

# Sobreexposición accidental de pacientes de radioterapia en San José (Costa Rica)



ORGANISMO INTERNACIONAL  
DE ENERGIA ATOMICA

SOBREEXPOSICION ACCIDENTAL  
DE PACIENTES DE RADIOTERAPIA  
EN SAN JOSE (COSTA RICA)

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTAN	GABON	NUEVA ZELANDIA
ALBANIA	GEORGIA	PAISES BAJOS
ALEMANIA	GHANA	PAKISTAN
ARABIA SAUDITA	GRECIA	PANAMA
ARGELIA	GUATEMALA	PARAGUAY
ARGENTINA	HAITI	PERU
ARMENIA	HUNGRIA	POLONIA
AUSTRALIA	INDIA	PORTUGAL
AUSTRIA	INDONESIA	QATAR
BANGLADESH	IRAN, REPUBLICA ISLAMICA DEL	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA
BELARUS	IRAQ	E IRLANDA DEL NORTE
BELGICA	IRLANDA	REPUBLICA ARABE SIRIA
BENIN	ISLANDIA	REPUBLICA CHECA
BOLIVIA	ISLAS MARSHALL	REPUBLICA DE COREA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISRAEL	REPUBLICA DEMOCRATICA
BRASIL	ITALIA	DEL CONGO
BULGARIA	JAMAHIRIYA ARABE LIBIA	REPUBLICA DE MOLDOVA
BURKINA FASO	JAMAICA	REPUBLICA DOMINICANA
CAMBOYA	JAPON	REPUBLICA UNIDA DE TANZANIA
CAMERUN	JORDANIA	LA EX REPUBLICA YUGOSLAVA
CANADA	KAZAJSTAN	DE MACEDONIA
CHILE	KENYA	RUMANIA
CHINA	KUWAIT	SANTA SEDE
CHIPRE	LETONIA	SENEGAL
COLOMBIA	LIBANO	SIERRA LEONA
COSTA RICA	LIBERIA	SINGAPUR
CÔTE D'IVOIRE	LIECHTENSTEIN	SRI LANKA
CROACIA	LITUANIA	SUDAFRICA
CUBA	LUXEMBURGO	SUDAN
DINAMARCA	MADAGASCAR	SUECIA
ECUADOR	MALASIA	SUIZA
EGIPTO	MALI	TAILANDIA
EL SALVADOR	MALTA	TUNEZ
EMIRATOS ARABES UNIDOS	MARRUECOS	TURQUIA
ESLOVAQUIA	MAURICIO	UCRANIA
ESLOVENIA	MEXICO	UGANDA
ESPAÑA	MONACO	URUGUAY
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	MONGOLIA	UZBEKISTAN
ESTONIA	MYANMAR	VENEZUELA
ETIOPIA	NAMIBIA	VIET NAM
FEDERACION DE RUSIA	NICARAGUA	YEMEN
FILIPINAS	NIGER	YUGOSLAVIA
FINLANDIA	NIGERIA	ZAMBIA
FRANCIA	NORUEGA	ZIMBABWE

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

© OIEA, 1999

Para copiar o traducir el material informativo de la presente publicación hay que pedir por escrito el correspondiente permiso al Organismo Internacional de Energía Atómica, Wagramer Strasse 5, Apartado de Correos 100, A-1400 Viena, Austria.

Impreso por el OIEA en Austria  
Diciembre de 1999  
STI/PUB/1027

# SOBREEXPOSICION ACCIDENTAL DE PACIENTES DE RADIOTERAPIA EN SAN JOSE (COSTA RICA)

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
VIENA, 1999

SOBREEXPOSICION ACCIDENTAL DE PACIENTES DE RADIOTERAPIA  
EN SAN JOSE (COSTA RICA)  
OIEA, VIENA, 1999  
STI/PUB/1027  
ISBN 92-0-302799-8

## PREFACIO

La radioterapia se ha consolidado como método indispensable de tratamiento en los programas nacionales de lucha contra el cáncer, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. En la radioterapia, la radiación se aplica de modo directo para destruir tejido maligno. Dado que la radiación penetra en el organismo, también destruye tejido sano. Por tanto, el éxito de la radioterapia depende de que la dosis de radiación sea suficientemente elevada para destruir las células malignas, pero lo bastante baja para no afectar tejidos sanos. Este delicado equilibrio se consigue combinando de forma cuidadosamente selectiva la configuración geométrica de la terapia y la aplicación fraccionada de la dosis para lograr una distribución óptima y escalonada de la dosis en el organismo y en el tiempo.

En cuanto a la protección radiológica, la radioterapia es singular en muchos aspectos. Se trata de la única práctica en la que se somete deliberadamente una parte determinada del cuerpo humano a dosis elevadas de radiación. Con este fin, se sitúa al paciente en la línea directa de un haz de radiación, o bien se coloca una fuente de radiación en contacto con el tejido corporal. Entre la fuente de radiación y el tejido al que ésta se dirige no hay barreras estructurales; cualquier error en la fuente de radiación o en el haz puede tener consecuencias graves. Además, no sólo las dosis administradas en cantidad superior a la calculada pueden acarrear efectos nocivos, sino que también pueden perjudicar al paciente las dosis administradas en cantidad inferior a la prevista.

El examen de los accidentes radiológicos y sus causas, así como la difusión de las experiencias aleccionadoras y las recomendaciones, han resultado muy valiosos para prevenir accidentes. Con miras a prevenir estos accidentes, el OIEA puso en marcha un proyecto en cuyo marco se han presentado informes sobre accidentes radiológicos ocurridos en el curso de actividades radiológicas industriales o de investigación en Belarús, El Salvador, Israel y Viet Nam, así como accidentes relacionados con fuentes abandonadas o almacenadas de forma precaria en Brasil y Estonia.

Para los fines de la radioterapia, puede resultar muy útil reunir y difundir la experiencia aleccionadora derivada de los accidentes. El accidente ocurrido en Costa Rica en 1996, que causó varias víctimas mortales entre pacientes sometidos a radioterapia, ha sido la primera ocasión en que el OIEA ha podido evaluar las causas y las consecuencias de una sobreexposición radioterapéutica grave. Un grupo internacional de médicos efectuó una evaluación dosimétrica y una valoración médica, y examinó datos médicos y a los pacientes.

Este examen se pudo llevar a cabo merced a la generosa invitación del Gobierno de Costa Rica, que mediante el presente informe ha efectuado una contribución inestimable a los conocimientos relativos a accidentes de radioterapia; una información de este tipo servirá para prevenir accidentes de radioterapia en todo el mundo. El OIEA manifiesta su agradecimiento al Gobierno de Costa Rica y a sus autoridades por su amable colaboración.

#### *NOTA EDITORIAL*

*Aunque se ha procurado que la información que contiene el presente documento sea exacta, ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que pudieran derivarse de su utilización.*

# INDICE

INTRODUCCION .....	1
RESUMEN EJECUTIVO .....	3
1. SINOPSIS DE LA RADIOTERAPIA Y LA PROTECCION RADIOLOGICA .....	7
1.1. Utilización de la radioterapia .....	7
1.2. La radioterapia en Costa Rica .....	7
1.3. Efectos biológicos de la exposición terapéutica a la radiación ....	9
1.4. Procedimientos de radioterapia .....	11
1.5. Protección radiológica .....	17
1.6. Función del OIEA .....	18
PARTE I. ANTECEDENTES .....	21
2. CRONOLOGIA DEL ACCIDENTE .....	23
2.1. Introducción .....	23
2.2. Sucesos anteriores al accidente .....	23
2.3. Detección de irregularidades .....	24
2.4. Medidas reguladoras .....	25
2.5. Investigaciones anteriores a la evaluación del Grupo de Expertos .....	25
3. EVALUACION ESPECIALIZADA ORGANIZADA POR EL OIEA ...	26
3.1. Petición al OIEA para que efectúe una evaluación especializada ..	26
3.2. El Grupo de Expertos .....	27
3.3. Apoyo y logística del Grupo de Expertos .....	28
3.4. Sesión inicial de información del Grupo de Expertos .....	28
3.5. Programa del Grupo de Expertos .....	29
PARTE II. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION DEL GRUPO DE EXPERTOS .....	31
4. EVALUACION DE LA DOSIMETRIA Y ESTADO DEL EQUIPO Y DE LA INSTALACION .....	33



4.1.	Calibración del haz	33
4.2.	Estado de la unidad de cobalto-60 Alcyon II	33
4.3.	Sala de irradiación	35
4.4.	Blindaje contra la radiación	35
4.5.	Supervisión de la dosis para el personal	36
4.6.	Procedimientos impresos	36
4.7.	Fichas de los pacientes y dosimetría clínica	36
5.	EFFECTOS CLINICOS DE LA EXPOSICION DE PACIENTES A LA RADIACION	39
5.1.	Introducción	39
5.2.	Sistema nervioso central	41
5.3.	Piel	49
5.4.	Sistema gastrointestinal	53
5.5.	Sistema cardiovascular	55
5.6.	Subexposición de pacientes	56
5.7.	Efectos sicosociales	57
	PARTE III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
6.1.	Consideraciones generales	63
6.2.	Marco para la protección radiológica	64
6.3.	Justificación de la práctica	64
6.4.	Perfeccionamiento de la protección	64
6.5.	Prevención de accidentes	65
6.6.	Disposiciones administrativas	66
6.7.	Efectos clínicos de la sobreexposición	67
6.8.	Seguimiento de los pacientes	68
6.9.	Labores futuras	68
6.10.	Utilización del informe	69
6.11.	Recomendaciones	70
	APENDICES, ANEXO Y ADDENDUM	71
Apéndice I :	RESULTADOS DE LAS CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION DOSIMETRICA Y EL ESTADO DEL EQUIPO Y DE LA INSTALACION	73

Apéndice II :     DATOS DE LOS PACIENTES ..... 93

Anexo:     REGISTROS SOBRE LA PARTICIPACION DEL HOSPITAL  
              SAN JUAN DE DIOS EN LAS VERIFICACIONES DEL  
              SERVICIO POSTAL DE VERIFICACIÓN DE DOSIS CON  
              TLD DEL OIEA/OMS ..... 127

Addendum :     RECONSTRUCCION DE LAS DOSIS APLICADAS A  
                      TEJIDOS NORMALES EN PACIENTES CON SECUELAS  
                      PRONUNCIADAS ..... 133

REFERENCIAS ..... 143

COLABORADORES EN LA REDACCION Y REVISION ..... 145

ILUSTRACIONES ..... 147

## INTRODUCCION

El informe resume la evaluación de una sobreexposición accidental de pacientes de radioterapia que ocurrió en el Hospital San Juan de Dios en San José (Costa Rica), en agosto y septiembre de 1996. La evaluación fue realizada en julio de 1997 a petición del Gobierno de Costa Rica por un Grupo de Expertos formado por el OIEA.

La sinopsis facilita información sobre la radioterapia en general y la situación en Costa Rica en particular. Asimismo, describe los efectos biológicos de la exposición terapéutica a la radiación, el marco de protección radiológica en la radioterapia y la función del OIEA en este ámbito.

El informe resume el desarrollo del accidente. Da cuenta de la investigación preliminar efectuada en Costa Rica antes y después del accidente, y detalla las causas y las circunstancias en que tuvo lugar el accidente.

Las conclusiones de la evaluación que el Grupo de Expertos realizó en julio de 1997 se presentan en dos partes:

- 1) Evaluación de las dosis administradas a pacientes mediante un análisis del registro de tratamientos y mediciones físicas;
- 2) Evaluación médica de pacientes, junto con el resultado de las autopsias de los que fallecieron.

Por último, se indican las conclusiones y las recomendaciones.

En los dos Apéndices se detallan los parámetros y las dosis del tratamiento aplicado a los pacientes, y se resumen los resultados de la investigación médica de cada caso. En el Anexo se establecen los elementos del servicio postal combinado del OIEA/OMS para la verificación postal de dosis de dosímetros de termoluminiscencia. En el Addendum se describe en detalle la evaluación de las dosis aplicadas al tejido normal de pacientes con secuelas pronunciadas.

## RESUMEN EJECUTIVO

En julio de 1997, el OIEA recibió una petición del Gobierno de Costa Rica para que prestara su asistencia en la evaluación de una sobreexposición de pacientes de radioterapia en San José (Costa Rica). El suceso que desencadenó el incidente tuvo lugar en el Hospital San Juan de Dios en San José el 22 de agosto de 1996, al sustituir una fuente de radioterapia de  $^{60}\text{Co}$ . En el momento de calibrar la nueva fuente se cometió un error de cálculo en la tasa de dosis. Debido a dicho error se administraron a varios pacientes dosis de radiación considerablemente superiores a las prescritas.

Fue un accidente de radiación gravísimo, que afectó a 115 pacientes sometidos a tratamiento de neoplasmas por radioterapia. El error se detectó el 27 de septiembre de 1996, y se suspendieron los tratamientos. La máquina de radioterapia se desconectó oficialmente el 3 de octubre de 1996.

Poco después del accidente, el Ministerio de Salud de Costa Rica, un físico procedente de la Organización Panamericana de la Salud y un médico nombrado por esta organización realizaron una evaluación inicial. Dicha evaluación confirmó que había habido casos de sobreexposición.

Después de que el Gobierno de Costa Rica formulara una petición de ayuda, el OIEA creó un grupo de expertos de Costa Rica y de otros países formado por médicos y físicos. El Grupo efectuó una evaluación del 7 al 11 de julio de 1997 y presentó sus conclusiones en una reunión celebrada en la Sede del OIEA del 1 al 6 de septiembre de 1997.

Las mediciones efectuadas en la máquina en cuestión y el examen de los historiales clínicos por el Grupo de Expertos corroboraron asimismo que la tasa de exposición había superado entre un 50% y un 60% la tasa estimada previamente. Se examinó y evaluó a 70 de los 73 pacientes que aún vivían cuando se efectuó el examen en julio de 1997. Se llegó a la conclusión de que en esa fecha cuatro pacientes sufrían secuelas catastróficas y que otros 16 pacientes padecían secuelas muy graves como consecuencia de la sobreexposición y en adelante se contarían en el grupo de alto riesgo. Veintiséis pacientes cuyos síntomas no revestían gravedad corrían un riesgo parcial de sufrir secuelas en el futuro. Otros veintidós pacientes no presentaban efectos visibles y se consideró que el riesgo de efectos futuros era reducido, porque muchos de ellos habían estado expuestos a la fuente reemplazada sólo durante una parte mínima de su tratamiento. En el caso de al menos dos pacientes hubo subexposición. Tres pacientes no fueron examinados.

Hasta el 7 de julio de 1997, es decir, nueve meses después del accidente, habían muerto 42 pacientes. El Grupo de Expertos examinó los datos de 34 de ellos. Aunque es preciso aguardar el resultado de las autopsias completas y la revisión de los historiales clínicos antes de emitir un dictamen definitivo, parece que tres pacientes podrían haber fallecido a consecuencia directa de la sobreexposición, y se estima que

la muerte de otros cuatro pacientes podría deberse en gran parte a una sobreexposición a la radiación. Veintidós pacientes pueden haber fallecido a causa de sus respectivas enfermedades y no por la exposición a la radiación, y en el caso de otros cinco fallecidos no se dispuso de información o era insuficiente. En el presente informe se adjunta información sobre todos los pacientes, incluidos los ocho pacientes fallecidos a los que no pudo examinar el Grupo de Expertos.

Es obvio que, aunque muchos pacientes presentaban síntomas evidentes de sobreexposición a la radiación, las consecuencias plenas de la sobreexposición aún no son patentes, y es probable que en los próximos años los pacientes padezcan secuelas y complicaciones irreversibles debidas a la radiación a consecuencia del accidente.

Las normas actualizadas de seguridad radiológica aprobadas en 1995 estaban en fase de introducción en Costa Rica en el momento en que ocurrió el accidente. La máquina de radioterapia en cuestión y el equipo dosimétrico estaban en buen estado operativo. Al parecer, la causa directa del accidente fue un error de cómputo. No obstante, también contribuyó como causa primordial la deficiencia del programa de protección radiológica, que carecía de un programa de garantía de calidad, de medidas para la prevención de accidentes y de un plan de formación y capacitación.

Este accidente ha confirmado una serie de experiencias bien conocidas a raíz de incidentes anteriores, y además ha proporcionado las siguientes lecciones concretas:

- 1) En los centros médicos pueden producirse accidentes de radiación con secuelas graves e incluso letales;
- 2) El error humano es la causa más frecuente de los accidentes de radiación;
- 3) Con anterioridad al accidente, un control externo había detectado un registro de expedientes muy deficiente, la falta de procedimientos de confirmación y una formación y capacitación insuficientes; si se hubieran tomado medidas a raíz de estos descubrimientos, tal vez no se habría producido el accidente;
- 4) Por lo general, la investigación de accidentes de radiación revela deficiencias que deberían corregirse;
- 5) Cuando haya alta incidencia o gravedad de síntomas agudos durante el tratamiento de radioterapia, hay que interrumpir el tratamiento y controlar la calibración de la fuente inmediatamente;
- 6) En los accidentes de radioterapia, la dosis administrada a un tumor puede no ser el parámetro más importante. A menudo, para estructuras delicadas tales como la médula espinal, el corazón y el intestino, es más importante la dosis biológicamente equivalente de 2 Gy/fracción de dosis (la dosis que habría sido biológicamente equivalente si se hubiera administrado en fracciones de 2 Gy);
- 7) Los protocolos de radioterapia admitidos sólo dejan un margen mínimo de error, puesto que se eliminan tanto células normales como malignas; las

sobredosis altas (con un error muy superior al 10%) conllevan una tasa inadmisibles de secuelas graves;

- 8) La radioterapia administrada en un número de tratamientos inferior al normal pero con dosis superiores en cada tratamiento da por resultado un número excesivo de complicaciones a corto plazo y sobre todo a largo plazo;
- 9) Cuando se reemplazan fuentes de radiación para terapia, la calibración deben hacerla personas debidamente capacitadas, y se debe controlar de forma independiente;
- 10) Una máquina en buen estado de funcionamiento no garantiza un tratamiento adecuado de radioterapia; para ello, es indispensable disponer de equipos auxiliares y de una formación, capacitación, contratación y gestión adecuadas;
- 11) La normativa debe regular el nivel de capacitación y de competencia precisas para manipular fuentes de radiación potencialmente peligrosas;
- 12) Una vez que las personas que trabajan en una unidad de radioterapia dispongan de una formación elemental sólida, deben recibir una capacitación especializada, no limitada a la mera asistencia a cursos ocasionales de breve duración;
- 13) Los expedientes de radioterapia deben ser uniformes, claros, congruentes y completos;
- 14) La comunicación e información rápidas y fiables son indispensables para gestionar adecuadamente los accidentes de radiación;
- 15) Los accidentes de radiación pueden provocar importantes secuelas sicosociales a corto y a largo plazo.

A la luz de su investigación de este accidente, el Grupo de Expertos transmitió las siguientes recomendaciones concretas al Gobierno de Costa Rica:

- a) La radioterapia es necesaria y debe seguir aplicándose en Costa Rica;
- b) En general, habría que perfeccionar la radioterapia para evitar consecuencias perjudiciales innecesarias e inadmisibles;
- c) Habría que implantar normas existentes para la protección radiológica, hacerlas cumplir a la mayor brevedad posible y mantenerlas actualizadas;
- d) Habría que elaborar y aplicar programas de garantía de calidad;
- e) Se debería mejorar la formación y capacitación del personal de radioterapia;
- f) Habría que mejorar el registro de las fichas médicas de radioterapia;
- g) Si un control externo, por ejemplo el servicio (confidencial) de control de dosis, detecta problemas importantes, persistentes y continuos, hay que buscar otra vía de comunicación con las autoridades;
- h) A muchos pacientes se les debería ofrecer asistencia médica y sicosocial a gran escala, que probablemente será necesaria durante al menos cinco años;
- i) Se debería establecer un registro con los datos de dichos pacientes.

El Grupo de Expertos recomendó asimismo que el OIEA añada el presente informe a las publicaciones especializadas en la materia para promover el intercambio de información con miras a prevenir futuros accidentes similares en otros lugares.

# **1. SINOPSIS DE LA RADIOTERAPIA Y LA PROTECCION RADIOLOGICA**

## **1.1. UTILIZACION DE LA RADIOTERAPIA**

La incidencia registrada de cáncer está aumentando en la mayor parte de los países por varios motivos. Al aumentar la concienciación pública, se detectarán cada vez más casos de cáncer en una fase precoz y aumentará la necesidad de recurrir a tratamientos curativos drásticos (cirugía y/o radioterapia). También crece la demanda de procedimientos que preserven los órganos, por ejemplo en casos de cáncer de mama, de cabeza y de cuello, que requieren una radioterapia y una cirugía integradas de alta calidad. Por añadidura, los avances en los cuidados paliativos han mejorado mucho la calidad de vida de los pacientes con cánceres incurables en fase avanzada. La radioterapia desempeña una función importante en el tratamiento de dichos pacientes.

Se calcula que en los Estados Unidos de América y en la Unión Europea la radioterapia da resultado en más de un 50% de pacientes con cáncer, en su fase inicial o durante el desarrollo de la enfermedad degenerativa. Pocos países han alcanzado un nivel tan alto en la aplicación de la radioterapia.

## **1.2. LA RADIOTERAPIA EN COSTA RICA**

Costa Rica está situada en América Central y tiene una extensión total de 50 900 km<sup>2</sup>. En 1993 contaba oficialmente con unos 3,22 millones de habitantes; 1,63 millones de varones y 1,59 millones de mujeres. Según un informe de 1991, la capital, San José, tenía 1,11 millones de habitantes. Aproximadamente el 60% de los costarricenses viven en zonas urbanas y un 40% en zonas rurales. Entre 1990 y 1995, la esperanza de vida era de 75,2 años. Los servicios médicos sociales, a cargo de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), abarcan a un 90% de la población.

El Grupo Latino de Curieterapia resume el estado actual del cáncer y de la radioterapia del modo siguiente: en 1992 se diagnosticaron 4198 casos de cáncer, con una tasa de incidencia de 132,8 casos por 100 000 habitantes. De todos estos casos, 2217 eran mujeres y 1981 hombres. Entre las mujeres costarricenses el cáncer de piel es muy frecuente, con 373 casos diagnosticados en 1992. En segundo lugar figuraba el cáncer de mama con 323 casos, seguido por el cáncer de cuello de útero con 265 casos, el cáncer cervical localizado con 232 casos y, en quinto lugar, el cáncer de estómago con 180 casos. Los 844 casos restantes de las mujeres corresponden a otros tipos de cáncer. En los hombres, el cáncer de piel también figuraba a la cabeza con 392 casos, seguido por 386 casos de cáncer de estómago, 269 de próstata, 87 de



pulmón y 82 de leucemia. Los 765 casos restantes de los hombres se repartían entre otros tipos de cáncer.

En 1993, la tasa general de mortalidad en Costa Rica fue de 12 543 casos, y los tumores fueron la causa directa más frecuente, con 2608 fallecidos de cáncer, o sea el 20,79% de todas las muertes; aproximadamente 81 fallecidos de cáncer por 100 000 habitantes. El cáncer figuraba en segundo lugar después de las afecciones del sistema circulatorio, que causaron 3930 muertes. De esas 2608 muertes por cáncer, el cáncer de estómago encabezaba la lista con 604 casos, es decir, el 23,14% de todas las muertes por cáncer. En los cuatro puestos siguientes figuraban el cáncer de pulmón (209 casos), de próstata (162 casos), de mama (140 casos) y de cuello de útero (135 casos).

Desglosado por sexos, 1385 hombres y 1223 mujeres murieron de cáncer. En los varones, las cinco causas principales fueron el cáncer de estómago (386 casos), de próstata (162 casos), de pulmón (143 casos), de páncreas (72 casos) y de hígado (70 casos). En las mujeres, el cáncer de estómago es la primera causa de los fallecimientos, con 218 casos, seguido del cáncer de mama (140 casos), de cuello de útero (135 casos), de pulmón (66 casos) y de páncreas (65 casos). A medida que la población envejece aumentarán los casos de cáncer.

Costa Rica cuenta con 28 hospitales; seis de ellos son centros especializados nacionales y 22 son hospitales regionales o provinciales. En la capital hay tres hospitales dedicados al tratamiento global del cáncer que también son centros especializados para distintas zonas del país: el Hospital San Juan de Dios, el Hospital México y el Hospital Dr. Rafael Angel Calderón Guardia, con 882, 630 y 522 camas, respectivamente.

Dos de ellos disponen de instalaciones para radioterapia: el Hospital San Juan de Dios y el Hospital México. El Hospital Calderón Guardia cuenta con un especialista en radioterapia, pero carece de equipos de radioterapia, por lo cual se traslada diariamente a los pacientes al Hospital San Juan de Dios. Cinco oncólogos especialistas en radioterapia trabajan para la CCSS; los centros médicos privados no disponen de especialistas en radioterapia. En Costa Rica hay en total un físico y nueve técnicos de radioterapia.

Existen tres unidades de radioterapia y todas ellas funcionan con fuentes de cobalto: dos Theratron-80 y un Alcyon CGR II. El Hospital San Juan de Dios dispone de una máquina Theratron-80 y una Alcyon CGR II, y el Hospital México cuenta con una unidad Theratron-80. Una de las máquinas Theratron se adquirió en 1969 y la otra en 1973. La máquina Alcyon CGR II se fabricó en 1987 y fue donada a Costa Rica en 1992.

Actualmente hay dos máquinas de ortovoltaje, ambas en el mismo hospital, y un simulador Toshiba. El país carece de una planificación informatizada de radioterapia, y no hay cortadores de poliestireno para la fabricación de protectores de plomo.

En cuanto a la braquiterapia, sólo se dispone de cinco camas para practicar implantes intracavitarios. Existe un amplio inventario de cápsulas y agujas de radio que no se utilizan desde 1974. Dada la escasez de material y equipo de braquiterapia es imposible aplicar los tratamientos a su debido tiempo, y hay una lista de espera de tres meses para recibir radioterapia intracavitaria.

Los recursos humanos y técnicos de radioterapia con que cuenta Costa Rica actualmente no bastan para hacer frente a las necesidades, y el equipo de radioterapia, incluyendo el equipo auxiliar, es de una calidad insuficiente.

### 1.3. EFECTOS BIOLOGICOS DE LA EXPOSICION TERAPEUTICA A LA RADIACION

Para que sea eficaz, la terapia de radiación debe alcanzar dosis tóxicas para las células malignas. Estas dosis tan altas también destruyen muchas células normales. La cantidad de células destruidas es el resultado de la dosis total, es decir, la dosis para cada tratamiento y el número de tratamientos. La muerte de células normales puede reducirse al mínimo: 1) concentrando el haz de radiación en el tumor y tratando de abarcar la menor cantidad posible de tejido sano; 2) utilizando campos múltiples para que la suma de las dosis en el centro del tumor sea mayor que en cualquier otro punto de la superficie; y 3) dividiendo (fraccionando) el tratamiento en 25 días aproximadamente (por lo general el tratamiento se aplica cada día en cada campo de irradiación). Los sistemas habituales de fraccionamiento administran dosis de 1,5-2 Gy/día, 4 a 5 días por semana. Incluso cuando se toman las precauciones antedichas y todo el tratamiento es correcto, surgirán complicaciones debidas a la radioterapia. En general se considera admisible un índice del 5% de complicaciones graves, que es previsible debido a la variación de la radiosensibilidad individual. Si las dosis de radiación administradas son inferiores surgirán menos complicaciones, pero también se reducirá la cantidad de curaciones. Por otra parte, con dosis superiores se consiguen potencialmente más curaciones, pero también habrá más complicaciones.

Si se aumenta la dosis total se destruyen más células. Si la dosis total no varía, pero la dosis por fracción aumenta y la cantidad de fracciones se reduce, se destruyen más células. En muchos tejidos, al reducir el número de fracciones y aumentar la dosis por fracción aumentarán los efectos crónicos mucho más que los efectos agudos. En esas circunstancias, si se toma el índice de efectos agudos para pronosticar las secuelas tardías, se subestimarán el verdadero alcance de los efectos.

Existen niveles conocidos de tolerancia a la radiación para muchos tejidos normales, que figuran en el Cuadro I [1]; son el resultado de obtener determinadas dosis totales con los sistemas habituales de fraccionamiento. En el accidente objeto del examen, como el número de fracciones era con frecuencia menor y la dosis por fracción mayor, las dosis tolerables para muchos pacientes fueron inferiores a las que

CUADRO I. DOSIS TOLERADA DE RADIACION (RAD)<sup>a</sup>

Organo	Lesión (5 años después)	1-5% (TD 5/5) <sup>b</sup>	25-50% (TD 50/5) <sup>c</sup>	Volumen o longitud
Piel	Úlcera, fibrosis grave	5500	7000	100 cm <sup>3</sup>
Mucosa oral	Úlcera, fibrosis grave	6000	7500	50 cm <sup>3</sup>
Esófago	Úlcera, constricción	6000	7500	75 cm <sup>3</sup>
Estómago	Úlcera, perforación	4500	5500	100 cm <sup>3</sup>
Intestino	Úlcera, perforación	5000	6500	100 cm <sup>3</sup>
Colon	Úlcera, constricción	4500	6500	100 cm <sup>3</sup>
Recto	Úlcera, constricción	5500	8000	100 cm <sup>3</sup>
Glándula salival	Xerostomía	5000	7000	50 cm <sup>3</sup>
Hígado	Hepatitis	2500	4000	Total
Riñón	Nefrosclerosis	2000	2500	Total
Vejiga	Úlcera, contracción	6000	8000	Total
Uréter	Constricción, obstrucción	7500	10 000	5–10 cm
Testículos	Esterilidad permanente	500–1500	2000	Total
Ovario	Esterilidad permanente	200–300	625–1200	Total
Útero	Necrosis, perforación	>10 000	>20 000	Total
Vagina	Úlcera, fístula	9000	>10 000	5 cm
Pecho (niño)	Sin desarrollo	1000	1500	5 cm <sup>3</sup>
Pecho (adulto)	Atrofia y necrosis	>5000	>10 000	Total
Pulmón	Pneumonitis, fibrosis	4000	6000	Lóbulo
Pulmón		1500	2500	Total
Capilares	Telangiectasia, esclerosis	5000–6000	7000–10 000	—
Corazón	Pericarditis, pancarditis	4500	5500	60%
Huesos (niño)	Crecimiento interrumpido	2000	3000	10 cm <sup>3</sup>
Huesos (adulto)	Necrosis, fractura	6000	15 000	10 cm <sup>3</sup>
Cartílago (niño)	Crecimiento interrumpido	1000	3000	Total
Cartílago (adulto)	Necrosis	6000	10 000	Total
Dosis absorbida				—
Cerebro	Necrosis, infarto	5000	>6000	Total
Médula espinal	Necrosis, transección	4500	>5500	10 cm <sup>3</sup>
Ojo	Panoftalmitis, hemorragia	5500	10 000	Total
Córnea (L.b.)	Queratitis	5000	>6000	Total
Cristalino	Catarata	500	1200	Total
Oído (interno)	Sordera	>6000	—	Total
Vestibular	Síndrome de Meniere	6000	10 000	Total
Glándula tiroides	Hipotiroidismo	4500	15 000	Total
Glándula suprarrenal	Hipoadrenalismo	>6000	—	Total
Glándula pituitaria	Hipopituitarismo	4500	20 000–30 000	Total
Músculo (niño)	Sin desarrollo	2000–3000	4000–5000	Total
Músculo (adulto)	Atrofia	>10 000	—	Total
Médula ósea		250	450	Total
Médula ósea		3000	4000	Localizado
Nódulos linfáticos	Atrofia	4500	>7000	—
Glándula linfática	Esclerosis	5000	>8000	—
Feto	Muerte	200	400	Total

## CUADRO 1. (cont.)

<sup>a</sup> Datos adaptados de Dalrymple, G.V., et. al., Medical Radiation Biology, Saunders (1973), Cuadro 1-13 (pág. 23) de Ref. [1], reproducidos con autorización de W.B. Saunders Company, Filadelfia, PA (Estados Unidos de América).

<sup>b</sup> TD 5/5 = tolerancia de dosis de 5% en 5 años.

<sup>c</sup> TD 50/5 = tolerancia de dosis de 50% en 5 años.

*Nota:* No se dispone de datos de dosis para el páncreas, la vesícula biliar o la aorta.

figuran en el cuadro<sup>1</sup>. Los valores concretos de los distintos sistemas de fraccionamiento se citan en el presente informe cuando se dispone de ellos y son procedentes.

Cabe señalar que, aunque es posible calcular las dosis con gran precisión, las respuestas de los pacientes son muy variables. Las dosis calculadas sólo deben servir de orientación general y no para llegar a conclusiones definitivas acerca de las causas de efectos negativos. Existen casos poco frecuentes de personas que pueden reaccionar con una radiosensibilidad excepcional (por ejemplo, pacientes homocigotos para ataxia telangiectasia).

### 1.4. PROCEDIMIENTOS DE RADIOTERAPIA

Para que tengan éxito, los programas de radioterapia deben cumplir varios criterios:

- 1) La selección de pacientes y la preparación clínica deben ser correctas para permitir una indicación adecuada de la radioterapia;

---

<sup>1</sup> En algunas situaciones paliativas es ventajoso utilizar menos fracciones repartidas durante un período breve. Este tipo de tratamiento reduce el tiempo de hospitalización del paciente y le permite estar más tiempo en su casa. De esta manera, los recursos disponibles (limitados) del departamento de radioterapia se pueden aprovechar para tratar a otros pacientes. Ejemplos de calendarios de este tipo: 30 Gy administrados en 10 fracciones de 3 Gy cada una, o incluso 20 Gy en dos fracciones de 10 Gy con un intervalo de una semana entre ambas. No obstante, este tipo de tratamientos paliativos (con pocas fracciones) debe limitarse a determinados casos, por ejemplo cuando la esperanza de supervivencia sea breve (semanas, o a lo sumo meses) y el tratamiento no afecte a órganos de riesgo, tales como el sistema nervioso central, los pulmones o el intestino. En caso contrario, el balance entre los efectos paliativos y los efectos secundarios de la radiación, tales como la pneumonitis, trastornos intestinales o incluso complicaciones del sistema nervioso central, sería negativo. En la práctica, este tipo de fraccionamiento sólo debería aplicarse a pacientes cuya enfermedad sea de progreso rápido, degenerativa y generalizada, y en tales casos sobre todo para metástasis óseas por tipos de cáncer que sólo permiten una esperanza de vida muy breve.

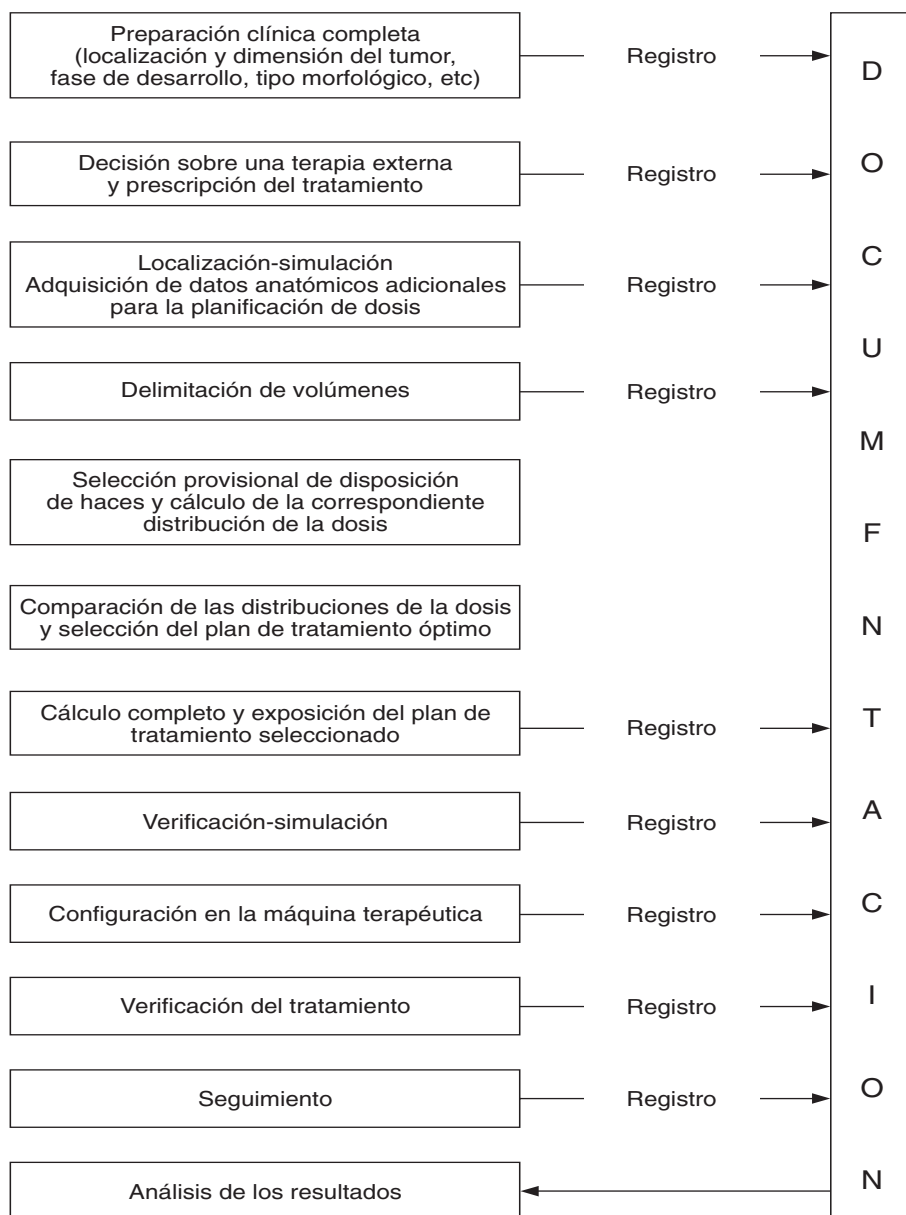


FIG. 1. Etapas del procedimiento de radioterapia. (Cabe señalar que debe haber una retroinformación constante entre todas las fases. Cualquier problema que surja en una fase determinada puede poner en entredicho todas las decisiones tomadas en fases anteriores [3]). (El presente diagrama se reproduce en este documento con autorización de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas, Bethesda, MD, Estados Unidos de América).

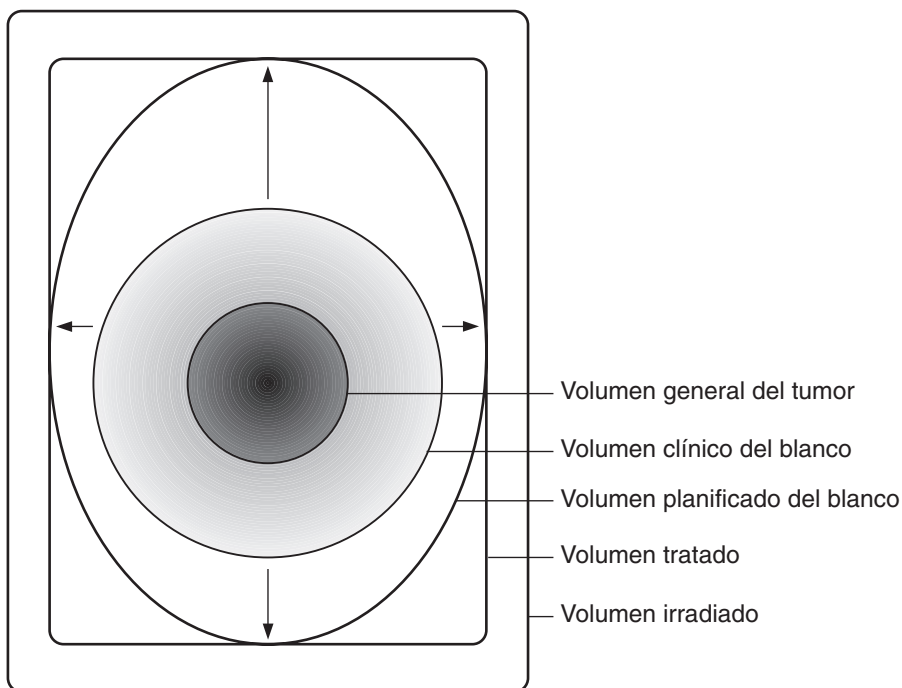


FIG. 2. Esquema de los distintos volúmenes. El volumen general del tumor (GTV) indica el tumor demostrado. El volumen clínico del objetivo (CTV) indica el tumor demostrado (si lo hay) y un volumen con un tumor prediagnosticado (subclínico; por ejemplo, la zona que rodea al GTV y, por ejemplo, nódulos linfáticos circundantes (que según la clasificación de fase del cáncer (TMN) [4] deben someterse a tratamiento)). Por tanto, el CTV es sólo un concepto clínico-anatómico abstracto. El volumen planificado del objetivo (PTV) consta del (de los) CTV(s) y de un margen para abarcar las variaciones de tamaño, forma y posición respecto al haz o haces de tratamiento. Por tanto, el PTV es un concepto geométrico abstracto que se utiliza para asegurar que el CTV reciba la dosis prescrita; al igual que el paciente o los tejidos de que se trate, se define respecto a un sistema de coordenadas fijas. Cabe observar que en el ejemplo ilustrativo superior el margen de desplazamiento del CTV es diferente para las distintas direcciones. El volumen tratado es el volumen que recibe una dosis que se juzga como importante para la curación local o paliación. El volumen irradiado es el volumen que recibe una dosis que se juzga como considerable para los límites de tolerancia del tejido normal (salvo las establecidas para los órganos de riesgo). (Adaptado de la Ref. [3]). (La presente ilustración se reproduce en este documento con autorización de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas, Bethesda, MD, Estados Unidos de América).

