

# LOS ISOTOPOS EN EL ESTUDIO DE LA NUTRICION DE LAS PLANTAS POR EL SUELO

La agricultura depende del suelo por diversas razones; una de las más importantes es que contiene los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas y puede acumular las sustancias nutritivas (abonos) que se introducen en él. Asimismo, el suelo constituye un medio capaz de absorber el agua y de cederla a las plantas sin inundar por completo las raíces.

El estudio de las características del suelo y de los procesos en virtud de los cuales las plantas absorben las sustancias nutritivas que éste contiene contribuye pues a la preparación de métodos eficaces de cultivo. Permite, por ejemplo, determinar qué abono conviene aplicar a un suelo determinado y en qué cantidad, o cuándo y de qué manera debe ser aplicado. Análogamente, el estudio de la humedad de los suelos permite conocer con exactitud las necesidades de un terreno determinado en cuanto a riego.

Los radioisótopos facilitan en grado sumo tales investigaciones y en la actualidad se utilizan ampliamente para estudiar la nutrición de las plantas por el suelo. El reciente Simposio internacional sobre el empleo de los radioisótopos en los estudios sobre la nutrición de las plantas por el suelo ha puesto de relieve las diversas formas en que los isótopos pueden contribuir a la producción agrícola, facilitando el estudio de las características del suelo y de las relaciones suelo-planta. El Simposio, patrocinado conjuntamente por el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, se reunió en Bombay del 26 de febrero al 2 de marzo de 1962, respondiendo a una invitación del Gobierno de la India. Participaron en él 52 científicos de 18 países, entre los que se contaban varias naciones en vías de desarrollo para las que la materia ofrece un interés económico fundamental.

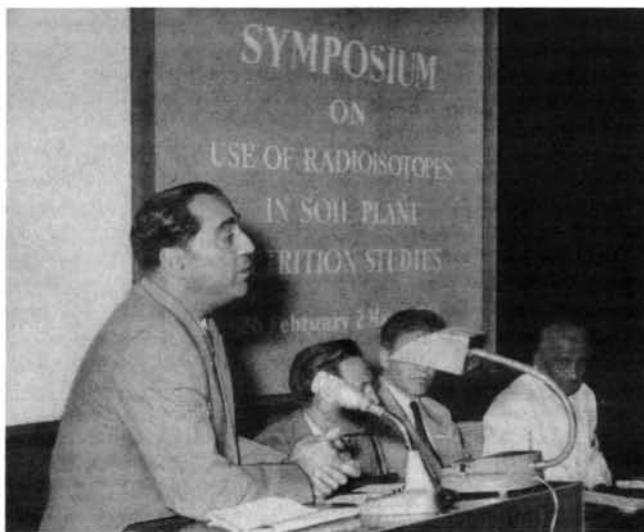
En la sesión inaugural del Simposio hizo uso de la palabra el Sr. S.K. Patil, Ministro de Agricultura y Abastecimiento de la India; dijo que las modernas técnicas de cultivo sólo podrán contribuir plenamente al aumento de la producción agrícola si el suelo es capaz de suministrar a las plantas las sustancias nutritivas adecuadas, por lo que es importante conocer las complicadas relaciones que existen entre el suelo y la planta. Hasta que se empezaron a utilizar los medios nucleares, añadió el Sr. Patil, era difícil efectuar observaciones directas en la mayoría de los experimentos sobre nutrición, pero los radioisótopos parecen haber cambiado ese estado de cosas.

El Dr. Homi J. Bhabha, Presidente de la Comisión de Energía Atómica de la India, hizo una reseña de los procedimientos seguidos por las autorida-

des de su país para estimular el empleo de los isótopos en la investigación y fomento agrícolas. Por su parte, al hablar en nombre de las organizaciones patrocinadoras del Simposio, el Dr. Bernard Gross, Director de la División de Información Científica y Técnica del OIEA, señaló que los isótopos pueden desempeñar una importante función en la investigación de las características de las sustancias nutritivas contenidas en el suelo, la medición de la humedad de éste, el estudio de la absorción de sustancias nutritivas por las plantas y la preparación de métodos eficaces de aplicación de abonos.

