

# Mantenimiento de instrumentos nucleares en el Sudeste de Asia

---

por P.H. Vuister y B. Hoop

## INTRODUCCION

Es una experiencia generalizada que el mantenimiento de toda clase de instrumentos científicos en los países en desarrollo presenta numerosas dificultades. A ellas contribuyen muchos factores: duras condiciones ambientales, falta de servicios de mantenimiento proporcionados por los fabricantes falta de personal técnico local, escasez de piezas de repuesto, complicaciones administrativas, problemas financieros, etc. Ahora bien, un mantenimiento inadecuado hace que se desperdicien recursos humanos y económicos que suelen escasear: el médico no puede efectuar su diagnóstico, la labor de investigación se interrumpe, los instrumentos se deterioran, el personal no rinde lo que debiera rendir y los laboratorios no se utilizan de manera óptima.

A fin de cuantificar la magnitud de estos problemas en el campo de la medicina nuclear y de ayudar a planificar las medidas necesarias para remediar esta situación de manera realista, la Sección de Aplicaciones Médicas del Organismo Internacional de Energía Atómica ha llevado a cabo una encuesta sobre el mantenimiento de instrumentos de medicina nuclear en el Sudeste de Asia. Actualmente se están efectuando o preparando encuestas análogas en otras regiones.

El presente artículo resume las conclusiones de la encuesta realizada y describe un programa que actualmente se está preparando para mejorar el mantenimiento de instrumentos nucleares en el Sudeste de Asia, en virtud del Acuerdo de Cooperación Regional (ACR).

## CARACTERISTICAS DE LA ENCUESTA

Como la responsabilidad primordial de evitar, descubrir y subsanar (o disponer lo necesario para subsanar) los fallos de los instrumentos recae en sus propietarios y en los operadores, la encuesta se organizó de forma que participasen en ella lo más directamente posible el personal de los laboratorios y los especialistas del país participante.

La encuesta la realizaron ocho Coordinadores nacionales nombrados a petición del Organismo por los Gobiernos de Bangladesh, Filipinas, la India, Malasia, el Pakistán, Singapur, Sri Lanka y Tailandia. Estos coordinadores ayudaron al personal de los laboratorios participantes a rellenar los cuestionarios y formularios de informe, y redactaron un informe sobre las conclusiones a que llegaron con respecto a sus países. Participaron en total 93 Unidades de medicina nuclear que proporcionaron la totalidad o parte de la información solicitada.

---

El Dr. Vuister es funcionario de la Sección de Aplicaciones Médicas de la División de Ciencias Biológicas del OIEA. El Dr. Hoop trabaja actualmente en el Departamento de Pulmonología y Laboratorio de Investigaciones Físicas del Hospital General de Massachusetts; anteriormente fue también funcionario de la División de Ciencias Biológicas del OIEA.

La encuesta versó sobre tres tipos distintos de información. En primer lugar, mediante un cuestionario se pidió a los laboratorios participantes que facilitasen datos sobre su ubicación geográfica, fecha de creación, personal, método seguido para procurarse radionucleidos, cuestiones presupuestarias y servicios de mantenimiento, así como sobre el número y tipos de actividades de medicina nuclear a las que se dedicaban. En segundo lugar, y mediante otro cuestionario, se solicitaron datos sobre cada instrumento en particular: tipo, marca, año de fabricación, medio ambiente operacional, existencia de manuales de instrucción y de mantenimiento, existencia de piezas de repuesto, funcionamiento, pruebas de funcionamiento y mantenimiento. Por último, y en tercer lugar, se utilizaron seis formularios de informe mensual que proporcionaron un registro de la experiencia adquirida sobre el funcionamiento y fallos de cada instrumento a lo largo del período comprendido entre octubre de 1977 y marzo de 1978. Era inevitable que surgieran diferencias en la interpretación de las preguntas y en la meticulosidad con que se contestaron, pero los datos resultantes ofrecen una imagen más completa de la cuantificación de los problemas de mantenimiento que cualquiera de las que se había dispuesto en el pasado.

Además de facilitar datos, la encuesta persiguió una segunda finalidad importante: la de inducir a cada laboratorio a hacer frente a sus problemas de mantenimiento y a revisar sus estrategias para resolverlos.

