



◀ Mutante de cebada inducido por irradiación: sus espigas son cortas, erectas y densas.

## EL OIEA y la revolución verde

*Desde los laboratorios de investigación hasta los campos de cultivo, las técnicas nucleares hacen sentir su influencia*

por Björn Sigurbjörnsson y Leo E. LaChance

Al inicio, la expresión "revolución verde" se refería concretamente a unas pocas variedades de cereales de alto rendimiento obtenidas en el decenio de 1960 que, junto con el creciente uso de fertilizantes y plaguicidas, abrieron paso a una revolución en la producción de alimentos, en especial en Asia. Varios países con escasez de alimentos crónica lograron súbitamente la autosuficiencia en cereales, acumularon grandes reservas y posteriormente se convirtieron en exportadores netos de alimentos.

Hoy podemos decir que, sin lugar a dudas, ese fue el comienzo de una revolución agrícola que en sólo 20 años dio un mentís a los augurios y predicciones acerca de una escasez generalizada de alimentos para el decenio de 1970. Pese a que en muchos lugares del mundo aún se padece una grave malnutrición, en general suele deberse a desastres naturales, factores políticos y otras razones, y no a la falta de tecnología para la producción de alimentos, la cual ha avanzado con más rapidez que el crecimiento de la población. Este sorprendente progreso se debe en primer lugar a los avances registrados en la fitotecnia y en la gestión de cultivos sobre la base de un gran aumento de los insumos.

Desde el inicio mismo de esta revolución verde, las técnicas nucleares desempeñaron un papel significativo al imprimir una nueva dimensión a la investigación y el desarrollo agrícolas, que en muchas ocasiones fue determinante. La investigación basada en las propiedades singulares de los isótopos radiactivos y estables de los elementos nutrientes de plantas y animales, ha acelerado

notablemente la adquisición de conocimientos en materia de fisiología de las plantas y nutrición de los cultivos. Ha proporcionado una base fundamental para el progreso en la gestión de cultivos y aumentado nuestros conocimientos sobre la nutrición, la reproducción y el diagnóstico de las enfermedades de los animales, requisitos indispensables para aumentar la productividad animal.

La radiación ionizante ha demostrado ser sumamente valiosa para aumentar la variabilidad genética de las plantas de cultivo. Induce mutaciones tanto dañinas como beneficiosas, y permite a los fitotécnicos utilizar nuevos genes y combinaciones de estos para obtener variedades de cultivos resistentes a las enfermedades, mejor adaptadas y de mayor rendimiento.

En virtud del mismo mecanismo, la radiación ionizante esteriliza las plagas de insectos reduciendo así su reproducción, y esteriliza o mata los agentes patógenos y organismos que causan las enfermedades transmitidas por los alimentos así como el deterioro de éstos.

De ahí que las diversas aplicaciones de la tecnología nuclear, por sí mismas o en combinación con otras tecnologías avanzadas, hayan contribuido a esta revolución en todas las etapas de la cadena de producción de alimentos: desde los suelos, el riego y las semillas, pasando por el desarrollo de plantas y animales y por la protección de los alimentos almacenados, hasta la entrada de éstos en el hogar del consumidor. Asimismo, estos instrumentos han facilitado las investigaciones sobre la protección del medio ambiente, realizadas ante el creciente uso de productos químicos potencialmente nocivos.

### **Papel del Organismo**

A raíz de la creación del OIEA en 1957, se contrataron los servicios de un experto en cuestiones agrícolas

Los Sres. Sigurbjörnsson y LaChance son Director y Director Adjunto, respectivamente, de la División Mixta FAO/OIEA para el Empleo de Isótopos y Radiaciones Nucleares en el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación.

que dio inicio al programa en esta esfera concertando contratos de investigación con algunos de los principales usuarios internacionales de las mutaciones inducidas por radiación en fitotecnia. Cinco años más tarde se organizó el primer programa coordinado de investigación con trazadores isotópicos para ayudar a los países asiáticos productores de arroz a elaborar prácticas más eficaces de empleo de fertilizantes. A continuación surgieron nuevos programas que permitieron mejorar los procedimientos y plazos en las aplicaciones de fertilizantes a cultivos de trigo y maíz, y que posteriormente dieron origen a otros programas muy provechosos para mejorar la fijación del nitrógeno en las leguminosas y las prácticas de riego mediante el uso de isótopos.