En el Simposio se examinaron todas estas cuestiones y destacados expertos en la materia informaron sobre los resultados de sus investigaciones y experimentos. Se celebraron ocho sesiones científicas, dedicándose las tres primeras a las aplicaciones de los isótopos al estudio de la química y física del suelo, y las dos siguientes al empleo de los isótopos para investigar la absorción por las plantas de las sustancias nutritivas contenidas en el suelo. En la sexta y séptima sesiones, se examinó la medición biológica de las características del suelo por estudio de las plantas propiamente dichas con ayuda de radioisótopos, en tanto que la última sesión se dedicó a la función de los isótopos en el empleo de fertilizantes.

El Dr. Homi J. Bhabha, Presidente de la Comisión de Energía Atómica de la India, durante el discurso que pronunció en la sesión inaugural del Simposio. También aparecen en la fotografía, de derecha a izquierda: El Sr. S.K. Patil, Ministro de Agricultura y Abastecimientos de la India, el Dr. Knut Mikaelson (FAO) y el Dr. Maurice Fried (OIEA), Secretarios Científicos del Simposio



## Química del suelo

Quizá la aplicación más fructífera de los isótopos en las investigaciones sobre el suelo sea la de estudiar con su ayuda las propiedades químicas de éste, sobre todo para determinar la cantidad de sustancias nutritivas de las plantas contenidas en un suelo determinado. Varias memorias presentadas en el simposio de Bombay trataban de los componentes químicos del suelo y de las propiedades de éste en relación con las necesidades de las plantas. Tres científicos de la Universidad de Gotinga (B. Ulrich, H. Lin y H. Karapurkar) presentaron una descripción del proceso de disolución de los fosfatos en virtud del cual pasan de la fase sólida a la solución que impregna el suelo, y la consiguiente absorción de los fosfatos disueltos por la planta. Por otra parte, tres científicos de los Estados Unidos (M. E. Harward, T. T. Chao y S. C. Fang) estudiaron las propiedades y componentes del suelo que influyen en los procesos relacionados con la retención de sulfatos. Tres científicos franceses (L. Soubies, R. Gadet y F. Fourcassie) describieron el ascenso de los nitratos en las capas superficiales del suelo, en período estival. Los autores llegaron a la conclusión de que es preciso introducir los abonos nitrogenados a una profundidad superior a 15 centímetros cuando las condiciones climatológicas sean tales que durante la época de crecimiento pueda iniciarse un período de calor y sequía.

Una cuestión interesante examinada en esta sesión es el efecto ejercido por las radiaciones ionizantes sobre las propiedades químicas de los suelos. Como se sabe, la irradiación esteriliza el suelo y en la actualidad existe vivo interés por la aplicación de las radiaciones con miras a erradicar los organismos del suelo nocivos para la vida vegetal. Sin embargo, aún no se han estudiado con detalle los efectos de estas operaciones en las sustancias nutritivas contenidas en el suelo. El Sr. H. J. M. Bowen, del Wantage Research Laboratory (Reino Unido), describió una serie de experimentos efectuados para estudiar los efectos de las radiaciones sobre la disponibilidad de ciertas sustancias nutritivas. Se ha observado que dichos efectos son relativamente moderados para la mayoría de esas sustancias. Como la radiosensibilidad varía mucho entre los diversos organismos del suelo se podría, aplicando dosis diferentes de irradiación, distinguir los efectos que ejercen los diversos grupos de organismos sobre la fertilidad del suelo, alterando en grado mínimo el equilibrio de las sustancias nutritivas.

Dos científicos indios, los Sres. A. R. Gopal-Ayengar y K. B. Mistry, presentaron un informe sobre la radiactividad de las plantas de la costa occidental del Estado de Kerala y de algunas regiones del Estado de Madras (India meridional), donde el suelo presenta una elevada concentración de minerales radiactivos en forma de monacita, cuyo contenido de torio es, en algunas de esas regiones, el más elevado del mundo. Los autores observaron que, de todos los radioisótopos de la serie del torio (torio y sus productos de filiación) el contenido más elevado en

las plantas estudiadas correspondía al radio-224 y al torio-228, y señalaron que en razón de su largo período, estos isótopos constituyen un riesgo por su presencia en las sustancias biológicas.

