar el número de científicos y tecnólogos aumentarán su eficacia y rendimiento a fin de contar con el elemento humano necesario para acelerar nuestra recuperación.

Indudablemente que este Centro

seguirá siendo, dentro del Sistema Tecnológico, el puesto de avanzada en la productividad científica, en la formación de especialistas e investigadores, en el desarrollo de procesos tecnológicos innovativos. Públicamente, en este foro, las máximas autoridades educativas del país lo han reconocido como la cúpula de nuestro sistema, y es altamente satisfactorio constatar que conserva

esa posición de centro de excelencia.

Hace poco más de un siglo el Benemérito de las Américas expresó claramente que "aquello que los mexicanos no hiciéramos no deberíamos esperar que otros lo hicieran por nosotros". Esta verdad es totalmente válida en estos momentos. Seremos nosotros mismos los que, con nuestro esfuerzo, nuestro trabajo, nuestra colaboración, sacaremos

adelante la ciencia y la tecnología del país. En estos términos debe entenderse la presencia del titular de la Secretaría de Educación Pública en esta ceremonia. Es un reconocimiento al trabajo realizado, una firme promesa de apoyo para continuarlo y una demostración de confianza, de seguridad, a la respuesta que daremos todos nosotros. Muchas gracias. 



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN

LA SECCIÓN DE COMPUTACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA INVITA A LAS PERSONAS INTERESADAS EN CURSAR ESTUDIOS DE MAESTRÍA EN COMPUTACIÓN, SUS USOS Y TECNOLOGÍAS

FECHAS DE INICIO

LAS MAESTRÍAS INICIAN CADA - FEB - OCT

EL DIPLOMA INICIA EL PRIMER LUNES DE CADA MES
LOS CURSOS DE EDUCACIÓN CONTINUA

INICIA EL PRIMER LUNES DE CADA MES
(VER LISTA COMPLETA CON FECHAS)

ESTE PROGRAMA SE INICIA EL PRIMER LUNES DE CADA MES

MAESTRÍA EN COMPUTACIÓN

(1 AÑO o 2 AÑOS INCLUYENDO TESIS)

ÁREAS DE ESTUDIO:

- RECONOCIMIENTO DE FORMAS
- PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS
- SOFTWARE DE APLICACIONES
- FIRMWARE / HARDWARE
- ROBÓTICA
- TELEINFORMÁTICA

DIPLOMA EN COMPUTACIÓN

(1 SEMESTRE TÍPICO)

CURSOS DE PREPARACIÓN / NIVELACIÓN

- PASCAL, BASIC
- MINICOMPUTADORAS
- MICROCOMPUTADORAS
- ESTRUCTURA DE DATOS
- INGENIERÍA DE SOFTWARE
- PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS
- SISTEMAS OPERATIVOS
- CIRCUITOS LÓGICOS, DISEÑO LÓGICO

PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE APLICACIÓN

- CONTROL SUPERVISORIO
- REDES DE DATOS
- MICROELECTRÓNICA
- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DIGITAL
- SOFTWARE PARA APLICACIONES ADMINISTRATIVAS
- SOFTWARE PARA APLICACIONES TÉCNICAS
- CENTRALES TELEFÓNICAS COMPUTARIZADAS
- ROBOTS Y MANIPULADORES MECÁNICOS

OTRAS MAESTRÍAS

M. EN C. EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

- CONTROL
- COMUNICACIONES
- ELECTRÓNICA DEL ESTADO SÓLIDO
- MATEMÁTICAS

CON ESPECIALIDAD O ÉNFASIS EN COMPUTACIÓN

TESIS DE LICENCIATURA Y MAESTRÍA EN COMPUTACIÓN

CINVESTAV/IPN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

AV. IPN NÚM 2508 (ESQ. CALZ. TIGOMÁN)

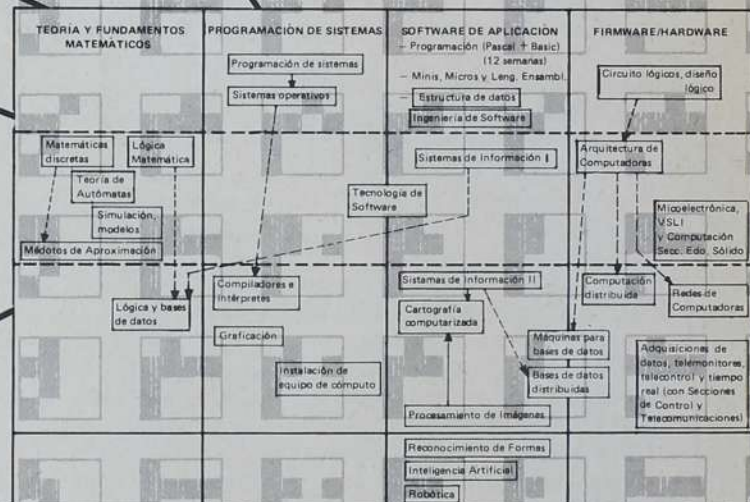
AP. POSTAL 14-470 07000 MÉXICO, D.F.

TEL.: 754-0200 exts. 269 y 270.

TELEX: 01772826 PPTME.

CURSOS DE EDUCACIÓN CONTINUA

- CURSOS SUELTOS PARA EGRESADOS Y PERSONAS QUE TRABAJAN
- CURSOS DE PREPARACIÓN / NIVELACIÓN
- CURSOS DE ACTUALIZACIÓN
- CURSOS DE ESPECIALIZACIÓN





Taller México-Estados Unidos sobre producción y calidad de sorgo

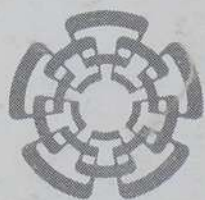
del 26 al 29 de septiembre

Temas

- Producción de sorgo
- Genética
- Fito mejoramiento
- Usos de sorgo en alimentación humana y animal
- Tecnologías de manejo y almacenamiento
- Demostraciones de campo y de productos alimenticios

Informes

Doctor Octavio Paredes López, Unidad Irapuato/Cinvestav. Apdo. Postal 629-3650, Irapuato, Gto. Tel.: (462) 650-10 y 718-60



Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del IPN.