Ya en 1964 se habían emprendido también programas en entomología, ciencias pecuarias y conservación de alimentos. Por entonces las actividades de apoyo que realizaba el Laboratorio de Seibersdorf se afirmaban como el soporte principal de los programas agrícolas del Organismo y, evaluándolas retrospectivamente, como la clave del gran éxito de estos programas en los países en desarrollo. (*Véase en este número el artículo sobre el Laboratorio de Seibersdorf.*)

En el propio año 1964, el programa del Organismo sufrió un profundo cambio que resultó fundamental para asegurar su eficacia e importancia en relación con el desarrollo agrícola y alimentario mundial. Nos referimos al acuerdo entre el OIEA y el Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para establecer una división mixta encargada de todas las actividades de las Naciones Unidas en esa esfera. Este órgano permitió la participación directa del Organismo en las actividades de investigación agrícola que dieron lugar a la revolución verde.

En este artículo se brindan sólo unos cuantos ejemplos de los logros ulteriores de las seis secciones que integran la División Mixta FAO/OIEA, a saber:

### Fitotecnia

La Sección de Fitotecnia y Fitogenética ha elaborado métodos normalizados eficaces para el tratamiento mutagénico de semillas y partes de plantas, así como métodos

para evaluar los efectos de la radiación y aislar y ensayar los mutantes prometedores. En consecuencia, durante los últimos 20 años, fitotécnicos de todo el mundo han utilizado el *Manual on Mutation Breeding*, publicado por FAO/OIEA, que ha contribuido significativamente al gran éxito de las variedades vegetales obtenidas por mutaciones inducidas.

El singular aporte de tales mutaciones a la revolución verde radica en su capacidad para subsanar deficiencias en las variedades de mayor rendimiento y mejor adaptadas. Las nuevas variedades superiores obtenidas por mutación inducida se utilizan directamente en los cultivos agrícolas o en nuevos programas fitotécnicos. De ahí que las mutaciones inducidas estén presentes, por ejemplo, en los genotipos de muchas de las mejores variedades de cebada cultivadas en Europa, de trigo redondillo (pasta) cultivado en Italia, del arroz cultivado en California, así como en algunas de las variedades de cultivo más productivas de todo el mundo en desarrollo. En muchos casos, el tratamiento original de irradiación de las semillas se realizó en el Laboratorio de Seibersdorf, los fitotécnicos recibieron capacitación en el Organismo, y las variedades superiores se obtuvieron gracias al trabajo realizado en el contexto de contratos de investigación o proyectos de cooperación técnica del Organismo. En la actualidad se cultivan en todo el mundo, en varios millones de hectáreas, cerca de 1000 variedades de plantas derivadas de mutaciones inducidas por radiación. Si se cuentan todas las variedades con mutantes en sus antecesores, la cifra posiblemente sea de decenas de millones. Los beneficios económicos anuales ascienden a miles de millones de dólares.

### Suelos y agua

Los isótopos proporcionan el único medio directo para distinguir en las plantas los nutrientes naturales del suelo de los derivados de fertilizantes. Esto permite evaluar la eficacia con que las plantas aprovechan una fuente de nutrientes aplicada y recomendar así la mejor manera de aumentar el rendimiento de costosos fertilizantes. En algunos casos el resultado es un crecimiento máximo de la planta con la aplicación de cantidades mínimas de fertilizante.



Imagen del curso de capacitación organizado en 1977 en la India por el OIEA, la FAO y el Organismo Sueco de Desarrollo Internacional, en el cual llamó mucho la atención la fitotecnia mutacional aplicada al sorgo, que aumenta su resistencia a las enfermedades.



Las leguminosas, fuente esencial de proteínas en la dieta de millones de personas, vienen siendo uno de los objetivos centrales de los programas fitotécnicos del Organismo desde hace 30 años. Se han suministrado a los agricultores cerca de 80 cultivares mejorados de 13 especies diferentes obtenidas mediante mutaciones radioinducidas para aumentar el suministro de alimentos.

En un programa coordinado de investigación de nueve países en desarrollo en el que se utilizó un fertilizante marcado con fósforo 32 en suelos arroceros, se comprobó que el fertilizante fosfatado, depositado en la superficie del suelo o mezclado con ésta, suministraba a las plantas más del doble de fósforo que cuando se aplicaba a una profundidad de 10 centímetros entre las hileras de plantas de arroz. Este descubrimiento permite reducir el uso de fertilizantes en más del 50% sin menoscabo del rendimiento.