## Características físicas

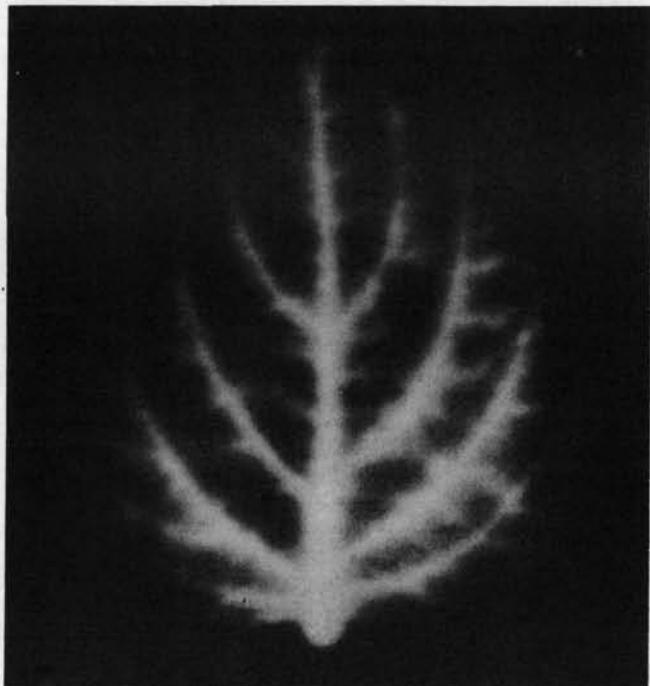
Algunas características físicas de los suelos, tales como la humedad, la temperatura y la aeración, tienen efectos decisivos sobre el crecimiento de las plantas y se están perfeccionando técnicas radioisotópicas para investigar estas propiedades. Los resultados más notables se han obtenido en el estudio de la humedad de los suelos, que para los fines de la agricultura, constituye la propiedad física más importante.

El agua es indispensable para el crecimiento de las plantas, no sólo por intervenir en varios procesos vitales, sino también porque gracias a ella las sustancias nutritivas se presentan en solución, forma en que pueden ser asimiladas por las plantas. De aquí la importancia de poder utilizar con la máxima eficacia la cantidad de agua disponible, lo que a su vez depende de la medición exacta de la humedad contenida en un suelo determinado.

Se ha ideado un método sencillo pero preciso, basado en el empleo de radioisótopos, para medir la humedad del suelo. El método se funda en la capacidad de frenar los neutrones que poseen los átomos de hidrógeno; dado que el agua es la sustancia del suelo que más hidrógeno contiene, la disminución de la velocidad de los neutrones en el suelo guarda cierta relación con su contenido de agua. El aparato basado en este principio se denomina "higrómetro neutrónico" y consiste en una fuente de neutrones rápidos que se coloca en el suelo o sobre su superficie. Los neutrones que chocan con los átomos de hidrógeno del agua contenida en el suelo pierden velocidad y son desviados hacia un contador colocado cerca de la fuente neutrónica. La medición de estos neutrones lentos constituye, pues, un índice de la humedad del suelo.

En el Simposio se presentaron varias memorias referentes a este método de medición del grado de humedad. En una memoria redactada por cuatro científicos franceses (C. Andrieux, L. Buscarlet, J. Guitton y B. Mérite) se describió un prototipo de aparato neutrónico construido por la Comisaría de Energía Atómica de Francia, que, según los autores de la memoria, puede fabricarse en escala industrial y ya se ha aplicado con fines prácticos en Túnez. El Sr. J. Damagnez, científico francés cedido al Gobierno de Túnez, explicó la influencia de varios factores, tales como la naturaleza del suelo y su densidad aparente, en el índice de recuento de los neutrones lentos con un higrómetro neutrónico. Los Sres. V. A. Emelyanov y V. I. Osipov (Unión Soviética), estudiaron el efecto de la composición mineralógica del suelo en el índice de recuento de dicho aparato.

Los Sres. S. V. Nerpin y A. M. Globus, también de la Unión Soviética, presentaron una memoria sobre la termodinámica y cinética del agua en los sue-



Esta autorradiografía de una planta del género *Coleus*, que indica la distribución del fósforo radiactivo en las venas de la hoja, ilustra una de las aplicaciones de los radioisótopos para el estudio de la nutrición de las plantas (Foto Brookhaven National Laboratory)

los y describieron la verificación experimental de las hipótesis teóricas al respecto mediante indicadores radiactivos. En una memoria redactada por otros dos científicos soviéticos, los Sres. M. P. Volarovich y N. V. Churaev, se expusieron los resultados de las investigaciones acerca de las propiedades hidrofísicas de la turba y de los procesos de desplazamiento de la humedad en suelos turbosos.