### EVALUACION DE LOS DATOS

La evaluación que se expone a continuación se basa en 289 instrumentos sobre los que se facilitó información completa y que representan a 70 laboratorios de medicina nuclear de los ocho países participantes. Una estimación aproximada indica que el costo, en su conjunto, de estos 289 instrumentos asciende a unos 5 000 000 de dólares. Además, para su utilización

**Cuadro 1. Datos sobre los fallos de los instrumentos, por tipos de instrumento**

Tipo	Número de instrumentos	Número de fallos (de larga duración)	Promedio de falta de disponibilidad (%)
De centelleador líquido	15	16 (7)	30
De tipo pozo (manual)	45	13 (4)	6
De tipo pozo (automático)	25	25 (4)	8
De sonda simple	49	14 (5)	6
De sonda doble	32	23 (9)	11
Cintilógrafo	66	68 (14)	11
Cámara gamma	14	14 (5)	24
Calibrador	31	7 (5)	11
Otros tipos	12	1 (1)	8
<b>Total:</b>	<b>289</b>	<b>181 (54)</b>	<b>11</b>

**Cuadro 2. Datos sobre los fallos de los instrumentos, por tipos de instrumento y por países**

País	A		B		C		D		E		F		G		H	
	NI	NF	NI	NF	NI	NF	NI	NF	NI	NF	NI	NF	NI	NF	NI	NF
De centelleador líquido	1	1	1	1	0	0	1	1	2	2	1	0	6	7	3	4
De tipo pozo (manual)	4	1	2	0	4	1	7	1	2	0	0	0	8	0	18	9
De tipo pozo (automático)	0	0	2	1	1	2	5	3	4	1	1	0	10	16	2	2
De sonda (simple)	3	2	2	0	7	1	11	1	1	0	2	1	8	4	15	6
De sonda (doble)	3	2	1	0	2	0	3	0	0	0	1	1	9	4	13	16
Cintilógrafo	2	3	3	0	8	1	10	4	1	0	2	3	19	27	21	30
Cámara gamma	0	0	0	0	4	6	4	5	1	0	0	0	4	3	1	0
Calibrador	2	0	1	0	5	2	9	2	0	0	1	2	10	0	3	1
Otros tipos	4	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	2	0	2	1
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>31</b>	<b>13</b>	<b>53</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>76</b>	<b>61</b>	<b>78</b>	<b>69</b>
Fallos de larga duración		4		1		3		8		0		6		12		18
Promedio de falta de disponibilidad		10%		4%		9%		8%		1%		34%		8%		14%

NI = Número de instrumentos

NF = Número de fallos

se ha tenido que incurrir en gastos adicionales importantes: instalaciones de laboratorio, capacitación de personal, etc. Por ello, la falta de un mantenimiento de estos instrumentos en condiciones de funcionamiento eficaz comprometería una inversión de muchos millones de dólares.

### Aplicaciones en medicina nuclear

Las aplicaciones en medicina nuclear en los países participantes en la encuesta suelen ser similares a las que tienen lugar en los países desarrollados. Excepto en el caso particular de un estudio de la morfina en la orina de soldados efectuado en dos de esos países (260 000 muestras)\*, la mayor parte de los estudios se refirieron al sistema endocrino (sobre todo al tiroides). En cuanto a los procedimientos de medición, fueron tres los principalmente empleados: mediciones, mediante sonda, de la absorción de  $^{131}\text{I}$  por el tiroides (60 000 pacientes), obtención de imágenes (principalmente mediante exploración rectilínea) del tiroides, hígado y cerebro (40 000, 25 000 y 13 000 pacientes respectivamente) y medición de la concentración de diversas sustancias biológicas en fluidos biológicos mediante análisis *in vitro* (75 000 muestras), utilizando contadores de centelleo tipo pozo y yodo-125.

### Instrumentos estudiados

Los instrumentos objeto de la encuesta se clasifican en el Cuadro 1 para el conjunto de ocho países participantes y en el Cuadro 2 para cada uno de ellos. Los tipos de instrumentos que figuraron en mayor número (segunda columna del Cuadro 1) eran: 1) contadores de centelleo tipo sonda para evaluar la cantidad de trazador radiactivo en órganos del cuerpo humano (por ejemplo el tiroides) mediante mediciones externas, 2) contadores de centelleo tipo pozo para medir el nivel de actividad de muestras pequeñas (por ejemplo, de sangre) y 3) instrumentos de exploración rectilínea para la obtención de imágenes de la distribución de un trazador radiactivo en determinadas regiones del cuerpo humano. Se observó que en todos los países (Cuadro 2) el número de estos instrumentos era aproximadamente proporcional al número de laboratorios de medicina nuclear. Merece señalarse que las cámaras gamma, que actualmente son el principal instrumento para obtención de imágenes empleado en los países desarrollados, no existían en la región más que en muy corto número.