Se utilizaron fertilizantes marcados con el isótopo estable nitrógeno 15 para demostrar que la aplicación de fertilizantes nitrogenados a profundidad (5 a 15 centímetros) aumenta más la eficacia de absorción que las aplicaciones superficiales. Los datos de 13 países en desarrollo mostraron que cuando el fertilizante se aplica a esa profundidad, la eficacia de absorción del nitrógeno por las plantas aumenta en cerca del 32% en comparación con la aplicación superficial. Un país participante que siguió las recomendaciones basadas en este estudio informó que gracias a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados había economizado 30 millones de dólares en un año.

El método para utilizar el nitrógeno 15 en el terreno con miras a distinguir el nitrógeno que las plantas fijan biológicamente del que se deriva del suelo, fue elaborado en gran medida por el personal de la Sección de Fertilidad de Suelos, Riegos y Producción Agrícola del Organismo y sus laboratorios en Seibersdorf.

Se han descubierto grandes diferencias en la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico que tienen las especies de leguminosas de grano. Por ejemplo, mientras que un tipo de frijol, la *Vicia faba*, puede satisfacer cerca del 70% o más de sus necesidades de nitrógeno mediante la fijación de ese elemento, otro tipo, el *Phaseolus*, una leguminosa de grano común, satisface alrededor del 30% o menos. Posteriormente se inició un programa coordinado de investigación fitogenética para aumentar la capacidad de fijación de nitrógeno del *Phaseolus* y parece que será posible lograrlo. Un ligero

aumento del nitrógeno fijado por esta leguminosa común entrañaría una reducción sustancial del uso de fertilizantes nitrogenados en todo el mundo.

El caso de los pastos en Uruguay constituye un buen ejemplo de lo que se puede economizar. La inclusión de trébol blanco en los pastos dio como resultado que en el plazo de seis meses fijaran cerca de 120 kilogramos de nitrógeno de la atmósfera por hectárea. Esto equivale a un ahorro de aproximadamente 250 kilogramos de fertilizantes de urea por hectárea, con un valor de unos 73 dólares por hectárea, en seis meses.

### Ganadería

La escasez de productos ganaderos que padece la mayoría de los países en desarrollo de las zonas tropicales y subtropicales no obedece a una carencia seria de ganado, sino a que la productividad del que poseen es mucho menor que la del ganado de las zonas templadas.

Las actividades de la Sección de Producción y Sanidad Animal se orientan hacia el aumento de la productividad animal mediante el mejoramiento de la nutrición, la capacidad reproductora y el diagnóstico de enfermedades en las zonas afectadas. Un método elaborado por la Sección es el de las estrategias de alimentación suplementaria que incluyen en la dieta residuos locales de bajo costo de origen vegetal y animal (por ejemplo, forraje de maíz, bagazo de caña de azúcar, harina de pescado, estiércol de aves y paja tratada con amoníaco y álcali) y subproductos agroindustriales como la urea. El ganado recibe un suministro más equilibrado de materia seca, energía, proteínas, minerales y vitaminas, y en consecuencia aumenta su productividad. La idoneidad de la dieta así completada se evalúa *in vitro* mediante técnicas isotópicas. El material con el suplemento —al que se aplica un trazador radiactivo como el carbono 14, el fósforo 32, el yodo 125 o el hidrógeno 3 para identificarlo— pasa por un aparato simulador de rumen y se evalúa su influencia sobre los productos de la fermentación en el rumen, así como sobre las proteínas microbianas y las que pasan sin digerir, antes de ensayarlo en las explotaciones agrícolas. Este análisis de los suplementos alimenticios antes de su utilización en dietas de ensayo para el ganado ha aumentado la rapidez con que pueden ensayarse los suplementos nuevos o modificados y ha reducido espectacularmente los costos.

Se han utilizado radisótopos como el hidrógeno 3 y el yodo 125 para determinar y medir con su ayuda las hormonas que facilitan la realización de estudios metabólicos destinados a mejorar la reproducción animal. También se han utilizado isótopos para crear pruebas de radioinmunoanálisis (RIA) e inmunoanálisis por conjugados enzimáticos (ELISA) que figuran entre los procedimientos de diagnóstico corriente más eficaces relacionados con los trastornos de la reproducción, las necesidades de naturaleza terapéutica, las evaluaciones toxicológicas y los estudios de residuos.

El uso de la tecnología nuclear ha desempeñado un importante papel en cuanto a la composición y observación de las hormonas necesarias para la traslación y el sexaje de los embriones y para mejorar otros aspectos del proceso reproductivo. Ha dado gran impulso a la creación de sistemas de ganadería modernos en los países desarrollados y en desarrollo.