- 2) Para administrar la dosis prescrita (se admite un margen de  $\pm 7\%$  aproximadamente) al tumor y a los tejidos críticos correspondientes (en general se admite una inexactitud de aproximadamente  $\pm 5$  milímetros), resultan imprescindibles, o al menos útiles, los siguientes instrumentos:
- a) Máquinas de tratamiento que puedan producir al menos un haz de fotones de alta energía y otro de baja energía (es decir, máquinas de  $^{60}\text{Co}$  y máquinas de ortovoltaje). El proceso se puede mejorar con aceleradores que puedan producir fotones de diferentes energías, y haces de electrones de distintas energías.
  - b) La braquiterapia (intracavitaria o intersticial) desempeña una función importante, sobre todo en cánceres ginecológicos. La protección radiológica del personal requiere instrumentos especializados.
  - c) Se debe disponer de sistemas de posicionamiento e inmovilización de los pacientes, a fin de reducir al mínimo la irradiación de tejido sano.
  - d) La planificación del tratamiento (cálculo de la dosis) se puede realizar con distintos niveles de perfección. En el nivel 1, sólo se puede calcular la dosis administrada en puntos situados a lo largo de un haz de radiación. En los niveles 2 y 3 se puede calcular la distribución de la dosis completa para superficies o espacios; para ello son necesarios ordenadores para planificar el tratamiento. La información adquirida al nivel 1 sólo da una cifra aproximada.
  - e) Para verificar que la geometría del haz se ajusta a lo indicado, hay que recurrir a sistemas de obtención de imágenes para el trabajo clínico cotidiano; a este fin resulta muy útil disponer de un simulador.
  - f) Se pueden utilizar varios sistemas dosimétricos para verificar la dosis en el interior y en el paciente (in vivo), por ejemplo la dosimetría por termoluminescencia (TLD) o la dosimetría de diodos.
  - g) Debe existir un sistema de garantía de calidad para que el trabajo se ajuste a los requisitos de precisión antes mencionados; en la Ref. [2] figura un ejemplo de programa de garantía de calidad.

Los procedimientos de radioterapia se desarrollan por fases, como se detalla en la Fig. 1 [3]. Para aprovechar al máximo los recursos, la calidad de los procedimientos debe ser igual o análoga en cada fase.

La selección inicial de los pacientes para radioterapia (radical) curativa debe basarse en la evaluación del estado del paciente, la localización y tamaño del tumor y el uso de cualquier medicación susceptible de modificar la respuesta a la radiación (por ejemplo, quimioterapia contra el cáncer).

La siguiente etapa importante consiste en la preparación clínica completa, incluida la localización y dimensión del tumor, su fase de desarrollo, etcétera.

Es obligatorio utilizar la clasificación de fase del cáncer (TNM). Según la información clínica disponible se puede elegir la terapia de haces externos, o emplear la braquiterapia solamente, antes o después de la irradiación externa. La siguiente fase consiste en localizar el lugar exacto del tumor y simular su tratamiento, y determinar su tamaño y forma (Fig. 2) [3, 4]. Los datos anatómicos constituyen la base para planificar la dosis. Una vez conocidas las dimensiones del tumor, se delimita el blanco en su totalidad y a continuación se determina el volumen planificado del blanco y se simula el tratamiento.

La indicación de la radioterapia curativa abarca:

- i) La definición de los órganos o tejidos que se han de tratar (por ejemplo, amígdala derecha y nódulos linfáticos del lado derecho del cuello); esta indicación anatómica podrá codificarse;
- ii) La prescripción de la dosis y su fraccionamiento (por ejemplo, 68 Gy en la amígdala derecha, administrados en fracciones diarias de 2 Gy, más 50 Gy en los nódulos linfáticos, con el mismo fraccionamiento);
- iii) La descripción de los órganos en situación de riesgo (por ejemplo, médula espinal cervical, un máximo de 48 Gy distribuidos en fracciones diarias de 2 Gy).

A continuación, los datos obtenidos sirven para decidir una distribución idónea de la dosis mediante un sistema informatizado de planificación. Si no se dispone de dicho sistema, deberán servir métodos menos precisos.

Es importante establecer al menos dos distribuciones de la dosis para poder escoger la más indicada. Una vez elegido, el plan de tratamiento se verifica en la unidad de terapia durante la primera sesión mediante radiografías. La verificación in vivo debe efectuarse antes de comenzar el tratamiento propiamente dicho, y en cada tratamiento. Se realiza mediante dosimetría in vivo<sup>2</sup>, usando detectores de termoluminescencia (TLD) y/o diodos.

En el procedimiento de prescripción deben tenerse en cuenta varias otras cuestiones, entre ellas el fraccionamiento. Salvo indicación en sentido contrario, se presupone [3, 5] que todos los campos se tratan en cada fracción, y que se administran cinco fracciones por semana; en general, eso se considera un tratamiento estándar.

Los métodos empleados para reducir el número de fracciones (a menudo debido a la escasez de recursos de radioterapia) afectan a la eliminación de los tumores, a la

---

<sup>2</sup> Verificación de la dosis aplicada al paciente, por lo general mediante la utilización de detectores TLD o diodos, a fin de prevenir desviaciones al aplicar un tratamiento o para llevar el registro de las dosis administradas a estructuras críticas.



frecuencia y gravedad de las reacciones del tejido normal a corto plazo (efectos secundarios agudos) y a la frecuencia y gravedad de las reacciones tardías del tejido normal (complicaciones). Es importante comprender que estos resultados finales dependen de una serie de factores tales como la dosis en cada fracción, la dosis total (acumulativa), la cantidad total de días de tratamiento y todo intervalo adicional.

Los últimos progresos en radiobiología apuntan a que existe una diferencia entre los mecanismos celulares en las reacciones del tejido normal a corto plazo y a largo plazo. En este sentido, las células cancerosas están en la línea de los tejidos de reacción a corto plazo, y la correlación efecto-dosis es más o menos lineal (tipo alfa). Por otra parte, las reacciones tardías (tales como cicatrices y úlceras tardías) se correlacionan con el cuadrado de la dosis (tipo beta).

Así pues, surgirán más complicaciones tardías si la dosis total que se ha de administrar (es decir, la dosis que se juzga necesaria para combatir el tumor) se divide en una cantidad cada vez menor de tratamientos (fracciones). Si sólo se trata un campo en cada fracción, se observará un resultado idéntico.

Por tanto, en el tratamiento estándar es conveniente tratar todos los campos en cada fracción y administrar dosis estándar en cada fracción (por ejemplo, una dosis de 2 Gy por blanco, cinco veces por semana, con un total de 34 fracciones, o sea un total de 68 Gy, tratando todos los campos en cada fracción). Se desaconseja empezar un tratamiento en viernes, porque toda prolongación del tiempo total del tratamiento exigirá una dosis total superior (lo cual causará más complicaciones) si se desea mantener la tasa de curaciones.

Se sabe que existen muchos factores de inexactitud y de error que no pueden detectarse con una correcta calibración del haz de salida de la máquina. Las mediciones in vivo de la dosis pueden detectar algunas de estas causas de error, mediante la medición de la dosis verdadera administrada al paciente (por ejemplo, en el punto de entrada del haz en la boca o en el recto). Es muy recomendable recurrir a este tipo de dosimetría in vivo, que se debería incluir en el programa sistemático de garantía de calidad. Se aconseja utilizar un sistema de mediciones in vivo de las dosis administradas al paciente que complemente la calibración de las máquinas de tratamiento (pero que nunca la sustituya).

Es preciso controlar la exactitud de la configuración mediante imágenes de control<sup>3</sup> (portal film) basadas en el simulador, con las que se podrán cotejar las películas de verificación del tratamiento obtenidas durante el mismo. Este tipo de controles detectarán cualquier desviación importante en la geometría del haz respecto

---

<sup>3</sup> Las imágenes de control (portal film) constan de imágenes tomadas para verificar la orientación del haz respecto del cuerpo del paciente; se obtienen mediante rayos X (en el caso de los simuladores) o mediante fotones de alta energía (en el caso de las máquinas de tratamiento).

del paciente a lo largo de todo el tratamiento. Es conveniente emplear un sistema para verificar la geometría haz-paciente, y se aconseja hacer una película cada semana, o al menos una película al principio y otra mediado el tratamiento.

Es preciso llevar un registro de parámetros en todas las fases y en todo el procedimiento (entre otros motivos para que haya constancia a efectos jurídicos) en las fases de prescripción, planificación y aplicación de la terapia, y también en la fase de seguimiento. En los informes deben usarse los códigos de nomenclatura internacionales. Conviene que todos los departamentos utilicen los mismos códigos, pues de este modo se reducirá el riesgo de ambigüedad o incluso de errores.

En la braquiterapia ginecológica se recomiendan las siguientes etapas:

- 1) Disponer de un historial clínico completo, que incluya la fase clínica, las dimensiones y el tipo histológico de tumor;
- 2) Seleccionar adecuadamente a los pacientes que puedan beneficiarse con la braquiterapia;
- 3) Disponer de información suficiente sobre el alcance de la enfermedad y la anatomía del paciente para garantizar una planificación correcta de la dosis;
- 4) Obtener películas para localizar y simular las fuentes radiactivas;
- 5) Delimitar el volumen que ha de ser irradiado;
- 6) Utilizar un CPS (sistema de planificación por computadora) para calcular la dosis que se aplicará al tumor y a los puntos del organismo, según recomienda la Publicación N° 38 [6] de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUMR);
- 7) Utilizar salas idóneas en las que se garantice la protección radiológica;
- 8) Poner en práctica las recomendaciones de la Publicación N° 38 [6] de la CIUMR;
- 9) Prohibir la utilización de radio;
- 10) Velar por el debido seguimiento de los pacientes.

## 1.5. PROTECCION RADIOLOGICA

Para poder detectar dónde se produjeron los fallos que desencadenaron este accidente, es importante conocer el marco de protección y seguridad radiológica en medicina aceptado a escala internacional (CIPR 73) [7]. La Comisión Internacional de Protección Radiológica publicó los conceptos fundamentales en 1991 (CIPR 60) [8].

La exposición de elementos de este marco comienza con *la justificación de la práctica*. Primero se justifica la práctica propiamente dicha (en el caso que nos ocupa, la aplicación de la radioterapia para combatir una enfermedad dada). Está claro que, en general, la radioterapia es más beneficiosa que perjudicial, por lo que su uso se

justifica para tratar afecciones tales como la enfermedad de Hodgkin y los cánceres de cuello de útero, mama y pulmón. No se justifica recurrir a la radioterapia para tratar enfermedades tales como el acné.

Tras justificar la práctica propiamente dicha se debe justificar su aplicación en cada caso, es decir, justificar el tratamiento en la fase dada de la enfermedad y en las circunstancias concretas del caso. Por ejemplo, si un paciente con el mal de Hodgkin atraviesa una fase en la que es más aconsejable la quimioterapia, no se justifica la radioterapia.

El segundo elemento del marco es el *perfeccionamiento de la protección*<sup>4</sup> relativo a las medidas que se pueden tomar razonablemente para reducir la dosis irradiada a tejidos no cancerosos. En general, el perfeccionamiento se aplica a dos niveles: 1) diseño y fabricación del equipo y las instalaciones, y 2) metodología de trabajo cotidiano.

La seguridad radiológica o *prevención de accidentes* es el tercer elemento importante de la protección y la seguridad radiológica que se suele tratar de forma concreta. El principio en que se basa la prevención de accidentes es la defensa a fondo (o sea, salvaguardias múltiples para prevenir accidentes). Para los equipos de radioterapia, las recomendaciones especifican que la calibración se efectúe después de la instalación o la modificación, y que las decisiones importantes se sometan a un examen y una corroboración independientes.

El último elemento se refiere a las *medidas institucionales*, factor importante ya que la seguridad depende de modo crucial de la actuación humana, y las medidas institucionales pueden influir decisivamente en ella. Los gobiernos son responsables de crear un marco regulador práctico de la protección radiológica.

Las medidas institucionales también abarcan la necesidad de verificar el respeto de los procedimientos y el cumplimiento de los objetivos, incluyendo los programas de garantía de calidad y el mantenimiento de registros.

## 1.6. FUNCION DEL OIEA

En relación con el tema del presente informe, una de las principales funciones del OIEA, en virtud de su Estatuto, consiste en “*establecer... normas de seguridad para proteger la salud... y proveer a la aplicación de estas normas... a petición de las*

---

<sup>4</sup> El perfeccionamiento de la protección constituye un elemento integrante del perfeccionamiento de la propia radioterapia, cuyo fin consiste en eliminar tumores y conservar el tejido normal: por ello la dosis irradiada al tejido normal debe mantenerse al nivel más bajo posible.

*Partes*". Conjuntamente con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE (OCDE/OEN), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Organismo ha establecido las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (publicadas por el OIEA en 1997 en la Colección Seguridad N° 115) [9] que detallan los requisitos para la protección de pacientes expuestos a la radiación con fines terapéuticos. El Organismo se ocupa de la aplicación de esas normas, en general mediante el fomento del intercambio de información, la promoción de la formación y capacitación y la coordinación de la investigación y el desarrollo, prestando servicios a petición de otros, incluidas evaluaciones radiológicas, y facilitando colaboración y asistencia técnica.

El programa de cooperación técnica del Organismo es una de las principales herramientas para reforzar las infraestructuras de protección radiológica y de la radioterapia en los Estados Miembros, incluyendo las destinadas a la protección de pacientes expuestos a la radiación con fines terapéuticos. El Proyecto Modelo para modernizar las infraestructuras de seguridad radiológica y de desechos es un proyecto importante del programa de cooperación técnica.

Asimismo, el Organismo cuenta con una serie de proyectos de promoción de radiobiología aplicada, radioterapia y dosimetría, que incluyen planes de modernización de la oncología radiológica en los países en desarrollo, tecnologías de vanguardia en radioterapia, elaboración de criterios de respuesta humana a la radiación para su uso en la planificación de tratamientos, garantía de calidad en la radioterapia clínica, radioterapia combinada contra el cáncer, colaboración en protocolos de radioterapia para mejorar el índice de curación del cáncer, una red de laboratorios de dosimetría secundarios, verificación y garantía de dosis, y transferencia de tecnología dosimétrica.

Además, el OIEA desempeña una función principal en virtud de la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. De conformidad con la Convención, el Organismo cooperará con los Estados Parte en la misma, y facilitará asistencia rápida en caso de emergencia radiológica a fin de reducir al mínimo sus consecuencias y proteger las vidas humanas. Además, el Organismo tiene otras obligaciones, entre ellas prestar asistencia, ofrecer los recursos de los que disponga para el caso y prestar sus buenos oficios a un Estado Parte que así lo solicite en caso de emergencia radiológica.

En el caso del accidente radiológico de Costa Rica, el Organismo respondió a la petición de ayuda formulada por el Gobierno de Costa Rica. Este país es Estado Miembro del OIEA y ha contado con la colaboración técnica del Organismo en diversos ámbitos, entre ellos los de radioterapia y dosimetría. Costa Rica participa en el Proyecto Modelo de cooperación técnica del OIEA sobre la modernización de las

infraestructuras de seguridad radiológica y de los desechos. En el marco de su proyecto de verificación y garantía de dosis, el Organismo ha prestado servicios postales de dosimetría a centros de radioterapia de Costa Rica, a fin de verificar las dosis producidas por las fuentes de las máquinas de tratamiento de radioterapia externa e interna (véase el Anexo al presente informe). Costa Rica también es Estado Parte en la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica.

## Parte I

### ANTECEDENTES

## 2. CRONOLOGIA DEL ACCIDENTE

### 2.1. INTRODUCCION

El accidente ocurrió en la unidad de radioterapia Alcyon II del departamento de radioterapia del Hospital San Juan de Dios en San José (Costa Rica). La unidad tiene instalada una fuente de  $^{60}\text{Co}$  (el hospital dispone asimismo de una unidad de radioterapia del tipo Theratron-80). El accidente se produjo al cambiarse la fuente radiactiva de la unidad el jueves 22 de agosto de 1996. Al calibrar la nueva fuente se cometió un error de cálculo en la tasa de la dosis. Después del cambio de la fuente, la unidad volvió a entrar en funcionamiento para el tratamiento de pacientes el lunes 26 de agosto de 1996. Como consecuencia del error de cálculo, se administró a los pacientes una cantidad de radiación muy superior a la prescrita.

### 2.2. SUCESOS ANTERIORES AL ACCIDENTE

Desde 1977, a través del servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS se habían detectado en varias ocasiones diferencias notables entre el valor de las dosis comunicado por el Hospital San Juan de Dios y el valor obtenido por el Programa Dosimétrico del OIEA con dosímetros TLD irradiados en el mismo hospital (cabe señalar que los resultados son confidenciales y que las medidas adoptadas a raíz de los resultados de dicho servicio postal de verificación de dosis no son vinculantes para las instituciones participantes). En el Anexo se detallan dichos resultados.

Al no existir una explicación satisfactoria de esas divergencias, se contrató a una experta para que investigara sus causas, evaluara los aspectos físicos de la garantía de calidad en la radioterapia y verificara en qué medida se aplicaba lo dispuesto en el documento N° 277 de la Colección Informes Técnicos [10], así como el cumplimiento de lo dispuesto en la Colección Seguridad N° 115 [9].

La experta realizó una evaluación entre el 8 y el 19 de julio de 1996 y averiguó que no existían registros de calibración de los haces de radiación, y que no había información sobre el equipo que se utilizaba, las condiciones de trabajo, los protocolos de determinación de dosis, los resultados obtenidos o el cálculo de lo que figura como “rendimiento” (“potencia” en la jerga de la radioterapia; es decir, la tasa de dosis absorbida, en términos técnicos) en un programa de computadora creado específicamente para calcular los períodos de tiempo.

Utilizando un método de cálculo basado en la dosis porcentual de profundidad (PDD) y la razón tejido/aire (TAR) se detectaron diferencias de hasta el 8% en el tiempo calculado para las mismas condiciones de irradiación. Los análisis iniciales

revelaron que se había aplicado el mismo valor de “rendimiento” a ambos métodos, lo que puso en evidencia la confusión que existe entre los conceptos de dosis en aire y dosis en agua a la profundidad de máxima ionización.

La experta llamó la atención de los radioterapeutas y el encargado de la dosimetría del Hospital San Juan de Dios sobre los resultados del servicio postal de verificación de dosis con TLD obtenidos desde 1989 (que los radioterapeutas desconocían), así como sobre los errores conceptuales de cálculo. Los radioterapeutas manifestaron su sorpresa y su escepticismo, y afirmaron que “si así fuera, lo habríamos visto en los resultados clínicos” [11]. La experta explicó que en todos los casos las dosis administradas a los pacientes con campos abiertos de radiación (es decir, sin proteger los órganos) habían sido inferiores a las planificadas. Es sabido que, al contrario de lo que sucede en los casos de sobredosificación, la subdosificación sólo se puede detectar al cabo de meses o de años (por una disminución de la tasa de eliminación de tumores y por tanto un aumento de la reincidencia del cáncer).

### 2.3. DETECCION DE IRREGULARIDADES

Según la información obtenida durante el examen efectuado por la experta en julio de 1996, el radioterapeuta del Hospital Calderón Guardia había advertido que algunos pacientes tratados en la unidad Alcyon II en el Hospital San Juan de Dios exhibían síntomas de gravedad excepcional, y comenzó a investigar el motivo. Se trataba de síntomas en la piel y en el aparato digestivo inferior, por ejemplo diarrea, dolor abdominal y piel enrojecida. Al comparar las tasas registradas de dosis de las dos máquinas (Theratron y Alcyon II) señaló a la atención del encargado de dosimetría del Hospital San Juan de Dios que las dosis de la unidad Alcyon II eran inferiores a las de la unidad Theratron, a pesar de que su actividad era superior.

El 27 de septiembre de 1996, después de haber trabajado un mes con la nueva fuente, el encargado de dosimetría del Hospital San Juan de Dios pidió al físico del Hospital México que midiera la dosis absorbida de la máquina, para cotejar los resultados con las mediciones que él mismo había efectuado. Obtuvo un valor de 2,02 Gy/min en el punto de dosis máxima en agua, cuando el valor presupuesto para el tratamiento había sido de 1,22 Gy/min.

Al comparar los resultados, el encargado de dosimetría del Hospital San Juan de Dios hizo indagaciones acerca del tiempo asignado a 0,3 unidades del temporizador del panel de mandos, y obtuvo como respuesta que 0,3 unidades correspondían a 0,3 min, es decir, 18 s. Resultó que, en vez de tomar 18 s como referencia para establecer la tasa de dosis, aparentemente se había tomado un valor de 30 s; esto implica que, partiendo sólo de esta base, el tiempo de exposición se había sobrecalculado en un factor de  $30/18 = 1,66$ . Por tanto, la tasa de dosis se habría



subestimado en la misma medida, por lo que la dosis administrada a los pacientes habría sido superior a la prevista.

## 2.4. MEDIDAS REGULADORAS

El 3 de octubre de 1996, el encargado de dosimetría del Hospital San Juan de Dios se puso en contacto con la Sección de Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud de Costa Rica, entidad responsable de supervisar el cumplimiento de la normativa en materia de protección radiológica, e informó a su personal de que había surgido una diferencia entre la tasa de radiación que él había medido y el valor indicado en la certificación de la fuente de radiación facilitada por el fabricante. El Ministerio ordenó inmediatamente que cesara el funcionamiento de la unidad y abrió una investigación.

Varios meses después del accidente, el encargado de dosimetría presentó a la Sección de Radiaciones Ionizantes una solicitud para que se le registrara como físico radiólogo. Entre los documentos que presentó a tal efecto no constaba ningún título académico, sólo que había participado en cursillos de formación y había tenido varias becas.

## 2.5. INVESTIGACIONES ANTERIORES A LA EVALUACION DEL GRUPO DE EXPERTOS

Según la información recibida por un miembro costarricense del Grupo de Expertos, la CCSS propuso al Ministerio de Salud que pidiera ayuda de la OPS; ésta envió a C. Borrás “para evaluar las dosis que recibieron los pacientes de radioterapia en el Hospital San Juan de Dios en el período comprendido entre el 21 de agosto y el 3 de octubre de 1996” [12], y a J.C. Jiménez para que clasificara a los pacientes a fin de “determinar cuáles necesitaban reanudar el tratamiento de radioterapia y cuáles necesitaban someterse a observación médica continua” [13]. La investigación preliminar se llevó a cabo del 15 al 22 de octubre de 1996.

Además de C. Borrás, de la OPS, el grupo que investigó la dosimetría incluyó H. Marengo Zúñiga, del Hospital México, y L. Bermúdez Jiménez, del Ministerio de Salud de Costa Rica. Al determinar la tasa de dosis máxima de la unidad de  $^{60}\text{Co}$  Alcyon II (a la profundidad de 0,5 cm en agua) se obtuvo un valor de 190,72 cGy/min (1,9072 Gy/min) a una distancia de 80,5 cm para un campo de  $10 \times 10$  cm de superficie. El grupo llegó a la conclusión de que se había producido una sobredosificación de los pacientes del 73%, y demostró que el programa por computadora creado por el encargado de dosimetría para interpolar los valores porcentuales profundidad/dosis cometía errores de una magnitud del 5%, y que el

indicador óptico de distancia tenía un error de 2 cm. En la semana del 23 al 27 de junio de 1997, F. Moreno examinó por encargo de la OPS en el Hospital San Juan de Dios y el Hospital Calderón Guardia a cierto número de pacientes afectados, en colaboración con especialistas locales en medicina interna.

### **3. EVALUACION ESPECIALIZADA ORGANIZADA POR EL OIEA**

#### **3.1. PETICION AL OIEA PARA QUE EFECTUE UNA EVALUACION ESPECIALIZADA**

El 16 de octubre de 1996, el Presidente de la Comisión de Energía Atómica de Costa Rica (CEA), Asesor del Representante Permanente de Costa Rica ante el OIEA y por lo general interlocutor técnico del Organismo en Costa Rica, informó oficialmente al OIEA sobre el accidente y pidió “el apoyo y la colaboración urgentes del OIEA, a fin de tomar las medidas pertinentes”. Con ello transmitió la petición hecha a la CEA por el entonces coordinador de un “grupo ad hoc para el proceso administrativo” creado por la CCSS. No obstante, un día después, el 17 de octubre de 1996, el Ministro de Salud de Costa Rica envió al OIEA por telefax una nota relativa a la petición del Presidente de la CEA en la que informaba al OIEA que el Ministerio de Salud era la única entidad responsable en asuntos médicos en Costa Rica, y que ni el Presidente de la CEA ni el Coordinador del grupo creado por la CCSS estaban autorizados a pedir ayuda al OIEA. De este modo, el Ministro anuló la petición de ayuda. El 18 de octubre de 1996, el OIEA envió al Presidente de la CEA una carta en la que le aseguraba que el OIEA estaba dispuesto a prestar ayuda a Costa Rica, pero que toda petición en ese sentido debía estar coordinada con el Gobierno del país y contar con el apoyo del mismo.

El 20 de abril de 1997, la Defensoría de los Habitantes de Costa Rica pidió ayuda a la CEA para evaluar el accidente, llamamiento que reiteró el 8 de mayo. El 23 de mayo de 1997, el Director General de la CEA pidió ayuda al Departamento de Cooperación Técnica del OIEA, en forma de conocimientos especializados en materia de radioterapia, para evaluar una serie de cuestiones relativas al accidente con varios fines, entre ellos ofrecer a la Defensoría de los Habitantes la ayuda que había solicitado. El 30 de mayo de 1997, la Defensoría de los Habitantes volvió a pedir ayuda a la CEA. El 3 de junio de 1997, el Director General de la CEA volvió a pedir

ayuda al OIEA, remitiéndose a las conversaciones que sostuvo con el Director de Cooperación Técnica: Gestión de Proyectos, del OIEA.

El 6 de junio de 1997, en vista de la situación apremiante que traslucían las peticiones que había recibido, el OIEA comunicó por escrito al Ministro de Relaciones Exteriores de Costa Rica que el Organismo tenía entendido que el Gobierno de Costa Rica deseaba pedir ayuda y que, a menos que el Gobierno desmintiera tal hecho, el OIEA organizaría una Misión de Expertos que iría a Costa Rica para evaluar el accidente y preparar un informe dirigido al Gobierno, que el OIEA publicaría más adelante.

El 16 de junio de 1997, el OIEA recibió una carta oficial del Director General de Política Exterior de Costa Rica en la que se acogía con beneplácito la oferta de ayuda del OIEA. Se recibió una carta análoga del Presidente de la CEA el 19 de junio de 1997.

Después de una extensa correspondencia con las autoridades costarricenses, el OIEA reunió en San José a un grupo de expertos del 7 al 11 de julio de 1997 para que evaluaran el accidente. El Grupo de Expertos concluyó su labor en una reunión celebrada en la sede del OIEA del 1 al 6 de septiembre de 1997.

### 3.2. EL GRUPO DE EXPERTOS

Las designaciones de los siguientes expertos contaron con el apoyo del Gobierno de Costa Rica:

*Bermúdez Jiménez, L.*, Sección de Radiaciones Ionizantes, Ministerio de Salud, San José (Costa Rica);

*Kutcher, G.J.*, Departamento de Física Médica, Centro Oncológico Memorial Sloan-Kettering, Nueva York (Estados Unidos de América);

*Landberg, T.*, Departamento de Oncología, Hospital de la Universidad de Malmö, Malmö (Suecia);

*Marenco Zúñiga, H.*, Caja Costarricense del Seguro Social, Servicio de Oncología, Hospital México, San José (Costa Rica);

*Medina Trejos, F.*, Caja Costarricense del Seguro Social, Servicio de Oncología, Hospital Calderón Guardia, San José (Costa Rica);

*Mettler, F.A., Jr.*, (*Presidente*), Departamento de Radiología, Centro de Ciencias Sanitarias, Escuela de Medicina, Universidad de Nuevo México, Albuquerque, Nuevo México (Estados Unidos de América);

*Mora Rodríguez, P.*, Universidad de Costa Rica, Miembro de la Junta Directiva de la Comisión de Energía Atómica, San José (Costa Rica);

*Nénot, J.-C.*, Instituto de Protección y Seguridad Nuclear, Fontenay-aux-Roses (Francia);

*Ortiz López, P. (Secretario científico)*, División de Seguridad Radiológica y de Desechos, OIEA, Viena;

*Pacheco Jiménez, R.*, Sección de Radiaciones Ionizantes, Ministerio de Salud, Miembro de la Junta Directiva de la Comisión de Energía Atómica, San José (Costa Rica);

*Pérez Ulloa, V.*, Universidad de Costa Rica, Defensoría de los Habitantes, Servicio de Oncología, Hospital México, San José (Costa Rica).

### 3.3. APOYO Y LOGISTICA DEL GRUPO DE EXPERTOS

Otros expertos de Costa Rica (médicos, psicólogos y abogados) realizaron aportaciones valiosas a los trabajos, entre ellos R.C. Ching, del Hospital San Juan de Dios, X. M. Méndez, del Hospital Calderón Guardia, y M. B. Ramírez, del Hospital San Juan de Dios. Los siguientes miembros de la Defensoría de Habitantes prestaron asistencia logística durante la labor del Grupo de Expertos: S. Piszcz, Defensora de los Habitantes, L. Arrieta y C. J. Valerio, del Departamento de Calidad de Vida, J. Tischler Fuchs, de la Universidad de Costa Rica, L. Sell, de la Escuela Fernando Centeno Güel, designado para colaborar con la Defensoría en la evaluación de los daños emocionales, y los intérpretes A. Benison y R. Nassar. El grupo de apoyo de la Defensoría de los Habitantes colaboró con la logística (reuniendo toda la información relacionada con el accidente), aunque no participó directamente en las facetas médica o técnica (relacionadas con la radioterapia) del informe.

### 3.4. SESION INICIAL DE INFORMACION DEL GRUPO DE EXPERTOS

El domingo 6 de julio de 1997 hubo una sesión inicial de información para examinar el mandato del Grupo de Expertos y las expectativas concretas de las autoridades costarricenses. A continuación se resumen las cuestiones que se plantearon:

- 1) Circunstancias y causas en que se produjo el accidente;
- 2) Pormenores del accidente;
- 3) Seguimiento que se debería hacer de los pacientes y su pronóstico;
- 4) Secuelas derivadas de la exposición a la radiación y secuelas causadas por el tumor en tratamiento, o posiblemente ambas;
- 5) Recomendaciones para mejorar la aplicación de la radioterapia;
- 6) Recomendaciones relativas a la garantía de calidad;
- 7) Aspectos sicosociales;
- 8) Seguridad del técnico y del personal restante fuera de la sala de irradiación;
- 9) Verificación de la dosimetría exacta en el momento de la evaluación.

### 3.5. PROGRAMA DEL GRUPO DE EXPERTOS

Las actividades del Grupo de Expertos se ajustaron al siguiente programa:

#### *Lunes 7 de julio de 1997*

- |               |  |
|---------------|--|
| 8.30 a 9.30   | Reunión del grupo para examinar la información sobre la radioterapia en Costa Rica y la calibración de dosis después del accidente |
| 9.30 a 17.00  | Trabajos en el Hospital San Juan de Dios y en el Hospital Calderón Guardia   |
| 18.00 a 20.00 | Reunión del grupo para examinar los progresos realizados y decidir el programa de trabajo  |

#### *Martes 8 de julio de 1997*

- |               |  |
|---------------|--|
| 7.30 a 8.30   | Reunión de los miembros del grupo  |
| 9.30 a 17.00  | Trabajos en el Hospital San Juan de Dios y en el Hospital Calderón Guardia |
| 18.00 a 19.30 | Reunión del grupo  |

#### *Miércoles 9 de julio de 1997*

- |               |  |
|---------------|--|
| 9.30 a 17.00  | Trabajos en el Hospital San Juan de Dios y en el Hospital Calderón Guardia |
| 18.00 a 19.30 | Reunión con el abogado de la defensa penal                                 |
| 21.00 a 22.30 | Reunión del grupo  |

#### *Jueves 10 de julio de 1997*

- |               |  |
|---------------|--|
| 8.30 a 15.00  | Trabajos del equipo médico en el depósito de cadáveres                   |
| 8.30 a 15.00  | Trabajos de los físicos en el Hospital San Juan de Dios                  |
| 16.00 a 18.00 | Reunión del grupo para examinar los datos reunidos y preparar el informe |

#### *Viernes 11 de julio de 1997*

- |               |   |
|---------------|---|
| 8.00 a 13.00  | Redacción del proyecto de informe   |
| 14.00 a 15.00 | Reunión con el Ministro de Salud para debatir el resumen de las conclusiones preliminares |

16.00 a 18.00      Reunión del comité en pleno para debatir el formato y el contenido del proyecto de informe

El programa acordado se cumplió en su totalidad. Además, se celebraron dos reuniones, una de ellas con la Gerente Médica de la CCSS y la otra con el Ministro de Salud.

## Parte II

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACION DEL GRUPO DE EXPERTOS

## **4. EVALUACION DE LA DOSIMETRIA Y ESTADO DEL EQUIPO Y DE LA INSTALACION**

### **4.1. CALIBRACION DEL HAZ**

El Grupo de Expertos determinó la dosis absorbida en agua del haz de la unidad de  $^{60}\text{Co}$  Alcyon II de conformidad con la publicación N° 277 de la Colección de Informes Técnicos del OIEA [10]. Para efectuar dichas mediciones se utilizaron tres cámaras de ionización distintas. Los valores obtenidos el 10 de julio de 1997 se corrigieron teniendo en cuenta dos factores:

- 1) Se hizo una corrección por desintegración durante 10 meses (desde el 10 de septiembre de 1996) para reconstruir las dosis administradas a los pacientes en el período comprendido entre el final de agosto y el final de septiembre de 1996 (factor de corrección 1,115).
- 2) También se efectuó una corrección de distancia a fin de reproducir las condiciones en que se hicieron los tratamientos. Dicha corrección se debió a que, según el informe de E. Castellanos y el informe de las investigaciones iniciales posteriores al accidente, existía un error de  $-2$  cm en el indicador óptico de distancia. Dicha corrección de la distancia fuente-piel (SSD) = 80 cm a SSD = 78 cm (por ejemplo, 80,5 cm a 78,5 cm a nivel de dosis máxima) fue de 1,053, incluyendo un factor de aproximadamente el 0,2% para el aumento en la apertura del haz, o sea el mismo campo de  $10 \times 10$  cm de superficie para una distancia de 78 cm en vez de 80 cm.

Además, se volvió a utilizar el servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS para comprobar las mediciones de calibración, que concordaron dentro de un margen del 1,5% (véase el Cuadro I.I del Apéndice I). En el Cuadro I.II del Apéndice I se presentan las mediciones y las hojas de cálculo.

En el Cuadro II se resumen los resultados de todas las mediciones efectuadas con cada una de las tres cámaras de ionización.

### **4.2. ESTADO DE LA UNIDAD DE $^{60}\text{Co}$ ALCYON II**

La unidad Alcyon II estaba en buen estado y los parámetros geométricos estaban dentro de los márgenes admisibles de tolerancia para el tratamiento de pacientes. Los parámetros controlados fueron los siguientes (véase el Cuadro I.III del Apéndice I): la coincidencia axial del colimador, el isocentro, el indicador óptico de



CUADRO II. TASAS DE DOSIS DE LA UNIDAD DE COBALTO 60 ALCYON II (Gy/min)<sup>a</sup>

Cámara de ionización	10 de julio de 1997		Corrección por desintegración de 10 meses		
	D <sub>w</sub> (4,82, 80, 10 × 10)	D <sub>max</sub> (0,5, 80, 10 × 10)	D <sub>w</sub> (4,82, 80, 10 × 10)	D <sub>max</sub> (0,5, 80, 10 × 10)	D <sub>max</sub> (0,5, 78, 10 × 10)
PTW30001	1,344	1,687	1,578	1,881	1,980
PTW30002	1,334	1,674	1,566	1,867	1,966
Farmer	1,338	1,680	1,571	1,873	1,972

<sup>a</sup> D<sub>w</sub> y D<sub>max</sub> = ((profundidad (cm); DFP (cm), y área de campo (cm)).

distancia, la coincidencia entre el indicador de la superficie de campo en el colimador y el tamaño del haz luminoso, y la concordancia del haz de luz y/o de radiación.

En la evaluación realizada en julio de 1996 se detectaron deficiencias de la camilla de tratamiento. La camilla fue sustituida a principios de 1997, y en la evaluación realizada por el Grupo de Expertos en julio de 1997 no se detectaron nuevas deficiencias. No obstante, el equipo detectó por contacto manual una fuga de corriente eléctrica entre el cabezal de irradiación y la camilla. Es preciso verificar y asegurar la seguridad eléctrica, es decir, la conexión eléctrica a tierra, de conformidad con la norma IEC-601 de la Comisión Electrotécnica Internacional.

#### 4.3. SALA DE IRRADIACION

Durante la misión se inspeccionaron visualmente los enclavamientos y los dispositivos de señalización, con el resultado siguiente:

- 1) Las luces rojas situadas a la entrada de la sala de irradiación para indicar si la fuente está conectada o desconectada funcionaban, pero la luz verde estaba averiada, y estas luces deberían ser de tamaño y visibilidad mayores;
- 2) El interruptor automático de la puerta funcionaba al abrir la puerta: la alarma acústica se activaba y la fuente volvía a la posición de blindaje; sin embargo, sería aconsejable colocar una señal conectada a un monitor de radiación en el final del laberinto;
- 3) Las teclas de emergencia para desplazar la fuente a la posición desconectada funcionaban bien.

#### 4.4. BLINDAJE CONTRA LA RADIACION

Se efectuaron mediciones del valor de la dosis en distintos puntos del exterior de la sala de irradiación. Sobre la base de los resultados obtenidos, y partiendo de una carga de trabajo normal de unos 500 Gy/semana y un factor de utilización del 30% con el haz sin amortiguación dirigido hacia el techo, los niveles de radiación de la sala situada justo encima se elevarían a 1 Sv/a. Dicha sala la ocupan pacientes ingresados por períodos prolongados, visitantes y personal auxiliar del hospital. El blindaje es insuficiente. Concretamente, el techo de la sala no fue diseñado para actividades de radioterapia (véase la Fig. I.1 del Apéndice I).

Dado que no se puede aumentar el blindaje, se puede estudiar si resultaría viable hacer un intercambio de funciones entre esta sala y la sala blindada de la máquina Theratron-80, ya que esta última dispone de un supresor de haz con un factor de amortiguación de aproximadamente 1000.

#### 4.5. SUPERVISION DE LA DOSIS PARA EL PERSONAL

El personal de radioterapia lleva consigo dosímetros TLD individuales que el Ministerio de Salud somete a revisión cada mes. Los registros correspondientes no fueron examinados por el Grupo de Expertos.

#### 4.6. PROCEDIMIENTOS IMPRESOS

Los procedimientos de trabajo para condiciones normales no estaban disponibles. Los procedimientos de emergencia no pudieron ser examinados en el momento de la evaluación del Grupo de Expertos.

#### 4.7. FICHAS DE LOS PACIENTES Y DOSIMETRIA CLINICA

##### 4.7.1. Estado de las fichas

Se examinaron en total 113 fichas de tratamiento de pacientes, 9 de ellas procedentes del Hospital de Niños, 37 del Hospital Calderón Guardia y 67 del Hospital San Juan de Dios.

Las fichas de tratamiento se examinaron en el Hospital San Juan de Dios y en los tribunales. Ninguno de los responsables en el momento del accidente, incluido el encargado de la dosimetría, el radioterapeuta del Hospital San Juan de Dios o la persona que realizó el cálculo y la calibración iniciales, estuvo disponible para una entrevista que ayudara a reconstruir las fichas.

Los tiempos de tratamiento se transcribieron a partir de un programa de computadora creado para ese cometido. El nombre de la persona que había efectuado el cálculo también constaba en las hojas de la computadora. No hubo documentación sobre cómo se había realizado el cálculo de los tiempos de tratamiento después de la sustitución de la fuente, si se hizo usando un cociente o la nueva tasa de dosis medida. Tampoco constaba que se hubiera revisado en algún momento el cálculo de los tiempos de tratamiento. En el reverso de las fichas figuraba el registro diario, con el número de la fracción, la fecha, la dosis de la sesión y la dosis total. Las dosis anotadas correspondían a la dosis máxima por campo y la dosis máxima total por campo. Para la mayoría de los pacientes se usaron campos únicos, o paralelos y opuestos, y se trató a los pacientes a razón de un campo por día.

No hubo un registro continuo de la dosis aplicada al tumor o del tiempo usado para cada fracción; tampoco figuraba quién había tratado al paciente en una fecha determinada, ni si se habían hecho imágenes de control (portal film), y cuándo. En algunas fichas se había anotado en la primera página dos tiempos de tratamiento, uno

para la máquina Alcyon y otro para la máquina Theratron. Como no había un registro diario de los tiempos, no siempre se podía saber qué fracciones se habían aplicado con cada máquina. No constaba que se hubieran revisado las fichas durante la terapia. Las fichas de los pacientes del Hospital Calderón Guardia eran algo más completas, con diagramas que indicaban la localización de los campos y los blindajes. Los tratamientos también parecían ajustarse en mayor medida a prácticas profesionales. Era más frecuente el tratamiento de dos campos por día, y muchos eran de tipo isocéntrico.

#### **4.7.2. Finalidad de la reconstrucción de las dosis y suposiciones en las que se basa**

Puesto que fue necesario reconstruir la dosis (en mayor o menor medida) en más de 100 fichas, en el tiempo de que dispusieron los expertos para la evaluación no pudieron reconstruir las dosis máximas y mínimas aplicadas al volumen planificado del blanco y a los puntos correspondientes para cada uno de los pacientes. Además, durante la misma semana el Grupo de Expertos calibró la máquina Alcyon. Por ello, se intentó reconstruir las dosis de modo simplificado. A partir de las fichas se dedujeron las dosis prescritas, el número de fracciones anteriores al cambio de la fuente y el número de fracciones administradas después del cambio de la fuente, además de otros parámetros importantes. El número de fracciones después del cambio de la fuente se calculó a partir del lunes 26 de agosto de 1996. En las fichas en las que se había anotado en la primera página un tiempo de tratamiento correspondiente a la máquina Theratron, además del tiempo de tratamiento con la máquina Alcyon, se partió del supuesto de que la máquina Alcyon se había utilizado para todos los tratamientos, ya que no se indicaba cuándo se había utilizado la máquina Theratron. Además, para obtener otras referencias también se utilizó un compendio previo efectuado por H. Marengo Zúñiga de las dosis aplicadas después del cambio de la fuente.