### Absorción y traslocación de sustancias nutritivas

Los procesos de absorción y traslocación de sustancias nutritivas por las plantas se estudian en la actualidad con ayuda de radioisótopos; los resultados de esas investigaciones se expusieron en varias memorias presentadas en el Simposio.

Los Sres. H. Ziegler, U. Luetge y J. Wiegler (República Federal de Alemania), describieron experimentos de determinación microautorradiográfica de la absorción de sodio y calcio radiactivos por raíces de plántulas. Los Sres. H. H. Wiebe y R. L. Smit (Estados Unidos) presentaron una memoria sobre la influencia ejercida por el bicarbonato sobre el movimiento iónico (las sustancias son absorbidas por las plantas en forma de iones) hacia las raíces, y estudiaron en otra memoria la influencia de la escasez de humedad en la traslocación de las sustancias nutritivas en las plantas, mostrando que el crecimiento puede ser limitado por la atenuación que en condiciones de sequedad sufre la traslocación.

Los Sres. S. S. Shain y V. A. Shirshov (Unión Soviética) examinaron el movimiento del fósforo, del calcio y del azufre entre las plantas herbáceas a través de sus raíces. Los experimentos que describieron revelan que el 80 por ciento o más de los isótopos radiactivos de esos elementos y del isótopo estable del nitrógeno que se habfan introducido en las plantas por sus raíces o por sus hojas, son eliminados por las raíces durante las primeras 24 horas, pasando a la arena o al agua del suelo. Las sustancias eliminadas son absorbidas de nuevo por las raíces de las plantas a las que se administraron inicialmente y por las raíces de las plantas vecinas. El proceso se repite, propagándose a plantas cada vez más alejadas de la fuente inicial.

Dos científicos americanos, los Sres. H. B. Tukey Sr. y H. B. Tukey Jr., señalaron el hecho, comprobado con ayuda de radioisótopos, de que los órganos aéreos de las plantas, en particular las hojas, los tallos y los frutos, pueden absorber las sustancias nutritivas a ellos aplicadas, de lo que se deduce naturalmente que dichos órganos pueden también perder esas sustancias por la acción lixiviativa del agua o de otras soluciones acuosas. En efecto, los autores demostraron la veracidad de esa deducción basándose en los resultados de estudios efectuados con radioisótopos.

### Medición del fósforo disponible

Una de las aplicaciones más generalizadas de los radioisótopos en los estudios sobre la nutrición de las plantas por el suelo es la de determinar la cantidad de fósforo del suelo que las plantas pueden absorber con igual facilidad que el fósforo del abono. Esta cantidad, que es distinta del contenido total de fósforo del suelo, se denomina valor "A", y constituye un factor de gran importancia para determinar la cantidad de abono fosfatado que debe aplicarse a un suelo dado.

El método fundamental para determinar el valor "A" con ayuda de radioisótopos puede describirse en términos bastante sencillos. Si se cultivan algunas plantas en una muestra de suelo al que se ha añadido una cantidad conocida de fósforo radiactivo, la medición del fósforo-31 (estable) y del fósforo-32 (radiactivo) absorbido por las plantas indicará cuánto fosfato procede del abono radiactivo y cuánto del fósforo natural contenido en el suelo. Como se conoce la cantidad de fósforo-31 y de fósforo-32 del abono añadido al suelo, la razón actividad específica del fosfato de la planta : actividad específica del abono fosfatado indicará la cantidad de fósforo contenido en el suelo que las plantas pueden absorber con la misma facilidad que el fósforo del abono.

Los científicos del Simposio de Bombay estudiaron varios perfeccionamientos de este método e informaron sobre el resultado de las investigaciones efectuadas en diferentes tipos de suelo y en distintas condiciones experimentales. Por ejemplo, los Sres. D. A. Rennie y E. D. Spratt (Canadá) explicaron cómo la colocación de un patrón de fósforo marcado junto

a la simiente, permite determinar no sólo la cantidad de fósforo disponible en el suelo, sino también la cantidad relativa de fósforo en la zona de la raíz. Los Sres. M. A. Abdel Salam y S. Hashish (República Árabe Unida) describieron experimentos realizados con miras a estudiar el efecto de la variación del grado de humedad de los suelos desérticos sobre la absorción de fósforo por las plantas.