Los radisótopos y las radiaciones se emplean también en el diagnóstico y la lucha contra las enfermedades de los animales. La Sección ha contribuido el uso de la irradiación para la producción de vacunas animales. El adelanto más espectacular ha sido la creación de una vacuna irradiada contra la estrogilosis pulmonar del ganado, enfermedad parasitaria estacional que, antes del uso de esa vacuna, provocó grandes pérdidas entre los animales jóvenes. Desde su introducción hace unos 15 años, la administración de millones de dosis de esta vacuna ha demostrado su enorme valor para los ganaderos.

### Lucha contra insectos

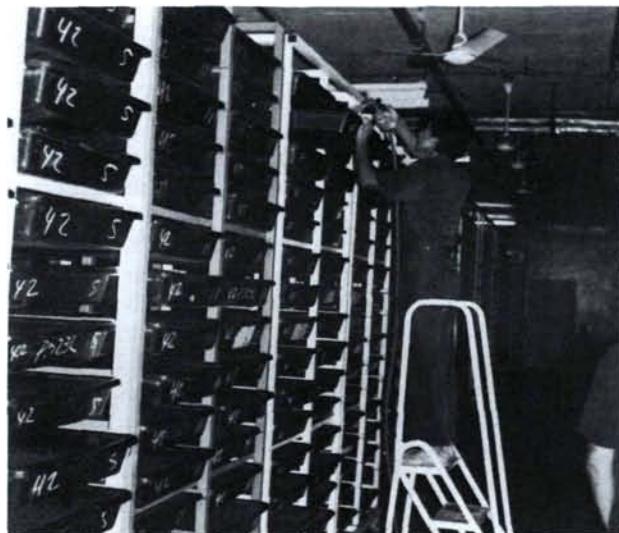
La Sección de Lucha contra Insectos y Plagas se ocupa en primer lugar de asistir a los países en la búsqueda de aplicaciones prácticas de la técnica de los insectos estériles (TIE) por tratarse de un método de erradicación o lucha contra insectos eficaz, poco costoso e inocuo desde el punto de vista ambiental. Dicha técnica se ha aplicado principalmente contra la mosca mediterránea de la fruta (moscamed) y varias especies de la mosca tsé-tsé que transmite la tripanosomiasis animal y humana. La TIE requiere la cría de grandes cantidades de insectos que luego se esterilizan con radiaciones gamma y se sueltan en enormes cantidades en los campos, donde se aparean con los insectos silvestres. Estos apareamientos no producen descendencia y, por consiguiente, se reduce y a la larga se erradica la población de insectos. De ahí que la cría en masa sea la clave de la operación. Muchos países en desarrollo la han empleado provechosamente en sus programas de irradiación de la moscamed y la mosca tsé-tsé.

La tecnología de cría en masa en México, desarrollada conjuntamente por la FAO y el OIEA, se ha intensificado de forma gradual hasta criarse más de 500 millones de moscamed por semana, las cuales se esterilizan con radiaciones gamma y se sueltan en el aire. En pocos años el proyecto logró erradicar la moscamed en México. En la actualidad se están utilizando moscas estériles para erradicar la moscamed en Guatemala y proteger a México de una reinvasión. La economía que se ha logrado así en las cosechas se calcula en cientos de millones de dólares al año.

La cría de la mosca tsé-tsé es muy diferente de la cría en masa de la moscamed. La mosca tsé-tsé produce un descendiente cada 9 ó 10 días, por lo que su reproducción es muy lenta y sus poblaciones en los campos son en realidad muy reducidas en comparación con las de otros insectos. Al principio la cría se realizaba en cabras, conejos y conejillos de Indias, pero ahora se utilizan membranas artificiales con sangre recogida en los mataderos locales. Esta técnica se utilizó en la región central de Nigeria y ya en 1987 se había logrado erradicar una especie de mosca tsé-tsé en un área de 1500 kilómetros cuadrados.

### Protección ambiental

Los esfuerzos de la Sección de Residuos y Productos Agroquímicos están encaminados a aumentar la seguridad en el uso de fertilizantes y plaguicidas y reducir los efectos residuales nocivos de los mismos, que pueden derivarse igualmente de su empleo adecuado o inadecuado. Como la aplicación masiva de tales productos es



Como parte del proyecto TIE contra la moscamed en México, se sembraron los huevos en bandejas de alimentación para larvas y se colocaron en una habitación con temperatura y humedad constantes durante siete días para que las moscas se desarrollaran completamente.

indispensable para obtener las variedades de cultivo de alto rendimiento de la revolución verde, la evaluación eficaz de su destino final y repercusión en el medio ambiente agrícola es fundamental para la gestión adecuada de las tierras de cultivo.