La dosis total aplicada al tumor se reconstruyó sumando la dosis prescrita, multiplicada por el número de fracciones administradas antes del cambio de la fuente, a la dosis calculada administrada después del cambio de la fuente. La dosis administrada después del cambio de la fuente se calculó multiplicando la dosis prescrita por un factor de 1,55 y por el número de fracciones administradas.

El factor 1,55 se obtuvo de la forma siguiente:

- 1) Se escogió una muestra representativa de los pacientes;
- 2) La tasa de dosis de  $d_{\max}$  para un campo de  $10 \times 10$  cm a una SSD de 78 cm se obtuvo con las mediciones efectuadas corregidas por la desintegración desde septiembre de 1996 (véase la Sección 4.1); este valor se redondeó a 2 Gy/min, con la distancia de 78 cm correspondiente a un valor nominal de 80 cm,

teniendo en cuenta el error de 2 cm del indicador óptico de distancia en la fecha del accidente;

- 3) La dosis aplicada al tumor se calculó multiplicando la tasa de dosis  $d_{\max} = 2$  Gy/min por el factor de tamaño del campo y el PDD;
- 4) La dosis obtenida a la profundidad del tumor se dividió por la dosis prescrita para obtener el factor de sobreexposición;
- 5) El resultado para esta muestra de pacientes fue de 1,55, valor que se aplicó a todos los casos para obtener el Cuadro I.IV del Apéndice I;
- 6) Se partió del supuesto de que se trató a todos los pacientes a una SSD nominal de 80 cm, salvo indicación contraria;
- 7) Se calculó asimismo la dosis máxima en el punto de entrada en los casos en que era obvio que este factor plantearía un problema especial, por ejemplo, si sólo había un campo, si la dosis prescrita estaba a gran profundidad en el organismo del paciente, si la dosis por tratamiento era elevada, si el tamaño del campo era grande, o si la reacción del tejido del paciente así lo indicaba.

Además de utilizar un factor común para todos los pacientes (1,55), se hizo un cálculo individual para cierto número de pacientes seleccionados, basado en los tiempos de tratamiento (cuando se conocían) y en la tasa de dosis medida (véase la Sección 4.1), incluyendo las dosis a órganos en riesgo. Ese grupo de pacientes incluye la mayoría de los casos descritos en la Sección 5 (efectos patológicos). Los valores se detallan en el Cuadro I.V del Apéndice I.

A fin de evaluar en qué medida la dosis por fracción, por ser superior a la normal, repercute en los efectos tardíos (crónicos), se calculó la dosis biológicamente efectiva (BED) [14-16] para una muestra reducida de pacientes, aplicando el modelo cuadrático-lineal (CL) para la muerte celular. A continuación, se utilizó la BED para obtener la dosis biológicamente equivalente si se hubiera administrado en fracciones de 2 Gy (véase el Cuadro I.VI del Apéndice I). Por ejemplo, en el caso del *Paciente N° 54*, que había recibido en la médula espinal aproximadamente 52 Gy distribuidos en 15 fracciones de 3,5 Gy cada una, se calculó que dicho tratamiento equivalía biológicamente a una dosis total de unos 72 Gy administrados en 36 fracciones de unos 2 Gy cada una. Esto reviste una importancia especial si se comparan las dosis de tolerancia de los tejidos. Este tipo de comparaciones de dosis equivalentes sólo pueden aplicarse a las reacciones tardías de los tejidos normales, para las que no se prevén efectos resultantes del tiempo total.

En casos extremos, como el del *Paciente N° 44*, a quien se aplicaron sólo dos fracciones de una dosis superior a 10 Gy por fracción, el resultado del cálculo CL con la BED para obtener la dosis equivalente de 2 Gy/fracción sólo sirvió de valor aproximado, puesto que la altísima dosis por fracción rebasaba el margen de validez del modelo, que por regla general se considera aplicable entre 1 y 10 Gy/fracción.

Con el modelo CL se tomaron los siguientes cocientes alfa/beta de las reacciones tardías del tejido normal, sin tener en cuenta el tiempo global del tratamiento: 2 Gy para el sistema nervioso central, 3 Gy para la piel y 5 Gy para el intestino.

## **5. EFECTOS CLINICOS DE LA EXPOSICION DE PACIENTES A LA RADIACION**

### **5.1. INTRODUCCION**

La evaluación de los expertos incluyó el examen de 70 de los 73 pacientes sobrevivientes y de la información disponible sobre los pacientes fallecidos en los 9 meses anteriores. En el Apéndice II se detallan los resultados concretos de estos exámenes. Al menos dos médicos del Grupo de Expertos (generalmente tres) examinaron a cada paciente, siempre en presencia de un médico de Costa Rica. Los resultados obtenidos en todos los pacientes, que constan en el presente informe, son el resultado de dichos exámenes y de las conclusiones alcanzadas por consenso de los médicos. Estas conclusiones se adoptaron con independencia de los resultados obtenidos por la OPS en sus investigaciones, a las que el Grupo de Expertos sólo tuvo acceso después de finalizar su propia evaluación. Todos los médicos examinaron asimismo los resultados disponibles de las autopsias.

Partiendo de la clasificación temporal de efectos de la exposición a la radiación a los niveles elevados usados en la radioterapia, que se dividen en *agudos* (surgen en los 6 meses posteriores a la exposición), *subagudos* (de 6 a 12 meses después de la exposición) y *crónicos* (a partir de 12 meses después de la exposición), se observó que los pacientes sobrevivientes irradiados en el accidente padecían sobre todo secuelas subagudas y crónicas.

Muchos de los pacientes con sobreexposición presentaron al principio úlceras epiteliales, mucositis grave, náuseas, vómitos y diarrea, aunque la índole de los síntomas agudos iniciales dependía de la zona irradiada del cuerpo. Muchos de los efectos antedichos han remitido, pero otros persisten.

En general, los efectos observados en los pacientes que examinó el Grupo de expertos, así como los que se prevé que surgirán en el futuro, se deben a la sobreexposición de determinados tejidos sensibles o a una disminución del riego sanguíneo vascular. (La mayoría de las secuelas crónicas de la exposición a la radiación se deben a un estrechamiento irreversible de los vasos sanguíneos menores (arteriolas); al aumentar el grosor de las paredes de las arteriolas se reduce el espacio luminal y disminuye el riego vascular, debido a lo cual los tejidos pueden perder espesor, atrofiarse, o sufrir necrosis si la disminución del riego sanguíneo es drástica.

Las alteraciones vasculares pueden ser progresivas y persistir durante años después de la exposición a la radiación). Por tanto, es evidente que esos pacientes padecerán secuelas que aún no se han manifestado. Sin embargo, las secuelas futuras se podrían pronosticar en cierta medida si se conocieran mejor las condiciones de la exposición.

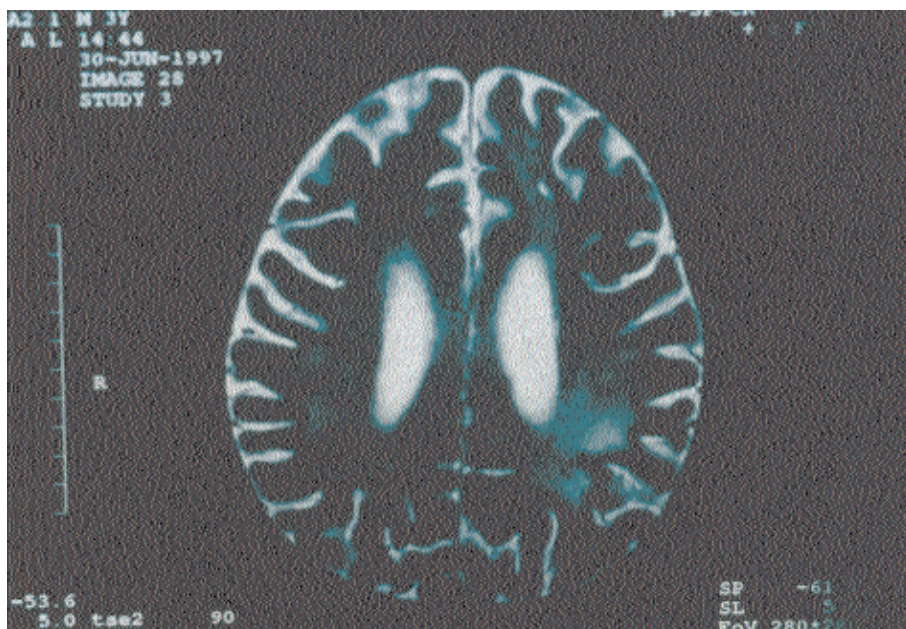
Varios factores dificultaron la evaluación de todos los pacientes. Una de las tareas clave fue diferenciar entre las secuelas imputables a la radiación y los efectos causados por afecciones malignas. A menudo se pueden determinar los efectos de la radiación si se conoce el grado de radiosensibilidad de los tejidos, la cronología sintomática de la radiación, la dosis de radiación, el sistema de fraccionamiento, la localización de la radiación y el tamaño del campo. Si bien la quimioterapia puede potenciar los efectos de la radiación, sólo unos pocos pacientes afectados habían recibido simultáneamente quimioterapia.

Como consta en la Sección 1, la muerte de células normales por efecto de la radioterapia puede reducirse al mínimo utilizando muchos campos de radiación y fraccionando el tratamiento, para que la incidencia de complicaciones graves siga siendo admisible. Si la dosis total rebasa el nivel normal se eliminan más células. También se eliminan más células si se reduce la cantidad de fracciones y se aumenta en la misma medida la dosis por fracción, aunque la dosis total no varíe. En el accidente en cuestión intervinieron ambas circunstancias. Para muchos tejidos, la reducción de la cantidad de fracciones y el aumento de la dosis por fracción conduce a un aumento de los efectos crónicos mucho mayor que el de los efectos agudos. En esas condiciones, si se toma el índice de efectos agudos para pronosticar los efectos crónicos se subestimaría el verdadero alcance de las secuelas.

En el caso que se estudia, el Grupo de Expertos observó disparidades en las prácticas y los protocolos de radioterapia aplicados a la misma enfermedad. Algunos de los protocolos abarcaban campos muy grandes con el tratamiento de un mismo campo en días alternos. En más de la mitad de los tratamientos de radioterapia recetados se había prescrito una cantidad de fracciones inferior a la práctica aceptada; estas prácticas agravaron sin duda algunas secuelas debidas a la radiación (véase la nota 1).

Los graves problemas físicos actuales ocasionados por la sobreexposición de los pacientes afectan a varios sistemas orgánicos concretos: en primer lugar, el sistema nervioso central; en segundo, la piel; en tercero, el aparato gastrointestinal; por último, el sistema cardiovascular. Todos ellos revisten una importancia crucial en este accidente debido a su radiosensibilidad y porque, en general, los tumores tratados estaban en la cabeza y en el cuello, o bien en el mediastino o en la pelvis. A pesar de que el Grupo de Expertos dedicó una atención especial a dichas categorías, es posible que esos pacientes manifiesten en el futuro muchos otros efectos debidos a la radioexposición. Cada uno de los pacientes víctimas del accidente tenía un factor de riesgo diferente y por tanto debe ser evaluado individualmente, utilizando como mínimo los datos desglosados en los Apéndices y cada historial con su cuadro sintomático y evolución clínica.





*Fotografía 1. Imagen  $T_2$  de resonancia magnética nuclear (NMR) ponderada del cerebro, que muestra alteraciones de la sustancia blanca típicas de la leucoencefalopatía.*

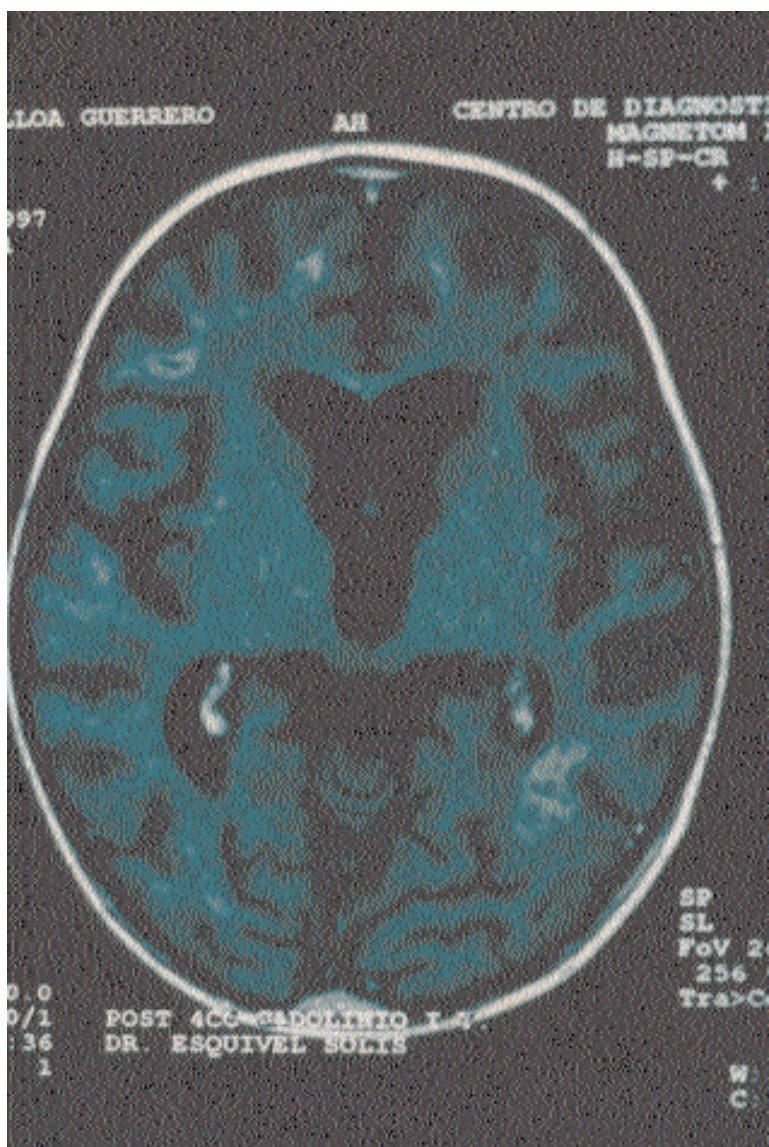
El examen realizado por el Grupo de Expertos constituye una evaluación del conjunto de los pacientes en una fecha determinada. Cualquier compensación o atención médica no debería basarse exclusivamente en el presente informe, ya que los pacientes padecieron secuelas agudas y varios de ellos fallecieron antes de abrirse la investigación. También es posible que muchos otros pacientes presenten secuelas que aún no se han manifestado.

## 5.2. SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

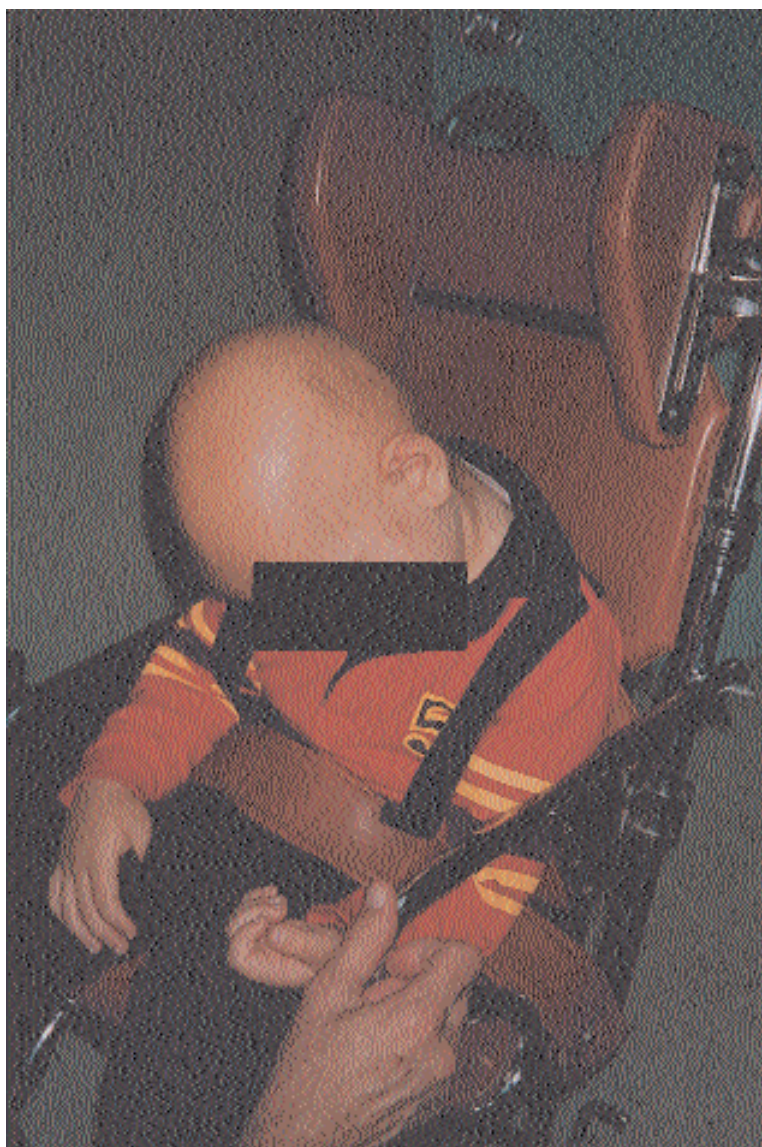
Varios pacientes acusan ya complicaciones o es previsible que las acusen en el futuro, debido a la irradiación recibida en el cerebro, la médula espinal y los nervios periféricos.

En general, la radioterapia del cerebro condujo en muchos casos a atrofia cortical [17]. Más de la mitad de los niños que recibieron de 20 a 65 Gy (con fracciones inferiores a 2 Gy/d) padecerán atrofia cortical, el 26% desarrollará alteraciones de la sustancia blanca (leucoencefalopatía) (Fotografía 1) y el 8% sufrirá calcificación. Por lo visto, cuanto menor sea la edad del niño en el momento de la





*Fotografía 2. Imagen T<sub>1</sub> NMR ponderada, que muestra las alteraciones corticales propias de la microangiopatía (zonas blanquecinas en los ángulos superior izquierdo e inferior derecho), atrofia cortical y dilatación ventricular.*



*Fotografía 3. Niño de corta edad después del tratamiento de un tumor cerebral, tras sufrir sobreexposición radioterapéutica (las Fotografías 1 y 2 corresponden a este paciente).*



irradiación tanto más grave será la atrofia. Algunos pacientes también desarrollarán microangiopatías mineralizantes (Fotografía 2). Los resultados clínicos posteriores a la radioterapia habitual pueden manifestarse en forma de bajo rendimiento escolar y una disfunción de la glándula pituitaria y del hipotálamo. En caso de sobreexposición las secuelas pueden ser graves, entre ellas letargia, ataxia, espasticidad y demencia progresiva (Fotografía 3). El methotrexate y otra quimioterapia administrada antes, durante o después de la radioterapia puede aumentar la gravedad de las alteraciones cerebrales imputables a la radiación.

La necrosis cerebral es una complicación grave e irreversible de la vasculopatía inducida por la radiación. Por lo general suele diagnosticarse de 1 a 5



*Fotografía 4. Paciente sometido a tratamiento por carcinoma próximo al ojo derecho, que ahora sufre sordera y drenaje del oído derecho.*

años después de la irradiación, pero puede manifestarse hasta diez años después. La probabilidad de necrosis imputable a la radiación es moderada si la terapia rebasa 40 Gy en 10 fracciones, 50 Gy en 20 fracciones o 60 Gy en 30 fracciones repartidas durante 5 semanas o si cada una de las fracciones rebasa 3 Gy. La probabilidad de necrosis es muy alta si el tratamiento rebasa 50 Gy en 15 fracciones, 60 Gy en 20 fracciones o 70 Gy en 30 fracciones. Los síntomas de la necrosis cerebral incluyen cefalalgia, aumento de la presión endocraneal, accesos cerebrales, insuficiencias sensoriales y trastornos mentales.

Más del 20% de los pacientes que reciben 42 Gy en 15 fracciones, 55 Gy en 25 fracciones, 60 Gy en 30 fracciones o 70 Gy en 40 fracciones pueden presentar asimismo lesiones del nervio óptico y ceguera entre 1 y 5 años después de la sobreexposición.

También se conocen casos de pérdida auditiva tras la irradiación. Son poco frecuentes los casos de pérdida auditiva neurosensorial cuando se aplican sistemas estándar de fraccionamiento y dosis de 55 Gy o inferiores, pero sí son frecuentes cuando se administran dosis totales de 65 Gy distribuidas en fracciones estándar (Fotografía 4). Las dosis superiores o los fraccionamientos menores también pueden provocar necrosis de los osículos.

Durante los próximos años, cierto número de pacientes examinados correrán riesgo de sufrir necrosis cerebral o pérdida auditiva (y ceguera, al menos en un caso). Los números de referencia y los detalles de la terapia de los pacientes de este grupo son los siguientes:

- 1) *Paciente N° 109*: de aproximadamente 3 años de edad, recibió 58 Gy en 20 fracciones en el cráneo, tratamiento que se calcula equivale biológicamente a unas 36 fracciones de 2 Gy cada una, con una dosis total de unos 72 Gy (véanse los Cuadros I-VI);
- 2) *Paciente N° 105*: niño, se le administraron 50 Gy en 18 fracciones en el cráneo;
- 3) *Paciente N° 58*: de 30 años, se le administraron 58 Gy en 22 fracciones en la fosa posterior;
- 4) *Paciente N° 54*: de 35 años, se le administraron 60 Gy en 25 fracciones en la fosa posterior, y 52 Gy en 15 fracciones en la médula espinal; se estima que el primer tratamiento equivale biológicamente a unas 33 fracciones de 2 Gy cada una, con una dosis total de unos 66 Gy;
- 5) *Paciente N° 47*: de 38 años, se le administraron 68 Gy en 28 fracciones en la región pituitaria;
- 6) *Paciente N° 106*: niño, se le administraron 63 Gy en 25 fracciones en la fosa posterior.

La irradiación de la médula espinal puede producir mielitis temporal o permanente. La mielitis temporal aguda se manifiesta a menudo de 2 a 4 meses

después de la irradiación. Por lo visto, las lesiones se deben a una desmielinación temporal de las neuronas motoras ascendentes. Los pacientes aquejados de mielitis exhibían normalmente el signo de Lhermitte, que se manifiesta en la flexión del cuello y otros movimientos corporales que estiran la médula espinal. La mielopatía temporal remite entre las 8 y las 40 semanas y no siempre degenera en necrosis tardía.

La mielopatía tardía se manifiesta tras un período latente medio de 20 meses, aunque puede presentarse antes si la dosis total y las dosis por fracción son elevadas. Por lo general se caracteriza por un deterioro discontinuo, y es irreversible. En las regiones cervical y torácica se desarrolla una disociación sensorial, seguida de paresia espástica y luego flácida. En la médula espinal lumbar predomina la paresia flácida. La mortalidad es muy alta y depende del lugar irradiado de la médula espinal. La mortalidad por lesiones cervicales o en la región superior dorsal se eleva al 70%, y la muerte se produce por neumonía o por infección de las vías urinarias.

Aproximadamente el 10% de todos los pacientes tienen un riesgo muy alto de desarrollar secuelas en la médula espinal; algunos ya están aquejados de parálisis. La médula espinal es bastante radiosensible y la sobreexposición puede tener efectos nefastos. Al igual que en otros tejidos, son tan importantes la dosis total como la cantidad de fracciones y el volumen (o longitud) irradiado de la médula espinal. El tiempo total durante el cual se distribuye la radiación tiene una influencia mínima si se compara con el factor de la dosis por fracción (cantidad de fracciones). La fuente de referencia [18] ha publicado los siguientes datos sobre las curvas de tolerancia para una incidencia de mielopatía torácica del 25–50%:

<i>Dosis/fracción (Gy)</i>	<i>Dosis total</i>
1	80
2	60
3	40
4	35
5	30-35
6	25

Entre los pacientes que examinó el Grupo de Expertos hay algunos que recibieron alrededor de 47 Gy (en 11 fracciones, a 4,3 Gy por fracción), entre ellos el *paciente N° 97*. A juzgar por los datos anteriores, la dosis que recibió este paciente es muy superior al nivel de tolerancia de la dosis total aplicable a la médula espinal (unos 30-35 Gy para esta dosis por fracción). El *paciente N° 80* recibió 50 Gy en 16 fracciones (unos 3,1 Gy por fracción), cuando la dosis total tolerable para este tamaño de fracción es de 40 Gy. En ambos casos los pacientes están paralizados. Hay otros pacientes examinados por el Grupo de Expertos que no sufren parálisis, pero que tienen una alta probabilidad de quedar paralizados.

Estos son ejemplos de pacientes en el grupo de alto riesgo o que ya sufren problemas de ese tipo:

- a) *Paciente N° 54:* recibió 52 Gy en 15 fracciones de 3,5 Gy por fracción en la columna vertebral, con lo cual el paciente está en el grupo de riesgo superior al 25-50%;
- b) *Paciente N° 41:* recibió 57 Gy en 15 fracciones de 3,8 Gy por fracción; con este fraccionamiento, una dosis que supere los 40 Gy resulta muy peligrosa. El paciente mostró síntomas de parálisis parcial incipiente (*posteriormente falleció*);
- c) *Paciente N° 40:* recibió 51 Gy en 17 fracciones de 3 Gy por fracción en la médula espinal, cantidad que supera en mucho la dosis total de 35-40 Gy (con un índice de complicación del 25-50%). La paciente presentaba los primeros síntomas de una lesión de la médula espinal, y posteriormente ha sufrido graves problemas neurológicos.

La radiación puede afectar a los nervios periféricos, aunque en general son bastante resistentes. Las dosis de unos 50 Gy repartidas en 25 fracciones a lo largo de 5 semanas pueden provocar lesiones del plexo braquial al 5% de los pacientes.



*Fotografía 5. Descomposición de la piel en el pliegue glúteo, debida a sobreexposición.*

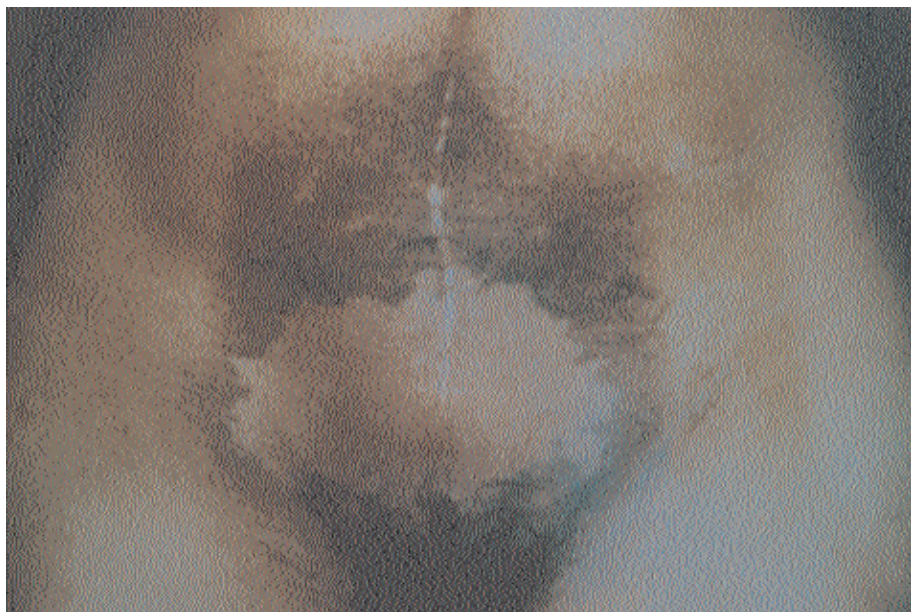




*Fotografía 6. Ulceración grave incurable (necrosis de grado 3) de la vulva, debida a sobreexposición. La dosis recibida fue de unos 30 Gy en dos fracciones de 15 Gy cada una.*



*Fotografía 7. Fibrosis cutánea, atrofia y pigmentación graves sobre el sacro. La piel se resquebraja al menor trauma y no cura con facilidad. La mayoría de estos pacientes también sufrían de afecciones del nervio del plexo sacro y del intestino.*



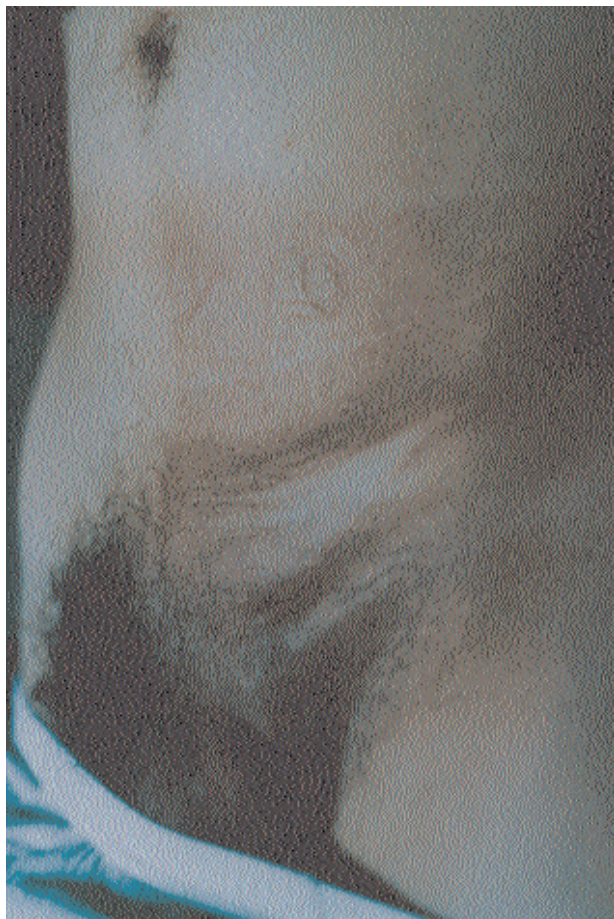
*Fotografía 8. Pigmentación excesiva con cicatrización central de la piel. La sobreexposición del intestino muy sensible situado debajo ha ocasionado graves complicaciones, entre ellas diarrea sanguinolenta crónica, obstrucción intestinal y anemia.*

Muchos pacientes que examinó el Grupo de Expertos se quejaron de dolores en la región sacra; habían recibido dosis elevadas de radiación en el sacro. Es posible que la cicatrización en la zona de los nervios haya producido una neuropatía. Tales problemas no son comunes, puesto que en muchos países se ha sustituido el tratamiento de caja para tumores pélvicos por técnicas giratorias. No obstante, en todos los casos de los pacientes examinados se había recurrido a la técnica de caja.

### 5.3. PIEL

Al aplicar dosis altas de radiación, la reacción exudativa aguda de piel suele ir seguida por una regeneración temporal. La curación de la reacción inicial no debe tomarse como señal de que no ha habido una fuerte sobreexposición ni de que se pueden descartar reacciones tardías. Las repercusiones en el tejido epitelial pueden manifestarse 6 meses después de la exposición a la radiación e ir desarrollándose lentamente durante un período de hasta 10 años. Entre las posibles alteraciones cabe mencionar la telangiectasia, la pigmentación semitranslúcida seca de capa fina (a veces, despigmentación) y fibrosis acompañada de restricciones motoras. Las áreas de la piel húmedas y sometidas a fricción, como la axila, la ingle y los pliegues cutáneos, son las más sensibles (Fotografía 5). Con los cambios crónicos provocados





*Fotografía 9. Fibrosis subcutánea grave, pigmentación y epilación permanente tras la irradiación de la zona inguinal izquierda. Asimismo, debido a la sobreexposición la capacidad de movimiento de la cadera izquierda ha quedado reducida.*

por la radiación, la piel se resquebraja debido a un trauma menor (mecánico y ultravioleta). La piel se infecta con facilidad, es difícil de curar y puede haber ulceración crónica (Fotografía 6). Este tipo de úlceras no se curan del todo y exigen un tratamiento dermatológico intenso y prolongado, o cirugía plástica. Además, hay que considerarlas como precancerosas.

Con las técnicas de radioterapia de megavoltaje, la fibrosis subcutánea es el indicio más frecuente de que se ha rebasado la tolerancia de la piel. Por lo general se trata de una placa endurecida bajo la superficie pigmentada de la piel (Fotografía 7), y es más acusada donde hay una capa adiposa subcutánea (Fotografías 8 y 9). La tasa de reacciones en la piel depende en gran medida de la cantidad de fracciones de



*Fotografía 10. Paciente con epilación permanente como resultado de la sobreexposición, y con riesgo elevado de necrosis cerebral tardía y lesiones en la columna vertebral.*



*Fotografía 11. Otro paciente con epilación permanente como resultado de la sobreexposición, y con riesgo elevado de necrosis cerebral tardía y lesiones en la columna vertebral.*

tratamiento y del volumen irradiado. Por ejemplo, el 20% de las pacientes de postmastectomía a las que se administraron 46 Gy (a razón de 1,9 Gy/fracción) con cinco fracciones estándar por semana desarrollan una fibrosis grave, porcentaje que se eleva al 80% en pacientes que recibieron 52 Gy (a razón de 2,1 Gy/fracción). Estas cifras se pueden comparar con los datos de tratamientos de dos fracciones por semana, tras los cuales el 20% de los pacientes que recibieron 37 Gy (a razón de 3,7 Gy/fracción) sufrieron una fibrosis grave, porcentaje que se eleva al 80% en los que recibieron 41 Gy (a razón de 4,1 Gy/fracción).

Muchos de los pacientes examinados habían recibido en la piel dosis superiores a 52 Gy, a menudo distribuidas en menos de 20 fracciones, lo cual agravó aún más las secuelas, causando fibrosis grave, con fijación de la piel en algunos pacientes y necrosis de la piel en otros. En muchos pacientes examinados, las secuelas en la piel se agravaron al ser tratadas en el campo anterior un día y en el campo posterior al día siguiente, en vez de recibir tratamiento cada día en cada campo. Con dicha práctica se redujo a la mitad la cantidad de fracciones de piel y tejido epidérmico superficial registradas en la hoja médica, factor que hay que tener en cuenta al estudiar las dosis totales.

A menudo se reanuda el crecimiento del pelo aunque las dosis de radiación administradas a la piel hayan sido elevadas. En un grupo de pacientes, la epilación fue permanente, prueba de que las dosis que recibieron en la piel fueron muy altas (Fotografías 10 y 11). Cabe citar los siguientes ejemplos:

- 1) *Paciente N° 44*: recibió 31 Gy en dos fracciones de 15,5 Gy cada una. Desarrolló una ulceración en ambos lados de la vulva. Se calcula que ese tratamiento equivale biológicamente a unas 57 fracciones de 2 Gy/fracción con una dosis total superior a 110 Gy (habida cuenta de las limitaciones del modelo CL para un cociente tan elevado de dosis/fracción, según se indica en la Sección 4.7.2).
- 2) *Paciente N° 8*: recibió 70 Gy en 20 fracciones, pero con un tratamiento en días alternos. De hecho, se administró a la piel 56 Gy en 10 fracciones, es decir, 5,6 Gy por fracción. Desarrolló fibrosis sacral grave.
- 3) *Paciente N° 62*: recibió más de 43 Gy en 15 fracciones (más de 2,85 Gy por fracción). Es posible que el tratamiento se hiciera con alternancia de campos, en fracciones de al menos 6,2 Gy cada una en la piel. Desarrolló fibrosis sacral grave.
- 4) *Paciente N° 39*: recibió unos 58 Gy en 14 fracciones de unos 4,1 Gy cada una. Desarrolló una grave fibrosis inguinal profunda y reducción de la capacidad de movimiento, así como epilación permanente.
- 5) *Paciente N° 106*: niño, recibió 62 Gy en 25 fracciones (2,5 Gy cada una) en campos alternos, y sufre epilación permanente.
- 6) *Paciente N° 109*: niño, recibió 58 Gy en 20 fracciones (3 Gy cada una) en el cráneo, y sufre epilación permanente.



## 5.4. SISTEMA GASTROINTESTINAL

El intestino es muy radiosensible. En el accidente, cierto número de pacientes recibieron dosis relativamente altas de radiación repartidas en pocas fracciones en campos extensos del abdomen inferior. Las lesiones crónicas graves por radiación del intestino delgado suelen manifestarse con estreñimiento y dolores abdominales, acompañados a menudo por estenosis y síntomas agudos en el abdomen con ulceración, infarto, fístulas y perforación. Las lesiones del intestino delgado sólo se pueden tratar quirúrgicamente, y las lesiones menores también pueden manifestarse con síndrome de malabsorción acompañado de anemia.

Las lesiones de recto y colon sigmoide por radiación suelen causar hemorragia rectal de 6 a 12 meses después de la irradiación. Si la lesión abarca el colon sigmoide a menudo se manifiesta en forma de diarrea sanguinolenta. Su tratamiento suele ser conservador y se desaconseja la cirugía; incluso una biopsia puede provocar hemorragia masiva. También puede producirse estenosis rectal. El Cuadro III [18] muestra el sistema de puntuación para clasificar las lesiones del intestino. La curva dosis-efecto de las complicaciones graves del intestino grueso es muy pronunciada. Con el tratamiento de fraccionamiento estándar hay un 10% de complicaciones graves si se aplican 50 Gy y un 40% si se aplican 60 Gy. Si se aplican fracciones mayores se producirán más efectos crónicos que agudos. Asimismo, el índice de complicaciones está en función directa del volumen tratado. A estos pacientes se les aplicó a menudo un campo de tratamiento más extenso.

Como ejemplos de pacientes examinados que presentaban este tipo de complicaciones cabe citar:

- 1) *Paciente N° 83*: recibió una dosis total de 72 Gy (AP/PA) en 25 fracciones en el intestino y 12 Gy en campos laterales en 5 fracciones. Reaccionó con hemorragia rectal continua, diarrea, anemia y pérdida de peso. Se calcula que su tratamiento equivale biológicamente a unas 50 fracciones de 2 Gy cada una con una dosis total de unos 100 Gy en el intestino.
- 2) *Paciente N° 78*: recibió 68 Gy en 25 fracciones en la pelvis (2,7 Gy por fracción). Reaccionó con diarrea continua y desarrolló una úlcera cutánea infectada de  $2 \times 2$  cm.
- 3) *Paciente N° 85*: recibió más de 49 Gy en 18 fracciones en campos tratados en días alternos. Reaccionó con dolor rectal acompañado de ulceración y úlcera perirrectal.
- 4) *Paciente N° 8*: recibió 56 Gy en 20 fracciones (2,8 Gy por fracción), en campos tratados en días alternos. Reaccionó con diarreas esporádicas.
- 5) *Paciente N° 44*: recibió 25 Gy en 2 fracciones en el intestino (12,5 Gy por fracción). Se calcula que su tratamiento equivale biológicamente a unas 31 fracciones de 2 Gy cada una, con una dosis total de unos 62 Gy.

CUADRO III. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE MORBILIDAD AGUDA Y TARDIA ((RTOG/EORTC) [18])<sup>a,b</sup>

Organo/tejido	Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
<i>Criterios de clasificación de morbilidad aguda</i>					
Aparato gastrointestinal superior	Sin cambios	Anorexia con ≤5% de pérdida de peso respecto al peso anterior al tratamiento; náusea que no requiere antieméticos; molestia abdominal que no requiere medicamentos parsimpatolíticos ni analgésicos	Anorexia con >15% de pérdida de peso respecto al peso anterior al tratamiento; náusea y/o vómito que requiere antieméticos; dolor abdominal que requiere analgésicos	Anorexia con >15% de pérdida de peso respecto del peso anterior al tratamiento que requiere sonda nasogástrica o soporte parenteral; vómito que requiere sonda nasogástrica o soporte parenteral; dolor abdominal agudo pese a recibir medicamentos; hematemesis o melena; distension abdominal (radiografía de placa plana muestra asas intestinales distendidas)	Ileon, obstrucción subaguda o aguda, perforación, hemorragia gastrointestinal que requiere transfusión; dolor abdominal que requiere descompresión o desviación intestinal
Aparato gastrointestinal inferior, incluida pelvis	Sin cambios	Frecuencia creciente o cambio cualitativo de los hábitos de evacuación intestinal que no requiere medicamentos; molestia rectal que no requiere analgésicos	Diarrea que requiere medicamentos parsimpatolíticos; descarga de mucosidad que no precisa de paños higiénicos; dolor rectal o abdominal que requiere analgésicos	Diarrea que requiere soporte parenteral; grave descarga de mucosidad o sangre que requiere paños higiénicos; distensión abdominal (radiografía de placa plana muestra asas intestinales distendidas)	Obstrucción aguda o subaguda, fístula o perforación, hemorragia gastrointestinal que requiere transfusión; dolor abdominal o tenesmo que requiere descompresión o desviación intestinal
<i>Criterios de clasificación de morbilidad tardía</i>					
Intestino delgado/grueso	Ninguno	Diarrea leve; espasmos leves; evacuación cinco veces al día; leve descarga o hemorragia rectal	Diarrea y colico moderados; evacuación más de cinco veces al día; mucosidad rectal excesiva o hemorragia esporádica	Obstrucción o hemorragia que requiere cirugía	Necrosis; perforación; fístula

CUADRO III. (cont.)

Organo/tejido	Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
Hígado	Ninguno	Fatiga leve; náusea; dispepsia; leves anomalías de función hepática	Síntomas moderados; resultados anómalos en algunas pruebas de funciones hepáticas; seroalbúmina a a nivel normal	Insuficiencia hepática inhabilitante; anomalías grandes en pruebas de funciones hepática inhabilitante; anomalías grandes en pruebas de funciones hepáticas; bajo nivel de albúmina; edema o ascites	Necrosis; coma hepático; encefalopatía

<sup>a</sup> Datos del Cuadro 11.1 (pág. 321) de la Ref. [18] reproducidos en este informe con autorización de Springer-Verlag, Heidelberg (Alemania).