El Sr. E. Bottini (Italia) expuso un nuevo método de estudio de la nutrición fosfática, basado en la competición nutritiva que se establece entre las hojas y raíces y, más propiamente, en la velocidad de desplazamiento del fósforo radiactivo en la planta. Los Sres. L. N. Menard y E. Malavolta (Brasil) describieron los estudios realizados en su país sobre abonos marcados con fósforo radiactivo. Tres expertos de la Argentina, los Sres. A. H. Merzari, R. A. Ghelfi y E. O. Brenzoni, expusieron una nueva técnica para la determinación de fósforo lábil en suelos, con arreglo a la cual, en vez de determinar el fósforo radiactivo absorbido por las plantas, se mide el absorbido por ciertos microorganismos. Afirmaron que esta técnica presenta varias ventajas sobre el método de medición en las plantas; por ejemplo, exige menos tiempo y puede aumentarse con gran facilidad el número de pruebas.

El Sr. K. B. Mistry (India) describió los experimentos realizados con tres tipos diferentes de suelo con miras a conocer los efectos residuales de los abonos fosfatados. El Sr. C. G. Lamm (Dinamarca) presentó un estudio de los factores que influyen en la concentración en las plantas de una sustancia nutritiva proveniente del abono y del suelo.

## Empleo de fertilizantes

En la última sesión del Simposio, el Sr. L. A. Dean (Estados Unidos) hizo una reseña general de las aplicaciones de los radioisótopos en los estudios sobre aprovechamiento de abonos. Señaló que desde hace muchos años se investigan problemas tales como el rendimiento de los abonos, comparación de las diversas sustancias fertilizantes, cantidad, duración y distribución de los abonos, influencia de los suelos y cultivos en el aprovechamiento de abonos, y evaluación de la fertilidad del suelo; ahora bien, antes de introducirse las técnicas radioisotópicas, los únicos criterios para juzgar la acción de los abonos eran las variaciones del crecimiento y de la composición química de las plantas. Los principios fundamentales en que se basa la aplicación de los isótopos al estudio de estos problemas se examinaron por primera vez hace unos 15 años y, desde entonces, en los Estados Unidos solamente, se han efectuado alrededor de mil experimentos sobre el terreno y en invernadero, con abonos marcados. En otros países también se efectúan experimentos análogos.

El Dr. Dean explicó que los experimentos se basaban en dos principios de las técnicas de marcación con sustancias radiactivas, a saber, la transferencia de iones procedentes de una fuente específica y el método de dilución isotópica. La cantidad de ra-

dioisótopos hallada en una planta cultivada en un suelo al que se ha añadido abono marcado representa la cantidad total de isótopo que ha pasado del fertilizante a la planta; de ese valor, resulta posible deducir la cantidad total de sustancia nutritiva cedida por el abono a la planta. El principio básico del método de dilución isotópica consiste en incorporar una cantidad conocida de una sustancia marcada en el material que se desea estudiar, aislando una parte del sistema una vez alcanzado el equilibrio isotópico y determinando su actividad específica.

El Dr. Dean dijo que varios investigadores habían propuesto aplicar también el principio de la dilución isotópica para determinar las cantidades de sustancias nutritivas disponibles en el suelo. El método más sencillo fue el sugerido por el propio Dr. Dean y el Dr. Maurice Fried, en la actualidad alto funcionario del OIEA y Secretario Científico del Simposio de Bombay. Habían supuesto -como se ha explicado anteriormente, al exponer el principio básico en que se basa el cálculo de la cantidad de fósforo disponible del suelo- que en presencia de dos fuentes de sustancias nutritivas, el suelo y el abono, una planta absorberá esas sustancias en proporción directa a las cantidades disponibles. Una consecuencia interesante de esta hipótesis, dijo el Dr. Dean, es que cuando se aumentan las cantidades de sustancias nutritivas añadidas al suelo en forma de abono, la capacidad de suministro del suelo propiamente dicho (valor "A") permanece constante. Ello se ha verificado experimentalmente en el caso de varias sustancias nutritivas.