El uso de técnicas nucleares para los estudios sobre residuos de plaguicidas ha demostrado que en los trópicos quizás este problema no sea tan peligroso como se temía, siempre que se observen algunas reglas básicas en su aplicación. La temperatura y la humedad medias tan elevadas de la mayoría de los países en desarrollo contribuyen a que las tasas de disipación de plaguicidas sean mucho más altas que las previstas para climas templados. Si bien se ha probado que se intensifica algo la descomposición por microbios, gran parte de la disipación se debe a la volatilización simple desde la superficie de las plantas y del suelo.

En la actualidad la Sección está desempeñando un papel predominante en la determinación de la aceptabilidad ambiental de plaguicidas potencialmente nocivos, pero muy persistentes y viables desde el punto de vista económico, como el DDT y el lindano. Se están realizando investigaciones coordinadas en zonas tropicales principalmente, con miras a medir las tasas de disipación y degradación del DDT y otros productos químicos análogos. Los resultados preliminares indican que las tasas de disipación del DDT en grandes zonas de Kenya, la India y el Sudán serían tales que impedirían la acumulación local de residuos en los suelos, las plantas y la fauna silvestre.

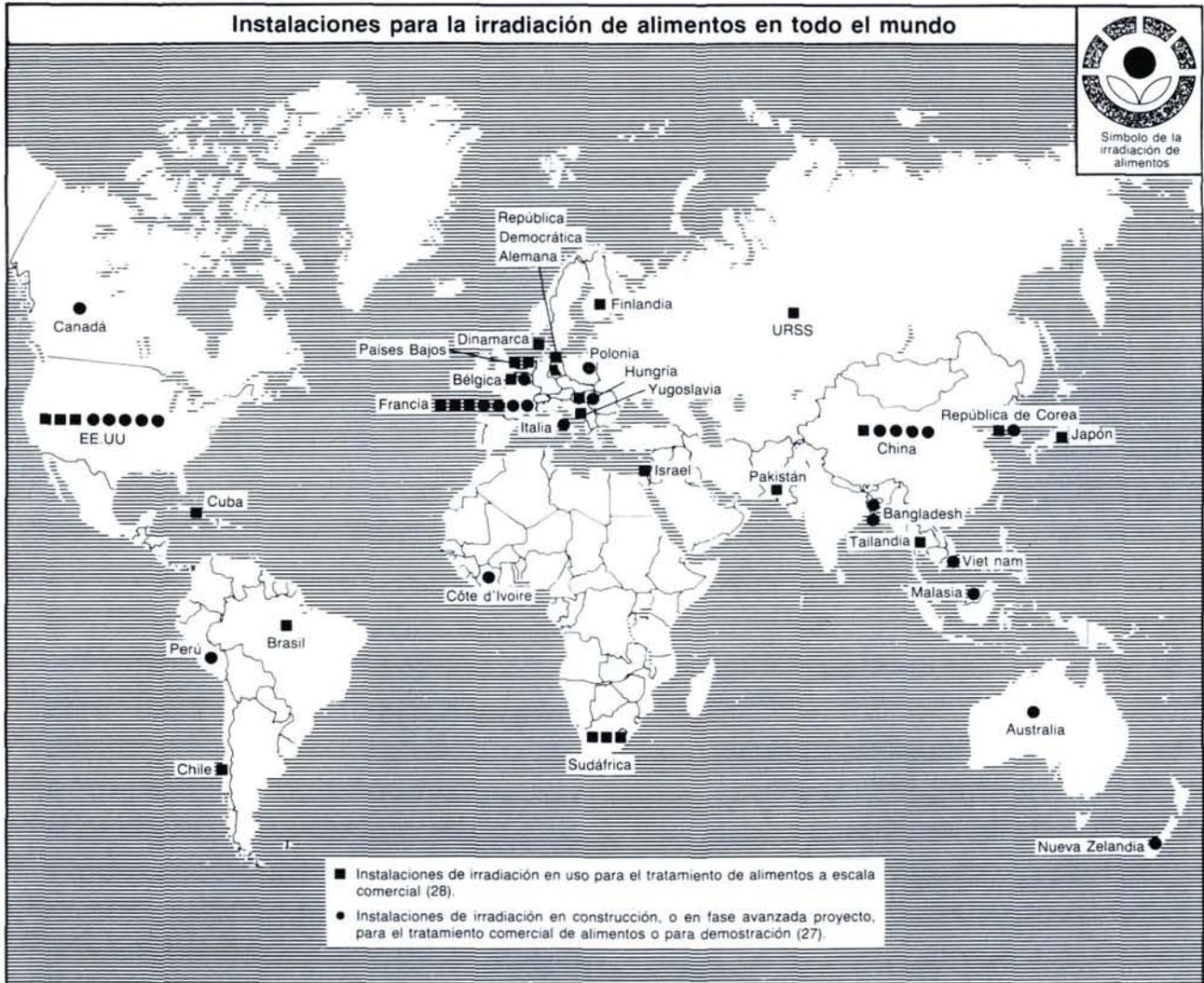
Existe otra actividad encaminada a aumentar la eficacia de una gama de plaguicidas con miras a reducir sus tasas de aplicación usándolos en forma de compuestos de dispersión controlada. Por ejemplo, en Africa Tropical se utilizan insecticidas de larga vida, como el endosulfán, embebidos en polímeros para atraer a la mosca tsé-tsé. El objetivo es reducir la población de moscas atrayéndolas hacia objetivos en los que recibirán una dosis letal de insecticida. Se considera que quizás sea posible reducir drásticamente la población de moscas en las márgenes de los ríos con muy leves consecuencias para el medio ambiente local.