<sup>b</sup> Grado 5: muerte directamente atribuible a los efectos de la radiación.

5.5. SISTEMA CARDIOVASCULAR

Se han detectado casos de pacientes tratados por la enfermedad de Hodgkin que sufrieron alteraciones cardíacas debido a la radiación. Las cardiomiopatías son poco frecuentes si se aplican sistemas de fraccionamiento estándar y dosis inferiores a 40 Gy. Si la dosis es superior, hasta la mitad de los pacientes sufrirá pericarditis. Si es superior a 60 Gy (fraccionamiento estándar) más del 50% de los pacientes presenta complicaciones. Al aumentar la dosis por fracción aumenta notablemente el índice de complicaciones y éstas revisten mayor gravedad. Al aplicar 50 Gy con radioterapia de fraccionamiento estándar (2 Gy/fracción), la función ventricular se reduce en el 25–30% de los pacientes. Los derrames de pericardio debidos a la radiación suelen manifestarse de 1 a 6 meses después de la irradiación en más del 50% de los pacientes

sometidos a más de 60 Gy con radioterapia de fraccionamiento estándar (Fotografía 12). Al menos uno de los pacientes examinados exhibió síntomas inequívocos de pericarditis y derrame de pericardio que requirió cirugía. El *paciente N° 40*, al que se administraron 53 Gy en 17 fracciones (3,1 Gy por fracción) en el mediastino, sufrió un derrame de pericardio.

La radiación puede afectar también a los principales vasos sanguíneos. Provoca un aumento de las afecciones de la arteria coronaria y de la arterioesclerosis de las arterias carótidas, vasos braquiales, aorta y vasos pélvicos. Este tipo de anomalías suelen producirse de 3 a 10 o más años después de la irradiación.

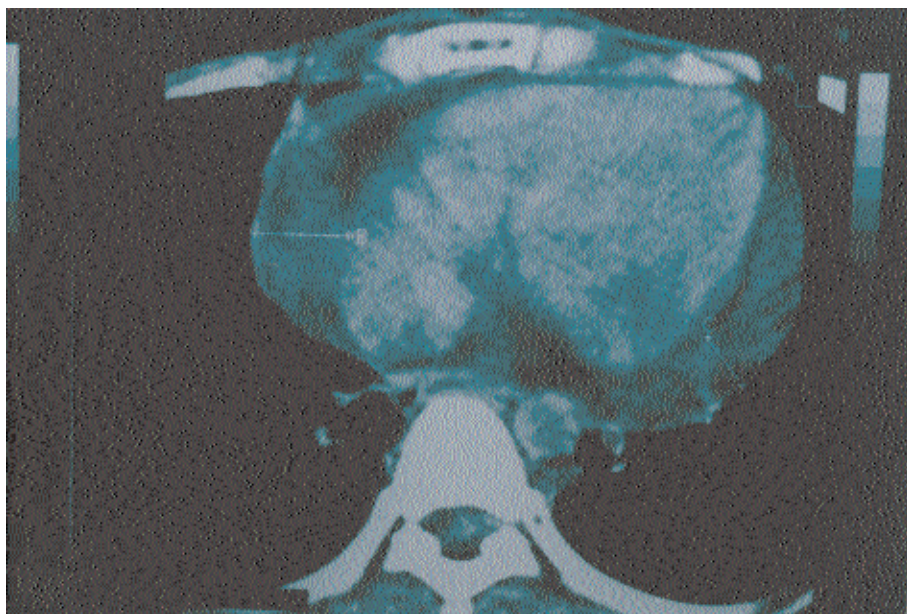
Se prevé que cierto número de pacientes examinados sufrirán estas complicaciones tardías. El 30% de los pacientes que recibieron en el cuello 50 Gy de radiación en fraccionamiento estándar (de 20 a 25 fracciones) sufrirá lesiones leves o graves, frente al 6% de los pacientes de control. Esto equivale a 2–2,5 Gy por fracción. El 10% de los pacientes cuyo seminoma fue tratado con 26 Gy de radioterapia con fraccionamiento estándar tendrá anomalías vasculares.

Cabe reseñar los siguientes ejemplos de pacientes que presentan dichas características:

- 1) *Paciente N° 39*: en tratamiento por seminoma, recibió 58 Gy en la zona inguinal en 14 fracciones (4,1 Gy por fracción) (probable afección de la arteria femoral y necrosis aséptica de cadera);
- 2) *Paciente N° 26*: recibió 54 Gy en el cuello en 14 fracciones (3,9 Gy por fracción) (probable afección de la arteria carótida);
- 3) *Paciente N° 97*: recibió 47 Gy en el cuello en 11 fracciones (4,3 Gy por fracción) (probable afección de la arteria carótida);
- 4) *Paciente N° 70*: recibió 72 Gy en el lado izquierdo del cuello en 25 fracciones (probable afección de la arteria carótida).

## 5.6. SUBEXPOSICION DE PACIENTES

Otro problema que quizá no se valore debidamente es el tratamiento insuficiente debido a que, después de que se detectara el problema con la fuente, los tratamientos se suspendieron y no llegaron a reanudarse. Aunque la mayoría de los pacientes que estaban empezando la terapia en la fecha en que se descubrió el error sí recibieron la terapia adicional necesaria, hubo al menos dos pacientes que no la recibieron, por lo cual probablemente su terapia no ha sido óptima. Al menos uno de estos casos se debió a la elección del propio paciente, y no a que no se le ofreciera la posibilidad de someterse a una terapia suplementaria.



*Fotografía 12. Radiografía de tomografía computarizada de un paciente con derrame de pericardio*

## 5.7. EFECTOS SICOSOCIALES

Los pacientes sometidos a radioterapia pertenecen a un grupo social de recursos económicos modestos, con una media mensual de ingresos de unos 160 dólares de los Estados Unidos de América. Su nivel de educación es básico y en su mayor parte viven en zonas rurales o suburbanas. La mayoría de los pacientes eran mujeres (un 60%) dedicadas a las labores del hogar, mientras que la mayoría de los hombres eran campesinos. En este grupo demográfico las familias tienen un promedio de cinco hijos. Además, entre los pacientes irradiados también había niños, que tuvieron la mayor mortalidad en el período inmediatamente posterior al accidente; en su mayor parte eran niños escolarizados en centros estatales.

Los problemas sicosociales relacionados con el accidente son obvios: (1) la cuestión de la radioexposición sin efectos somáticos; (2) cuestiones derivadas del hecho de haber estado involucrado en un accidente; y (3) cuestiones relativas a los efectos directos de la radiación en los tejidos.

Los pacientes que sufren una exposición accidental a cualquier nivel de radiación pueden estar preocupados debido a su falta de conocimientos sobre la radiación. A menudo se puede paliar esta inquietud mediante la información y la educación. Se estima que muchas personas que se han visto involucradas en un accidente padecen síndrome de estrés postraumático (PTSD). La experiencia



adquirida tras estudiar a la población de la región de Chernobil en la antigua URSS ha demostrado que los efectos y los síntomas propios del PTSD son algo diferentes. El PTSD surge después de un incidente repentino, a gran escala y pasajero, por ejemplo un terremoto. Tras estudiar los aspectos psicológicos de Chernobil se propuso la expresión “síndrome crónico de estrés ambiental”, resultante de la existencia continua a la contaminación radiactiva ambiental y de la exposición a ella.

En el accidente que nos ocupa, y en otros casos de sobreexposición grave, los pacientes viven sabiendo que pueden pasar años hasta que hayan superado las posibles secuelas, o incluso hasta que éstas empiecen a manifestarse. Puede que muchos pacientes víctimas de este accidente que tuvieron una sobreexposición del cráneo y la columna padezcan secuelas neurológicas graves, entre ellas cuadriplejía, que exigirán una atención sicosocial de primer orden. Existe una tercera categoría compuesta por muchos pacientes que fueron sometidos a una sobreexposición muy alta de la pelvis y que aún sufren graves diarreas hemorrágicas; esta afección y el hecho de tener que usar pañales médicos socava su autoestima y les impide hacer una vida normal. Por último, a diferencia de muchos otros accidentes por radiación, la mayoría de estos pacientes ya estaban bajo una gran tensión debido a los tumores que padecían. Muchos sabían que su esperanza de vida era limitada debido a un neoplasma, y el accidente agravó esa circunstancia. En el caso de otros pacientes, su esperanza de vida se redujo y su calidad de vida empeoró considerablemente.

Los pacientes afectados por este accidente han formado un comité de autoayuda, factor alentador y señal positiva digna de estímulo. Casi todos los pacientes que examinó el Grupo de Expertos hicieron gala de sensatez, aunque expresaron inquietud por su futuro y por los riesgos y las secuelas resultantes de la radiación. Cabe encomiar al Ministerio de Salud por la rapidez con que informó del accidente a la población. A pesar de la franqueza que han demostrado las autoridades, muchos pacientes han perdido la confianza en el sistema sanitario por la falta de medidas para paliar sus problemas y resolver sus quejas. Además, algunos ya no confiaban plenamente en algunos de sus médicos. Por lo visto, esto se debe enteramente a ciertos médicos, y puede explicarse por el hecho de que, cuando los pacientes empezaron a quejarse de que sufrían efectos secundarios graves durante el tratamiento, consideraron que no se les hizo caso o no se les concedió la debida importancia.

La actitud y las actividades de los familiares de muchos pacientes causaron honda impresión en el Grupo de Expertos. Muchos familiares estaban preocupados y dedicaron mucho tiempo y energías a superar las consecuencias directas del accidente; en muchos casos la atención médica intensiva que requerían los pacientes les causaba ansiedad y agobio, y en muchos casos los propios familiares necesitaban apoyo psicológico, social y práctico.

El Grupo de Expertos recibió informes según los cuales algunos pacientes que ya antes del accidente tenían problemas psicológicos, tales como depresiones,

consideraban que esos problemas habían reaparecido o se habían agravado a consecuencia del accidente. El síntoma de la depresión es muy complejo. Muchos pacientes sometidos a radioterapia o que han estado involucrados en accidentes se quejan de fatiga. Se puede discutir si se trata de una consecuencia directa de la radiación, de un síntoma psicológico de tensión o de una enfermedad conexas. Actualmente se considera que este síntoma es de índole pluridimensional y de origen múltiple. Según los textos especializados en la materia, el 70% de los pacientes sometidos a radioterapia acusan fatiga, algunos de ellos mucho después de finalizado el tratamiento. Asimismo, hay pruebas de que la psicoterapia puede aliviar estos síntomas. Como ejemplo del alcance del impacto psicológico, 5 años después del accidente de Chernobyl más del 80% de las personas encuestadas se quejaban de fatiga, incluso en aldeas donde prácticamente no había contaminación radiactiva.

### Parte III

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Este accidente ha confirmado una serie de experiencias bien conocidas a raíz de incidentes anteriores y también ha enseñado lecciones concretas. Las experiencias aleccionadoras más genéricas pueden resumirse de la forma siguiente:

- 1) Por lo general, la investigación de accidentes de radiación revela deficiencias que deberían corregirse;
- 2) En centros médicos pueden producirse accidentes de radiación con secuelas graves o incluso letales;
- 3) El error humano es la causa más frecuente de los accidentes de radiación;
- 4) Una máquina en buen estado de funcionamiento no garantiza un tratamiento adecuado de radioterapia; para ello, es indispensable disponer de equipos auxiliares y de formación, capacitación, personal y gestión adecuados;
- 5) Los accidentes de radiación puede provocar importantes secuelas sicosociales a corto y a largo plazo;
- 6) Los protocolos de radioterapia admitidos permiten un margen mínimo de error, puesto que se eliminan tanto células normales como malignas; las sobredosis altas (con un error muy superior al 10%) conllevan una tasa inadmisible de secuelas graves;
- 7) La radioterapia administrada en un número de tratamientos inferior al normal pero con dosis superiores en cada tratamiento conduce a un número excesivo de complicaciones a corto plazo y sobre todo a largo plazo;
- 8) Cuando se reemplazan fuentes de radiación para terapia, la calibración deben hacerla personas debidamente capacitadas, y se debe controlar de forma independiente;
- 9) La normativa debe regular el nivel de capacitación y de competencia precisas para manipular fuentes de radiación potencialmente peligrosas;
- 10) Una vez que las personas que trabajan en una unidad de radioterapia dispongan de una formación elemental sólida, deben recibir una capacitación especializada, no limitada a la mera asistencia a cursillos ocasionales de breve duración;
- 11) Cuando exista alta incidencia o gravedad de síntomas agudos durante el tratamiento de radioterapia, hay que interrumpir el tratamiento y controlar la calibración de la fuente inmediatamente;
- 12) En los accidentes de radioterapia, es posible que la dosis administrada a un tumor no sea el parámetro más importante. A menudo, para estructuras delicadas tales como la médula espinal, el corazón y el intestino es más importante la dosis biológicamente equivalente de 2 Gy/fracción de dosis (la

dosis que habría sido biológicamente equivalente si se hubiera administrado en fracciones de 2 Gy);

- 13) La comunicación e información rápidas y fiables son indispensables para la buena gestión de los accidentes de radiación;
- 14) Los expedientes de radioterapia deberían ser uniformes, claros, congruentes y completos.

En las subsecciones que figuran a continuación se detallan las conclusiones y recomendaciones concretas para este accidente, clasificadas de acuerdo con la Publicación del CIPR N°73 [7].

## 6.2. MARCO PARA LA PROTECCION RADIOLOGICA

La protección y la seguridad radiológica en Costa Rica son correctas a nivel de justificación de la práctica pero insuficientes en varios aspectos, sobre todo en lo que atañe a la mejora de la protección, la prevención de accidentes y las medidas institucionales.

## 6.3. JUSTIFICACION DE LA PRACTICA

### 6.3.1. Conclusiones

La terapia de radiación es indiscutiblemente necesaria para la población de Costa Rica y debe aplicarse dentro del mismo país. Los pacientes evaluados fueron objeto de excelentes procedimientos de evaluación clínica, diagnóstico y preparación. Todos los pacientes sometidos a radioterapia la necesitaban sin lugar a dudas.

### 6.3.2. Recomendaciones

En este aspecto no es necesario formular recomendaciones.

## 6.4. PERFECCIONAMIENTO DE LA PROTECCION

### 6.4.1. Conclusiones

Es sabido que la radioterapia administrada en menos sesiones de lo normal y con dosis superiores por sesión conduce a demasiadas complicaciones a corto y sobre todo a largo plazo.

Existen deficiencias en el perfeccionamiento de la protección en la radioterapia practicada en Costa Rica, relacionadas con: 1) el diseño y la construcción de las instalaciones, y 2) los métodos de trabajo cotidianos:

- 1) El blindaje era insuficiente, debido a lo cual el haz orientado hacia el techo no se podía utilizar de modo seguro; por consiguiente, la geometría del tratamiento estaba muy limitada;
- 2) En la práctica cotidiana no se habían planificado las dosis o cuñas, el blindaje de órganos, los dispositivos inmovilizadores u otros equipos auxiliares adaptables a cada paciente para reducir las dosis superfluas, y con ello las complicaciones. Este factor agravó las repercusiones negativas del accidente.

#### **6.4.2. Recomendaciones**

Se recomienda a las autoridades de Costa Rica que refuercen dichos aspectos de la radioterapia, mejorando sobre todo la instalación de la unidad Alcyon II para que pueda usarse sin limitaciones, y que se aprovechen en mayor medida los elementos accesorios y los dispositivos auxiliares a fin de perfeccionar los tratamientos y adaptarlos a las necesidades de cada caso.

### **6.5. PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

#### **6.5.1. Conclusiones**

La defensa en profundidad<sup>5</sup> del servicio de radioterapia del Hospital San Juan de Dios no era adecuada. La falta de una calibración complementaria e independiente, por ejemplo para delimitar la dosis absorbida, contribuyó a que un error pasara inadvertido hasta que hubo un accidente. Si se hubiera dispuesto de la debida defensa en profundidad quizá se hubiera podido impedir el accidente.

Antes del accidente, el servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS había detectado diferencias en la determinación de las tasas de dosis absorbidas. Además, un control externo reveló deficiencias en el mantenimiento de

---

<sup>5</sup> Es posible que los radioterapeutas y físicos médicos desconozcan la expresión “defensa en profundidad”; no obstante, las disposiciones relativas a una verificación duplicada e independiente de los parámetros críticos suelen ser parte integrante de un programa eficaz de garantía de calidad para tratamientos de radioterapia. El recurso a la metodología de la defensa en profundidad es muy útil a la hora de efectuar pruebas y para velar por que el programa de garantía de calidad contenga suficientes niveles de seguridad para reducir al mínimo la probabilidad de accidentes.

los registros, una falta de procedimientos duplicados y una formación y capacitación deficientes. Si se hubieran tomado las medidas oportunas para corregir esas deficiencias, quizá se hubiera podido impedir el accidente.

### **6.5.2. Recomendaciones**

Se debería implantar la práctica de la defensa en profundidad en las tareas críticas para la seguridad. Por ejemplo, se deben aplicar criterios de duplicación, independencia y diversidad a las tareas críticas para la seguridad tales como la calibración previa a la entrada en servicio y después de sustituir una fuente. Los criterios de duplicación e independencia se pueden cumplir si son dos las personas que determinan por separado la tasa de dosis absorbida, hecho factible si los recursos se utilizan de modo racional y para las labores determinadas. La diversidad se puede conseguir cotejando el resultado de la calibración del haz con el certificado del fabricante de la fuente, corregido para tener en cuenta la desintegración<sup>6</sup>.

## **6.6. DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS**

### **6.6.1. Conclusiones**

Algunas deficiencias relacionadas con las disposiciones administrativas (competencias, gestión, formación y capacitación y cumplimiento de las normas) coadyuvaron de forma indirecta al accidente.

El hecho de que se advirtieran discrepancias pero no se corrigieran indica que las competencias no se ejercían ni se delegaban adecuadamente, y que existían problemas de supervisión de gestión. La formación del personal responsable era insuficiente y no existía un programa de garantía de calidad. También el mantenimiento de los registros era deficiente, aunque no contribuyera directamente al accidente. La evaluación realizada por los expertos en julio de 1997 y el estudio especializado de julio de 1996 anterior al accidente revelaron deficiencias en ambos aspectos.

En marzo de 1995 se promulgó en Costa Rica por decreto el Reglamento de protección contra las radiaciones ionizantes, que establece como autoridad reguladora a la Sección de control radiológico del Ministerio de Salud. Según el reglamento, es obligatoria una autorización para las fuentes e instalaciones de radiación, y para las

---

<sup>6</sup> Pese a las diferencias entre la colimación aplicada en los laboratorios del fabricante de la fuente y la de la máquina de terapia (que incide en la tasa de dosis absorbida), un cotejo debe poder detectar cualquier discrepancia importante.

personas que manipulan fuentes de radiación. El reglamento establece requisitos de protección radiológica para las actividades médicas, por ejemplo que exista un programa de garantía de calidad. El reglamento estaba en su fase inicial de aplicación cuando se produjo el accidente, aunque cabe observar que, más de un año después de su promulgación, aparentemente se ha cumplido menos de la mitad de sus disposiciones.

### **6.6.2. Recomendaciones**

Las competencias deben estar claramente definidas, hay que elaborar los procedimientos y vigilar que se cumplan. Deben instituirse programas suplementarios de capacitación para el personal de radioterapia. Hay que aplicar, supervisar y hacer cumplir las normas vigentes lo antes posible. Se debe crear y promover un entorno de seguridad, y ofrecer cursos de formación y capacitación.

Hay que poner en práctica un programa de garantía de calidad y de mantenimiento de registros, velando especialmente por su efectividad. Dichos programas deben incluir los aspectos siguientes:

- 1) Verificación de los elementos físicos (fuentes, haces y geometría) y los elementos clínicos auxiliares (fichas de pacientes) utilizados en el tratamiento de pacientes;
- 2) Verificación de la adecuada calibración y el estado de funcionamiento del equipo dosimétrico, y comprobación de que la determinación de la dosis absorbida sea fácil de reconstruir para un laboratorio de dosimetría estándar;
- 3) Control de calidad periódico e independiente;
- 4) Participación en prácticas de verificación tales como el servicio postal de verificación de dosis del OIEA/OMS, combinada con la creación de procedimientos prácticos para casos en que se detecten anomalías.

Los registros de radioterapia deben ser uniformes, claros, congruentes y completos.

### **6.7. EFECTOS CLINICOS DE LA SOBREEXPOSICION**

Los 115 pacientes desarrollaron un amplio espectro de secuelas de sobreexposición a la radiación, desde efectos detectados o previstos prácticamente insignificantes hasta varios casos de muerte y síntomas patentes de gravísimas secuelas. Al menos dos tercios de los pacientes estaban o están en situación de alto riesgo. Se prevé que las condiciones en que se produjo el accidente se proyectarán en numerosos efectos tardíos graves. Muchos pacientes han tenido, tienen y tendrán importantes secuelas psicológicas, sociales y otros efectos nocivos.



Se prevé que muchos pacientes sobrevivientes desarrollarán otras secuelas durante los cinco próximos años, que requerirán atención médica y psicológica excepcionales. Dada la localización de los tumores de algunos pacientes y la sensibilidad de determinados tejidos, la incidencia de secuelas en el sistema nervioso central, gastrointestinal, cardiovascular y epitelial ha sido y continuará siendo considerable.

En el Cuadro IV se resumen los resultados del examen directo de los pacientes, y en el Cuadro V los resultados del examen de los expedientes de los pacientes fallecidos (véase el Apéndice II).

## 6.8. SEGUIMIENTO DE LOS PACIENTES

### 6.8.1. Recomendaciones

Dado que estas complicaciones radioinducidas son singulares e infrecuentes, se recomienda firmemente que el cuidado de todos los pacientes aquejados de complicaciones específicamente radioinducidas esté a cargo de determinados especialistas y no de muchos especialistas diferentes.

El seguimiento de los pacientes debería asegurar tanto una atención médica óptima para cada enfermo como una evaluación científica de los casos.

La compilación de los datos de base debe ajustarse a los sistemas de vigencia internacional (por ejemplo RTOG/ESTRO en lo que atañe a los efectos sobre tejidos normales, e ICRU en lo relativo a dosis/fraccionamiento).

Los datos deberían almacenarse en una base de datos especial, para permitir su actualización constante. Los datos ya disponibles deberían guardarse también en dicha base (la mayor parte de los datos de los pacientes del Hospital Calderón Guardia ya se han reunido y almacenado). Los datos adicionales tales como los resultados de las biopsias pueden ser importantes. Asimismo, la información estructurada sobre autopsias de cánceres y tejidos normales es decisiva para establecer las causas del fallecimiento y para evaluar accidentes futuros.

Se recomienda que se encomiende a un médico (mejor aún, a dos médicos) la responsabilidad de mantener ese registro, y que se les asignen los recursos y las facultades para ello.

## 6.9. LABORES FUTURAS

Es importante que se publique un informe sobre este accidente para ayudar a evitar accidentes similares en el futuro. Dentro de varios años será necesario completar esta investigación para determinar todo el alcance de este accidente.

CUADRO IV. RESULTADOS DEL EXAMEN DIRECTO DE LOS PACIENTES

Nº de pacientes	Efectos perjudiciales en los pacientes sobrevivientes
4	Efectos graves o catastróficos
16	Efectos acusados con alto riesgo de secuelas futuras
26	Efectos de radiación no graves en la fecha del examen; riesgo parcial de efectos en el futuro
22	No hay efectos de radiación en la fecha del examen que puedan atribuirse al accidente; bajo riesgo de efectos en el futuro
2	Subexposición por suspensión de radioterapia (tras detectarse el error)
3	Pacientes no examinados; uno de ellos podría sufrir efectos en el futuro
<i>Total 73</i>	

CUADRO V. RESULTADOS DEL EXAMEN DE LOS EXPEDIENTES DE LOS PACIENTES FALLECIDOS

Nº muertes	Resultados de los datos obtenidos sobre pacientes fallecidos
3	Exposición considerada como la causa principal de la muerte
4	Exposición considerada como importante factor coadyuvante
22	Muerte debida al tumor o a causas distintas a la exposición
5	Datos insuficientes para emitir un dictamen
8	Datos de pacientes que no fueron examinados por el Grupo de Expertos
<i>Total 42</i>	

6.10. UTILIZACION DEL INFORME

El presente informe presenta el estado de los pacientes en julio de 1997. Todo análisis de los pacientes a efectos de atención médica paliativa debería tener en cuenta los efectos iniciales, la evaluación médica actual y el factor de riesgo de efectos en el futuro, además de los que ya se describen en este informe.

## 6.11. RECOMENDACIONES

Se efectuaron las siguientes recomendaciones al Gobierno de Costa Rica:

- 1) La radioterapia es necesaria y debe seguir aplicándose en Costa Rica;
- 2) Se deben cumplir y poner en vigor las normativas vigentes cuanto antes;
- 3) Habría que elaborar y aplicar programas de garantía de calidad;
- 4) Se debería mejorar la formación y capacitación del personal de radioterapia;
- 5) Habría que mejorar el registro de las fichas médicas de radioterapia;
- 6) En general, habría que perfeccionar la radioterapia para evitar consecuencias perjudiciales innecesarias e inadmisibles;
- 7) Si un control externo detecta problemas importantes, persistentes y continuos, habría que buscar otra vía de comunicación con las autoridades;
- 8) A muchos pacientes se les debería ofrecer asistencia médica y sicosocial a gran escala inmediatamente, que probablemente será necesaria durante al menos cinco años;
- 9) Se debería establecer un registro con los datos de dichos pacientes.

APPENDICES, ANEXO  
Y ADDENDUM

## Apéndice I

### **RESULTADOS DE LAS CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACION DOSIMETRICA Y EL ESTADO DEL EQUIPO Y LA INSTALACION**

El presente Apéndice incluye información detallada sobre la calibración del haz de  $^{60}\text{Co}$ , la dosimetría clínica y el control de calidad del equipo, efectuados por el Grupo de Expertos. Además, presenta la configuración y los niveles de radiación en los espacios adyacentes al lugar de ubicación de la unidad Alcyon II de radioterapia.

En el Cuadro I.I [10] figuran los resultados del servicio postal de verificación con TLD de dosis OIEA/OMS de los dosímetros irradiados después de la calibración del haz realizada durante la Misión de Expertos del OIEA. En el Cuadro I.II [10] se presentan los extractos de ordenador con los resultados de la calibración del haz efectuada por el Grupo de Expertos. En el Cuadro I.III figuran los resultados del control de calidad de la unidad Alcyon II efectuado por la Misión de Expertos del OIEA. El Cuadro I.IV presenta los datos relativos a las dosis de los pacientes, para todos los pacientes. En el Cuadro I.V figuran las dosis administradas a órganos de riesgo para ciertos pacientes. En el Cuadro I.VI se presentan las dosis calculadas en fracciones de 2 Gy que equivaldrían biológicamente a las dosis que se administraron realmente. En la Figura I.1 se muestra la configuración de la sala de irradiación de la unidad Alcyon II y los espacios adyacentes, con los niveles de tasa de dosis medida de los campos de radiación.

CUADRO I.I. CERTIFICADO DEL SERVICIO POSTAL DE VERIFICACION DE DOSIS CON TLD OIEA/OMS REALIZADA DESPUES DE LA MISION DE EXPERTOS [10]

SERVICIO POSTAL DE VERIFICACION DE DOSIS CON TLD OIEA/OMS			
Institución:	Hospital San Juan de Dios	Lote TLD N°:	SR 971
Dirección:	Hospital de Distrito, San José	TLDs irradiados por:	R. Pacheco Jiménez
		Fecha de la irradiación:	5 de agosto de 1997
País:	Costa Rica	Evaluación:	18 de agosto de 1997

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES TLD PARA Co-60 Y FOTONES DE ALTA ENERGÍA							
Haz	Unidad de radiación	Grupo TLD N°	Dosis indicada por el usuario (Gy)	Dosis medida en el OIEA <sup>a</sup> (Gy)	Dosis media medida en el OIEA <sup>b</sup> (Gy)	% desviación respecto a la dosis media medida en el OIEA <sup>b</sup>	Dosis media medida en el OIEA Dosis indicada por el usuario
Co-60	Alcyon II	SR 97101	2,00	1,98 1,98 1,98	1,97	1,5	0,98

<sup>a</sup> La incertidumbre de la medición de la dosis es 1,8% (desviación estándar I); no incluye la incertidumbre intrínseca del protocolo de dosimetría (véase la Colección de Informes Técnicos del OIEA, N° 277 10).

<sup>b</sup> % desviación respecto a la dosis media medida en el OIEA = 100 × (dosis indicada por el usuario - dosis media medida en el OIEA)/dosis media medida en el OIEA. Una desviación relativa de signo negativo (positivo) significa que la dosis calculada por el usuario es menor (mayor) que la dosis medida, el paciente habría recibido una dosis mayor (menor) que la deseada, según el factor que aparece en la última columna, Se considera satisfactoria una diferencia de hasta ±5% entre la dosis indicada por el usuario y la dosis medida en el OIEA.

<b>J. Izewska</b> Encardo de TLD — OIEA, Sección de Dosimetríay Radiofísica Médica	Fecha: 18 de agosto de 1997	<b>P. Andreo</b> Jefe — OIEA, Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica
---	-----------------------------	---

*Nota importante:* Esta información se suministra solamente como comprobación independiente de la potencia del haz, no como calibración de aparato ni como alternativa a las calibraciones frecuentes hechas por un fisico cualificado. *No constituye un dictamen sobre la calidad de la radioterapia.*

CUADRO I.II. HOJAS DE CALCULO DE ORDENADOR CON LOS RESULTADOS DE LA CALIBRACION DE HAZ REALIZADOS POR EL EQUIPO DE EXPERTOS [10]

Determinación del factor  $N_{D,aire}$  de dosis absorbida a cámara de aire, para una cámara cilíndrica

Físico responsable:      Expertos del Grupo      Fecha: 10 de julio de 1997

1. Cámara de ionización

Modelo de cámara:	PTW 30001 PMMA/Al Farmer	▼	Nº de Serie:	1423
Radio interior de la cavidad (mm):	3,05			
Material de la pared:	PMMA		Espesor (g/cm²)	0,045
Material de recubrimiento:	PMMA		Espesor (g/cm²)	0,541
			Espesor total	0,586
Electrodo central:	aluminio			

2. Datos de calibración de la cámara

Laboratorio de calibración:      Laboratorio PTW      Fecha: 20 de junio de 1997

Factor de calibración cámara de ref. ( $N_K/N_X$ ; unidades):      NK      ▼      4,723E-02      Gy/div      ▼

Factor de calibración cámara de ref. (NK):	4,723E-02		Gy/div
para	Presión, $P_o$	101,3	kPa
	Temperatura, $T_o$	20,0	°C
	Humedad relativa	50,0	%
	Voltaje de polarización	-250,0	V
	Tamaño de campo	10 × 10	cm × cm
	Distancia fuente-cámara	85,0	cm

3. Constantes y factores

$k_{att}k_m$	0,972	
W/e	33,97	
l-g	0,997	(para radiación gamma Co-60)

4. Factor de dosis absorbida a cámara de aire

Factor de calibración cámara de ref. ( $N_{D,air}$ ):		45,769E-3 Gy/div
para	Presión, $P_o$	101,3 kPa
	Temperatura, $T_o$	20 °C
	Humedad relativa	50,0 %
	Voltaje de polarización	-250,0 V

-----

### Determinación de la dosis absorbida en agua, en un haz de Co-60

Fecha: 10 de julio de 1997

Unidad de Co-60	ALCYON II
Maniqué de referencia:	agua
Tamaño de campo de referencia:	$10 \times 10 \text{ cm} \times \text{cm}$ a distancia de fuente $= \underline{80 \text{ cm}}$
Profundidad en agua del centro de la cámara, $z(\text{ctr})$	$= \underline{5,0 \text{ cm}}$
Desplazamiento del punto efectivo de medición $0,6 \text{ r}$	
Profundidad de referencia en agua del $P_{\text{eff}}$ de la cámara, $z_{\text{ref}}$	$= 4,8 \text{ cm}$

Modelo de cámara:	PTW 30001 PMMA/AI Farmer	Nº de Serie:	1423
Material de la pared:	PMMA	espesor (g/cm <sup>2</sup> )	0,045
Electrodo central:	aluminio		
Modelo de electrómetro	UNIDOS	Nº de Serie:	
Factor de dosis absorbida a cámara de aire N <sub>D,air</sub> (Gy/div) = <b>45,769E-3</b>			
	para	P <sub>o</sub>	101,3 kPa
		T <sub>o</sub>	20,0 °C
		H.R.	50,0 %
		Volt. polarización	-250,0 V

Presión, P (kPa)	<u>88,6</u>	$\rho_{TP}$	1,151
Temperatura, T (°C)	<u>22</u>	$M_o$	<u>22,51</u> div/min
Corrección de recombinación (radiación continua; Fig. 13) [10]		$\rho_s$	<u>1,000</u>
Promedio de lecturas de cámara (div/min)		$M_u$	<u>25,91</u>

Razón de frenado, agua/aire (Cuadro XIII) [10]	$S_{w,air} =$	1,133
Factor de perturbación (ec (25), Cuadros XX, XXI) [10]	$\rho_{wall} =$	1,001
$\alpha =$	0,414	
$S_{wall,air} =$	1,102	
$(\mu_{en}/\rho)_{w,wall} =$	1,030	

Corrección del electrodo central =	$\rho_{\text{cel}} =$	1,000
$D_w(z_{\text{ref}}) =$	1,3447	Gy/min
$D_w(z_{\text{max}}) =$	1,6873	Gy/min
		(%DD zref) = 79,697

%DD Co-60 10x10	SSD	60	80	100
z=	4	81,5	83,7	85,0
z=	5	76,2	78,8	80,4



CUADRO I.II. (cont.)

Determinación del factor de dosis absorbida a cámara de aire,  $N_{D,air}$ , para una cámara cilíndrica

Físico responsable: Expertos del Grupo Fecha: 10 de julio de 1997

1. Cámara de ionización

Modelo de cámara: PTW 30002 C/C Farmer ▼	Nº de Serie:	152
Radio interior de la cavidad (mm):	3,05	
Material de la pared:	grafito	Espesor (g/cm <sup>2</sup> ) 0,079
Material de recubrimiento:	PMMA	Espesor (g/cm <sup>2</sup> ) 0,541
		Espesor total 0,620
Material de recubrimiento:	grafito	

2. Datos de calibración de la cámara

Laboratorio de calibración:	Laboratorio PTW	Fecha: 20 de junio de 1997
NK ▼	4,623E-02	Gy/div ▼
	4,623E-02	Gy/div
Presión, P <sub>o</sub>	101,3	kPa
Temperatura, T <sub>o</sub>	20,0	°C
Humedad relativa	50,0	%
Voltaje de polarización	-250,0	V
Tamaño de campo	10 × 10	cm × cm
Distancia fuente-cámara	85, 0	cm

3. Constantes y factores

$k_{att}k_m =$	0,982	
W/e =	33,97	
l-g =	0,997	(para radiación gamma Co-60)

4. Factor de dosis absorbida a cámara de aire

Factor de calibración cámara de ref. ( $N_{D,air}$ ):	45,262E-3	Gy/div
para Presión, P <sub>o</sub>	101,3	kPa
Temperatura, T <sub>o</sub>	20,0	°C
Humedad relativa	50,0	%
Voltaje de polarización	-250,0	V



CUADRO I.II. (cont.)

Determinación del factor de dosis absorbida a cámara de aire,  $N_{D,air}$ , para una cámara cilíndrica

Físico responsable: Expertos del Grupo Fecha: 10 de julio de 1997

1. Cámara de ionización

Modelo de cámara: NE 2505/3, 3B '74-present ▼ N° de Serie: 19

Radio interior de la cavidad (mm): 3,15

Material de la pared:	nylon 66	Espesor (g/cm <sup>2</sup> )	0,041
Material del recubrimiento:	PMMA	Espesor (g/cm <sup>2</sup> )	0,551
		Espesor total	0,592

Electrodo central: aluminio

2. Datos de calibración de la cámara

Laboratorio de calibración: LSCD Guatemala Fecha: 10 de noviembre de 1995

Factor de calibración cámara de ref.

( $N_K/N_X$ ; unidades): NK ▼ **8,677E-03** Gy/div ▼

Factor de calibración cámara de ref. (NK): **8,677E-03 Gy/div**

para	Presión, $P_o$	<u>101,3</u>	kPa
	Temperatura, $T_o$	<u>20,0</u>	°C
	Humedad relativa	<u>50,0</u>	%
	Voltaje de polarización	<u>-250,0</u>	V
	Tamaño de campo	<u>10x10</u>	cm × cm
	Distancia fuente-cámara	<u>85,0</u>	cm

3. Constantes y factores

$k_{att}k_m$	=	0,965	
W/e	=	33,97	
l-g	=	0,997	(para radiación Co-60)

4. Factor de dosis absorbida a cámara de aire

Factor de calibración cámara de ref. ( $N_{D,air}$ ): **8,348E-3 Gy/div**

para	Presión, $P_o$	<u>101,3</u>	kPa
	Temperatura, $T_o$	<u>20,0</u>	°C
	Humedad relativa	<u>50,0</u>	%
	Voltaje de polarización	<u>-250,0</u>	V

CUADRO I.II. (cont.)

Determinación de la dosis absorbida en agua, en un haz de Co-60

Físico responsable: Expertos del Grupo Fecha: 10 de julio de 1997

1. Unidad de radioterapia y condiciones de referencia para determinación de Dw

Unidad de Co-60	ALCYON II
Maniquí de referencia:	agua
Tamaño de campo de referencia:	10 × 10 cm × cm a distancia de fuente = 80 cm
Profundidad en agua del centro de la cámara, z(ctr) =	5,0 cm
Desplazamiento del punto efectivo de medición 0,6 r	
Profundidad de referencia en agua del P <sub>eff</sub> de la cámara, z <sub>ref</sub> =	4,8 cm

2. Cámara de ionización

Modelo de cámara:	NE 2505/3, 3B '74-present	Nº de Serie:	19
Material de la pared:	nylon 66	Espesor (g/cm²)	0,041
Electrodo central:	aluminio		
Modelo de electrómetro	NE 2502	Nº de Serie:	10261
Factor de dosis absorbida a cámara de aire	ND <sub>air</sub> (Gy/div) =		8,348E-3
para	P <sub>o</sub>	101,3	kPa
	T <sub>o</sub>	20,0	°C
	H.R.	50,0	%
	Volt. polarización	-250,0	V

3. Corrección de lecturas del electrómetro

Todas las lecturas han de corregirse para tener en cuenta las fugas

Presión, P (kPa)	88,6	ρ <sub>TP</sub> =	1,151
Temperatura, T (°C)	22	M <sub>o</sub> =	121,84 div/min
Corrección de recombinación (radiación continua; fig. 13) [10]		ρ <sub>s</sub> =	1,000
Promedio de lecturas de cámara (div/min)		M <sub>u</sub> =	140,25

4. Dosis absorbida en agua

Razón de frenado, agua/aire (Cuadro XIII) [10]		S <sub>w,air</sub> =	1,133
Factor de perturbación (ec (25), Cuadros XX, XXI) [10]		ρ <sub>wall</sub> =	1,009
	α	=	0,386
	S <sub>wall,air</sub>	=	1,142
	(μ <sub>en</sub> ρ) <sub>w,wall</sub>	=	1,015
Corrección del electrodo central =		ρ <sub>cel</sub> =	1,000
	D <sub>w</sub> (z <sub>ref</sub> ) =	1,3384 Gy/min	
	D <sub>w</sub> (z <sub>max</sub> ) =	1,6787 Gy/min	(%DD zref) = 79,726

%DD Co-60 10 × 10

	SSD	60	80	100
z=	4	81,5	83,7	85,0
z=	5	76,2	78,8	80,4

CUADRO I.III. CONTROL DE CALIDAD DE LA UNIDAD ALCYON II

Funcionarios que realizaron las mediciones

L. Bermúdez Jiménez

H. Marengo Zúñiga

R. Pacheco Jiménez

(1) Retículo en eje de colimador (tolerancia:  $\pm 1$  mm)

- ☒ Situar el colimador en posición horizontal
- ☒ Encender el sistema simulador de luz
- ☒ Girar el colimador en  $360^\circ$

¿Permanece estacionaria la proyección en un plano situado a 80 cm de la fuente?

- ☒ Sí ☐ No

(2) Verificación de isocentro (tolerancia: 2 mm)

- ☒ Rotación del colimador: ángulo original
- ☒ Fijar un campo de  $30 \times 30$  cm
- ☒ Usando un objeto con punta, encontrar la posición del eje de rotación

Anotar las distancias entre la cruz y el isocentro, en las cuatro posiciones siguientes:

$0^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$
0 mm	0,5 mm	0 mm	0 mm

¿Está la rotación del isocentro dentro del margen de tolerancia?

- ☒ Sí ☐ No

(3) Indicador óptico de distancia (ODI) (tolerancia 2 mm; SAD: distancia del eje de la fuente)

- ☒ Colimador a  $0^\circ$
- ☒ Brazo a  $0^\circ$

$SAD = 70$ cm (a 25 cm de la cruz)	$SAD = 80$ cm (a 35 cm de la cruz)	$SAD = 90$ cm (a 45 cm de la cruz)
ODI: 70 cm	ODI: 80 cm	ODI: 90 cm
Distancia real: 69,6 cm	Distancia real: 80 cm	Distancia real: 90 cm
No aceptable	Aceptable	Aceptable

CUADRO I.III. (cont.)