El Dr. Dean señaló que el éxito de las investigaciones con abonos marcados depende, en gran medida, de las características y calidad de esas sustancias. El radioisótopo debe incorporarse al abono de manera que esté uniformemente distribuido; además los abonos deben satisfacer ciertos requisitos en cuanto a composición química y forma física y han de ser semejantes a los que se venden en el comercio.

Otra cuestión examinada por el Dr. Dean fue las ventajas relativas de los experimentos sobre el terreno y en invernadero. Los resultados obtenidos gracias a los primeros se refieren a lugares, cultivos, estaciones, climas y suelos determinados, planteándose el problema de generalizar esos resultados específicos en los que influyen muchos factores imponderables. Los experimentos en invernadero permiten regular muchas de las variables que se presentan en el terreno. En cambio, hay que reconocer que no siempre es posible extrapolar los resultados de estos experimentos para su aplicación práctica directa.

En el Simposio se presentaron además otras memorias relativas a cuestiones más específicas planteadas por la aplicación de los isótopos en las investigaciones sobre el empleo de abonos. Además de los estudios presentados en forma de memorias, la discusión de cada tema proporcionó abundantes informaciones de gran valor.

(continúa en la página 20)

composición de las fases de estos materiales complejos, así como las especies químicas de los mismos en fase gaseosa. Por ejemplo, la espectroscopia de masas ha ayudado considerablemente a determinar las especies gaseosas de los materiales refractarios. Gracias a ello, ha sido posible conocer con precisión las propiedades termodinámicas de esos materiales y se ha acopiado ya gran cantidad de datos. Al mismo tiempo, los recientes progresos de las técnicas de medición, tales como la calorimetría en bomba de flúor y el método de efusión de Knudsen, han aumentado notablemente la precisión de los datos termodinámicos.

### Labor realizada y trabajos pendientes

Los debates del Simposio de Viena demuestran que se han logrado grandes progresos en la determinación de las propiedades termodinámicas de los óxidos de uranio gracias al perfeccionamiento de las técnicas de experimentación y medición, pero que queda todavía mucho por hacer en lo que respecta a los carburos. Los datos relativos a los carburos de uranio presentados en el Simposio, muestran que los valores obtenidos en los diferentes laboratorios no concuerdan entre sí y que serán precisas nuevas e intensas investigaciones para eliminar estas discrepancias.

Despertaron gran interés los procesos de evaporación de los materiales nucleares, especialmente por sus repercusiones en el perfeccionamiento de los reactores de alta temperatura. Además, se estudió extensamente la cuestión de la aplicación de los

principios de la termodinámica a los problemas prácticos de la tecnología nuclear. Por ejemplo, se demostró que es posible predecir teóricamente, basándose en datos termodinámicos, la composición de las aleaciones que suelen utilizarse como materiales para reactores. Si se perfeccionara este método, es evidente que los técnicos en metalurgia podrían ahorrarse muchos trabajos experimentales.

En una sesión oficiosa los participantes en el Simposio examinaron en términos generales la necesidad de una evaluación crítica y compilación de los datos termodinámicos relativos a los materiales nucleares importantes. Se puso de relieve que, dado el creciente volumen de datos que se obtienen gracias a las investigaciones termodinámicas en diversos centros, es cada vez mayor la necesidad de intercambiar y comparar esos datos y de difundir los resultados para que todos los países puedan utilizarlos en la tecnología nuclear.

Presidieron las distintas sesiones del Simposio los siguientes hombres de ciencia: C. W. Beckett (Estados Unidos de América), O. Kubaschewski (Reino Unido), T. Mukaibo (Japón), H. Nowotny (Austria), F. Reshetnikov (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas), S. Varsano (Italia), R. F. Walker (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) y F. E. Witting (República Federal de Alemania). La sesión oficiosa fue presidida por el Sr. K. Schäfer, Presidente de la Comisión de Termodinámica y Termoquímica de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.

---

*(continuación de la página 13)*

Presidieron las sesiones del Simposio los científicos que se citan a continuación: S. Ahmed (Paquistán), H. J. M. Bowen (Reino Unido), L. A. Dean

(Estados Unidos), A. R. Gopal-Ayengar (India), A. H. Merzari (Argentina), S. Nerpin (Unión Soviética) y H. W. Scharpenseel (República Federal de Alemania).

---