Tres fabricantes habían suministrado el 66% del número total de instrumentos, los siete siguientes habían suministrado el 22% y otros 21 el 12% restante. Así pues, solo se requeriría la cooperación de 10 fabricantes para poder mejorar la prestación de servicios de mantenimiento y el suministro de piezas de repuesto para casi el 90% de los instrumentos. Todos los instrumentos, excepto el 75% de los de la India, eran de fabricación extranjera. La mitad de los instrumentos tenían más de cinco años de antigüedad y una cuarta parte más de 10 años.

### Medio ambiente de los instrumentos

Existen dos factores ambientales importantes que pueden dificultar en gran medida el funcionamiento adecuado de los instrumentos: la atmósfera en que se les mantiene y el suministro de energía eléctrica de corriente alterna. La encuesta reveló que el 75% de los instrumentos se utilizaban en salas con aire acondicionado, pero que más del 60% de los acondicionadores de aire se desconectaban durante la noche así como en los fines de semana y días festivos, lo que daba lugar a la formación de humedad en el aire y una condensación muy perjudicial de agua en los instrumentos.

---

\* Todas las cifras indicadas en este párrafo son cifras anuales.

Los cortes de la corriente eléctrica eran frecuentes. Un laboratorio comunicó hasta 27 de estos fallos dentro del período de seis meses abarcado por la encuesta. Las grandes fluctuaciones y sobretensiones que se producen al restablecer el suministro eléctrico pueden ser muy perjudiciales para los instrumentos electrónicos. No se recogieron datos sobre las fluctuaciones de tensión y las sobretensiones.

### Fallos producidos

La encuesta proporcionó datos sobre la tasa de fallos de los instrumentos, duración de la resultante interrupción de su funcionamiento (duración del fallo) y tipo de fallo. Además, respecto de la duración de los fallos pudo establecerse una diferenciación entre los diversos tipos de instrumentos y entre fallos de corta (15 días laborables o menos) y de larga duración (más de 15 días laborables).

En el Cuadro 1 (tercera columna) se indica el número de fallos comunicados por todos los países en su conjunto, indicándose entre paréntesis el número correspondiente a los de "larga duración". En el Cuadro 2, los números de fallos comunicados se refieren a cada país en particular. La tasa media de fallos comunicados de todos los instrumentos por todos los países participantes excepto uno, es aproximadamente de una vez al año. Haciendo el desglose por tipos de instrumento, la tasa de fallos de los contadores manuales tipo pozo, sistemas de sonda y calibradores radioisotópicos, considerados en conjunto, es de una vez cada dos años, mientras que la de los contadores automáticos de centelleador líquido, contadores automáticos tipo pozo, cintilógrafo y cámaras gamma, considerados en conjunto, es de dos veces al año. En el país restante, los datos estadísticos no resultaron equiparables debido a determinadas circunstancias especiales. Las tasas de fallo en ese país alcanzaron un valor casi doble que en los demás países.

Se han combinado los datos sobre tasas de fallos y duración de las interrupciones para obtener el tiempo total durante el cual los instrumentos han estado fuera de servicio. Dividiendo por la duración de la encuesta, se obtiene como resultado el porcentaje de tiempo en que el instrumento no estuvo disponible para su uso. Estos datos, agrupados para cada tipo de instrumento, se indican en la última columna del Cuadro 1. Cuando los datos sobre los instrumentos se desglosaron por países (Cuadro 2), se hallaron diferencias bastante grandes y muy claras entre éstos. Si bien los datos no ponen de relieve las causas de estas diferencias, merece señalarse el hecho de que el país que ofreció los mejores resultados poseía un buen servicio central de mantenimiento. Las diferencias entre los distintos laboratorios todavía fueron mayores que las observadas entre los países: tres laboratorios comunicaron un promedio de falta de disponibilidad para todos los instrumentos que excedía del 50%; seis quedaron dentro del intervalo del 26 al 35%, siete en el del 16 al 25%, ocho en el del 6 al 15% y 23 en el del 0 al 5%. En 23 laboratorios no se produjo fallo alguno.

En cuanto a los tipos de fallo, entre los 181 comunicados, 73 consistieron principalmente en fallos mecánicos de motores, dispositivos de lectura, cambiadores de muestras y otros elementos. Esos fallos superaron ampliamente los 31 fallos de sistemas detectores (alimentación de alta tensión, detectores, fotomultiplicadores y preamplificadores) los 15 fallos de la alimentación de baja tensión y los 15 fallos de circuitos electrónicos. El número relativamente elevado de fallos de los sistemas detectores puede reflejar el importante papel que juega la humedad como causa de los fallos. En parte, los fallos de la alimentación de baja tensión pueden deberse a las fluctuaciones y sobretensiones del suministro eléctrico de corriente alterna.