- (4) *Comprobación de la correspondencia entre las dimensiones del campo luminoso y las dimensiones medidas a 80 cm (tolerancia:  $\pm 2$  mm)*
- ☒ Colimador a 0°
- ☒ Brazo a 0°
- ☒ Plano en SAD = 80, papel registrador de 35 × 35 cm como mínimo

Campo seleccionado		Dimensiones del campo luminoso			
X jaw	Y jaw	X jaw		Y jaw	
		Nominal	Error	Nominal	Error
5,0	5,0	4,5	0,5	4,8	0,2
10,0	10,0	10,0	0,0	10,0	0,0
15,0	15,0	15,0	0,0	15,0	0,0
20,0	20,0	20,0	0,0	20,0	0,0
25,0	25,0	25,0	0,0	25,0	0,0
30,0	30,0	30,0	0,0	30,0	0,0

¿Están estos datos dentro de la tolerancia?

- ☒ Sí
- ☐ No

- (5) *Comprobación de la coincidencia del haz luminoso con el haz de radiación (placa de control)*
- ☒ Proyectar un campo luminoso de 10 × 10 cm
- ☒ Brazo a 0°
- ☒ Plano en SAD = 80 cm, sobre placa radiográfica para cobalto
- ☒ Usando un alfiler, marcar los puntos del campo sobre el blindaje
- ☒ Colocar una hoja de acrílico de 3 mm sobre la placa, e irradiar durante 0,1 min

CUADRO I.IV. DATOS DE LA DOSIS RECIBIDA POR LOS PACIENTES<sup>a</sup>

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
1		Axila posterior	12 × 12	1	200	0	7	310	4	1240	292	1810,4	
2		Laringe	18 × 13	2	100	0	6	155	6	930			Dos campos/día
		Cuello	22 × 8	1	200	0	3	310	6	1860	230	2139	
4		Pelvis	18 × 16	2	200	0	9	310	12	3720			Dos campos/día isocéntrico
6	Sí	Pelvis	15 × 15	2	200	0	8,5	310	5	1550			Dos campos/día isocéntrico
8		Pelvis lateral	12 × 7	2	200	—	16	310	5	1550	552		
		Pelvis	15 × 15	2	200	20	10	310	5	5550	342		
10		Pelvis	15 × 15	2	200	0	10	310	6	1860	343		
11	Sí	Costillas	9 × 4	1	400	0	0,5	620	5	3100	400	3100	Irradiación de pecho previa
12		Cuello	8 × 9	2	200	0	4,5	310	12	3720			Dos campos/día
13		Pelvis	15 × 15	2	200	0	10,5	310	8	2480	354		
		Pelvis lateral	12 × 10	2	267	5	16	413,85	0	1335			Dos campos/día
14		Fémur	31 × 12	2	200	0	6,5	310	4		270		Después de corrección de la calibración
		Espina dorsal	11 × 6	1	300	0	6	465	10		413		Después de corrección de la calibración
15	?	Pelvis	14 × 14	2	200	9	10	310	6	3660	343		
16	Sí	Mediastino	17 × 14	2	200	0	9	310	4	1240	327		
		Y invertida	24 × 18	2	150	0	10	232,5	9	2092,5	247		
17		Pie	16 × 7	2	200	0	3,5	310	11	3410			
18	Sí	Pelvis	15 × 15	2	200	0	11	310	12	3720	366	6807,6	
19		Hombro	14 × 11	2	300	1	7	465	2	1230	429		

CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
20		Cabeza izq. oblicuo lateral	7 × 7	1	134	0	5	207,7	4	830,8			Isocéntrico
		Cabeza posterior oblic.	7 × 7	1	66	0	11	102,3	4	409,2			Isocentric
21		Pelvis	15 × 15	2	200	0	11	310	8	2480	366		
22	Sí	Escroto	16 × 14	1	200	0	4	310	10	3100	240		
23		Brazo super.	21 × 10	2	200	0	4,5	310	13	4030	243		
24	Sí	Cuello	12 × 9	1	300	0	0,5	465	10	4650	305	4727,5	
25		Costillas	8 × 13	1	800	1	0,5	1240	4	5760	800	5760	
26		Cuello	13 × 14	1	250	0	0,5	387,5	14	5425	250	5425	Sordera
		Ojo	5 × 6	1	250	0	0,5	387,5	14	5425	255	5534	
27	Sí	Esófago	12 × 6	2	200	5	8,5	310	15	5650			2 campos/día isocéntrico
28	Sí	Mediastino	15 × 10	2	200	11	12	310	9	4990	404		
29		Hombro der.	15 × 8	1	400	0	5	620	5	3100	510	3953	
	Sí	Columna lumbar	19 × 7	1	300	0	5	465	3	1395	382	1776	
30	Sí	Columna lumbar	15 × 7	1	300	0	5	465	8	3720	382	4737	
31		Costillas dorsales	16 × 10	1	267	3	4	413,9	12	5767	318	6869	
32		Columna	12 × 6	1	400	0	4	620	5	3100	490	3798	
33	Sí	Pelvis	19 × 17	2	300	0	8,5	465	10	4650	463		
34	Sí	Pelvis	18 × 18	1	400	0	7	620	5	3100	565	4379	
35		Pelvis anterior	8 × 8	1	200	0	8	310	20	6200	320	9920	
36		Columna	15 × 6	1	267	11	5	413,9	3	4179	340	5321	
37		Próstata	14 × 14	2	200	17	9	310	4	4640			
		Campo amplio	8 × 8	1	200	0	6	310	12	3720			D <sub>max</sub> (próstata) = 8200 cGy



CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
38		Cráneo	5 × 5	2	200	15	7	310	10	6100			
39		Ingle	18 × 14	1	170	0	9	263,5	14	3689	270	5859	
40		Mediastino	19 × 18	2	200	0	9	310	17	5270	296		
41		T11 Posterior	19 × 6	1	250	0	5	387,5	15	5813	318	7394	Profundidad de dosis (5 cm) = 5600 cGy
42		Glándula parótida	6 × 10	2	200	0	4	310	23	7130			Par de cuñas, dos campos por día
43	Sí	Cráneo	18 × 15	2	300	0	7	465	9	4185	416		
44		Pélvis	10 × 10	1	1000	0	0,5	1550	2	3100	1000	3100	
45		Gl. pituitaria	5 × 5	2	200	18	7	310	7	5770	311		
46	Sí	Cara	8 × 7	2	200	5	0	310	20	7200	266		
		Cuello	16 × 7	1	200	0	0,5	310	20	6200	204		
47		Gl. pituitaria	5 × 5	2	200	5	7	310	23	8130 <sup>b</sup>	311		
48		Mediastino	10 × 6	2	267	0	8	413,9	15	6208	425		
49		Esófago	4 × 8	2	200	0	9	310	17	5270	2480		Dos campos/día
50		Cuello anterior	11 × 8	1	200	0	0,5	310	17	5270	204	5375	
51		Pelvis	15 × 15	2	200	9	11,5	310	10	4900			1 derecho lateral = 16 600 cGy
52	Sí	Amígdalas	13 × 9	2	200	9	4	310	24	9240	242		
53		Pelvis	14 × 14	2	200	0	10,5	310	15	4650	354		
54	Sí	Fosa	15 × 12	2	200	16	7	310	9	5990	283		
		Col. torácica	31 × 16	1	200	0	4	310	15	4650	240	5580	
		Col. lumbar	19 × 6	1	200	0	5	310	15	4650	255	5929	
55		Cuello	18 × 19	1	200	0	0,5	310	13	4030	200	4030	
56		Pelvis	14 × 14	2	200	1	9,5	310	11	3610			
57	Sí	Abdomen	29 × 23	1	160	12	2	248	10	4400	170	4675	

CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
58		Fosa posterior	17 × 14	2	200	9	6,5	310	13	5830	274		
		Columna	16 × 5	1	200	3	6	310	6	2460	276	3395	¿Superposición?
		Columna	33 × 5	1	200	3	6	310	6	2460	274	3370	
59	Sí	Cuello	12 × 20	1	200	0	0,5	310	20	6200	204	6324	¿Dosis en la médula espinal?
60	Sí	Nasal cara izq.	13 × 8	1	44	0	7	68,2	24	1637			Irradiación el mismo día
		Cara derecha	13 × 8	1	110	0	7	170,5	24	4092			
		Cara anterior	9 × 7	1	66	0	9	102,3	24	2455	115	4278	
		Cuello	25 × 10	1	200	0	0,5	310	24	7440	200	7440	
61	Sí	Pelvis	15 × 15	2	200	0	9	310	9	2790	321		
		Amígdala dcha	8 × 11	1	125	0	5	193,8	15	2906			Dos campos/día
		Amígdala izda	8 × 11	1	75	0	5	116,3	15	1744			
62		Pelvis	15 × 15	2	200	0	11	310	15	4650	366		
63	Sí	Pelvis	14 × 14	2	200	0	8,5	310	14	4340	311		
64		Pelvis	15 × 15	2	200	10	11,5	310	8	4480	378		
65	Sí	Brazo izdo	20 × 10	1	500	0	0,5	775	5	3875	500	3875	
66		Campo amplio	16 × 16	2	200	0	10	310	11	3410	348		Anterior 2-1
67	Sí	Abdomen	31 × 22	2	200	0	9	310	16	4960			Isocéntrico
68	Sí	Pelvis	18 × 17	2	200	0	10	310	19	5890			Dos campos/día isocéntrico
69		Palo hockey + D28	14 × 14	1	200	12	7	310	13	6430	224	7202	¿Braquiplejia?
70		Glándula parótida	15 × 9	1	200	5	3	310	20	720	229	8244	
71	Sí	Pelvis lateral	10 × 7	2	200	0	18	310	5	1550			5000 cGY AP/PA antes
72	Sí	Tórax	15 × 19,5	2	200	0	11	465	10	4650			Dos campos/día isocéntrico

CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
73	Sí	Pelvis AP	15 × 15	2	200	9	8	310	16	6760			Un campo/día isocéntrico
74		Pelvis AP	20 × 26	2	200	10	10	310	11	5410			Dos campos/día isocéntrico
75		Axila derecha	15 × 19	1	200	0	4	310	17	5270	239		
		Antebrazo	13 × 6	1	200	0	5	310	7	2170			
76		Tórax lateral	19 × 4	2	200	0	13	310	7	2170			Dos campos/día antes 600 cGy
77		Pelvis AP	15 × 14	2	200	7	9	310	18	6980			Dos campos/día isocéntrico
78		Pelvis AP	15 × 15		200	9	10	310	16	6760			Isocéntrico
79		Pelvis AP	15 × 16	2	200	0	10	310	14	4340			Dos campos/día isocéntrico
80		Nasal lateral	12 × 17	2	200	0	7	310	16	4960	219		
		Cuello	23 × 8	1	200	0	3	310	16	4960	230	5704	
81		Cuello decho	10 × 10	1	77	12	6	119,4	8	1879			
		Cuello izdq	10 × 10	1	33	12	6	51,15	8	805			
82	Sí	Pelvis AP	14 × 14	2	338	0	6,5	523,9	6	3143			Isocéntrico
83		Pelvis AP	16 × 20	2	200	5	9,5	310	20	7200			Dos campos/día
		Pelvis lateral	10 × 10	2	200	0	16	310	5	1550			Dos campos/día
84	Sí	Tórax AP	26 × 15	2	200	0	8,5	310	20	6200			Dos campos/día isocéntrico
85		Pelvis AP	18 × 15	2	200	6	10	310	12	4920 <sup>b</sup>			Dos campos/día isocéntrico
86	Sí	Campo amplio	32 × 35	2	200	0	10	310	14	4340			Dos campos/día
87		Columna torácica	5 × 32	1	200	2	4	310	4	1640	240	1968	
		Columna lumbar	5 × 7	1	200	2	4	310	4	1640	247	2025	

CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
88		Nasal	3 × 3	1	200	0	3	310	5	1550	236	1829	Dosis previa de 5000 cGy
89		Pelvis AP	16,5 × 15	2	200	0	10	310	11	3410			Dos campos/día isocéntrico
92	Sí	Pelvis AP	24 × 29	2	200	14	9	310	11	6210			Un campo/día isocéntrico
94	Sí	Cuello anterior	21 × 5	1	200	0	3	310	15	4650	232	5394	
		Cuello lateral	12 × 17	2	200	0	5,5	310	15	4650	256		
95		Pelvis AP	16 × 14	2	100	0	9	155	14	2170			Isocéntrico
96	Sí	Cuello	14 × 21	1	200	3	3	310	14	4940	227	5607	
		Seno anterior	9,5 × 11	1	100	3	8	155	14	2470	156		
		Seno lateral	11 × 11	1	100	3	8	155	14	2470	153		
97		Cuello anterior	7 × 31	1	200	11	3	310	8	4680	230		
		Nasal lateral	12 × 17	2	200	11	6	310	8	4680	270		
98		Nódulos mamarios internos	14 × 5	1	200	0	3	310	23	7130	230		
100		Parietal posterior	6 × 7	1	100	16		155	14	3770			Cuña, dos campos/día
		Parietal lateral	9 × 7	1	100	16		155	14	3770			
101		Frente	6 × 8	2	143	24		221,7	6	4762			Dos campos/día
102		Cráneo	14 × 18	2	200	4	6,5	310	8	3280	274		
		Columna torácica	28 × 5	1	200	0	5	310	6	1860	258	2399	
		Columna lumbar	14 × 15	1	200	0	5	310	6	1860	261	2427	
103		Testículo izdo	4 × 4	1	200	9	0,5	310	2	2420	200	2420	
104	Sí	Clavicula dcha	6 × 6	1	250	0	0,5	387,5	18	6975			
105		Cráneo	10 × 17	2	200	2	7,75	310	16	5360	297		
		Médular lumbar	16 × 5	1	200	0	6	310	6	1860	279	2595	
		Médula dorsal	23 × 5	1	200	0	6	310	6	1860	276		

CUADRO I.IV. (cont.)

Paciente N°	Fallecido	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	Profund. (cm)	d> (cGy)	FX>	D (cGy)	d <sub>max</sub> < (cGy)	D <sub>max</sub> > (cGy)	Observaciones
106		Fosa posterior	15 × 12	2	200	13	6	310	12	6320	265		
		Columna vertebral	33 × 5	1	200	0	4	310	10	3100	240	3720	
107	Sí	Cráneo	14 × 16	2	200	28	7,75	310	5	7150	270		
108	Sí	Cadera izda	10 × 8	1	267	0	0,5	413,9	15	6208	267	6208	
109		Cráneo	16 × 9	2	200	4	7	310	16	5760	282		
110	Sí	Cráneo izdo	16 × 18	2	200	7	7	310	6	3260	283		
111		Pulmón posterior	16 × 10	2	200	18	10	310	2	4220	362		
		Pulmón	13 × 10	1	300	3	10	465	0	900	527	1581	
112	Sí	Clítoris	5 × 5	1	300	0	0,5	465	11	5115	300		
		Pelvis	14 × 14	1	200	0	9,5	310	5	1550	331		
113	Sí	Cuello	11 × 17	1	600	0	0,5	930	5	4650			
		Brazo	8 × 7	1	600	0	0,5	930	5	4650			
		Abdomen posterior	10 × 4	1	400	0	0,5	620	3	1860			
		Abdomen posterior	12 × 4	1	600	0	0,5	930	5	4650			
114	Sí	Columna	15 × 12	1	300	6	5	465	2	2730		0	
		?	5 × 5	1	300	0	0,5	465	5	2325		0	
115		Médula lumbar	18 × 6	1	300	0	5	465	10	4650	382	5921	
		Médula dorsal	20 × 5	1	300	0	5	465	10	4650	388	6014	
116	Sí	Pelvis	17 × 17	2	100	0	10	155	2		110		
117		Pelvis	16 × 15	2	100	0	9		3				Dos campos/día

<sup>a</sup> Pd = Dosis prescrita por fracción; FX< = número de fracciones antes del cambio de la fuente; d> = dosis por fracción después del cambio de la fuente; FX> = cantidad de fracciones después del cambio de la fuente; D = dosis total general; d<sub>max</sub>< = dosis por fracción a la profundidad máxima de la dosis antes del cambio de la fuente; y D<sub>max</sub>> = dosis total a la profundidad máxima de la dosis (0,5 cm) después del cambio de la fuente.

<sup>b</sup> En estos casos, la dosis obtenida con el factor 1,55 difiere notablemente de la dosis calculada a partir del tiempo de tratamiento registrado.

CUADRO I.V. DOSIS A ORGANOS DE RIESGO DE DETERMINADOS PACIENTES<sup>a</sup>

Paciente N°	Lugar	Tamaño campo (cm)	N° de campos	Pd (cGy)	FX<	D< (cGy)	Profundi- dad (cm)	EqFS (cm × cm)	FSF	DD o TAR	Tiempo (min)	d> (cGy)	FX>	D> (cGy)	D (cGy)	Dosis a órgano (cGy)	Organo critico
8	Pelvis lateral	12 × 7	2	200	—	0	16	8,8	0,988	0,359	4,3	303,3	5	1516	1516,3		
	Pelvis	15 × 15	2	200	20	4000	10	15	1,035	0,592	2,6	311,4	5	1557	5557,1		
26	Cuello	13 × 14	1	250	0	0	0,5	13,5	1,025	1	1,9	387,7	14	5428	5427,7	4179	Columna cervical
	Ojo	5 × 6	1	250	0	0	0,5	5,5	0,947	1	2,1	395,5	14	5537	5537,1		Ojo (con blindaje)
	Oído															8500	Dosis a oído debido a superposición
39	Ingle	18 × 14	1	170	0	0	9	16	1,04	0,631	2	259,9	14	3638	3637,9	5800	Vasos inguinales
40	Mediastino	19 × 18	2	200	0	0	9	18,5	1,048	0,638	2,3	300,3	17	5105	5105,4	5105/5105	Columna torácica/ corazón
41	Columna torácica y lumbar	19 × 6	1	250	0	0	5	8,9	0,99	0,783	2,5	381,8	15	5727	5726,6	4349	Columna torácica y lumbar
44	Pelvis	10 × 10	1	1000	0	0	0,5	10	1	1	7,9	1548,4	2	3097	3096,8	2500/1220	Intestino, vejiga, recto
47	Glándula pituitaria	5 × 5	2	200	5	1000	7	5	0,94	0,647	2,1	251,6	23	5787	6786,9	6787 (ambos órganos)	Nervio óptico y oídos
58	Fosa posterior	17 × 14	2	200	9	1800	6,5	15,3	1,037	0,74	2,1	311,4	13	4048	5848,4	5848	Cerebelo
	Col. lumbar	16 × 5	1	200	3	600	6	7,6	0,987	0,722	2,2	310,3	6	1862	2461,5	2462	Columna lumbar
	Columna	33 × 5	1	200	3	600	6	8,3	0,985	0,727	2,1	301,9	6	1811	2411,3	2411	Columna torácica
62	Pelvis	15 × 15	2	200	0	0	11	15	1,036	0,553	2,6	290,1	15	4351	4351	4351	Intestino, vejiga, recto
78	Pelvis AP	15 × 15	2	200	9	1800	10	15	1,035	0,779	2	324,0	16	5184	6984,3	6984 (a cada órgano)	Intestino, vejiga, recto
80	Nasal lateral	12 × 17	2	200	0	0	7	13,7	1,03	0,708	1,1	321,8	16	5149	5148,8	5149	Columna cervical
	Cuello	23 × 8	1	200	0	0	3	11,4	1,06	0,891	1,8	327,5	16	5239	5239,4		Blindaje de columna

CUADRO I.V. (cont.)

Paciente Nº	Lugar	Tamaño campo (cm)	Nº de campos	Pd (cGy)	FX<	D< (cGy)	Profundi- dad (cm)	EqFS (cm × cm)	FSF	DD o TAR	Tiempo (min)	d> (cGy)	FX>	D> (cGy)	D (cGy)	Dosis a órgano (cGy)	Organo crítico
85	Pelvis AP	18 × 15	2	200	6	1200	8,5	16,3	1,04	0,853	1,1	395,0	12	4740	5939,6	5940	Intestino, vejiga, recto
97	Cuello anterior	7 × 31	1	200	11	2200	3	10	1	0,887	1,8	307,5	8	2460	4660,3		
105	Cráneo	10 × 17	2	200	2	400	7,7	12,4	1,02	0,658	2,2	290,9	16	4654	5054,1	5054	Cerebro y cerebelo
	Columna dorsal	23 × 5	1	200	0	0	6	8	0,983	0,726	2,2	310,7	6	1864	1864,2	1864	Columna
	Columna lumbar	16 × 5	1	200	0	0	6	7,6	0,98	0,723	2,3	316,9	6				
106	Fosa posterior	15 × 12	2	200	13	2600	6	13,3	1,023	0,751	2	302,7	12	3632	6232,4	6232	Cerebelo
	Columna	33 × 5	1	200	0	0	4	8,3	0,983	0,822	1,9	299,3	10	2993	2992,6	2993	Toda la columna
109	Cráneo	16 × 19	2	200	4	800	7	17,3	1,044	0,7255	2,1	313,3	16	5014	5813,5	5814	Cerebro y cerebelo

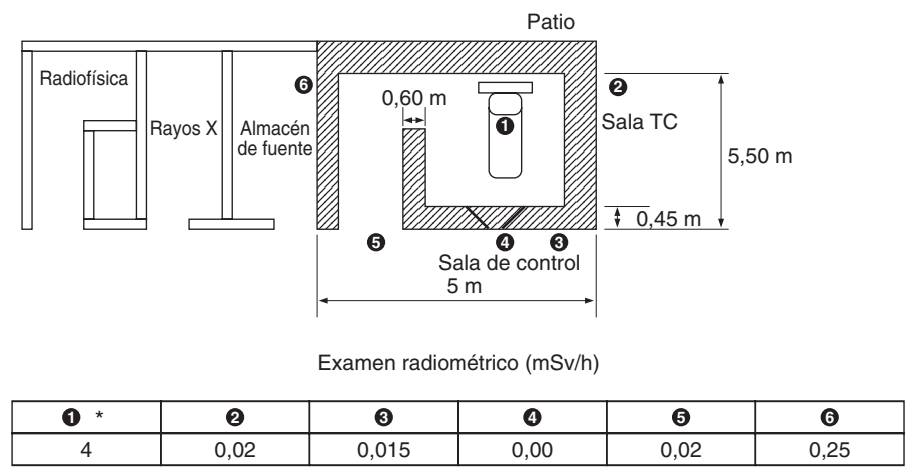
<sup>a</sup> Pd = dosis prescrita por fracción; FX< = número de fracciones antes del cambio de la fuente; D< = total antes del cambio de la fuente; EqFS = cuadro equivalente del campo; FSF = factor de tamaño de campo; DD = cociente profundidad/dosis; TAR = cociente tejido/aire; d> = dosis por fracción después del cambio de la fuente; FX> = número de fracciones después del cambio de la fuente; D> = dosis total al tumor después del cambio de la fuente; D = suma total de la dosis.



CUADRO I.VI. DOSIS BIOLÓGICAMENTE EQUIVALENTE (D(2))  
EN FRACCIONES DE 2 Gy<sup>a</sup>

Paciente Nº	d< (Gy)	FX< (Gy)	D< (Gy)	d> (Gy)	FX> (Gy)	D> (Gy)	D (Gy)	Alfa/beta (Gy)	Tejido	D(2) (Gy)
44	0	0	0	15,5	2	31,0	31,0	3	Piel	114,70
	0	0	0	12,5	2	25,0	25,0	5	Intestino	62,50
47	2	5	10	2,5	23	57,7	67,7	2	Cerebro	75,09
54	2	16	32	3,0	9	27,0	59,0	2	Cerebro	65,75
	2	0	0	3,5	15	52,1	52,1	2	Columna torácica	71,18
83	2	5	10	3,1	20	62,0	72,0	5	Intestino	81,74
	0	0	0	3,3	5	16,6	16,6	5	Intestino	19,73
109	2	4	8	3,1	16	50,1	58,1	2	Cerebro	72,23
										Total

<sup>a</sup> d< = dosis por fracción antes del cambio de la fuente; FX< = número de fracciones antes del cambio de la fuente; D< = total al tumor antes del cambio de la fuente; d> = dosis por fracción después del cambio de la fuente; FX> = número de fracciones después del cambio de la fuente; D> = dosis total al tumor después del cambio de la fuente; D = suma total de la dosis; D(2) dosis total administrada en fracciones que hubieran sido biológicamente equivalentes a D.



Notas: Las mediciones se hicieron con un colimador abierto, en campo de 30 x 30 cm, sin maniquí ni paciente (haz directo); \*medición en la sala superior, a la altura de las gónadas.

FIG. I.1. Disposición de la sala de irradiación de la máquina Alcyon II y espacios contiguos, y niveles medidos de dosis en campos de radiación.

## Apéndice II

### DATOS DE LOS PACIENTES

Los datos y los resultados que figuran a continuación corresponden a un momento dado en la evolución de la compleja situación de esos pacientes. Muchos sufrieron reacciones y lesiones importantes que se curaron durante la fase aguda. Ahora observamos la fase subaguda y algunos resultados de índole crónica. En muchos de estos pacientes los efectos de la radiación seguirán evolucionando. Otros padecerán nuevas complicaciones debido a la extensión del tumor, quimioterapia y cirugía previa. Además, es evidente que cada paciente tiene necesidades sicosociales propias, que no se detallan.

En resumen, se examinó a 70 pacientes y se obtuvieron los siguientes resultados: cuatro pacientes acusaron consecuencias graves o catastróficas, 16 padecieron secuelas notorias y tienen un alto riesgo de desarrollar efectos futuros, 26 padecieron efectos que en la fecha del informe no revisten gravedad pero tienen ciertas probabilidades de sufrir nuevas secuelas, 22 no presentan secuelas de importancia en la fecha del informe y tienen bajo riesgo de desarrollar secuelas posteriores, 2 sufrieron subexposición debido a que se interrumpió su tratamiento, y 3 pacientes no fueron examinados; uno de ellos tiene muchas probabilidades de padecer secuelas en el futuro.

#### **Pacientes con secuelas gravísimas por sobreexposición en la fecha del informe**

*Nº de identificación:* 97, Hospital Calderón Guardia (HCG)—, 1-320-763

*Edad:* 52 años

*Historial del tumor:* Linfoma no de Hodgkin de la nasofaringe, tratado con quimioterapia.

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Cuello anterior,  $7 \times 31$  cm, y nasofaringe lateral,  $12 \times 17$  cm

*Dosis calculada:* 47 Gy en el cuello anterior en 11 fracciones y 47 Gy en la nasofaringe en 14 fracciones

*Resultados:* Sequedad bucal y pérdida del gusto; la terapia abarcó la zona cervical de la columna y el paciente presentó síntomas clásicos de desmielinación de la médula espinal

*Conclusiones:* Posibles complicaciones graves en la médula espinal, resultantes de la radioterapia. Es necesario calcular la dosis recibida en la médula espinal

*Nº de identificación:* 44, Hospital San Juan de Dios (HSJD)—, 107806

*Edad:* 81 años

*Historial del tumor:* Carcinoma epidermoide del cuello del útero, fase IIIB

*Fechas de la terapia:* 4 y 12 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 10 Gy por fracción, en dos fracciones, 10 × 10 cm, sólo paliativo

*Dosis calculada:* 31 Gy en dos fracciones con una semana de intervalo

*Resultados:* La paciente desarrolló una ulceración grave en ambos lados de la vulva después de la radioterapia, que se curó pero reapareció en diciembre y desde entonces no se ha curado; a menudo hay sangre en las heces; se hizo una fotografía

*Conclusiones:* Graves secuelas debidas a la radiación

*Nº de identificación:* 80, HSG 35, 6-276-803

*Edad:* 20 años

*Historial del tumor:* A los 19 años la paciente quedó encinta y con 27 semanas de embarazo se le diagnosticó un carcinoma no diferenciado de faringe. Llevó a término el embarazo antes de comenzar la terapia, y se sometió a seis ciclos de quimioterapia

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 50 Gy en 16 fracciones, dos campos en la faringe y el cuello inferior, campos laterales

*Resultados:* Cuadriplejía; según informes hay imágenes de resonancia magnética que muestran alteraciones por la radiación en la médula espinal (C1-17)

*Conclusiones:* Grave reacción negativa por la sobreexposición, que produjo cuadriplejía

*Nº de identificación:* 109, Hospital de Niños

*Edad:* 3 años y 5 meses

*Historial del tumor:* Tumor del saco vitelino del testículo derecho diagnosticado en enero de 1995. Posteriormente, el paciente desarrolló una masa mediastínica grande que le fue extirpada, al parecer por completo. En julio de 1996 sufrió un ataque y un escáner por tomografía computarizada (TC) detectó una lesión de gran tamaño rodeada por un edema sobre el córtex superior. Se le administró methotrexate y radioterapia

*Fechas de la terapia:* 12 de agosto a 16 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 58 Gy en 20 fracciones en el cráneo, cuatro con la fuente antigua y 16 con la fuente nueva

*Resultados:* El paciente tiene epilación permanente. Ha perdido totalmente la capacidad de hablar y está confinado a una silla de ruedas. Por lo visto, antes de recibir radioterapia podía caminar, bailar y cantar. Tiene una capacidad motriz mínima en las manos, y durante el examen al que fue sometido se quedó dormido en varias ocasiones. Su madre le administra fisioterapia. Los actuales escáneres por resonancia magnética no revelan un tumor, pero hay muestras de leucoencefalopatía periventricular, microangiopatía mineralizante y atrofia, con ventrículos dilatados

*Conclusiones:* Alteraciones graves por la sobreexposición, probablemente agravados por el methotrexate. Debe hacerse una evaluación pormenorizada de la dosis

**Pacientes con efectos de sobreexposición local  
entre moderados y graves en la fecha del informe:  
alto riesgo de efectos adicionales en el futuro**

*Nº de identificación:* 8, HSJD—, 6-005-80347

*Edad:* 54 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IIIB, julio de 1996

*Fechas de la terapia:* 24 de julio a 23 de agosto; 26 de agosto a septiembre de 1996

*Dosis recetada:*  $D_{\max}$  3,4

*Dosis calculada:* 16 Gy campo lateral y 56 Gy AP/PA, 20 fracciones de AP/PA,  $15 \times 15$  cm en días alternos + campos laterales de  $12 \times 7$  cm, 13 fracciones de AP, 12 fracciones de PA, tres en la derecha, dos en la izquierda (de 550 cGy cada una, laterales)

*Resultados:* Inicialmente, diarrea con espasmos; cistocele de grado 2, recientemente se informó de normalidad de la pelvis. Actualmente diarrea esporádica, cantidad reducida de ascites. Ha perdido 9 kg de peso. Sufre diarreas 3 veces por semana. Desde enero de 1997, dolor en las caderas que desciende por ambas piernas. Sin problemas previos de espalda ni dificultad para caminar o inclinarse. Pigmentación sacral grave; fotografía

*Conclusiones:* Probable tumor recurrente en el abdomen, fibrosis sacral

*Nº de identificación:* 85, HCG—, 6-333-390

*Edad:* 66 años

*Historial del tumor:* Cáncer de recto operado en noviembre de 1995 y quimioterapia en septiembre de 1996. En enero, presunta recaída, biopsia que mostró inflamación y posible fibrosis

*Fechas de la terapia:* 9 de agosto a 19 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 49 Gy, 18 fracciones, seis con la fuente antigua y 12 con la fuente nueva,  $18 \times 15$  cm, AP/PA de pelvis, dos campos por día

*Resultados:* Ulceración y dolor rectal agudo. Ausencia de diarrea, induración profunda de los tejidos superficiales de la pelvis. Ulceración perirrectal importante, con posible infección y necrosis sobrepuestas

*Conclusiones:* Importantes complicaciones en la pelvis posteriores a la radiación

*Nº de identificación:* 77, HCG 9, 1-471-189

*Edad:* 39 años

*Historial del tumor:* Cáncer moderadamente diferenciado de cuello de útero, fase IB. Al principio recibió tres ciclos de quimioterapia seguidos de cirugía que reveló nódulos linfáticos positivos y dejó un tumor residual

*Fechas de la terapia:* 5 de agosto a 24 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis,  $15 \times 15$  cm, 25 fracciones

*Dosis calculada:* 70 Gy en 25 fracciones, siete con la fuente antigua y 18 con la fuente nueva

*Resultados:* La paciente padece ascites, con citología positiva. Alteraciones importantes en la piel, con fuerte induración anterior y posterior. Asimismo, diarrea sanguinolenta continua

*Conclusiones:* Graves alteraciones de piel y subcutáneas, y complicaciones gastrointestinales, debido a la sobreexposición

*La paciente falleció a mediados de agosto de 1997 de síndrome oclusivo, después de una operación*

*Nº de identificación:* 58, HSJD 12, 786095, 270-130-149-00667646

*Edad:* 30 años

*Historial del tumor:* Escáner TC en abril de 1996, lesión del cerebelo izquierdo y cirugía por meduloblastoma desmoplástico del cerebelo

*Fechas de la terapia:* 30 de julio a 19 de agosto; 26 y 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Campos laterales en días alternos, 12 en el lado derecho de la columna, 8 de agosto a 27 de septiembre de 1996, 16 × 5 cm en la médula lumbar, 33 × 5 cm en la médula dorsal. Se trató la columna cada cuarto día con 2,75 cGy/d, nueve fracciones por campo

*Dosis calculada:* 58 Gy en la fosa posterior, 25 Gy en la médula lumbar, 25 Gy en la médula dorsal, laterales opuestos, fosa posterior, 17 × 14 cm

*Resultados:* Sufre cefalalgias y parestesia en ambos miembros inferiores

*Conclusiones:* Alteraciones posibles o probables en la médula espinal resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 54, HSJD 27, 1-581-341

*Edad:* 35 años

*Historial del tumor:* En 1993, carcinoma in situ de cérvix. En 1994, histerectomía y ooforectomía del lado derecho. En 1996, cefalalgia y los escáneres revelaron lesión de la fosa posterior, con hidrocefalia y compresión del cuarto ventrículo

*Fechas de la terapia:* 23 de julio a 19 de agosto de 1996, 16 tratamientos, fosa posterior; 26 de agosto a 16 de septiembre de 1996, 16 fracciones en la médula espinal

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Fosa posterior, 60 Gy en 16 fracciones, 15 × 12 cm, campos en días alternos. Campos en la médula, 31 × 6 cm en la médula dorsal, 47 Gy, 19 fracciones y 19 × 6 cm en la médula lumbar

*Resultados:* La paciente informa de continuas náuseas y mareos. Epilación residual, más pronunciada en el lado derecho

*Conclusiones:* Aún corre riesgo de padecer secuelas neurológicas

*Nº de identificación:* 47, HSJD 31, 6-137-437

*Edad:* 38 años

*Historial del tumor:* En mayo de 1996 adenoma de gran tamaño en la pituitaria, con hipofisectomía transesfenoidal

*Fechas de la terapia:* 13 a 19 de agosto de 1996, cinco fracciones; 28 de agosto a 26 de septiembre de 1996, 28 fracciones

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 68 Gy, 5 × 5 cm, laterales opuestos, un campo por día

*Resultados:* Síntomas complejos, repoblación parcial del cabello, pérdida auditiva y otitis

*Conclusiones:* Alto riesgo de sufrir secuelas neurológicas

*Nº de identificación:* 66, HSJD 32, 2-465-815

*Edad:* 25 años

*Historial del tumor:* Enfermedad de Hodgkin con esclerosis nodular, fase IIIA, con metástasis voluminosa en mediastino, quimioterapia, 6 × COPP en enero de 1996

*Fechas de la terapia:* 13 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 34 Gy, 16 × 16 cm, campo amplio (“mantle”), campos alternos, 2 días anterior y luego un día posterior

*Resultados:* Sin alteraciones visibles de la médula espinal, vuelve a crecer el pelo, pigmentación del vientre

*Conclusiones:* Es precisa una atención continuada por posibles efectos cardíacos y un mayor riesgo de cáncer de mama

*Nº de identificación:* 41, HSJD 13, 5-01210805

*Edad:* 49 años

*Historial del tumor:* En 1992 cáncer de mama, T4N2M1, múltiple metástasis en el esqueleto. En 1996, metástasis en el hígado y colapso T11

*Fechas de la terapia:* 24 al 26 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 19 × 6 cm, posterior T11

*Dosis calculada:* 58 Gy en profundidad y 73 Gy en la piel con tratamiento diario de 477 cGy en la médula espinal T12-S1, 15 fracciones

*Resultados:* En el período de radioterapia la paciente no experimentó dolor de espalda, sólo en las caderas y piernas. Grave reacción de la piel curada en el plazo de unos meses, espasmos intestinales y problemas de vejiga. Ahora no hay prácticamente reacción de la piel, pero hay un 50-70% de parálisis de las piernas, difícil de evaluar debido a las molestias. Nódulos subcutáneos de tumores en la parte anterior del pecho y pérdida casi total de reflejos en las piernas

*Conclusiones:* Parálisis parcial y metástasis generalizada. Es preciso un seguimiento de las posibles alteraciones en la médula espinal

*Después de la Misión de Expertos en julio de 1997, la parálisis se convirtió en total y se produjeron hemorragias graves. La paciente falleció a finales de agosto de 1997*

*Nº de identificación:* 106, Hospital de Niños

*Edad:* 5 años

*Historial del tumor:* Meduloblastoma de la fosa posterior, el paciente recibió ocho ciclos de quimioterapia, cirugía y radiación

*Fechas de la terapia:* 27 de julio a 10 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 63 Gy, fosa posterior (25 fracciones, 13 con la fuente antigua y 12 con la fuente nueva) y 31 Gy en la columna (10 fracciones con la nueva fuente)

*Resultados:* Epilación permanente de la mitad posterior del cráneo. Buena capacidad motriz, angustia psicológica por la epilación permanente

*Conclusiones:* Las alteraciones se deben a la sobreexposición. Al Grupo de Expertos le preocupa la posibilidad de que en los próximos dos años haya necrosis por radiación del tejido cerebral. Es preciso un seguimiento y un cálculo muy minucioso de la dosis

*Nº de identificación:* 78, HCG 30, 5-069-0434

*Edad:* 62 años

*Historial del tumor:* En 1991, la paciente sufría carcinoma de epidermis de cuello de útero, que reapareció en 1996

*Fechas de la terapia:* 6 de agosto a 16 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* AP pelvis, 15 × 15 cm

*Dosis calculada:* 68 Gy, 25 fracciones, 16 con la fuente antigua y 9 con la fuente nueva

*Resultados:* Diarrea continua, ulceración infectada de la piel de 2 × 2 cm de extensión y lesión vaginal ulcerada

*Conclusiones:* Ulceraciones infectadas resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 83, HCG 16, 6-099-1017

*Edad:* 44 años

*Historial del tumor:* Carcinoma del cuello del útero, fase IIIB

*Fechas de la terapia:* 12 de agosto a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 72 Gy, AP pelvis, 25 fracciones, cinco con la fuente antigua y 20 con la fuente nueva, 16 × 25 cm, 10 Gy, campos laterales en cinco fracciones

*Resultados:* Al principio la paciente reaccionó con intoxicación gastrointestinal de grado 3. Ha perdido 10 kg de peso, tiene anemia, constante pérdida rectal de sangre y diarrea, necesita usar pañales

*Conclusiones:* Graves complicaciones gastrointestinales debidas a la sobreexposición

*Nº de identificación:* 40, HSJD 8, 1-828-057

*Edad:* 25 años

*Historial del tumor:* En febrero de 1996 se le diagnosticó la enfermedad de Hodgkin, fase IIB. Una tomografía computarizada reveló una masa mediastínica superior anterior de 5 cm. La paciente recibió seis ciclos de quimioterapia.