**Los años venideros**

La necesidad de aumentar la producción de alimentos de alta calidad no decaerá. La población mundial acaba de sobrepasar la cifra de 5000 millones y no hay indicios de que su ritmo de crecimiento disminuya. La tarea que habrá que enfrentar en el futuro es mantener la producción mundial de alimentos a un costo inferior, con menos insumos y más atención al medio ambiente. El mejoramiento ulterior en materia de fitotecnia y producción agrícola y pecuaria exige tecnologías aún más avanzadas.

Las posibilidades que ofrecen las nuevas biotecnologías y la ingeniería genética acelerarán sin dudas el

progreso. Casi todos los aspectos de estas nuevas tecnologías dependen del uso de trazadores isotópicos o de la radiación ionizante. En los laboratorios agrícolas de los países desarrollados y de algunos países en desarrollo avanzados, las técnicas nucleares se han llegado a convertir en instrumentos de uso corriente. Nuestro objetivo es ayudar a los otros países a que utilicen comúnmente estas técnicas en la investigación agrícola. Las técnicas nucleares no suelen emplearse aisladamente en la investigación y el desarrollo. Cada día se usan más como parte integrante y esencial de las aplicaciones generales de la tecnología moderna para fomentar la producción de alimentos y apoyar a la "revolución verde" en los años venideros.



**Conservación de alimentos por irradiación.** La tecnología de la irradiación puede reducir las pérdidas de alimentos después de la cosecha y aumentar la disponibilidad de alimentos sanos. Si bien estas actividades no han hecho aporte alguno a la revolución verde, prometen en cambio contribuir en gran medida a la disponibilidad futura de alimentos. En la actualidad:

- Treinta y dos países han aprobado en total el consumo incondicional o con ciertas restricciones de más de 40 productos alimenticios irradiados.
- Diecinueve países están utilizando 25 instalaciones de irradiación para el tratamiento a escala comercial de alimentos seleccionados. Otros 10 países tienen adelantados los proyectos de construcción, o están construyendo nuevas instalaciones para el tratamiento de productos alimenticios y de otro tipo. Se espera que en 1990 habrá 25 países por lo menos que utilizarán cerca de 50 instalaciones de irradiación para el tratamiento de alimentos.
- La Instalación Internacional para la Tecnología de la Irradiación de Alimentos (IITIA) es un proyecto conjunto de la FAO, el OIEA y el Ministerio de Agricultura y Pesca de los Países Bajos. Hasta el momento, la IITIA ha capacitado a más de 200 científicos y funcionarios de más de 40 países.
- El Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiación de Alimentos (GCIIA), auspiciado por la FAO, el OIEA y la Organización Mundial de la Salud (OMS), evalúa las novedades mundiales y constituye un centro de asesoramiento e información en esta esfera para los Estados Miembros y organizaciones. El GCIIA está integrado por 26 países que hacen contribuciones financieras o de otra índole a sus programas.