Los cuadros indican que los instrumentos mecánicamente complejos (contadores automáticos de muestras, sistemas bisonda, aparatos de exploración) y las cámaras gamma tienen mayores probabilidades de fallo que los instrumentos más simples, aunque estos fallos no den lugar

necesariamente a un amplio valor medio del tiempo que permanecen fuera de servicio. Solamente los contadores automáticos de centelleador líquido y las cámaras gamma indican con mayor coherencia grandes valores medios de falta de disponibilidad. Para los demás instrumentos parece existir la capacidad necesaria para reparar la mayor parte de los fallos en pocos días.

El grupo de fallos de corta duración (15 días como máximo) comprendió 127 fallos, con una duración media del fallo de cuatro días laborables. El grupo de fallos de larga duración (mas de 15 días) comprendió 54 fallos, con una duración media del fallo superior a tres meses. Los datos de la encuesta pusieron en parte de relieve las causas de estas largas demoras, conforme se indica en la siguiente clasificación:

18 casos de espera de piezas de repuesto

2 casos de espera de piezas mecánicas que debieran haberse producido localmente

9 casos de incapacidad del agente del fabricante para resolver el problema

5 casos de falta de conocimientos técnicos por parte del personal del laboratorio

8 casos de exceso de complicaciones administrativas y de lentitud de los servicios oficiales de reparación

3 casos de lentitud de los servicios de reparación del fabricante

1 caso de fallo de fabricación

16 casos en los que no hubo indicación alguna que explicase el largo período de tiempo que se necesitó para la reparación

Así pues, constituyen importantes problemas de mantenimiento el suministro de piezas de repuesto, la falta de conocimientos técnicos y la ineficacia de los servicios y de la estructura burocrática.

### **Piezas de repuesto**

Se cree por lo general, y la encuesta ha venido a confirmarlo, que la dificultad del suministro de piezas de repuesto constituye uno de los "embotellamientos" principales que se oponen a una rápida reparación. La encuesta puso de relieve que solo para la mitad de los instrumentos se disponía de una lista de piezas de repuesto y que solo para una cuarta parte de ellos existía una reserva de repuestos. El valor de la reserva para 43 instrumentos ascendía a 63 000 dólares. El costo de los repuestos necesarios para 112 fallos comunicados de 211 instrumentos en siete de los ocho países participantes se calculó en unos 17 000 dólares aproximadamente, mientras que el costo de los repuestos necesarios para 34 fallos de larga duración se estimó en 8000 dólares. De la cifra de 63 000 dólares de reserva de repuestos que fue comunicada, no se necesitaron más de unos pocos miles de dólares para subsanar los fallos que realmente se produjeron. Esto quiere decir que el almacenamiento de repuestos es un medio excesivamente costoso de asegurarse de su disponibilidad. Se impone llegar a la conclusión de que los problemas que se han planteado en el suministro de piezas de repuesto son más bien de tipo administrativo y de organización que de tipo financiero, como por ejemplo: procedimientos difíciles o complicados para efectuar los pedidos, falta de consignaciones presupuestarias, reglamentaciones aduaneras excesivamente rigurosas, contactos difíciles con los fabricantes de los instrumentos, dificultades para identificar las piezas, dificultades para pagar las piezas suministradas, etc.

### **Servicios y personal cualificado de mantenimiento de que se dispone**

Los datos indican que el 70% de los fallos comunicados se subsanaron en un plazo de 4 días laborables por término medio, lo que demuestra que, en cierta medida, se disponía de medios y de personal cualificado para las reparaciones. Por otra parte, debido a la falta de conocimientos técnicos de los agentes de los fabricantes o del personal de laboratorio, no

pudo subsanarse una cuarta parte de los fallos restantes. La encuesta puso también de relieve que solo una cuarta parte de los laboratorios disponían de una sección especial o taller en que se efectuaban las operaciones de mantenimiento de los instrumentos, y que solamente dos tercios tenían más de la mitad de los elementos necesarios en una corta lista de equipo utilizado habitualmente para el mantenimiento de instrumentos (alicates, destornilladores, llaves planas, equipo de soldadura, barrenas, voltiohmiámetro, osciloscopio). Esto da una clara indicación del grado en que los laboratorios dependían de personal del exterior para efectuar incluso sencillas operaciones. Solo existían contratos de mantenimiento para el 15% de los instrumentos. Se comunicó que los servicios recibidos en los últimos dos años fueron satisfactorios respecto del 70% del total de instrumentos objeto de la encuesta. Esta no proporcionó ningún dato sobre el grado de conocimientos técnicos y experiencia del personal que llevó a cabo el mantenimiento.