*Fechas de la terapia:* 5 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Tratamiento mediastínico anterior y posterior hasta el nivel de la laringe, 19 × 18 cm

*Dosis calculada:* 53 Gy en 17 fracciones

*Resultados:* La paciente tuvo un derrame de pericardio 9 meses después de la terapia, que requirió mediastinoscopia y ventana de pericardio. Una radiografía de tórax en enero de 1997 reveló fibrosis o pneumonitis superior mediastina y del pulmón medio debidos a la radiación. Fatiga y a menudo enfriamiento, y síntomas neurológicos menores

*Conclusiones:* Se han producido alteraciones por sobreexposición a la radiación. Como consecuencia, la paciente podría tener hipotiroidismo, que debe vigilarse; asimismo, puede sufrir alteraciones de la médula espinal dorsal y lumbar. Este caso requiere una dosimetría detallada

*La paciente tiene dificultades para caminar y sufre incontinencia*

*Nº de identificación:* 26, HSJD 7, 1-216-306

*Edad:* 64 años

*Historial del tumor:* En 1996 se detectó un carcinoma de células escamosas en el ojo derecho (canthus exterior) y metástasis en la parte derecha del cuello. Disección del cuello

*Fechas de la terapia:* 9 a 26 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Cuello,  $13 \times 14$  cm, 54 Gy en 14 fracciones; ojo,  $5 \times 6$  cm, 54 Gy en 14 fracciones

*Resultados:* El paciente sufre limitación de movimientos de la mandíbula y fibrosis del lado derecho de la cara y el cuello. Un resultado inesperado fue un derrame del oído derecho y sordera total después de la radioterapia

*Conclusiones:* Este paciente tuvo un campo lateral y anterior. Si hubo superposición, explicaría sus problemas de oído. Es necesario estudiar las películas del tratamiento, si las hubiere

*Nº de identificación:* 39, HSJD 45, 2-404-003

*Edad:* 31 años

*Historial del tumor:* Seminoma del testículo izquierdo (T1N0M0) tratado con orquidectomía

*Fechas de la terapia:* 10 a 27 de septiembre de 1996, 14 fracciones

*Dosis recetada:* Inguinal,  $18 \times 4$  cm

*Dosis calculada:* 36,9 Gy, pero 59 Gy de  $D_{\max}$

*Resultados:* Los indicadores de suero y dos escáner TC fueron normales. Epilación permanente de la región inguinal izquierda y grave induración fibroide anterior, que abarca todo el canal inguinal. El paciente se queja de limitación de movimiento de la cadera

*Conclusiones:* Riesgos a largo plazo de necrosis aséptica en la cabeza del fémur, edema linfático y estenosis vascular

*Nº de identificación:* 62, HSJD

*Edad:* 69 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IIIB

*Fechas de la terapia:* 9 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Pelvis,  $15 \times 15$  cm, 47 Gy en 15 fracciones

*Resultados:* La ficha de la paciente muestra hemorragia rectal, dermatitis húmeda, náusea y vómito, y hemorragia rectal durante la radioterapia. Padece grave induración fibroide en la región del sacro, con induración oscura (fotografía). Asimismo, un enema de bario mostró estrechamiento del rectosigmoide. Según informes, la paciente se sometió un mes antes a un examen pélvico que dio un resultado normal

*Conclusiones:* Hay alteraciones debidas a la sobreexposición, e inquietud ante un resquebrajamiento de la piel al menor trauma, dificultad de curación y constricción rectal

*Nº de identificación:* 95, HSG 36, 2-101-083

*Edad:* 76 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IIIB

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Pelvis,  $14 \times 16$  cm, AP/PA

*Dosis calculada:* 21,7 Gy en 23 fracciones

*Resultados:* La paciente tuvo una reacción inicial de grado 3 del aparato gastrointestinal y



ahora tiene una profunda induración subcutánea y notables alteraciones de la piel; hasta la fecha, diarrea constante

*Conclusiones:* Notable reacción de la piel y efectos en el aparato gastrointestinal resultantes de la sobreexposición, lo cual no concuerda totalmente con la dosis estimada; en consecuencia, hay que reevaluar la dosimetría

**Pacientes con efectos atribuibles a la radioterapia  
pero que no revisten gravedad en la fecha del informe:  
riesgo parcial de efectos en el futuro**

*Nº de identificación:* 13, 1-035-705-88

*Edad:* 48 años

*Historial del tumor:* Adenocarcinoma del endometrio con cirugía de histerectomía total y salpingooforectomía bilateral

*Fechas de la terapia:* 18 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 300 cGy, AP un día y PA el siguiente. Terapia suplementaria con campos laterales del 1 al 7 de noviembre de 1996 en cinco fracciones

*Dosis calculada:* 24 Gy AP/PA en ocho fracciones y campo lateral de 14 Gy en cinco fracciones

*Resultados:* La ficha de la paciente indicó intoxicación gastrointestinal de grado 2. Al principio resquebrajamiento de la piel, pigmentación reducida salvo por una pequeña cicatriz en el centro que quedó en la piel al curarse la región superior del sacro, zona en la que la paciente acusa dolores, así como dolor y sensibilidad en todo el abdomen. Actualmente, episodios diarreicos

*Conclusiones:* Episodios diarreicos resultantes de la radioterapia

*Nº de identificación:* 35, HSJD 22, 5-105-383

*Edad:* 52 años

*Historial del tumor:* En septiembre de 1994 se le diagnosticó carcinoma de endometrio de grado 2, seguido de histerectomía total y salpingooforectomía bilateral. En 1996, nódulo inguinal positivo y metástasis de la vulva

*Fechas de la terapia:* 2 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis anterior, 8 × 8 cm

*Dosis calculada:* 62 Gy en el tumor en 20 fracciones

*Resultados:* La paciente tiene colitis y episodios diarreicos, así como resquebrajamiento leve de la piel; fotografía

*Conclusiones:* Resquebrajamiento leve de la piel y episodios diarreicos resultantes de la radioterapia

*Nº de identificación:* 61, HSJD 42, 1-205-006

*Edad:* 66 años

*Historial del tumor:* Carcinoma epidermoide de la cuerda vocal derecha diagnosticado en 1985, tratado entonces con radioterapia. En 1996, nuevo carcinoma epidermoide en la amígdala derecha. Recibió dos ciclos de quimioterapia con 5-FU

*Fechas de la terapia:* 9 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 75 Gy

*Resultados:* El paciente tiene sequedad bucal y pérdida gustativa, con fibrosis proporcional a la radioterapia estándar; un examen indicó normalidad de saliva bucal.

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 10, HSJD 34, 2-303-591

*Edad:* 42 años

*Historial del tumor:* Previamente, cáncer del seno izquierdo con un nódulo positivo, tratado con mastectomía. En 1996 se le diagnosticó carcinoma invasivo del cuello del útero, tratado con histerectomía total

*Fechas de la terapia:* 20 a 27 de septiembre de 1996, seguido de braquiterapia de cesio 137 en diciembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 15 × 15 cm, AP/PA cada día, 40 Gy de cesio

*Dosis calculada:* 18,6 Gy en seis fracciones

*Resultados:* La paciente sufre de hinchazón y tensión de toda la pierna derecha. Se aplicó ultrasonido Doppler para despejar los vasos y ahora la paciente está en espera de un linfangiograma o escáner de resonancia magnética

*Conclusiones:* La paciente podría sufrir una enfermedad residual, aunque puede producirse edema unilateral tras la radioterapia

*Nº de identificación:* 7, HSJD 38, 1-124-333

*Edad:* 78 años

*Historial del tumor:* Carcinoma bien diferenciado de cuello de útero, fase IIIB, con hidronefrosis del lado derecho

*Fechas de la terapia:* 17 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 15 × 15 cm

*Dosis calculada:* 27 Gy en nueve fracciones

*Resultados:* La paciente sufrió diarrea, náusea y vómito durante la terapia. Ahora tiene diarreas esporádicas sin hemorragia

*Conclusiones:* Diarrea mínima resultante de la radioterapia

*Nº de identificación:* 31, HSJD 10, 1-228-173

*Edad:* 62 años

*Historial del tumor:* En julio de 1996 se le practicó una biopsia de una lesión de costilla lítica (¿la sexta?) posterior derecha, que resultó ser un carcinoma de células grandes. Tratamiento simultáneo de radioterapia y quimioterapia con cis-platino y velban (un ciclo)

*Fechas de la terapia:* 2 de agosto a 11 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 12 × 12 cm

*Dosis calculada:* 58 Gy, 15 fracciones, D<sub>max</sub> de 69 Gy

*Resultados:* El paciente tiene dolores y limitación de movimiento del hombro derecho. El campo de tratamiento incluyó glenoide inferior hasta la mitad e inferior hasta hilum derecho. Las radiografías indican infiltración en el pulmón derecho y pérdida de volumen. El escáner TC mostró la lesión de la costilla lítica posterior, con una infiltración en el lado derecho que no afecta al lóbulo superior (no geométrica). Asimismo hay una densidad nodular de 2 cm posterior y lateral a la arteria pulmonar derecha

*Conclusiones:* Debido a la pérdida de volumen hubo cambios que se corresponden con los de una radioterapia normal. La densidad nodular y la infiltración hacen temer un tumor

*Nº de identificación:* 74, HCG 11, 5-080-817

*Edad:* 50 años

*Historial del tumor:* En abril de 1996 se operó a la paciente de carcinoma de la vulva. Los nódulos linfáticos dieron positivo 1 de 7

*Fechas de la terapia:* 5 a 19 de agosto de 1996 y 26 de agosto a 9 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, AP, 20 × 26 cm

*Dosis calculada:* 54 Gy en 21 fracciones

*Resultados:* Actualmente, la paciente sufre de ligera hemorragia rectal, pero de etiología incierta; trombosis de la pierna izquierda

*Conclusiones:* No hay secuelas graves evidentes derivadas de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 100, HCG 26, 1-533-824

*Edad:* 41 años

*Historial del tumor:* En 1995 el paciente sufrió un ataque y se le descubrió un oligodendroglioma del occipital derecho de grado 2, que se extirpó parcialmente

*Fechas de la terapia:* 30 de julio a 13 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 60 Gy

*Dosis calculada:* 38 Gy anterior y 38 Gy lateral en 30 fracciones, 16 con la fuente antigua y 14 con la fuente nueva

*Resultados:* La TC indica que el paciente no padece enfermedad

*Conclusiones:* Inquietud ante posibilidad de necrosis a largo plazo, pero actualmente el paciente se encuentra bien

*Nº de identificación:* 89, HSG 39

*Edad:* 59 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de endometrio en 1995 con histerectomía total y salpingooforectomía bilateral, que revelaron infiltración linfática

*Fechas de la terapia:* 16 a 25 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 16 × 15 cm

*Dosis calculada:* 35 Gy, 11 fracciones, campos AP/PA, ambos diariamente

*Resultados:* Inicialmente, reacción gastrointestinal de grado 3; actualmente, piel delgada en la región del sacro, sin otros problemas o molestias

*Conclusiones:* Sin efectos por la exposición, aunque hay posibilidad de resquebrajamiento de la piel y efectos gastrointestinales

*Nº de identificación:* 70, HCG—, 3-075-321

*Edad:* 74 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de la parótida izquierda tratado con cirugía en marzo de 1996

*Fechas de la terapia:* 12 de agosto a 20 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 72 Gy en 25 fracciones, cinco con la fuente antigua y 20 con la fuente nueva. 15 × 9 cm, D<sub>max</sub> de 83 Gy

*Resultados:* Dificultad auditiva del lado izquierdo, pero hay un tapón de cerumen. Al principio se sospechó de una otitis de grado 3 inmediatamente después de la radioterapia

*Conclusiones:* Sin efectos evidentes; sólo se hizo un examen superficial del oído

*Nº de identificación:* 50, HSJD 20, 3-185-023

*Edad:* 42 años

*Historial del tumor:* En 1982 se le diagnosticó linfoma no de Hodgkin. En 1991 el paciente tuvo adenopatía axilar izquierda tratada con quimioterapia y bleomicina. En 1996 hubo reincidencia en el cuello

*Fechas de la terapia:* 5 a 22 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 53 Gy, 11 × 18 cm, 17 fracciones en el cuello anterior, 11 × 28 cm

*Resultados:* Ligera fibrosis y pigmentación de la piel sin gravedad; notable bronceado

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 64, HSJD 29, 733-77215-434

*Edad:* 44 años

*Historial del tumor:* Carcinoma del cuello del útero, fase IIB, con histerectomía total y salpingooforectomía bilateral

*Fechas de la terapia:* 28 de agosto a 20 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 45 Gy, 18 fracciones en la pelvis, 15 × 15 cm, 13 sesiones de AP y 12 sesiones en el lado posterior. Las 10 primeras fracciones con la unidad Theratron y sólo ocho con la unidad Alcyon

*Resultados:* La paciente sufre diarrea leve con hemorragia esporádica mínima. Ligera pigmentación de la piel

*Conclusiones:* Sin efectos graves por la radiación; sólo ocho tratamientos con la nueva fuente

*Nº de identificación:* 55, HSJD—, 105-850639

*Edad:* 35 años

*Historial del tumor:* En marzo de 1993, masa supraclavicular y diagnóstico de linfoma no de Hodgkin, fase IIIA, quimioterapia. En 1996, esplenomegalia, nódulos retroauriculares y mesentéricos, terapia de la axila izquierda en abril de 1996

*Fechas de la terapia:* 11 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 13 fracciones en la parte inferior izquierda del cuello, 18 × 9 cm, un campo por día

*Dosis calculada:* 40 Gy

*Resultados:* Enfermedad generalizada (linfoma en el abdomen). Sequedad bucal que debería normalizarse, aunque el fraccionamiento fue escaso para la dosis total

*Conclusiones:* Sin efectos graves; por lo visto, la TC indica afección generalizada del abdomen que no se puede tratar debido a la depresión de la médula ósea, por quimioterapia anterior

*Nº de identificación:* 45, 1-044120145

*Edad:* 43 años

*Historial del tumor:* Enfermedad de Cushing desde hace varios años

*Fechas de la terapia:* 29 de julio a 23 de agosto: nueve fracciones en el lado derecho y nueve fracciones en el izquierdo de la parte izquierda de la cabeza, un campo por día. 26 de agosto a 3 de septiembre de 1996: cuatro fracciones en el lado derecho y tres fracciones en el izquierdo.

Total: 25 fracciones

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 58 Gy en 14 fracciones,  $5 \times 5$  cm

*Resultados:* Pérdida total del cabello, que ha vuelto a crecer parcialmente. Dificultad para masticar, probablemente debido a fibrosis (imagen del lado izquierdo e imágenes de control (portal film) con señalizador ID)

*Conclusiones:* Pronóstico de fibrosis resultante de la radioterapia. Efectos a largo plazo en el cerebro y nervios ópticos

*Nº de identificación:* 105, Hospital de Niños

*Edad:* 7 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de leucemia linfática aguda con afección de las meninges

*Fechas de la terapia:* 16 de agosto a 16 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 54 Gy, 18 fracciones en la cráneo, y 19 Gy, seis fracciones en la médula dorsal,  $23 \times 5$  cm, y la médula lumbar,  $16 \times 5$  cm

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 37, HSJD—, 1-01610363

*Edad:* 29 años

*Historial del tumor:* Adenocarcinoma de la próstata, Gleason 2, con TURP

*Fechas de la terapia:* 22 de julio a 19 de agosto y 28 de agosto a 9 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*  $47 \text{ Gy} + 37 \text{ Gy} = 84 \text{ Gy}$ ,  $8 \times 8$  cm, primer tratamiento, AP/PA, 21 fracciones con un campo por día,  $14 \times 14$  cm; y segundo tratamiento,  $8 \times 8$  cm, campo giratorio

*Resultados:* Espasmos abdominales, pero sin hemorragia gastrointestinal o hematuria. Fibrosis leve limitada a los campos AP y PA

*Conclusiones:* Sin efectos detectados en la fecha del informe. Se deben vigilar posibles problemas de recto o vejiga

*Nº de identificación:* 38, HSJD—, exp 502551

*Edad:* 38 años

*Historial del tumor:* En agosto de 1995, defecto de campo visual y adenoma de pituitaria con resección transfenoidal

*Fechas de la terapia:* Primer tratamiento: 24 de julio a 19 de agosto de 1996; segundo tratamiento: 26 de agosto a 6 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 61 Gy; primer tratamiento, 15 fracciones; segundo tratamiento, 10 fracciones,  $5 \times 5$  cm, 13 fracciones del lado derecho y 12 del izquierdo

*Resultados:* 90% de epilación en las regiones portales. Problemas diversos principalmente endocrinológicos

*Conclusiones:* Persiste cierto riesgo para los nervios ópticos, etc.

*Nº de identificación:* 76, HCG—, 1-128-601

*Edad:* 76 años

*Historial del tumor:* Carcinoma epidermoide del esófago, tercio inferior, inoperable. Quimioterapia durante una semana en julio de 1996. Pulmón derecho extirpado hace 30 años por tuberculosis

*Fechas de la terapia:* 3 de julio a 14 de agosto de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 22 Gy, pero según las fichas médicas 62 Gy, 50 Gy con la fuente antigua y 12 con la nueva fuente, 30 fracciones, AP, lateral 12 + 11, siete fracciones, 19 × 4 cm

*Resultados:* Por lo visto, el estado del paciente es bueno

*Conclusiones:* Posibilidad reducida de problemas en el pulmón que le queda, pero sin efectos importantes. La dosimetría según el registro médico no concuerda con el registro del Grupo de Expertos

*Nº de identificación:* 56, HCG

*Edad:* 72 años

*Historial del tumor:* Carcinoma anaplásico de la vejiga con invasión de nódulos linfáticos, resección parcial

*Fechas de la terapia:* 23 de agosto a 17 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 36 Gy, 12 fracciones en lugar de las 30 recetadas. Al interrumpir el tratamiento el paciente se negó a proseguir terapia alguna. AP, pelvis, 14 × 14 cm

*Resultados:* Diarrea bajo control mediante medicamentos; buen estado de la piel. Problemas psicológicos importantes

*Conclusiones:* Problemas psicológicos importantes probablemente debidos al accidente, aunque el paciente no recibió una sobreexposición notable y no presenta efectos somáticos

*Nº de identificación:* 115

*Edad:* 51 años

*Historial del tumor:* En 1990, cáncer de mama, T3N1M0, con nódulos positivos 2 de 17. Cirugía radical y seis ciclos de quimioterapia. Recibió radioterapia para tratar dolores en el cuello y la espalda debidos a la artrosis, pero no se conocen metástasis

*Fechas de la terapia:* 6 a 20 de septiembre de 1995 (10 fracciones, médula lumbar), 16 a 23 de agosto de 1996 (seis fracciones, médula dorsal), 26 a 29 de agosto de 1996 (cuatro fracciones, médula dorsal)

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 46 Gy en 10 fracciones en la médula lumbar, 18 × 6 cm, y en la médula dorsal, 20 × 5 cm

*Resultados:* Buen estado de la región lumbar después del tratamiento de 1995. En la región dorsal, induración y fibrosis debido al tratamiento con la fuente mal calibrada

*Conclusiones:* Sin efectos importantes en la fecha del informe

*Nº de identificación:* 102, Hospital de Niños

*Edad:* 11 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de leucemia linfática aguda con afección de las meninges. Recibió quimioterapia y radioterapia

*Fechas de la terapia:* 12 de agosto a 12 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 32 Gy en el cráneo y 12 Gy en la columna

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:* Posible disminución del rendimiento escolar debido a la radioterapia. Sería útil disponer de una evaluación más pormenorizada de la dosis

*Nº de identificación:* 87, Hospital de Niños

*Edad:* 13 años

*Historial del tumor:* Meduloblastoma diagnosticado en abril de 1996. El paciente recibió dos ciclos de quimioterapia seguidos de radioterapia, y después otros seis ciclos de quimioterapia y finalmente cirugía

*Fechas de la terapia:* 1 de julio a 30 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* 50 Gy en la fosa posterior y 20 Gy en la columna

*Dosis calculada:* 16,4 Gy en la médula dorsal y 16,2 Gy en la médula lumbar, en ocho fracciones cada una

*Resultados:* Cabello escaso en general, probablemente debido a la quimioterapia

*Conclusiones:* Aún no manifiesta efectos claros debidos a la sobreexposición. Gran parte de la terapia tuvo lugar antes de que se cambiara la fuente. Conviene hacer un seguimiento de este caso

*Nº de identificación:* 42, HSJD 40, 2-298-967

*Edad:* 41 años

*Historial del tumor:* Tumor mixto maligno de la glándula parótida del lado izquierdo. El paciente se sometió a cirugía y luego a radioterapia debido a invasión capsular

*Fechas de la terapia:* 27 de agosto a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 71 Gy en 23 fracciones

*Resultados:* El paciente presentó alteraciones postquirúrgicas en el lado izquierdo. Al parecer, no puede distinguir sabores salados, amargos o dulces. Las pruebas demuestran una pérdida auditiva (pero no sordera) en el oído izquierdo

*Conclusiones:* Alteraciones leves resultantes de la exposición a la radiación. No es seguro que vaya a recuperar el sentido del gusto. Se debe seguir la evolución de la capacidad auditiva

*Nº de identificación:* 63, HSJD 21, 2-150-961

*Edad:* 72 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de próstata, sin cirugía.

*Fechas de la terapia:* 27 de agosto a 13 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 46 Gy, 14 × 14 cm, 14 fracciones

*Resultados:* Durante la terapia el paciente presentó ulceración de la piel, espasmos, tenesmo, cistitis de grado 3 y diarrea. Actualmente tiene una notoria pigmentación de la piel, con clara induración fibroide, sobre todo en la región del sacro

*Conclusiones:* Alteraciones en la piel por sobreexposición. Inquietud ante un resquebrajamiento futuro al menor trauma, con difícil curación. Puede que experimente también alteraciones rectales, aspecto que requiere un estudio más a fondo

*Nº de identificación:* 36, HSJD, 2-80-5-9957-2217

*Edad:* 54 años

*Historial del tumor:* En 1994 se le diagnosticó cáncer de mama con infiltración ductal, T4N1M0, tratado entonces con quimioterapia y radioterapia. En 1996, dolor en la parte inferior de la espalda, con lesión esclerótica en la región L5

*Fechas de la terapia:* 8 a 28 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* Médula

*Dosis calculada:* 42 Gy, 14 fracciones, 15 × 6 cm

*Resultados:* Subjetivamente no presenta problemas; hiperpigmentación de campo sin ulceración, reflejos normales

*Conclusiones:* Sin efectos importantes en la fecha del informe

*Nº de identificación:* 48, HSJD 40, 1-141-308

*Edad:* 75 años

*Historial del tumor:*

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Mediastino, 10 × 6 cm

*Dosis calculada:* 62 Gy en 23 fracciones

*Resultados:* Paciente visitado en su casa, por lo visto en estado terminal, anorexia clínica

*Conclusiones:* Fístula de esófago/tráquea, probablemente debida al tumor

*El paciente falleció en julio de 1997, antes de que se concluyera este informe*

### **Pacientes sin efectos evidentes en la fecha del informe: bajo riesgo de efectos futuros**

*Nº de identificación:* 75, HSG 37, 9-004-0129

*Edad:* 60 años

*Historial del tumor:* Carcinoma epidermoide del antebrazo; la cirugía reveló 4 de 23 nódulos axilares positivos

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Antebrazo y axila izquierdos

*Dosis calculada:* 52 Gy en la axila derecha en 21 fracciones, y 22 Gy en el antebrazo en 12 fracciones

*Resultados:* Paciente en estado terminal por metástasis del tumor, confinado en cama y tratado con morfina

*Conclusiones:* Estado terminal debido a un tumor. Sin efectos evidentes por la exposición a la radiación

*El paciente falleció a mediados de agosto de 1997, después de la Misión de Expertos y antes de la redacción de este informe*



*Nº de identificación:* 17, HCG

*Edad:* 72 años

*Historial del tumor:* Histocitoma fibroso polimorfo de la tibia, extirpado quirúrgicamente en julio de 1996

*Fechas de la terapia:* 13 de julio a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 60 Gy

*Dosis calculada:* 34 Gy, sólo recibió 11 fracciones de las 30 recetadas,  $16 \times 7$  cm

*Resultados:* Curación insuficiente después de la radioterapia, nueva operación en diciembre de 1996. Actualmente, curación adecuada y piel delgada

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la radiación

*Nº de identificación:* 101

*Edad:* 40 años

*Historial del tumor:* Astrocitoma cerebral

*Fechas de la terapia:* 9 de julio a 3 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 62 Gy en 30 fracciones, 25 con la fuente antigua y cinco con la nueva fuente,  $6 \times 8$  cm anterior y  $6 \times 8$  cm lateral

*Resultados:* Sin problemas evidentes relacionados con la radioterapia. Al principio el paciente reaccionó con ira, pero luego se normalizó

*Conclusiones:* Sin efectos evidentes resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 79, HCG 14, 1-284-257

*Edad:* 57 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de carcinoma de células granulosas del ovario en 1991, con reincidencia en 1995 y 1996

*Fechas de la terapia:* 24 de agosto a 12 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 44 Gy,  $15 \times 16$  cm, 14 fracciones

*Resultados:* Al principio tuvo una reacción intestinal de grado 3. Actualmente sin complicaciones evidentes

*Conclusiones:* Sin complicaciones evidentes resultantes de la radioterapia

*Nº de identificación:* 19, HSJD—, 201650544

*Edad:* 62 años

*Historial del tumor:* En marzo de 1996 el paciente acusó dolor en el recto, con próstata agrandada. Se le diagnosticó carcinoma con metástasis ósea y de los nódulos linfáticos. Se le trató con hormonas, orquidectomía y radioterapia. El escáner de masa ósea es positivo en muchas zonas. Después recibió radioterapia en la pelvis (diciembre de 1996)

*Fechas de la terapia:* 25 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 12 Gy en tres fracciones, dos anteriores y una posterior, hombro derecho

*Resultados:* Sin problemas por efectos de radiación, dolor óseo generalizado, el paciente recibe morfina; las imágenes de la pelvis indican metástasis ósea difusa y generalizada

*Conclusiones:* Sin efectos por la radiación, metástasis generalizada

*Nº de identificación:* 15, HSJD 47, 2-088-65-19

*Edad:* 80 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de células de transición de la vejiga (TxN0M0)

*Fechas de la terapia:* 20 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 14 × 14 cm

*Dosis calculada:* 36,6 Gy, seis fracciones, interrupción del tratamiento al detectarse el accidente

*Resultados:* Diarrea y hemorragia iniciales durante la terapia, actualmente sin incidencia importante de colitis

*Conclusiones:* No hay pruebas de problemas debidos a la sobreexposición; el tratamiento se interrumpió en una fase temprana debido al accidente

*Nº de identificación:* 25, HSJD 18, 1-513-542

*Edad:* 38 años

*Historial del tumor:* Mastectomía en 1995, reincidencia en 1996, toracostomía por lesión debida a metástasis. La paciente recibió quimioterapia en 1993 y radioterapia en abril de 1996. Un examen de fluido del peritoneo indicó células malignas, y un escáner óseo en julio de 1996 reveló numerosas metástasis óseas

*Fechas de la terapia:* 5 a 10 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* Recibió cinco fracciones en la mitad derecha de la pelvis (anterior y posterior) y cinco fracciones en las costillas inferiores del lado derecho y lateral

*Dosis calculada:* 8 × 13 cm, 58 Gy, cinco fracciones

*Resultados:* Pigmentación mínima de la piel en la mitad derecha de la pelvis

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 23, HSJD 17, 1-511-043

*Edad:* 38 años

*Historial del tumor:* Tumor de deltoides del brazo izquierdo, diagnóstico de angiomioma agresivo

*Fechas de la terapia:* 12 a 27 de septiembre de 1996 y enero de 1997

*Dosis recetada:* 21 × 10 cm de la totalidad del húmero

*Dosis calculada:* 40 Gy en 13 fracciones

*Resultados:* Pigmentación mínima de la piel, cicatriz quirúrgica en la zona deltoide inferior lateral, sin epilación. El paciente acusa cierta rigidez y dolor del deltoide anterior al levantar el codo

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 12, HSJD, 1-0182-0436

*Edad:* 69 años

*Historial del tumor:* Fumador de 700 paquetes de cigarrillos por año. En agosto de 1996 carcinoma de aritenoides y epiglotis de la hipofaringe T3N0M0. Tratado con quimioterapia y radioterapia simultáneamente. Ingresado durante la terapia con mucositis grave

*Fechas de la terapia:* 11 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Cuello, 8 × 9 cm, dos campos

*Dosis calculada:* 37 Gy en 12 fracciones

*Resultados:* Sin efectos perjudiciales

*Conclusiones:* Sin efectos perjudiciales visibles

*Nº de identificación:* 49, HSJD 19, 1-205-006, 201610813

*Edad:* 64 años

*Historial del tumor:* En 1988 ataque, según TC lesión compatible con infarto. En junio de 1996 una gastroscopia reveló carcinoma de esófago, tratado con quimioterapia

*Fechas de la terapia:* 29 de julio a 23 de agosto de 1996, 18 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 10 × 10 cm, mediastino anterior y posterior cada día, ambos campos, 1 Gy/campo, luego dos campos oblicuos (1,8 Gy) cada día en el esófago, de 4 × 8 cm

*Dosis calculada:* 25 Gy, 20 + ocho tratamientos adicionales

*Resultados:* Resultados normales de gastroscopia en octubre. El paciente acusa dolor en las piernas, pero el escáner por resonancia magnética de toda la médula espinal fue normal. Epilación posterior y anterior y alteraciones mínimas de la piel

*Conclusiones:* Sin efectos claramente atribuibles a la radiación

*Nº de identificación:* 117, HCG—, 3-173-015

*Edad:* 48 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IB, quimioterapia en 1995; el tumor, aparentemente curado, reapareció en agosto de 1996 en fase IIIB

*Fechas de la terapia:* 25 a 27 de septiembre de 1996, terapia completada en enero de 1997. En abril de 1997 se sospechó que la paciente tenía un tumor residual o reincidente

*Dosis recetada:* 16 × 15 cm, 12 fracciones

*Dosis calculada:* 11,2 Gy con la nueva fuente

*Resultados:* Masa abdominal de gran tamaño, dolores abdominales y vómitos

*Conclusiones:* Sin pruebas de efectos debidos a la radioterapia

*Nº de identificación:* 53, 9-041-0020

*Edad:* 52 años

*Historial del tumor:* Adenocarcinoma del recto, extirpación AP y colostomía, radioterapia postquirúrgica

*Fechas de la terapia:* 9 a 22 de septiembre de 1996, región de la pelvis

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 47 Gy, AP, 14 × 14 cm, PA, 14 × 14 cm, un campo cada día, imagen de control buena (portal film), ocho fracciones anterior, siete fracciones posterior, total 15 fracciones

*Resultados:* Dolor inguinal después del tratamiento y espasmos intestinales, bronceado y fibrosis mínima, posterior, pocas anomalías, sin síntomas urinarios (imagen del campo anterior)

*Conclusiones:* No se prevén problemas concretos

*Nº de identificación:* 14, HSJD 24, 5-111-580

*Edad:* 52 años

*Historial del tumor:* Tumor de origen desconocido con metástasis óseas, lesiones del húmero y fémur izquierdos, sin metástasis del cerebro

*Fechas de la terapia:* 19 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* Cuatro fracciones en el fémur izquierdo, 10 fracciones en la columna, paliativo

*Dosis calculada:*

*Resultados:* Sin alteraciones resultantes de la radiación

*Conclusiones:* Paliación, sin cambios dado que el paciente recibió sólo cuatro y diez tratamientos

*El paciente falleció de metástasis óseas a finales de agosto de 1996*

*Nº de identificación:* 21, 1-0530-0604

*Edad:* 36 años

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero tratado con aplicación vaginal de cesio, 25 Gy, 54 horas

*Fechas de la terapia:* 18 a 22 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 25 Gy, AP/PA, 15 × 15 cm, cuatro fracciones anterior y cuatro posterior, un campo por día con 3,63 cGy D<sub>max</sub> por día

*Resultados:* Buen estado de la piel, pero la paciente acusa diarrea

*Conclusiones:* No se prevén problemas en el futuro, ni que la radioterapia cause problemas intestinales

*Nº de identificación:* 103, Hospital de Niños

*Edad:* 10 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de leucemia linfática aguda en 1990 a la edad de 3 años, con afección meníngea. Reincidencia testicular en 1992. Recibió 24 Gy en el cráneo, 24 Gy en los testículos y 12 Gy en la columna. En julio de 1996 nueva reincidencia testicular

*Fechas de la terapia:* 6 a 18 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* 24 Gy en los testículos

*Dosis calculada:*

*Resultados:* Testículos existentes pero ligeramente reducidos, pigmentación mínima de la piel, sin otros resultados

*Conclusiones:* Sin efectos, probablemente debido a que la mayor parte del tratamiento finalizó antes de que se instalara la nueva fuente

*Nº de identificación:* 22, HSJD

*Edad:* 46 años

*Historial del tumor:* En agosto de 1996 diagnóstico de seminoma en el testículo izquierdo, fase I

*Fechas de la terapia:* 16 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 24 Gy

*Dosis calculada:* 31 Gy, 16 × 14 cm, región inguinal izquierda, 10 fracciones

*Resultados:* Edema leve, buen estado general

*Conclusiones:* Sin efectos visibles o previstos

*Nº de identificación:* 32, HSJD 25, 1-221-976

*Edad:* 64 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de adenocarcinoma de cuello de útero en 1989. En enero de 1990 radioterapia en una masa de gran tamaño en el lado izquierdo del parametrio. En 1996 fractura patológica de la parte superior del húmero. Actualmente, metástasis adicionales

*Fechas de la terapia:* 20 a 22 de agosto, y 26 de agosto a 2 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 31 Gy,  $12 \times 6$  cm, 11 fracciones en total en la médula lumbar

*Resultados:* Pigmentación parcial y fibrosis de la piel, diarrea persistente

*Conclusiones:* Sin resultados imprevistos debidos a la sobreexposición

*Nº de identificación:* 88, HCG—, 1-700-088

*Edad:* 88 años

*Historial del tumor:* En 1989, carcinoma de células basales de la nariz. Actualmente reincidencia y queratosis

*Fechas de la terapia:* 27 de junio a 9 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 15,5 Gy en ocho fracciones, tres con la fuente antigua y cinco con la nueva fuente, campo nasal  $3 \times 3$  cm, dosis previa de 50 Gy

*Resultados:* Necrosis muy focal de la parte lateral inferior nasofaríngea, parece que se debe al tumor; sin alteraciones evidentes por la radiación

*Conclusiones:* Sin efectos evidentes, probable necrosis mínima debida al tumor

*Nº de identificación:* 69, HCG—, 1-781-758

*Edad:* 68 años

*Historial del tumor:* En 1996 cáncer de mama T1, con nódulos linfáticos positivos 1 de 15; quimioterapia y cirugía

*Fechas de la terapia:* 24 de julio a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Campo “palo de hockey”,  $14 \times 14$  cm

*Dosis calculada:* 66 Gy, 25 fracciones, 12 con la fuente antigua y 13 con la nueva fuente,  $D_{\max}$  de 72 Gy

*Resultados:* No se advierten efectos

*Conclusiones:* Sin efectos en la fecha del informe

*Nº de identificación:* 98, HCG 43, 1-332-999

*Edad:* 50 años

*Historial del tumor:* Cáncer de mama en el cuadrante interno, quimioterapia previa a la radioterapia

*Fechas de la terapia:* 25 de julio a 3 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 71 Gy, 23 fracciones, 18 con la fuente antigua y siete con la nueva fuente. El campo anterior se alineó con la zona lateral derecha del esternón, para abarcar los nódulos mamarios internos

*Resultados:* Pigmentación mínima de la piel, sin más efectos actualmente

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 81, HCG 41, 9-055-935

*Edad:* 72 años

*Historial del tumor:* Cáncer epidermoide T4 en la boca, disección radical del lado izquierdo del cuello en 1995. Al principio se trató al paciente en mayo de 1996 con 15 fracciones, y hubo un intervalo sin seguimiento hasta el 29 de julio

*Fechas de la terapia:* 29 de julio a 4 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Cinco campos, 20 fracciones, 12 con la fuente antigua y ocho con la nueva fuente. Lado derecho del cuello 19 Gy, lado izquierdo del cuello 8 Gy. No hay cálculo de las dosis en otros campos

*Resultados:* Alteraciones postquirúrgicas después de la disección del cuello. El paciente acusa sequedad bucal, pero el examen muestra saliva normal. Asimismo, leve disfagia

*Conclusiones:* Sin efectos evidentes resultantes de la sobreexposición

*Nº de identificación:* 2, HCG 46, 9-003-211

*Edad:* 58 años

*Historial del tumor:* Cáncer de nasofaringe, tratado inicialmente en junio de 1996 con tres ciclos de quimioterapia

*Fechas de la terapia:* 20 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Laringe y cuello

*Dosis calculada:* 19 Gy en el cuello y 10 Gy en la laringe, sólo seis fracciones. El tratamiento se suspendió debido al accidente. Se reanudó el resto de la terapia tres meses después

*Resultados:* No se advierten efectos resultantes de la radiación

*Conclusiones:* No se advierten efectos resultantes de la radiación

### **Pacientes sometidos a subexposición**

*Nº de identificación:* 1, HSJD 33, 1-431-892

*Edad:* 43 años

*Historial del tumor:* En 1992 cáncer de mama del seno izquierdo, con mastectomía en 1993. Radioterapia de diciembre de 1993 a enero de 1994 con campos tangenciales. Reincidencia supraclavicular en 1996

*Fechas de la terapia:* 24 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 13 Gy, 12 × 11 cm, cuatro fracciones antes de la detección del accidente

*Resultados:* Sin efectos perjudiciales

*Conclusiones:* Sin efectos perjudiciales, puesto que la paciente recibió sólo cuatro fracciones

*Nº de identificación:* 20, HCG 23, 6-108-780

*Edad:* 42 años

*Historial del tumor:* Diagnóstico de meningioma olfatorio en 1993, operado tres veces pero con reincidencia persistente

*Fechas de la terapia:* 24 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Campos oblicuos

*Dosis calculada:* 13 Gy, sólo cuatro fracciones. Tratamiento suspendido debido al accidente. No se volvió a aplicar radioterapia.

*Resultados:* El paciente sufre ceguera del ojo derecho resultante de cirugía efectuada previamente. Tumor recurrente detectado por escáner TC en los senos etmoides, con invasión de órbitas y destrucción ósea. Exoftalmo moderado en el lado izquierdo, resultante del tumor. Actualmente el paciente piensa volver a someterse a tratamiento quirúrgico

*Conclusiones:* Sin efectos resultantes de la exposición a la radiación

## **Pacientes que no fueron examinados**

*Nº de identificación:* 120, HCG—, 3-129-199

*Edad:* 59 años

*Historial del tumor:* Hiperpigmentación de la parte derecha de la parótida, con alteración del sentido del gusto. Atrofia cutánea del área irradiada, repoblación del cabello, sin indicios de reincidencia local. Dermatitis actínica después de la sobreexposición, con secreción amarillenta y perforación del 40%

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:* El paciente acudió para ser examinado y no figura en la lista principal

*Conclusiones:* El paciente fue tratado antes del cambio de la fuente

*Nº de identificación:* HSJD 15, 2-114-280

*Edad:* 74 años

*Historial del tumor:* Cáncer de cuello de útero

*Fechas de la terapia:* 26 de agosto a 10 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 15 × 15 cm

*Dosis calculada:* 49 Gy en 19 fracciones

*Resultados:* La paciente no acudió para ser examinada

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 111

*Edad:*

*Historial del tumor:*

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Pulmón

*Dosis calculada:* 43 Gy, 12 fracciones, 16 × 10 cm

*Resultados:* El paciente se encontraba ausente del país en la fecha de la Misión de Expertos y por ello no fue examinado

*Conclusiones:*

## **Pacientes fallecidos**

Se examinaron datos correspondientes a 34 de los 42 pacientes fallecidos (un 80%).

En siete casos, las autopsias están completas. En otros casos, las autopsias están en curso y se pudieron examinar fotografías de muestras y de los pacientes. En algunos casos sólo se dispuso de datos sueltos, mientras que en otros la valoración se basó en expedientes del centro médico o en la magnitud, localización y fraccionamiento de la radiación recibida.

Es difícil evaluar la causa de la muerte de un paciente aquejado de un tumor sin disponer de todos los datos de la autopsia y de información sobre las circunstancias en el momento del fallecimiento. Dado que todos los pacientes se sometieron a radioterapia, casi todos ellos experimentarán alteraciones histopatológicas asociadas a una exposición a la radiación. No obstante, ello no implica que la radiación fuera en todos los casos causa directa o principal de la muerte. Las valoraciones del Grupo de Expertos se basan en datos disponibles en una fecha determinada, son de carácter preliminar y no se deben interpretar como un dictamen definitivo.

En resumen, cabe distribuir a los pacientes (en total son 42) en los siguientes grupos: en tres casos la radiación fue la causa principal de la muerte; en cuatro casos la radiación fue un factor importante que contribuyó a la muerte; en 22 casos la muerte se debió a un tumor u otra causa ajena a la radiación; en cinco casos la información disponible no es suficiente para emitir un juicio; el Grupo de Expertos no pudo examinar los datos correspondientes a ocho pacientes.

### **Pacientes cuya muerte tuvo probablemente como causa principal la exposición a la radiación**

Nº de identificación: 57, 96-2137, 307613592

*Edad:* 79 años

*Fecha de fallecimiento:* 22 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Leucemia linfática crónica. Se ingresó al paciente 14 días antes de que falleciera

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 44 Gy, 29 × 23 cm, campo abdominal, 12 fracciones con la fuente antigua y 10 con la nueva fuente. En la ficha del hospital consta una dosis muy inferior a la calculada por el Grupo de Expertos

*Resultados:* El paciente fue embalsamado, pero las fotografías indican hemorragia gastrointestinal

*Conclusiones:* Muerte probablemente asociada a la radiación

Nº de identificación: 59, 96-1774, 2174632, 21740632

*Edad:* 61 años

*Fecha de fallecimiento:* 28 de octubre de 1996

*Causa de la muerte:* Traqueobronquitis necrótica y neumonía bilateral de lóbulos superiores

*Historial del tumor:* Linfoma maligno

*Fechas de la terapia:* 26 de agosto de 1996

*Dosis recetada:* Cuello y pecho anterior

*Dosis calculada:* 62 Gy anterior, 50 Gy dosis de salida, 20 fracciones

*Resultados:* Autopsia completa. Necrosis de faringe y laringe, epilación en la región de la fosa posterior, las imágenes de trayectoria indican asimismo necrosis, hemorragia de tiroides y



denudación de la mucosa traqueal. Además, posible pneumonitis radioinducida complicada por bacterias

*Conclusiones:* La radiación fue la causa principal de la muerte, conclusión que comparte el forense.

*Nº de identificación:* 18, 96-1719

*Edad:* 64 años

*Fecha de fallecimiento:* 19 de octubre de 1996

*Causa de la muerte:* Hemorragia del aparato gastrointestinal superior

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IIB

*Fechas de la terapia:* 5 a 29 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Dosis de 38 Gy aplicada al tumor,  $D_{\max}$  de 68 Gy,  $15 \times 15$  cm, 12 fracciones

*Resultados:* La paciente experimentó hemorragia y diarrea antes de completar la terapia, fue ingresada y no volvió a salir del hospital. Las fotografías indican hemorragia de colon con perforación, petequias del intestino delgado y hemorragias de cuello de útero y de útero

*Conclusiones:* La radiación fue la causa principal de la muerte, conclusión que comparte el forense.

### **Pacientes cuya muerte parece deberse en gran medida a la radiación**

*Nº de identificación:* 67, 97-987, 5-0960984

*Edad:* 54 años

*Fecha de fallecimiento:* A efectos forenses, el 19 de junio de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Sarcoma retroperitoneo con cirugía incompleta

*Fechas de la terapia:* Lado derecho del abdomen,  $31 \times 22$  cm, dos campos, 16 fracciones con la nueva fuente

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 50 Gy

*Resultados:* Ulceración gástrica, hiperpigmentación de la piel en el lado derecho del abdomen, necrosis de la parte derecha del colon, tumor extenso de 4500 gramos

*Conclusiones:* La radiación puede haber influido en gran parte dados los cambios en la parte derecha del colon en el área de aplicación de la terapia

*Nº de identificación:* 60, 96-1851

*Edad:* 60 años

*Fecha de fallecimiento:* 8 de noviembre de 1996

*Causa de la muerte:* Colitis necrótica aguda, linfoma linfocítico moderadamente diferenciado, faringitis y traqueítis necrótica aguda debido a la irradiación

*Historial del tumor:* Linfoma no de Hodgkin

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Cara,  $13 \times 8$  cm, campos laterales, 24 fracciones en total, 16 Gy en el lado

izquierdo y 40 Gy en el lado derecho. Cara anterior,  $9 \times 2$  cm, 24 fracciones, 24 Gy; cuello anterior,  $25 \times 10$  cm, 24 fracciones, 72 Gy

*Resultados:* Sin ulceración en la piel, mucosa y edema, y necrosis parcial de laringe y tráquea

*Conclusiones:* La radiación puede haber sido una de las causas principales de la muerte

*Nº de identificación:* 46, 97-187, 1-203-954

*Edad:* 72 años

*Fecha de fallecimiento:* A efectos forenses, el 26 de enero de 1997

*Causa de la muerte:* Cáncer de lengua, mucositis y esofagitis

*Historial del tumor:* Carcinoma de lengua

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 72 Gy, cara,  $8 \times 7$  cm, cinco fracciones con la fuente antigua y 20 con la nueva fuente. 62 Gy, cuello,  $16 \times 7$  cm, un campo, 20 fracciones, todas con la nueva fuente

*Resultados:* Las fotografías de la autopsia superficial muestran edema facial, hinchazón en la base de la lengua y laringe, ausencia aparente de tumor

*Conclusiones:* La radiación puede muy bien haber sido una de las causas principales de la muerte

*Nº de identificación:* 52, 97-110, 4-051-822

*Edad:* 73 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de hipofaringe, mayo de 1996

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*  $13 \times 9$  cm, dos campos, nueve fracciones

*Dosis calculada:* 92 Gy, cuello

*Resultados:* Autopsia superficial: cuello hinchado y rígido, bronceado intenso con despigmentación en la zona de la laringe, edema de senos piriformes y base de la lengua, con alteraciones fibrosas

*Conclusiones:* La radiación puede haber sido una de las causas principales de la muerte

### **Pacientes en los que la radiación no parece haber sido una de las causas principales de la muerte**

*Nº de identificación:* 27, 97-15, 1-209-835

*Edad:* 65 años

*Fecha de fallecimiento:* 2 de enero de 1997

*Causa de la muerte:* Cáncer de esófago

*Historial del tumor:* Cáncer de esófago

*Fechas de la terapia:* 13 de agosto a 25 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 55 Gy,  $12 \times 6$  cm, cinco fracciones con la fuente antigua y 15 fracciones con la nueva fuente

*Resultados:* Se examinaron las fotografías y el informe de la autopsia completa

*Conclusiones:* El informe oficial del forense dictaminó que la muerte no estaba relacionada con la radiación. El Grupo de Expertos coincide con el dictamen

*Nº de identificación:* 71, 97-42

*Edad:* 65 años

*Fecha de fallecimiento:* 13 de febrero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Adenocarcinoma del recto

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Pelvis, 10 × 7 cm

*Dosis calculada:* 16 Gy en 10 fracciones

*Resultados:* Autopsia, 8 × 8 cm, tumor sigmoide, y 8 × 8 cm, neoplasma rectal

*Conclusiones:* La dosis fue demasiado baja para que la radiación pudiera causar efectos

*Nº de identificación:* 11, 97-122, 01-0122-0518

*Edad:* 74 años

*Fecha de fallecimiento:* 17 de enero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 31 Gy en seis fracciones, una con la fuente antigua y cinco con la nueva fuente, costillas del lado derecho, 9 × 4 cm

*Resultados:*

*Conclusiones:* La dosis fue demasiado baja, el tamaño del campo era pequeño y el lugar no era crítico. Las fotografías no muestran una reacción acusada de la piel

*Nº de identificación:* 28, 96-2096, 06-0034-0653

*Edad:* 66 años

*Fecha de fallecimiento:* 19 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de pulmón T4N2M0

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 50 Gy en el mediastino, 15 × 10 cm, 20 fracciones, 11 con la fuente antigua y nueve con la nueva fuente

*Resultados:* Autopsia. El paciente sufría esofagitis pero falleció por metástasis de pericardio y otras metástasis generalizadas

*Conclusiones:* La radiación no constituyó una de las causas principales de la muerte

*Nº de identificación:* 29, 96-2123

*Edad:* 53 años

*Fecha de fallecimiento:* 22 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 30 Gy en el hombro derecho, 10 fracciones, 13 Gy en la columna vertebral, 19 × 7 cm, ocho fracciones, cinco con la fuente antigua y tres con la nueva fuente

*Resultados:*

*Conclusiones:* La dosis fue demasiado baja para haber sido un factor digno de consideración

*Nº de identificación:* 65, 97-73, 6-01030081

*Edad:* 43 años

*Fecha de fallecimiento:* A efectos forenses, en noviembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 39 Gy en el brazo derecho, un campo, 20 × 10 cm, cinco fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:* Muerte no relacionada con la radiación aplicada al brazo; dosis baja

*Nº de identificación:* 30, 97-17, 3-142-0078

*Edad:* 56 años

*Fecha de fallecimiento:* 2 de enero de 1997

*Causa de la muerte:* Cáncer de mama

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:* 18 a 26 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Irradiación de la columna vertebral, región L4

*Dosis calculada:* 36 Gy en la columna en 13 fracciones, cinco con la fuente antigua y ocho con la nueva fuente, 15 × 7 cm

*Resultados:* Metástasis del tumor en los pulmones, corazón, hígado, masa ósea, bazo y nódulos linfáticos

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 108, 96-79 97-25

*Edad:* 2 años

*Fecha de fallecimiento:* 13 de octubre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Neuroblastoma abdominal

*Fechas de la terapia:* 6 Gy con la nueva fuente

*Dosis recetada:* Cadera izquierda, tratamiento paliativo

*Dosis calculada:* 62 Gy, 10 × 8 cm, 15 fracciones

*Resultados:* Inicialmente tumor del riñón derecho, masa en la nalga izquierda

*Conclusiones:* Tratamiento paliativo sólo en la cadera; la muerte no se debió a la sobreexposición

*Nº de identificación:* 16, 97-25, 3-272-271

*Edad:* 32 años

*Fecha de fallecimiento:* 23 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Enfermedad de Hodgkin, fase IVB

*Fechas de la terapia:* 23 a 27 de septiembre (las fechas no coinciden con las fracciones de la ficha de los médicos)

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 12 Gy, mediastino, 13 fracciones, Y invertida, 20 Gy, 19 fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:* Muerte no relacionada con la radiación pues la dosis fue demasiado baja

*Nº de identificación:* 107, 97-076

*Edad:* 10 años

*Fecha de fallecimiento:* 9 de enero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Rabdomiosarcoma

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Irradiación del cráneo, 14 × 16 cm, lado derecho e izquierdo, 71 Gy, 28 fracciones con la fuente antigua y cinco con la nueva fuente, dosis total 72 Gy, en su mayoría con la fuente antigua

*Resultados:* Se revisaron los resultados de la autopsia superficial

*Conclusiones:* Sin alteraciones negativas importantes debidas a la radiación

*Nº de identificación:* 110, 96-78, 6-117-0751

*Edad:* 40 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de útero, braquiterapia en 1993, tumor occipital secundario (meduloblastoma y metástasis)

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 32 Gy, 13 fracciones, seis con la nueva fuente, 16 × 18 cm, campos craneanos laterales

*Resultados:* No se practicó autopsia

*Conclusiones:* La radiación no fue una de las causas principales de la muerte, pues la dosis fue demasiado baja

*Nº de identificación:* 97-26, 260-7462

*Edad:* 70 años

*Fecha de fallecimiento:* 12 de septiembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Histiocistoma fibroso maligno

*Fechas de la terapia:* 10 a 12 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:* No se practicó autopsia

*Conclusiones:* Sólo recibió dos fracciones y falleció a los dos días de iniciarse la radioterapia; muerte no asociada a la radiación

*El paciente fue irradiado antes del cambio de la fuente*

*Nº de identificación:* 82, 97-74

*Edad:* 82 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de cuello de útero

*Fechas de la terapia:* 1 de agosto a 4 de septiembre de 1996 (las fechas no coinciden con la información de los médicos)

*Dosis recetada:* Pelvis, AP

*Dosis calculada:* 31 Gy, seis fracciones con la nueva fuente, 14 × 14 cm, dos campos

*Resultados:*

*Conclusiones:* La dosis fue probablemente demasiado baja para poder causar secuelas importantes

*Nº de identificación:* 43, 96-1953

*Edad:* 50 años

*Fecha de fallecimiento:* 26 de noviembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:* 17 de septiembre a 2 de octubre de 1996

*Dosis recetada:* Cráneo, 18 × 15 cm, dos campos

*Dosis calculada:* 40 Gy, nueve fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:* La dosis administrada al cráneo no debería tener consecuencias letales

*Nº de identificación:* 119-2018, 1-2590077, 48.546

*Edad:* 50 años

*Fecha de fallecimiento:* 6 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:* Paro cardiopulmonar, autopsia incompleta

*Historial del tumor:* Cáncer de mama, cirugía en 1980. Radioterapia en 1980, 40 Gy seno y 50 Gy axila. En 1994, disfagia y estenosis de esófago y pericarditis que se estimaron resultantes de la radiación anterior. En 1995 metástasis ósea, carcinoma de esófago tratado con radioterapia y gastrostomía

*Fechas de la terapia:* Según los datos disponibles, no están claras

*Dosis recetada:* 30 Gy pelvis, 10 fracciones paliativas

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:* Muerte no relacionada con la radioexposición si se toma como criterio fundamental la dosis y, en su caso, las fechas de la terapia

*Nº de identificación:* 92, 97-058, 4-044-0909

*Edad:* 77 años

*Fecha de fallecimiento:* 7 de enero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Carcinoma en la vulva

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Pelvis,  $24 \times 29$  cm

*Dosis calculada:* 61 Gy, 14 fracciones con la fuente antigua y 11 con la nueva fuente

*Resultados:* Post mortem, tumor masivo, ascites, sin alteraciones claramente debidas a la radioterapia en los órganos abdominales

*Conclusiones:* La muerte se debió probablemente al tumor

*Nº de identificación:* 93, 97-901

*Edad:* 65 años

*Fecha de fallecimiento:* 18 de mayo de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero

*Fechas de la terapia:* 23 a 29 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*  $15 \times 15$  cm, dos campos

*Dosis calculada:* 15,5 Gy

*Resultados:*

*Conclusiones:* Muerte no relacionada con la radiación pues la paciente sólo recibió tres o cuatro fracciones y la dosis fue demasiado baja para poder causar secuelas

*Nº de identificación:* 86, 96-2022

*Edad:* 19 años

*Fecha de fallecimiento:* 7 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Enfermedad de Hodgkin

*Fechas de la terapia:* 9 a 26 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Campo amplio ("mantle"),  $32 \times 35$  cm, dos campos, 14 fracciones

*Dosis calculada:* 43 Gy

*Resultados:*

*Conclusiones:* La dosis estuvo dentro de un margen que no debe haber causado la muerte

*Nº de identificación:* 24, 96-1878

*Edad:* 76 años

*Fecha de fallecimiento:* 13 de noviembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Mieloma múltiple

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Cuello,  $12 \times 9$  cm y  $10 \times 14$  cm

*Dosis calculada:* 46,5 Gy, 10 fracciones con la nueva fuente

*Resultados:* Edema cerebral

*Conclusiones:* La muerte probablemente no se debió a la radiación

*Nº de identificación:* 112, 96-72, 01-0342-0435

*Edad:* 33 años

*Fecha de fallecimiento:* 4 de octubre de 1996

*Causa de la muerte:* Hemorragia del aparato gastrointestinal superior

*Historial del tumor:* Adenocarcinoma gástrico con metástasis

*Fechas de la terapia:* 6 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Campo del perineo, 5 × 5 cm, 49 Gy, pelvis, 14 × 14 cm, 15 Gy en cinco fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:* La muerte probablemente no se debió a la radiación

*Nº de identificación:* 118, 97-375

*Edad:* 74 años

*Fecha de fallecimiento:* 21 de febrero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de la nasofaringe

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:* Reacción moderada de la piel en el cuello, mucosa de la región del cuello con aspecto relativamente normal

*Conclusiones:* La muerte probablemente no se debió a la radiación

*Nº de identificación:* 73, 97154

*Edad:* 56 años

*Fecha de fallecimiento:* 20 de noviembre de 1996

*Causa de la muerte:* Diarrea crónica, enteritis actínica, carcinoma de colon

*Historial del tumor:* Carcinoma de colon

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:*

**Pacientes cuyos datos son insuficientes para poder emitir  
un dictamen con fundamento**

*Nº de identificación:* 116, 97-879

*Edad:* 71 años

*Fecha de fallecimiento:* A efectos forenses, el 16 de mayo de 1997; falleció en su domicilio

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Pelvis

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:*



*Nº de identificación:* 72, 96-1780, 3-0210076

*Edad:* 76 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de pulmón

*Fechas de la terapia:* 10 a 24 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 48 Gy, 20 fracciones

*Resultados:* Admitido para tratamiento paliativo de hemoptisis, reacción de grado 2 en la piel y vómito durante la radioterapia

*Conclusiones:* Datos insuficientes

*Nº de identificación:* 104, 97-154

*Edad:* 2 años

*Fecha de fallecimiento:* 21 de enero de 1997

*Causa de la muerte:* Desarrollo de tumor con efecto tóxico resultante de la sobreexposición

*Historial del tumor:* Neuroblastoma tratado con radiación y quimioterapia

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* 6 × 6 cm, supraclavicular

*Dosis calculada:* 70 Gy, 18 fracciones con la nueva fuente

*Resultados:* Metástasis de hígado, pulmón y pleura, erosión de dura y hueso

*Conclusiones:* Datos insuficientes

*Nº de identificación:* 114

*Edad:* 60 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:*

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Columna vertebral, 15 × 12 cm, un campo, y otro campo, 5 × 5 cm

*Dosis calculada:* 27,3 Gy, ocho fracciones, 15 × 12 cm, columna vertebral, dos con la nueva fuente, y 23 Gy, cinco fracciones con la nueva fuente, 5 × 5 cm

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 33, 96-2188

*Edad:* 51 años

*Fecha de fallecimiento:* 29 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de mama

*Fechas de la terapia:* 28 de agosto a 10 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* Pelvis, 19 × 17 cm, dos campos

*Dosis calculada:* 46,5 Gy, 10 fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:* La muerte probablemente no se debió a la radiación

## **Datos de pacientes que no fueron examinados por el Grupo de Expertos**

*Nº de identificación:* 94

*Edad:* 81 años

*Fecha de fallecimiento:* 4 de enero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Carcinoma de hipofaringe

*Fechas de la terapia:* 9 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* Anterior 47 y lateral 47, 15 fracciones, 2 Gy en la hipofaringe y la totalidad del cuello

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 34

*Edad:* 66 años

*Fecha de fallecimiento:* 26 de febrero de 1997

*Causa de la muerte:* Autopsia no disponible

*Historial del tumor:* Tumor de riñón

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:*

*Edad:* 68 años

*Fecha de fallecimiento:* 19 de septiembre de 1996

*Causa de la muerte:* Autopsia no disponible

*Historial del tumor:* Cáncer axilar

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 113

*Edad:* 67 años

*Fecha de fallecimiento:* 13 de enero de 1997

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Melanoma metastásico de la piel

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:*

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 96

*Edad:* 50 años

*Fecha de fallecimiento:* Se desconoce

*Causa de la muerte:* Autopsia no disponible

*Historial del tumor:* Carcinoma del antro maxilar derecho

*Fechas de la terapia:* El tratamiento concluyó el 13 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:* 17 fracciones, 2 Gy en la zona derecha del antro y la totalidad del cuello

*Dosis calculada:* 50 Gy, 14 fracciones en el cuello y 25 fracciones en la zona anterior del sinus

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 4

*Edad:* 48 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de cuello de útero

*Fechas de la terapia:* 12 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 38 Gy, 12 fracciones

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:*

*Edad:* 72 años

*Fecha de fallecimiento:* 16 de diciembre de 1996

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Cáncer de pulmón

*Fechas de la terapia:* 2 a 27 de septiembre de 1996

*Dosis recetada:*

*Dosis calculada:* 20 fracciones, 2 Gy en la parte superior del lóbulo del pulmón izquierdo, mediastino y zona supraclavicular izquierda del cuello

*Resultados:*

*Conclusiones:*

*Nº de identificación:* 68, 97-115

*Edad:* 52 años

*Fecha de fallecimiento:*

*Causa de la muerte:*

*Historial del tumor:* Carcinoma de cuello de útero, fase IB, cirugía incompleta

*Fechas de la terapia:*

*Dosis recetada:* Pelvis, 18 × 17 cm, 10 fracciones con la fuente antigua y 19 con la nueva fuente

*Dosis calculada:* 59 Gy

*Resultados:*

*Conclusiones:*

## **Anexo**

### **REGISTROS SOBRE LA PARTICIPACION DEL HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS EN LAS VERIFICACIONES DEL SERVICIO POSTAL DE VERIFICACION DE DOSIS CON TLD DEL OIEA/OMS**

**P. Andreo y J. Izewska**

Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica

División de Salud Humana

Organismo Internacional de Energía Atómica

Viena

#### **A-1. VERIFICACIONES DEL SERVICIO POSTAL DE VERIFICACION DE DOSIS CON TLD DEL OIEA/OMS**

El OIEA dispone de un servicio para verificar la calibración de unidades de radioterapia en hospitales y centros de oncología de los Estados Miembros. Dicho servicio se fundó en 1969. Los controles cualitativos de dosis de los centros de radioterapia (denominados a veces “intercomparaciones”) se llevan a cabo mediante dosímetros TLD que se envían por correo. El Organismo proporciona dosímetros TLD que son irradiados por el personal del hospital en condiciones de referencia preestablecidas, utilizando dosis de radiación de importancia clínica. La dosis absorbida en el dosímetro se mide en el Laboratorio de Dosimetría del OIEA y el resultado se compara con el valor indicado por el usuario. El servicio se ha utilizado durante 30 años para controlar más de 2600 haces de radioterapia en 850 hospitales. En muchos casos se han detectado errores notables de calibración de los haces de terapia, que a veces han conducido a un tratamiento inadecuado de los pacientes. En todos los casos, el servicio ofrece un control de calidad independiente y objetivo de los procedimientos dosimétricos que se utilizan en los hospitales.

El servicio postal TLD, conocido como servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS, se lleva a cabo mediante la colaboración entre el OIEA, la OMS y, en América Latina, la OPS. La Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica de la División de Salud Humana del OIEA es responsable de los aspectos técnicos del sistema TLD, de las irradiaciones de referencia, y de recoger y evaluar los dosímetros. La OMS o la OPS supervisa la distribución de los TLD a los centros de radioterapia, por conducto de centros nacionales o regionales afiliados a la OMS. El OIEA y la OMS están en contacto con los participantes a través de los Ministerios de Sanidad o

de Salud de los Estados Miembros, que por lo general son la autoridad superior de los centros de radioterapia.

Inicialmente, el servicio se creó para las unidades de terapia de <sup>60</sup>Co. No obstante, desde hace poco abarca también los haces de fotones y electrones de alta energía emitidos por aceleradores clínicos. Dentro de este programa, las actividades realizadas en colaboración con otras organizaciones proporcionan un control de calidad que complementa la labor de investigación que se lleva a cabo en el OIEA. Todos los procedimientos TLD cuentan con el apoyo del Bureau international des poids et mesures (BIPM) (Oficina internacional de pesos y medidas), diversos laboratorios primarios de calibración dosimétrica (el Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, de Viena (Austria); el Physikalisch-Technische Bundesanstalt, de Braunschweig (Alemania), etc.) y determinados centros e instituciones de tecnología avanzada en materia de radioterapia con sede en Europa y en los Estados Unidos de América. Estos institutos proporcionan índices de irradiación de referencia para los dosímetros TLD y actúan como agentes externos de control de calidad del servicio de dosimetría con TLD del OIEA.

A-2. OBSERVACION IMPORTANTE

El servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS garantiza el carácter confidencial de los resultados, y que sólo las personas responsables de los

CUADRO A-I. CONTROLES CON TLD REALIZADOS EN EL HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS

Año	Haz	Desviación <sup>a</sup> (%)
1990	Co-60/1	20,5
1991	Co-60/1	7,1
1992	Co-60/1	26,3
	Co-60/2	25,9
1994	Co-60/1	68,9
	Co-60/2	69,8
1995	Co-60/1	38,3
	Co-60/2	25,5
1995 (prueba “con ojos vendados”)	Co-60/1	-5,9
(prueba “con ojos vendados”)	Co-60/2	-7,2

<sup>a</sup> Desviación relativa (%) = 100 × (dosis declarada por el usuario – dosis medida por el OIEA) / dosis medida por el OIEA.

departamentos de radioterapia o de las calibraciones tengan acceso al resultado de la verificación. El debate público y la difusión de los resultados que figuran a continuación constituyen un caso excepcional, y se decidió hacer públicos estos resultados teniendo en cuenta las importantes consecuencias sociales del accidente objeto de estudio.

### A-3. RESULTADOS DE LAS VERIFICACIONES DEL SERVICIO POSTAL DE VERIFICACION DE DOSIS CON TLD DEL OIEA/OMS DEL HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS, SAN JOSE (COSTA RICA)

El Hospital San Juan de Dios utilizó en 14 ocasiones el servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS entre 1977 y 1995. En dicho período se realizaron 17 controles de calibración de haces; sólo en cuatro ocasiones los resultados estaban dentro de la tolerancia de  $\pm 5\%$ . En el Cuadro A-I figuran los resultados de la participación en controles TLD entre 1990 y 1995.

En dicho cuadro, las desviaciones de signo positivo indican que la dosis declarada por el usuario es superior al valor medido por el OIEA; en tales situaciones los pacientes recibirían dosis inferiores a las deseadas. A la inversa, las desviaciones de signo negativo indican que los pacientes recibirían dosis superiores a las previstas.

Hasta el año 1995, el encargado de la dosimetría en el Hospital San Juan de Dios recibía por conducto de la OPS la información del OIEA sobre los resultados de los controles de dosímetros TLD. Este era entonces el procedimiento estándar del servicio postal de verificación de dosis con TLD del OIEA/OMS, y se pedía a los participantes que tomaran medidas para mejorar la calibración de los haces.

No obstante, en 1995, cuando el OIEA observó que las grandes desviaciones halladas no habían disminuido, envió un segundo juego de dosímetros en condiciones denominadas de prueba “con ojos vendados”; es decir, sin informar a los participantes del grado exacto de desviación medida por el OIEA, únicamente que los resultados estaban fuera de los límites admisibles. La disparidad entre los dos tipos de resultados que confirmaba lo anómalo de la situación indujo al OIEA a enviar a un experto para que investigara in situ la calibración de los haces. Al mismo tiempo, envió al hospital tres TLD en julio de 1996 para que se verificara la calibración de las dos unidades de terapia de  $^{60}\text{Co}$ , una de tipo Theratron y otra de tipo Alcyon. Se había previsto para julio y agosto de 1996 la sustitución de las fuentes de  $^{60}\text{Co}$  de ambas máquinas. Se pidió que se irradiaran los TLD inmediatamente después de calibrar las máquinas con las nuevas fuentes, y antes de comenzar a tratar a los pacientes.

A continuación se resumen brevemente los resultados TLD de las dos unidades de terapia de  $^{60}\text{Co}$ .

### A-3.1. Theratron-80

Después del cambio de la fuente, un experto del OIEA, E. Castellanos, calibró el haz utilizando el equipo dosimétrico del que disponía el hospital. Basándose en los dos factores de calibración del equipo, el experto irradió dos TLD el 19 de julio de 1996 y se los devolvió al Laboratorio Dosimétrico del OIEA para que los evaluara. Los TLD se recibieron el 1 de agosto de 1996 y se evaluaron el 2 de agosto de 1996. Los resultados en términos de desviación entre los valores de la medición hecha por el OIEA y los de la dosis declarada por el usuario ( $D_{\text{OIEA}}$  y  $D_{\text{declarada}}$ , respectivamente) se hallaban dentro del intervalo admisible de  $\pm 5\%$ :

#### a) TLD N° SR 96201

$$\begin{aligned} D_{\text{declarada}} &= 2,000 \text{ Gy} \\ D_{\text{OIEA}} &= 2,047 \text{ Gy} \end{aligned}$$

La desviación relativa de los valores medidos por el OIEA fue de  $-2,3\%$ , lo cual equivale a un cociente de 1,024 entre la dosis medida por el OIEA y la dosis declarada por el usuario.

#### b) TLD N° SR 96202

$$\begin{aligned} D_{\text{declarada}} &= 2,000 \text{ Gy} \\ D_{\text{OIEA}} &= 2,068 \text{ Gy} \end{aligned}$$

La desviación relativa de los valores medidos por el OIEA fue de  $-3,3\%$ , lo cual equivale a un cociente de 1,034 entre la dosis medida por el OIEA y la dosis declarada por el usuario.

### A-3.2. Alcyon

El experto dejó en Costa Rica un dosímetro TLD para que se utilizara con la máquina Alcyon, con instrucciones al físico local para que lo irradiara inmediatamente después de cambiar la fuente de  $^{60}\text{Co}$  y antes de comenzar el tratamiento de los pacientes. El TLD irradiado se devolvió al laboratorio dosimétrico del OIEA el 18 de octubre de 1996, después de haberse notificado el accidente. El TLD se evaluó en la misma fecha en que se recibió. El formulario adjunto fue rellenado por J. Cabezas, el encargado de dosimetría del hospital, que no indicó la fecha de irradiación del TLD sino sólo la fecha de la medición del haz de salida (calibración) con una cámara de ionización, el 22 de agosto de 1996.

Del análisis del formulario adjunto se dedujo en primer lugar que la dosis declarada por el usuario  $D_{\text{declarada}} = 2,000 \text{ Gy}$  (referida a la fecha de 22 de agosto de 1996) correspondía en realidad a una profundidad de 0,5 cm, y no a la profundidad de 5 cm en agua, donde se habían colocado las cápsulas de TLD para su irradiación. Por tanto, la dosis declarada por el usuario debía reducirse en un factor igual a 0,787 (obtenido de los datos del porcentaje de dosis de  $^{60}\text{Co}$  en profundidad dados en la Ref. [19]), que corresponden a un amortiguamiento del haz de 4,5 cm en agua. De dicho cálculo se obtiene una dosis declarada “con corrección de profundidad”  $D'_{\text{declarada}} = 1,576 \text{ Gy}$  (el 22 de agosto de 1996). Sin embargo, la configuración de la curva de luminosidad del TLD puso en evidencia que los TLD habían sido irradiados sólo un par de días antes de ser enviados por correo al OIEA. Así pues, dicha dosis declarada con corrección de profundidad se modificó para que incluyera el factor de desintegración de la fuente de cobalto correspondiente a unos dos meses, con lo cual se obtuvo la siguiente valoración más exacta de la dosis declarada por el usuario:  $D''_{\text{declarada}} = 1,544 \text{ Gy}$ .

Dado que la información relativa al procedimiento con el que se irradiaron los TLD se presta a confusión, se indican a continuación dos resultados (TLD N° 96023): uno de ellos corresponde a la dosis declarada por el usuario  $D_{\text{declarada}}$ , y el otro a la valoración más aproximada de la dosis declarada por el usuario  $D''_{\text{declarada}}$ :

- 1)  $D_{\text{declarada}} = 2,000 \text{ Gy}$  (dosis indicada por el usuario)  
 $D_{\text{OIEA}} = 2,812 \text{ Gy}$

La desviación relativa de los valores medidos por el OIEA fue de -28,9%, lo cual equivale a un cociente de 1,406 entre la dosis medida por el OIEA y la dosis declarada por el usuario.

- 2)  $D''_{\text{declarada}} = 1,544 \text{ Gy}$  (cálculo del OIEA de la dosis indicada por el usuario)  
 $D_{\text{OIEA}} = 2,812 \text{ Gy}$

La desviación relativa de los valores medidos por el OIEA fue de -45,1%, lo cual equivale a un cociente de 1,821 entre la dosis medida por el OIEA y la dosis declarada por el usuario.

A partir de estos datos se puede inferir que los resultados TLD relativos a la máquina Alcyon indican una sobreexposición del 80%, válida únicamente en las condiciones de referencia utilizadas en la calibración del haz (campo de  $10 \times 10 \text{ cm}$  de superficie, 5 cm de profundidad en el agua). La sobreexposición de los pacientes diferirá de esta magnitud según las condiciones de los tratamientos de radioterapia (superficie del campo, colimación secundaria, uso de cuñas, etc.). La sobreexposición calculada en las condiciones de referencia coincide (teniendo en cuenta el factor de inexactitud del sistema TLD, que se calcula en 2,5%,  $k = 1$ ) con el resultado medido por la OPS para la misma configuración, utilizando una cámara calibrada de ionización.



## **Addendum**

### **RECONSTRUCCION DE LAS DOSIS APLICADAS A TEJIDOS NORMALES EN PACIENTES CON SECUELAS PRONUNCIADAS**

#### **A.1. INTRODUCCION**

El Director General del OIEA entregó el 26 de septiembre de 1997 al Gobierno de Costa Rica el informe reproducido en esta Publicación.

Como consta en la sección de resultados y conclusiones de los datos de los pacientes (Apéndice II), se aconseja una evaluación ulterior de las dosis aplicadas a tejidos normales en los casos de varios pacientes. Para realizar esa evaluación el OIEA hizo una reconstrucción bidimensional de las distribuciones de dosis con un sistema de tratamiento planificado por ordenador (TPS), en colaboración con P. Binder, del Allgemeines Krankenhaus (AKH) de Viena (Hospital General de Viena, Austria), y con el asesoramiento de C. Serrano, del Hospital Ramón y Cajal, de Madrid (España). Además, se calculó la dosis biológicamente equivalente para efectos tardíos, administrada en 2 Gy/fracción, basada en el modelo CL, en colaboración con G.G. Steel, del Instituto de Investigación del Cáncer, Sutton, Surrey (Reino Unido), y J. Fowler, Bélgica y el Reino Unido.

#### **A.2. METODO Y DEBATE**

Sólo para unos pocos casos se dispuso de imágenes de cortes transversales (de verdaderos pacientes en la zona de interés) que sirvieran para pruebas de dosimetría clínica (se indican con una (P) en el Cuadro A.I del Addendum). La mayor parte de las reconstrucciones de las dosis tuvieron que hacerse utilizando imágenes estándar extraídas de un atlas de anatomía [20].

Las imágenes se introdujeron en el TPS utilizando una cámara de televisión y la escala se ajustó digitalmente al tamaño real del cuerpo del paciente, obtenido a partir de su ficha médica. Se calcula que la influencia de las diferencias anatómicas en los factores de incertidumbre que se introdujeron al seleccionar la curva de isodosis que atraviesa un tejido determinado es de  $\pm 10\%$ , dado que la distancia entre dos curvas de isodosis consecutivas (representadas en escalones de 10%) es de unos 2 cm.

Los datos de un haz de  $^{60}\text{Co}$  disponibles en el TPS del Hospital General de Viena se corresponden con los de una unidad Theratron-80. Las diferencias con la unidad Alcyon II no tienen importancia, salvo en la región de penumbra. Por ello, se evitó calcular dosis a tejidos dentro del margen de penumbra de los haces.

Se reconstruyeron las dosis administradas a los pacientes de los siguientes grupos:

- 1) Cuatro pacientes (vivos) con secuelas graves o catastróficas debidas a la radiación;
- 2) Dieciséis pacientes (vivos) con secuelas pronunciadas y alto riesgo de efectos en el futuro debido a la radiación;
- 3) Tres pacientes (fallecidos) en quienes se estima que la radiación fue la causa principal de la muerte;
- 4) Cuatro pacientes (fallecidos) en quienes se estima que la radiación contribuyó en gran medida a su muerte.

Las distribuciones bidimensionales relativas de las dosis se calcularon en planos que incluyen el centro del haz. Los valores absolutos de dosis administradas a órganos y tejidos de riesgo se obtuvieron con métodos estándar de dosimetría clínica, como se detalla en las subsecciones siguientes.

#### **A.2.1. Determinación de dosis absolutas aplicadas a órganos y tejidos de riesgo**

##### *A.2.1.1. Dosis recibidas por el tejido bajo observación antes del cambio de la fuente*

La dosis administrada a órganos de riesgo se calculó a partir de la dosis prescrita al blanco mediante un factor de conversión que se obtuvo comparando la isodosis del TPS para el tumor con la isodosis de los órganos de riesgo ( $d_{<}$ ) (véase el Cuadro A.I).

##### *A.2.1.2. Dosis recibidas después del cambio de la fuente*

La dosis administrada a órganos en situación de riesgo se calculó a partir del tiempo real del tratamiento (obtenido de las fichas de los pacientes), el tiempo de administración de 1 Gy al 100% de la isodosis y las distribuciones de las dosis relativas del TPS.

Si se aplica más de un campo (en este caso: dos campos opuestos, de la misma ponderación, paralelos), el tiempo que se obtiene corresponde a uno de los campos; por ejemplo 0,5 min/Gy indica que es necesario 0,5 min en cada campo (en total 1 min) para emitir 1 Gy.

Las etapas fueron las siguientes:

CUADRO A.I. RECONSTRUCCION DE DOSIS APLICADA A ORGANOS Y TEJIDOS EN SITUACION DE RIESGO, UTILIZANDO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PLANIFICADO POR ORDENADOR<sup>a</sup>

ID	Tejido	% isodosis	d<	FX<	D<	T (min/Gy)	A (min/Gy)	min/ campo	d>	FX>	D>	D	Margen de alfa/beta	Margen de D(2)	Resultados médicos		
8	Recto, fíleo inferior, parte de colon sigmoide	100	2	20	40	0,7	0,42	1,29	3,1	5	15,5	55,5	2	4	59,8	58,4	Diarrea unas tres veces/semana
	Recto, parte de colon sigmoide (de campos laterales)	100				1,1	0,72	2,17	3,0	6	18,1	18,1	2	4	22,8	21,2	Diarrea unas tres veces/semana
18	Intestino, cuello de útero y útero	100			0	0,7	0,44	1,29	2,9	12	35,1	35,1	2	4	43,2	40,5	Hemorragia de colon con perforación, petequias en el intestino delgado, hemorragia de cuello de útero y útero
26	Oído (presuponiendo superposición)	80			0	0,5	0,28	2,02	5,7	14	79,8	79,8	2	4	154	129	Drenaje de oído derecho y sordera total (como el ojo estuvo protegido sólo se abarcó un campo anterior de 3 cm)
39	Tejido epitelial, inguinal y subcutáneo (P)	100			0	0,8	0,49	2,01	4,1	14	57,3	57,3	2	4	87,2	77,2	Grave induración fibroide anterior
	Cabeza de fémur (P)	80			0	0,8	0,49	2,01	3,3	14	45,8	45,8	2	4	60,4	55,5	Necrosis aséptica de cuello de fémur
40	Corazón (P)	100			0	0,6	0,38	1,14	3,0	17	51,3	51,3	2	4	64,3	60	Derrame de pericardio
	Médula espinal (P)	100			0	0,6	0,38	1,14	3,0	17	51,3	51,3	2	4	64,3	60	Puede tener alteraciones de la médula espinal cervical y dorsal
41	Columna torácica	75			0	0,8	0,51	2,5	3,7	15	55,1	55,1	1,5	2,5	81,5	75,6	Alteraciones potenciales de médula espinal
44	Pliegues cutáneos	100			0	0,8	0,50	7,86	15,6	2	31,2	31,2	2	4	137	102	Ulceración en la vulva
	Intestino	75			0	0,8	0,50	7,86	11,7	2	23,4	23,4	2	4	80,1	61,2	Sangre en las heces
46	Piel y tejido subcutáneo (de campos laterales)	100	2	5	10	0,6	0,37	1,08	3,0	20	59,1	69,1	2	4	83,2	78,5	Edema facial (si hubo superposición del cuello, la dosis en la cara sería unos 50 Gy más elevada)

CUADRO A.I. (cont.)

ID	Tejido	% isodosis	d<	FX<	D<	T (min/Gy)	A (min/Gy)	min/ campo	d>	FX>	D>	D	Margen de alfa/beta		Margen de D(2)		Resultados médicos
46	Base de la lengua (de campos laterales)	100				0,6	0,35	1,08	3,1	20	62,3	62,3	2	4	79,7	73,9	Hinchazón de la base de la lengua y laringe (si hubo superposición del campo anterior y no hubo protección del órgano, la dosis sería aprox, el doble)
47	Cerebro	100	2	5	10	0,7	0,41	1,05	2,6	23	59,0	69,0	1,5	2,5	78,5	76,4	Alto riesgo de secuelas neurológicas
52	Base de lengua	100	2	9	18	0,6	0,35	1,1	3,2	23	73,0	91,0	2	4	112	105	Edema de senos piriformes y alteraciones fibrosas
54	Cerebro	100	2	16	32	0,6	0,35	1,06	3,0	9	27,0	59,0	1,5	2,5	66,8	65,1	Riesgo de secuelas neurológicas
	Columna torácica	77				0,8	0,51	2,13	3,2	12	38,6	38,6	1,5	2,5	51,9	49	
	Columna lumbar	77				0,8	0,51	2	3,0	15	45,3	45,3	1,5	2,5	58,4	55,5	
57	Sistema gastro- intestinal	95	1,6	12	19,2	0,7	0,43	0,96	2,1	10	21,0	40,2	2	4	38,8	39,2	Hemorragia gastrointestinal (la dosis calculada no parece coincidir con los resultados médicos)
58	Médula cervical	100	2	16	32	0,6	0,35	1,07	3,0	9	27,2	59,2	1,5	2,5	67,1	65,3	Riesgo de sucuelas neurológicas
	Columna torácica	75				0,8	0,51	2,13	3,1	6	18,8	18,8	1,5	2,5	24,8	23,5	
	Columna lumbar	75				0,8	0,51	2	2,9	6	17,6	17,6	1,5	2,5	22,36	21,3	
59	Tráquea	90				0,8	0,49	1,57	2,9	20	57,5	57,5	2	4	70,1	65,9	Necrosis de faringe, laringe y epilación sobre fosa posterior,, <i>Nota:</i> Según ficha del paciente, desde la fracción 16 se planificó protección en el centro del haz, lo que reduciría la dosis en 14 Gy
60	Cara (del campo lateral izquierdo)	70				0,6	0,36	0,91	1,8	24	42,6	42,6	2	4	40,2	41	Edema y necrosis parcial de faringe y tráquea
	Cara (del campo lateral derecho)	70				0,6	0,36	0,37	0,7	24	17,3	17,3	2	4	11,8	13,6	Posible superposición con el campo anterior en la tráquea

CUADRO A.I. (cont.)

ID	Tejido	% isodosis	d<	FX<	D<	T (min/Gy)	A (min/Gy)	min/ campo	d>	FX>	D>	D	Margen de alfa/beta		Margen de D(2)		Resultados médicos
60	Cuello (campo anterior)	95				0,8	0,49	1,53	3,0	24	71,0	71,0	2	4	88	82,3	(Si hubo superposición del campo anterior, la dosis sería aproximadamente el doble)
62	Recto	100				0,7	0,44	1,29	2,9	15	43,9	43,9	2	4	54	50,6	Estrichamiento rectal
66	Corazón (P)	105				0,7	0,44	1,36	3,2	11	35,6	35,6	1,5	2,5	48,2	45,4	Posibles efectos cardíacos
67	Colon, lado derecho	100				0,5	0,31	0,96	3,1	16	49,8	49,8	2	4	63,6	59	Necrosis del lado derecho del colon
77	Piel y tejido subcutáneo	100	2	7	14	0,5	0,32	0,98	3,1	18	56,0	70,0	1,5	2,5	87,8	83,8	Graves cambios en la piel y complicaciones gastrointestinales
80	Médula espinal (de campos laterales) y nasofaringe	100				0,6	0,35	1,12	3,2	16	51,7	51,7	1,5	2,5	69,9	65,9	Cuadriplejía (si hubo superposición del campo anterior sin protección del órgano, la dosis sería casi el doble)
83	Intestino (de campos AP/PA) (P)	100	2,2	5	11	0,5	0,33	0,94	2,8	20	56,3	67,3	2	4	79,3	75,3	Al principio intoxicación gastrointestinal de grado 3, pérdida de peso, anemia, diarrea y hemorragia rectal continua, debe usar pañal
	Recto (de campos laterales) (P)	100	2,2	5	11	0,5	0,33	0,94	2,8	20	56,3	67,3	2	4	79,3	75,3	Hemorragia rectal continua
	Rectum (de campos laterales) (P)	90				0,9	0,59	1,61	2,5	5	12,4	12,4	2	4	13,8	13,3	Hemorragia rectal continua
85	Recto	100	2	6	12	0,5	0,30	1,13	3,7	12	44,8	56,8	2	4	76,3	69,8	Ulceración perirrectal con posible infección/necrosis
95	Piel y tejido subcutáneo	100				0,5	0,32	1,08	3,4	14	47,1	47,1	2	4	63,1	57,7	Diarrea, induración de la piel
97	Médula espinal (de campos laterales)	95	1,9	11	20,9	0,5	0,33	1,02	2,9	8	23,5	44,4	1,5	2,5	50,2	48,9	Demielinación de la médula espinal (si hubo superposición del campo anterior sin protección del órgano, la dosis sería aproximadamente el doble)

CUADRO A.I. (cont.)