### **Comprobación de instrumentos y control de la calidad**

Se comunicó que para el 25% aproximadamente de los instrumentos se hacían comprobaciones diarias de su funcionamiento y para otro 25% las comprobaciones eran semanales. Los restantes instrumentos se comprobaban solamente una vez al mes o bien de vez en cuando. Estas cifras sugieren que la introducción del control de la calidad para todos los instrumentos revelaría ciertamente un mayor número de fallos que los que se han descubierto hasta la fecha y daría margen a la necesaria fiabilidad de las mediciones.

### **MEDIDAS CORRECTORAS**

Las medidas correctoras tienen que tener como finalidad disminuir la frecuencia y duración de los fallos.

Es posible disminuir la frecuencia de los fallos mediante un acondicionamiento apropiado del medio ambiente. La humedad y temperatura del aire deben mantenerse en un nivel aceptable durante todo el año. Habría que eliminar por filtración el polvo y, en los centros próximos al mar, la sal. Para ello no es suficiente muchas veces con disponer solamente de acondicionadores de aire; es posible que se necesite equipo de deshumidificación y, en ocasiones, filtros especiales. Además, convendría disminuir la intensidad de las sobretensiones y fluctuaciones de tensión en las conducciones de corriente alterna instalando líneas eléctricas especiales, líneas de tierra independientes, estabilizadores de tensión, transformadores de aislamiento, eliminadores de sobretensiones y relés de desconexión. Los centros que deseen acondicionar su suministro eléctrico de corriente alterna debieran escoger las posibilidades que se adapten óptimamente a las circunstancias que concurren en sus laboratorios. Entre otros medios para conseguir una baja tasa de fallos figuran el mantenimiento preventivo, el cuidado diario de los instrumentos y la debida capacitación de los operadores.

La duración de los fallos puede reducirse recurriendo a diversas medidas, entre ellas la organización de un suministro rápido de piezas de repuesto, la capacitación o designación de personal de mantenimiento, la organización de servicios y equipo apropiado de mantenimiento, la coordinación de los contactos con los fabricantes para obtener mejores servicios y la agilización de los procedimientos relativos a cuestiones presupuestarias, de compras y de despacho de aduanas.

La disminución de la tasa de fallos representa un problema técnico que, en principio, es fácil de resolver aunque requiere efectuar ciertas inversiones. Más difícil es reducir la duración de los fallos ya que, aparte del problema de la capacitación, para todas las medidas necesarias se requiere mejorar las reglamentaciones administrativas y los conductos de comunicación existentes.

## EL PROYECTO ACR

La Sección de Aplicaciones Médicas llevó a cabo la encuesta para acopiar datos que pudieran orientar en el futuro acerca de las medidas correctoras a adoptar en relación con los instrumentos de medicina nuclear. Dado que la situación en los laboratorios distintos de los laboratorios médicos debe ser similar a la de los descritos anteriormente, el Organismo está preparando varios proyectos regionales para ayudar a los Estados Miembros a resolver los problemas de mantenimiento de toda clase de laboratorios nucleares. El primero de estos proyectos se iniciará en el Sudeste de Asia dentro del marco del Acuerdo de Cooperación Regional para la investigación, el desarrollo y la capacitación en materia de ciencia y tecnología nucleares (ACR). Antes de octubre de 1979, ocho Estados Miembros de la región habían comunicado al Organismo su deseo de participar en el proyecto.

El proyecto ACR ayudará a los países y laboratorios a mejorar la eficacia, fiabilidad y calidad de la labor efectuada en los laboratorios nucleares, introduciendo o mejorando estrategias de mantenimiento y racionalizando la asistencia técnica y los programas de capacitación relacionados con ella. Se ocupará de acondicionar el medio ambiente, del mantenimiento preventivo, del control de la calidad, del suministro de piezas de repuesto, de la capacitación de personal de mantenimiento y de los operadores y de la selección de instrumentos, así como de agilizar las reglamentaciones administrativas. Se estimulará también la cooperación entre los laboratorios de cada país participante y entre los países de la región, ya que no todo laboratorio puede emplear técnicos de mantenimiento altamente cualificados y no todos los países pueden contar con medios completos de capacitación.

El proyecto se iniciará mediante una reunión de los Coordinadores nacionales del proyecto, que tendrá lugar en diciembre de 1979, para comenzar la formulación de planes de mantenimiento para los laboratorios, los países y la región. En el curso de 1980 comenzará la ejecución de estos planes.