ID	Tejido	% isodosi	d<	FX<	D<	T (min/Gy)	A (min/Gy)	min/ campo	d>	FX>	D>	D	Margen de alfa/beta		Margen de D(2)		Resultados médicos
106	Cerebro (P)	100	1,9	13	24,7	0,5	0,34	1	2,9	12	35,3	60,0	1,5	2,5	68,7	66,8	Inquietud ante posible necrosis radioinducida del cerebro
	Médula espinal (P)	88				0,8	0,52	1,88	3,2	10	32,0	32,0	1,5	2,5	43	40,6	
109	Lóbulos temporales	100	2	4	8	0,5	0,33	1,05	3,1	16	50,3	58,3	1,5	2,5	74,8	71,1	Pérdida de la capacidad de hablar y caminar; leucoencefalopatía periventricular, microangiopatía, mineralizante, atrofia

<sup>a</sup> d< = dosis por fracción antes del cambio de la fuente; FX< = cantidad de fracciones antes del cambio de la fuente; D< = dosis total al tumor antes del cambio de la fuente; T = Theratron-80; A = Alcyon II; d> = dosis por fracción después del cambio de la fuente; FX> = cantidad de fracciones después del cambio de la fuente; D> = dosis total al tumor después del cambio de la fuente; D = dosis total general; y D(2) = dosis total administrada en fracciones de 2 Gy que serían biológicamente equivalentes a D.

Nota: (P) = imágenes de cortes obtenidas de verdaderos pacientes

- 1) El tiempo/Gy (T) para que la unidad Theratron-80 emita 1 Gy se convirtió al tiempo/Gy (A) correspondiente a la fuente de la máquina Alcyon II, teniendo en cuenta la tasa de dosis de las dos fuentes;
- 2) El tiempo real del tratamiento se obtuvo de las fichas de los pacientes;
- 3) A partir de los dos valores y de la isodosis que atraviesa el tejido de riesgo se obtuvo la dosis por fracción ( $d>$ ), o sea. la dosis diaria;
- 4) La dosis total con la nueva fuente ( $D>$ ) se obtuvo a partir de la cantidad de fracciones indicadas en las fichas de los pacientes.

### **A.2.2. Determinación de la dosis equivalente a 2 Gy/fracción D(2)**

La dosis por fracción administrada a tejidos en situación de riesgo fue superior a la normal debido a las siguientes causas:

- 1) Mala calibración del haz, que condujo a dosis superiores a las prescritas (dosis más alta por fracción y dosis total más alta);
- 2) Prescripción de dosis fraccionales más altas y menor número de fracciones;
- 3) Alternancia de campos en vez de usar ambos campos cada día.

El efecto de dichos factores se ha investigado en la muestra de casos que figura en los Cuadros A.II a) a d).

#### *A.2.2.1. Efecto de una dosis superior por fracción*

El efecto de una dosis superior por fracción y un número menor de fracciones para la misma dosis total se muestra en el Cuadro A.II a). Dentro del intervalo de dosis importante a efectos del presente informe, la utilización de tres fracciones (en vez de cinco) por semana durante todo el tratamiento conlleva un aumento de D(2) de más del 30%. Si la dosis total se divide en dos fracciones y no en cinco, el aumento de D(2) es de un 75%.

Si se aplica una dosis superior por fracción y se aumenta la dosis total, lo que fue justamente la consecuencia del error de calibración, el aumento de D(2) es proporcionalmente superior, en función de la parte del tratamiento que se haya realizado con la nueva fuente.

Dichos efectos se plasman en los resultados que figuran en el Cuadro A.I; en vez de un valor alfa/beta único para cada tejido, se utilizaron los siguientes valores: 1,5–2,5 para el cerebro y la médula espinal, y 2–4 para el resto de los tejidos. De estos valores se derivan los valores para D(2) que figuran en las columnas correspondientes del Cuadro A.I. Por lo general, los valores de D(2) son superiores a la dosis absorbida administrada calculada (D).

CUADRO A.II. EJEMPLOS DE MUESTRAS<sup>a</sup>

<i>a) Influencia de la dosis por fracción y el número de fracciones por semana para la misma dosis total por semana</i>										
	d	FX	D					Alfa/beta	D(2)	Factor de incremento
Cinco fracciones/semana (2 Gy/fracción)	2	30	60					2	60,0	
Tres fracciones/semana (3,33 Gy/fracción)	3,333	18	60					2	80,0	1,33
Dos fracciones/semana (5 Gy/fracción)	5	12	60					2	105,0	1,75
<i>b) Influencia del tratamiento de ambos campos cada día o tratamiento de campos alternos (piel)</i>										
	d1	FX1	D1	d2	FX2	D2	D	Alfa/beta	D(2)	Factor de incremento
Dos campos paralelos opuestos cada día (30 fracciones)	2	30	60				60,0	3	60,0	
Piel en la zona de la cabeza (factor 2 (por ejemplo d1 es casi el doble que d2))	2,7	15	40,5	1,3	15	19,5	60,0	3	62,9	1,05
Piel en la zona abdominal (factor 3 (por ejemplo d1 es casi el triple que d2))	3	15	45	1	15	15	60,0	3	66,0	1,10
<i>c) Influencia del tratamiento de todos los campos cada día o tratamiento de campos alternos (recto)</i>										
	d1	FX1	D1	d2	FX2	D2	D	Alfa/beta	D(2)	Factor de incremento
Todos los campos cada día	2	30	60				60	3	60,0	
Muestras de recto (factor 2 (por ejemplo d1 es casi el doble que d2))	2,7	15	40,5	1,30	15	19,5	60	3	62,9	1,05
<i>d) Influencia del tratamiento de todos los campos cada día o tratamiento de campos alternos (médula espinal)</i>										
	d1	FX1	D1	d2	FX2	D2	D	Alfa/beta	D(2)	Factor de incremento
Todos los campos cada día	2	30	60				60	2	60,0	
(factor 2 (por ejemplo d1 es casi el doble que d2))	2,7	15	40,5	1,30	15	19,5	60	2	63,7	1,06

<sup>a</sup> d = dosis por fracción; FX = cantidad de fracciones por semana; D = dosis total por semana; D(2) = dosis total administrada en fracciones de 2 Gy que equivaldrían biológicamente a D.

Nota: d1, d2, etc.; 1 = campo 1; 2 = campo 2 (véase Sección A.2.2.2. con explicaciones detalladas).



CUADRO A.III. DOSIS ESTIMADA Y DOSIS EQUIVALENTE A 2 Gy/FRACCION (PIEL Y TEJIDO SUBCUTANEO, REGION ABDOMINAL) PARA CAMPOS ALTERNOS, OPUESTOS Y PARALELOS<sup>a</sup>

ID	Tejido	d1<	FX1<	D1<	d2<	FX2<	D2<	min/ campo	d1>	FX1>	D1>	d2>	FX2>	D2>	D	Margen de alfa/beta	Margen de D(2)	Resultados médicos		
8	Piel y tejido subcutáneo, región sacra	3,3	10	33	1	10	10	2,58	5,25	3	15,8	1,6	2	3,2	61,9	2	4	82,6	75,7	Pigmentación sacral grave
62	Piel y tejido subcutáneo, región pélvica							2,57	5,23	8	41,8	1,3	7	9,2	51,0	2	4	83,2	72,5	Induración fibroide, temor de que haya resquebrajamiento de la piel
78	Piel y tejido subcutáneo, región sacra	3,3	5	16,5	1	4	4	2,04	4,15	8	33,2	1,2	8	10,0	63,7	2	4	84,0	77,2	Ulceración infectada por sobreexposición de la piel, y vagina ulcerada

<sup>a</sup> d1< = dosis por fracción; FX1< = número de fracciones antes del cambio de la fuente; D1< = dosis total al tumor antes del cambio de la fuente; d1> = dosis por fracción después del cambio de la fuente; FX1> = número de fracciones después del cambio de la fuente; D1> = dosis total al tumor después del cambio de la fuente; D = dosis total general; D(2) = dosis total administrada en fracciones de 2 Gy que serían equivalentes biológicamente a D.

*Nota:* d1, d2, etc.: 1 = campo 1; 2 = campo 2 (véase la Sección A.2.2.2 con explicaciones detalladas).

#### A.2.2.2. Efecto de alternar los campos en vez de irradiar ambos campos

Se investigó el efecto resultante de irradiar alternadamente cada campo cada segundo día en vez de tratar ambos campos cada día (en el caso de dos campos opuestos paralelos).

Los tejidos situados a una profundidad intermedia reciben la misma dosis diaria, independientemente de que el tratamiento se aplique en ambos campos cada día o en campos alternos. Por tanto, el efecto biológico al tratar ambos campos cada día o alternadamente carece de importancia, puesto que los valores  $d$  y  $D$  siguen siendo iguales.

La principal diferencia se notaría en los tejidos localizados de tal forma que un día se hallen próximos al punto de entrada del haz y al día siguiente estén cerca del punto de salida del haz, por ejemplo el tejido subcutáneo (a la  $D_{\max}$ ) y tejido de los pliegues cutáneos, el recto, la vejiga, y la médula espinal dorsal y lumbar.

Los resultados del experimento de cálculo se detallan en los Cuadros A.II b), c) y d), en los que el valor  $d_1$  es la dosis recibida si el tejido se encuentra más cerca del punto de entrada del haz, y  $d_2$  es la dosis recibida si el tejido se encuentra más cerca del punto de salida del haz. En el cuadro se ve que el efecto biológico de tratar campos alternos es de un 5-6%, excepto para la piel de la región abdominal, donde el cociente entre la dosis de entrada y la dosis de salida puede elevarse a 3-4, en función del grosor del cuerpo del paciente y los aumentos de  $D(2)$  de un 10% o superior.

Por tanto, esta consideración sólo se tuvo en cuenta para los pliegues de la piel y el tejido subcutáneo de pacientes que recibieron tratamiento en la región abdominal con campos opuestos y paralelos alternados cada segundo día, concretamente, los *pacientes N° 8, 62 y 78*. Los resultados figuran en el Cuadro A.III.

## REFERENCIAS

- [1] METTLER, F.A., Jr., Medical Effects of Ionizing Radiation, Saunders, Filadelfia, PA (1996).
- [2] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Comprehensive Quality Assurance for Radiation Oncology, Task Group 40, Med. Phys. **21** 4 (1994).
- [3] COMISION INTERNACIONAL DE UNIDADES Y MEDIDAS DE RADIACION, Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy, ICRU Publication N° 50, ICRU, Bethesda, MD (1993).
- [4] INTERNATIONAL UNION AGAINST CANCER, TNM Classification of Malignant Tumours, 4ª Ed., Springer-Verlag, Berlín (1987)
- [5] COMISION INTERNACIONAL DE UNIDADES Y MEDIDAS DE RADIACION, Dose Specificity for Reporting External Beam Therapy with Photons and Electrons, ICRU Publication No. 29, ICRU, Bethesda, MD (1978).
- [6] COMISION INTERNACIONAL DE UNIDADES Y MEDIDAS DE RADIACION, Dose and Volume Specifications for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology, ICRU Publication N° 38, ICRU, Bethesda, MD (1985).
- [7] COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA, Protección radiológica y seguridad en medicina, CIPR, Publicación N° 73, An. CIPR **26** 2 (1996).
- [8] COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA, Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica 1990, CIPR, Publicación N° 60, An. CIPR **21** (1992) 1-13.
- [9] ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGIA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD, Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Determinación de la Dosis Absorbida en haces de Fotones y Electrones: Código Internacional de Prácticas, Colección de Informes Técnicos N° 277, 2ª ed., OIEA, Viena (1998).
- [11] CASTELLANOS, E., Informe de la Misión al OIEA, 1996.
- [12] BORRAS, C., Informe de la Misión al Grupo de Expertos, 1996.
- [13] JIMENEZ, J. C., Informe de la Misión al Grupo de Expertos, 1996.
- [14] FOWLER, J., Brief summary of radiobiological principles in fractionated radiotherapy, Semin. Radiat. Oncol. J. **2** (1992) 16-21.
- [15] FOWLER, J., The linear-quadratic formula and progress in fractionated radiotherapy, Br. J. Radiol. **62** (1989) 679-694.
- [16] Basic Clinical Radiobiology (STEEL, C.C., ARNOLD. E., Eds), Medical Marketing Department, Arnold, Londres (1997).
- [17] Radiation Injury to the Nervous System (GUTIN P.H., LEIBEL, S.A., SHELINE, G.E., Eds), Raven Press, Nueva York (1991).

- [18] Radiopathology on Organs and Tissues (SCHERER, E., STREFFER, C., TROTT, K.R., Eds), Springer-Verlag, Heidelberg (1991).
- [19] Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy, Supplement 17, Br. J. Radiol. (1983).
- [20] Atlas of Cross-Sectional Anatomy (Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging), Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1994).

## COLABORADORES EN LA REDACCION Y REVISION

Arrieta, L.	Defensoría de los Habitantes, San José (Costa Rica)
Bermúdez Jiménez, L.	Ministerio de Salud, San José (Costa Rica)
Kutcher, G.J.	Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, Nueva York (Estados Unidos de América)
Landberg, T.	Malmö University Hospital, Malmö (Suecia)
Marengo Zúñiga, H.	Hospital de México, San José (Costa Rica)
Medina Trejos, F.	Hospital Calderón Guardia, San José (Costa Rica)
Mettler, F.A., Jr. ( <i>Presidente</i> )	Universidad de Nuevo México, Albuquerque, Nuevo México (Estados Unidos de América)
Mora Rodríguez, P.	Universidad de Costa Rica, Miembro de la Junta Directiva de la Comisión de Energía Atómica, San José (Costa Rica)
Nénot, J.-C.	Institut de protection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses (Francia)
Ortiz López, P. ( <i>Secretario científico</i> )	Organismo Internacional de Energía Atómica
Pacheco Jiménez, R.	Ministerio de Salud, Miembro de la Junta Directiva de la Comisión de Energía Atómica, San José (Costa Rica)
Pérez Ulloa, V.	Hospital México, San José (Costa Rica)

## COLABORADORES EN LA EVALUACION

Griffith, R.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Ortiz López, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Webb, G.A.M.	Organismo Internacional de Energía Atómica

### Reunión de Consultores

San José (Costa Rica): 7 a 11 de julio de 1997  
Viena (Austria): 1 a 6 de septiembre de 1997

## ILUSTRACIONES

*Las imágenes con leyendas acompañadas por una (P) (véase también el Cuadro A.I.) son de los verdaderos pacientes.*

*Las demás imágenes se han extraído del Atlas of Cross-Sectional Anatomy (Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging) [20] y se reproducen en el presente documento con autorización de la editorial Georg Thieme Verlag, Stuttgart (Alemania).*

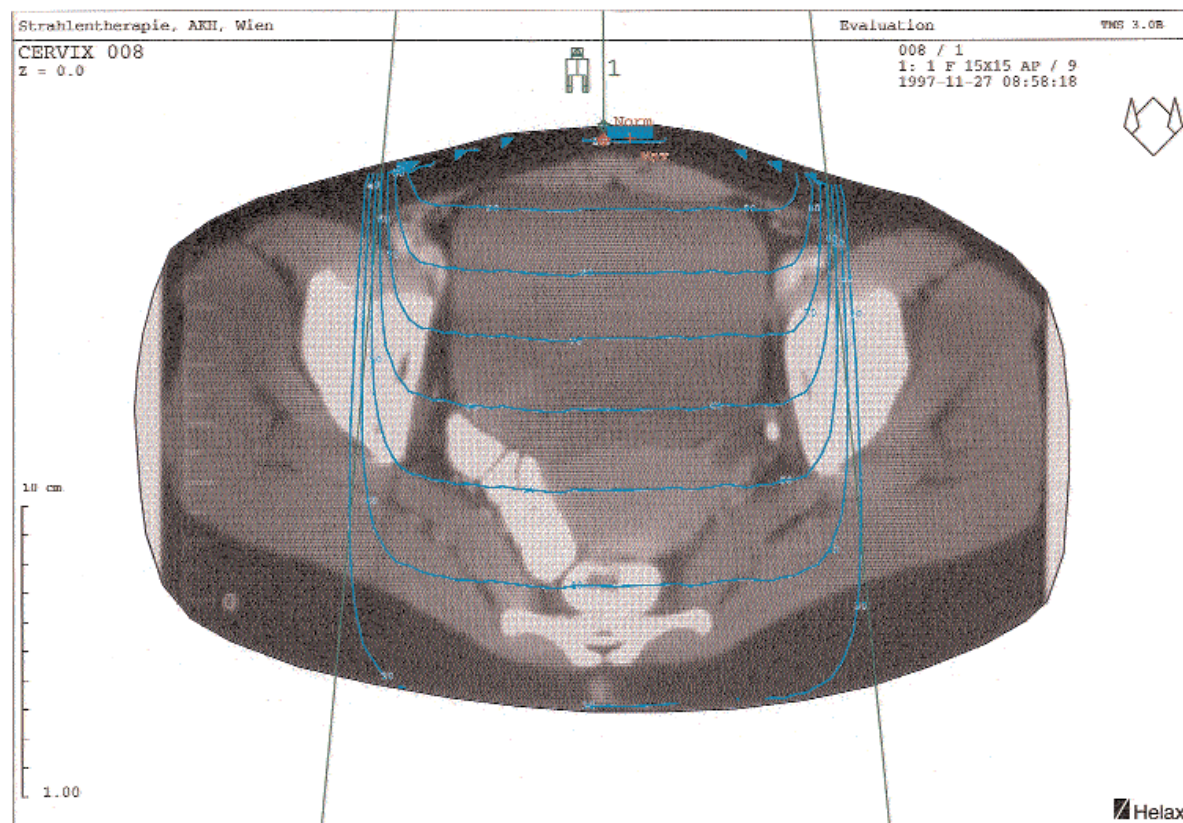


Imagen 1. Paciente N° 8: cuello de útero (campo AP). Los cálculos de los campos AP y PA se hicieron por separado para hacer una estimación (utilizando una dosis biológicamente equivalente a 2 Gy/fracción) del efecto sobre la piel al tratar campos alternos cada segundo día.

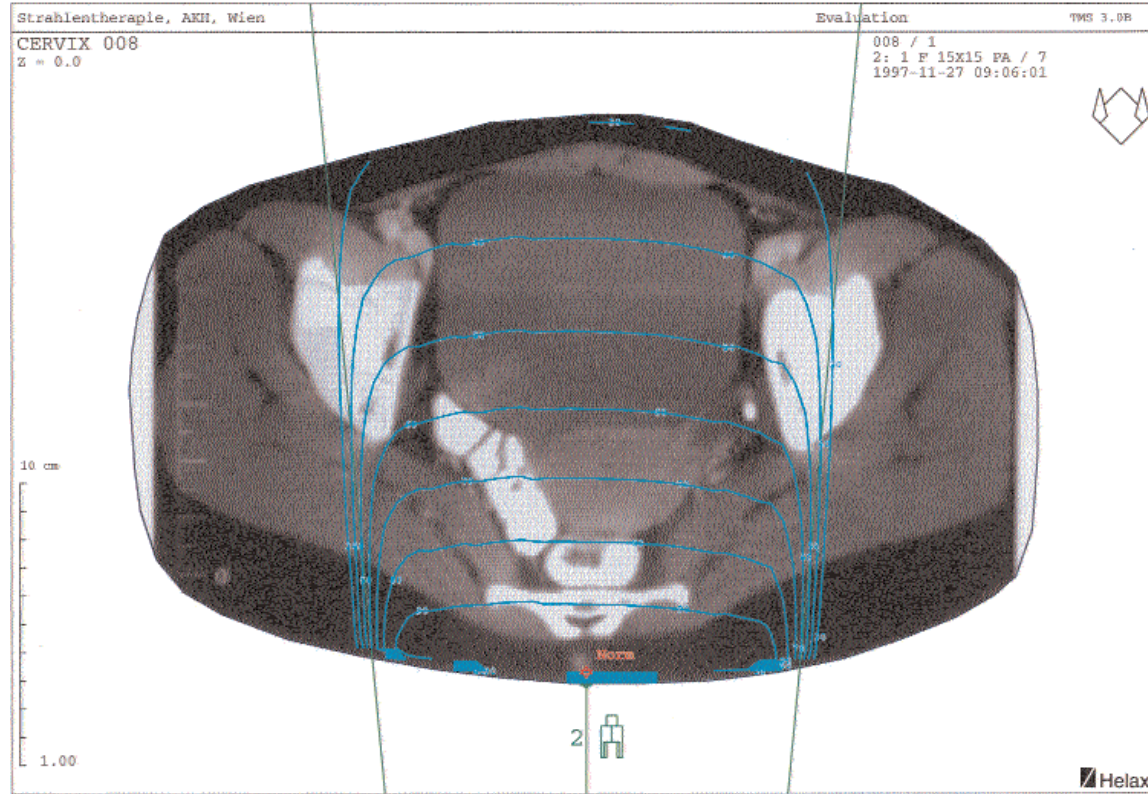


Imagen 2. Paciente N° 8: cuello de útero (campo PA). Los cálculos de los campos AP y PA se hicieron por separado para hacer una estimación (utilizando una dosis biológicamente equivalente a 2 Gy/fracción) del efecto sobre la piel al tratar campos alternos cada segundo día.



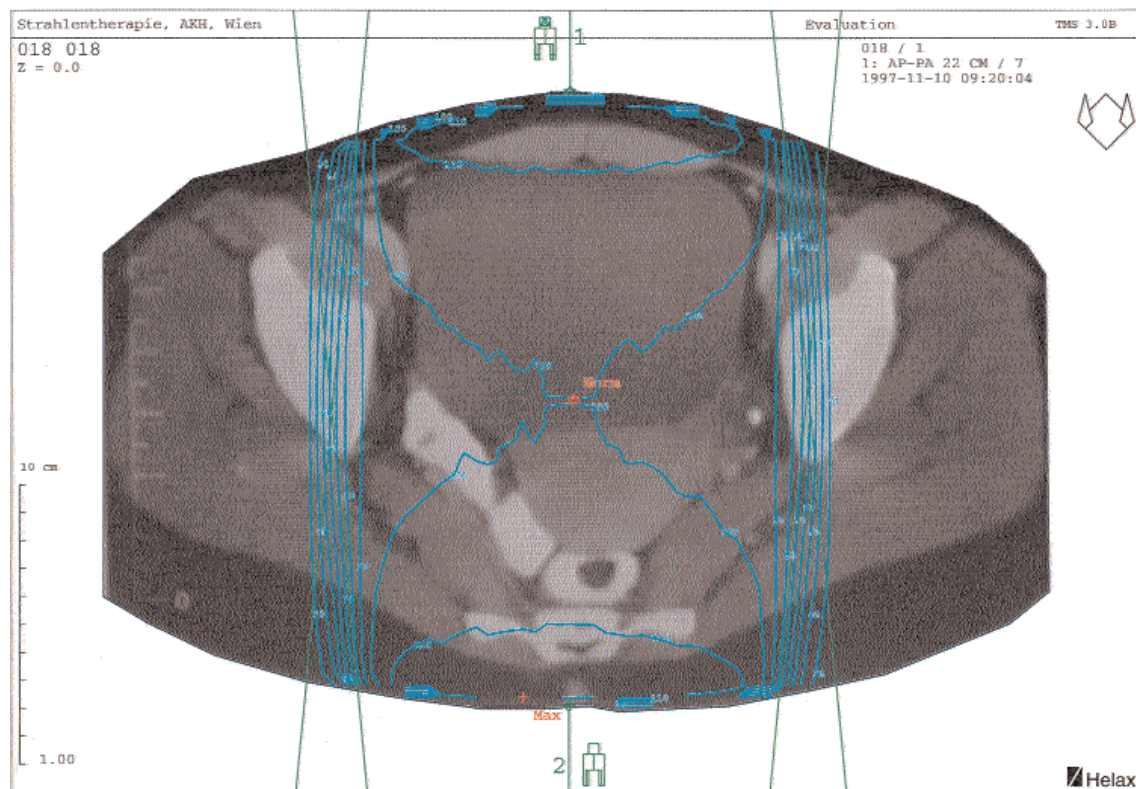


Imagen 3. Paciente N° 18: cuello de útero, útero e intestino.

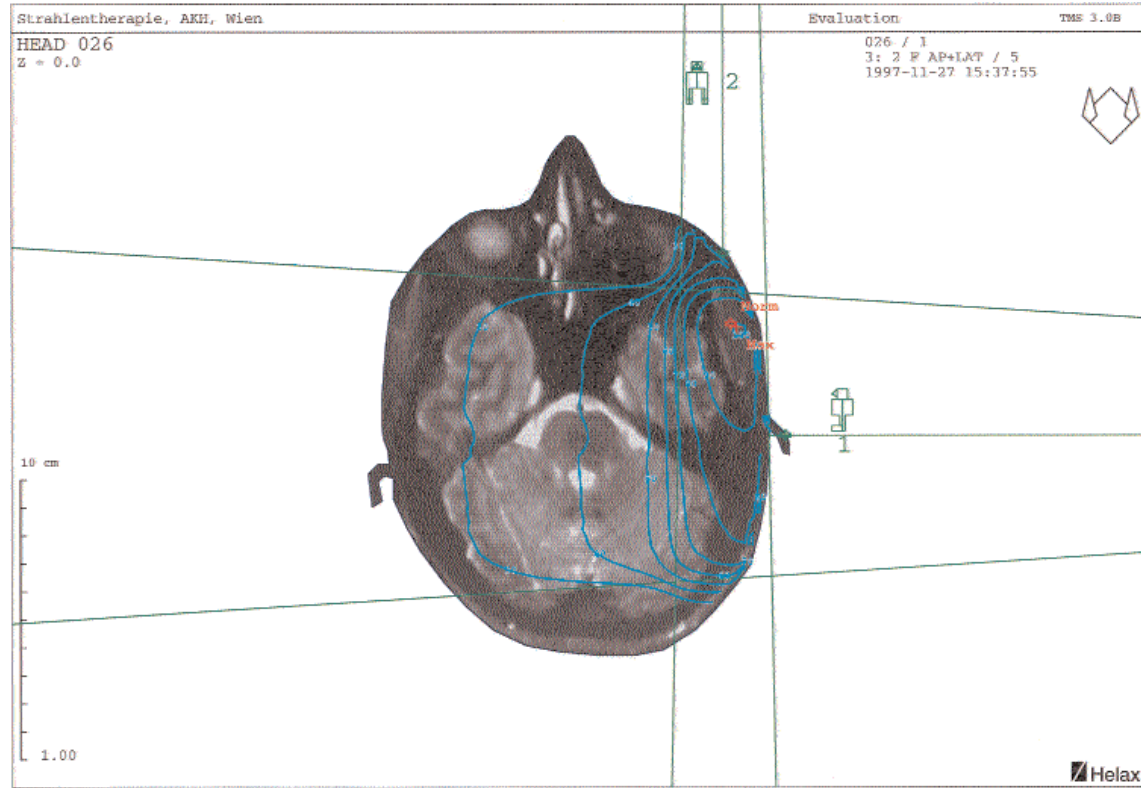


Imagen 4. Paciente N° 26: cabeza (superposición en la zona del oído).

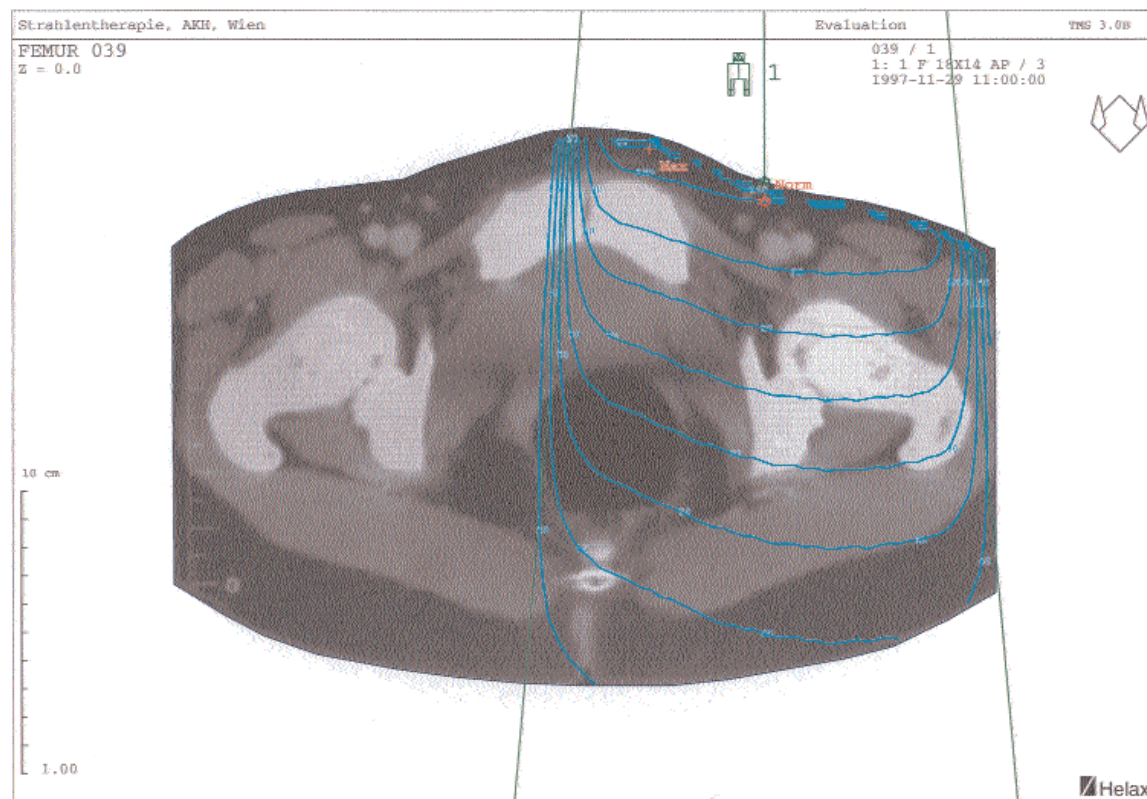


Imagen 5. Paciente N° 39: fémur, tejido subcutáneo de la región inguinal y arteria femoral (P).

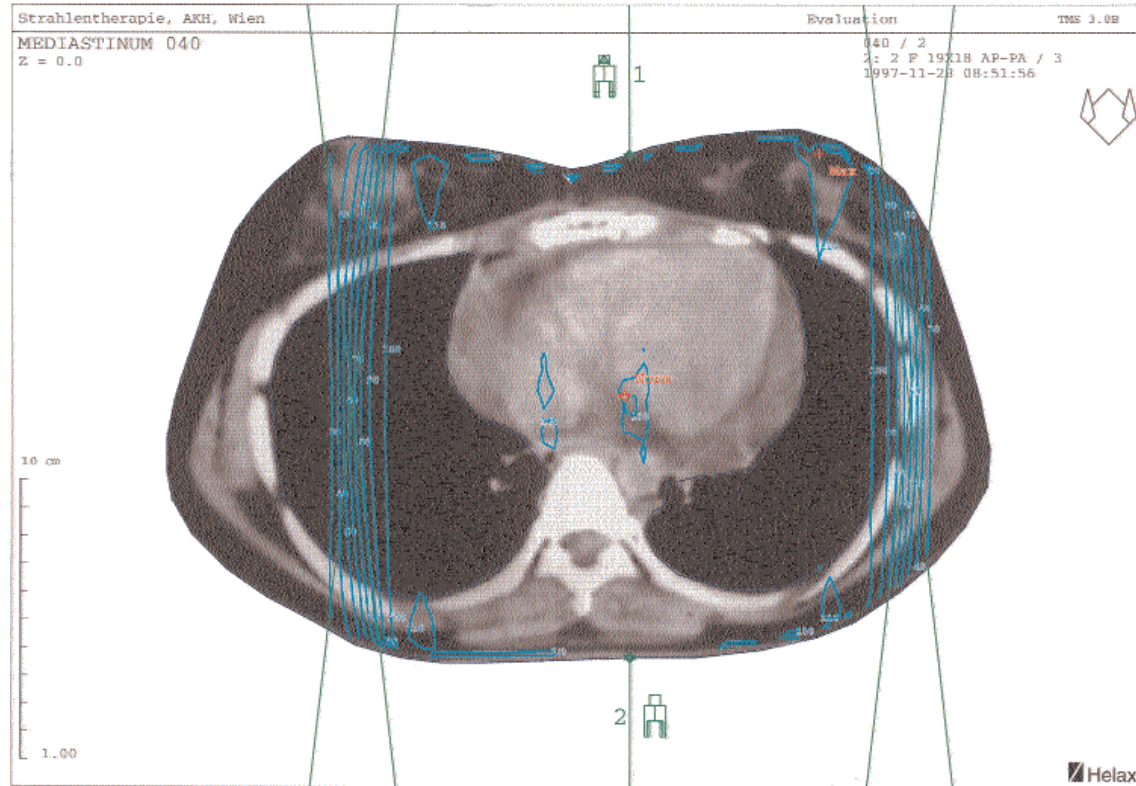


Imagen 6. Paciente N° 40: mediastino (corazón y médula espinal) (P).



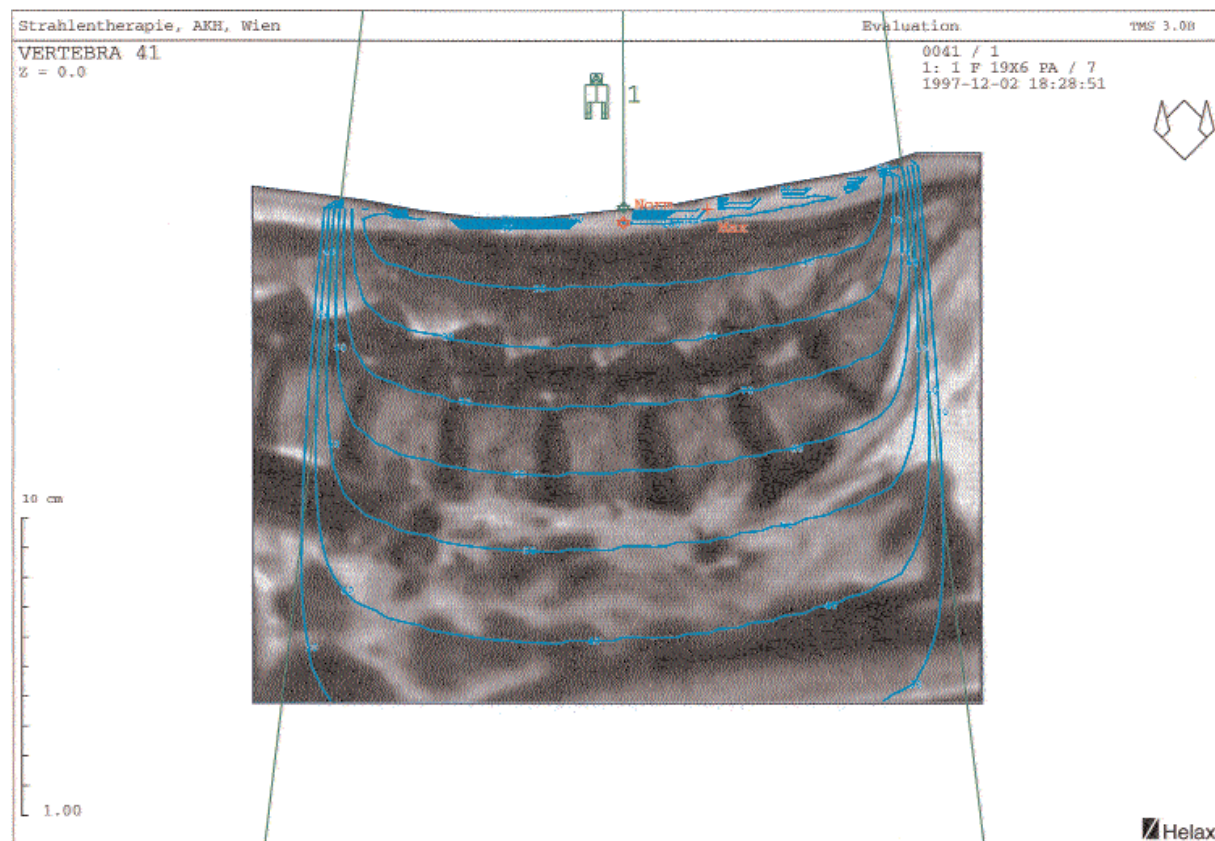


Imagen 7. Paciente N° 41: columna torácica.

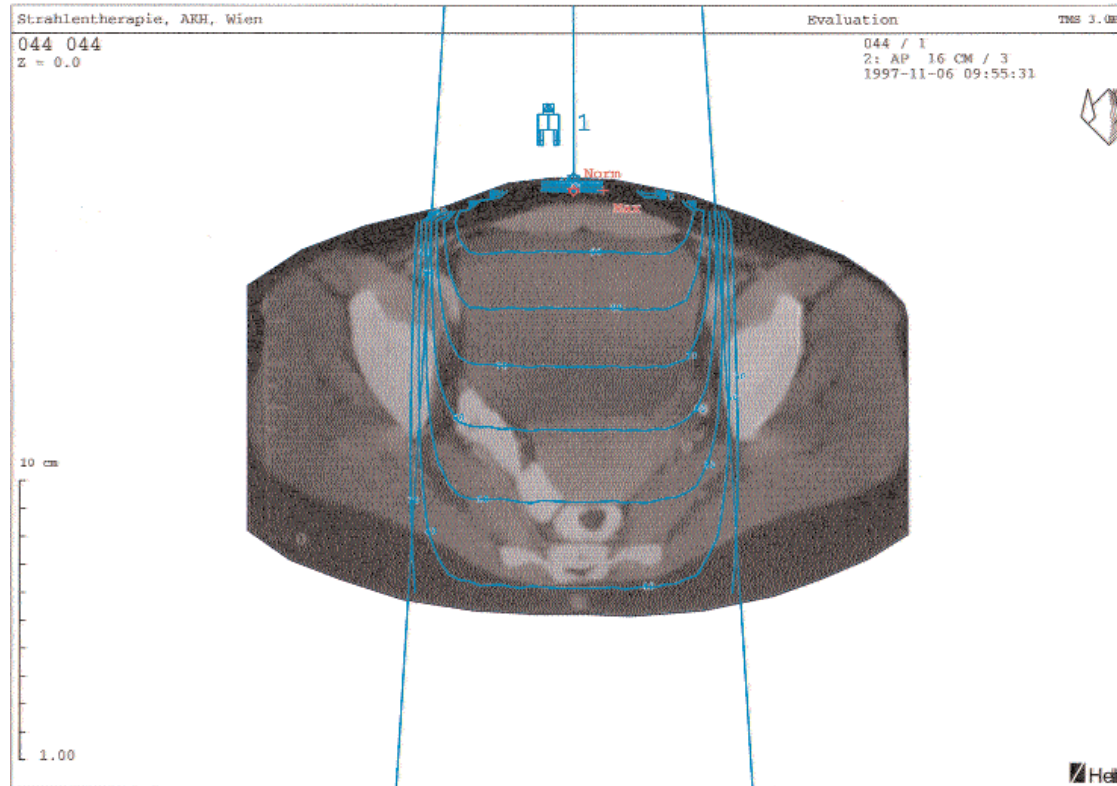


Imagen 8. Paciente N° 44: cuello de útero (pliegues cutáneos e intestino).

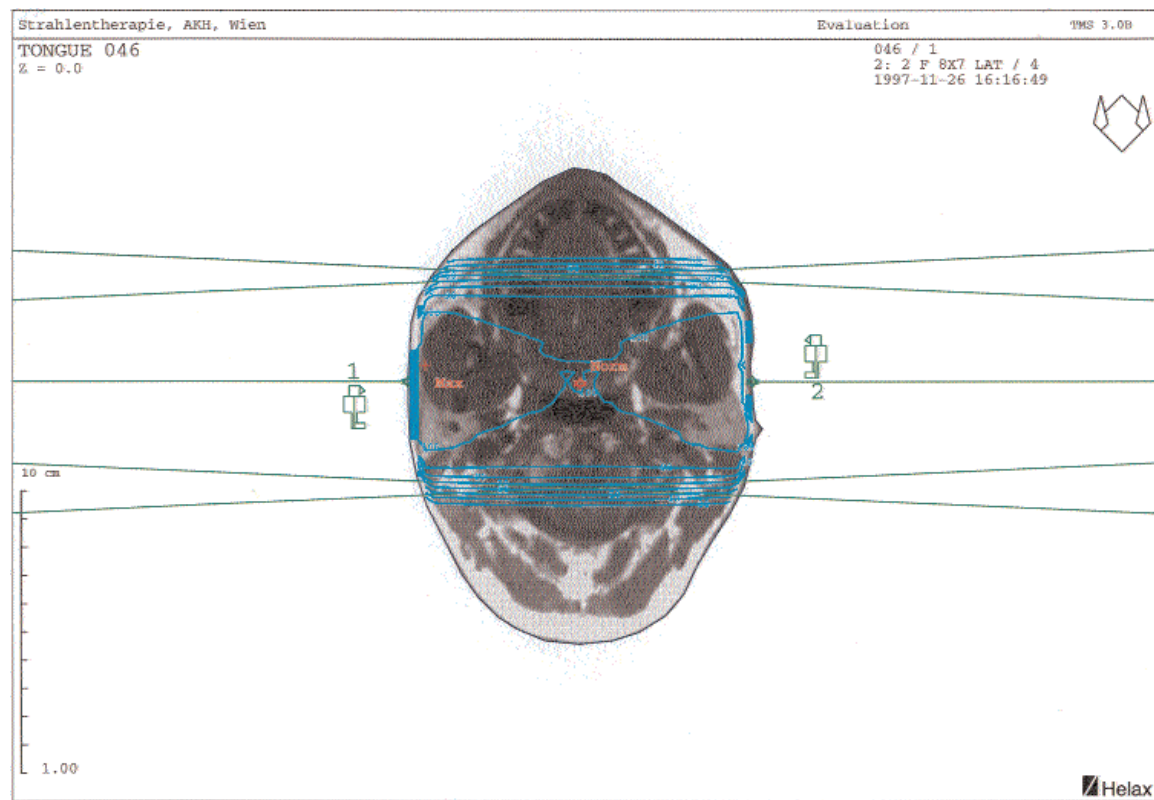


Imagen 9. Paciente N° 46: lengua (piel y tejido subcutáneo).

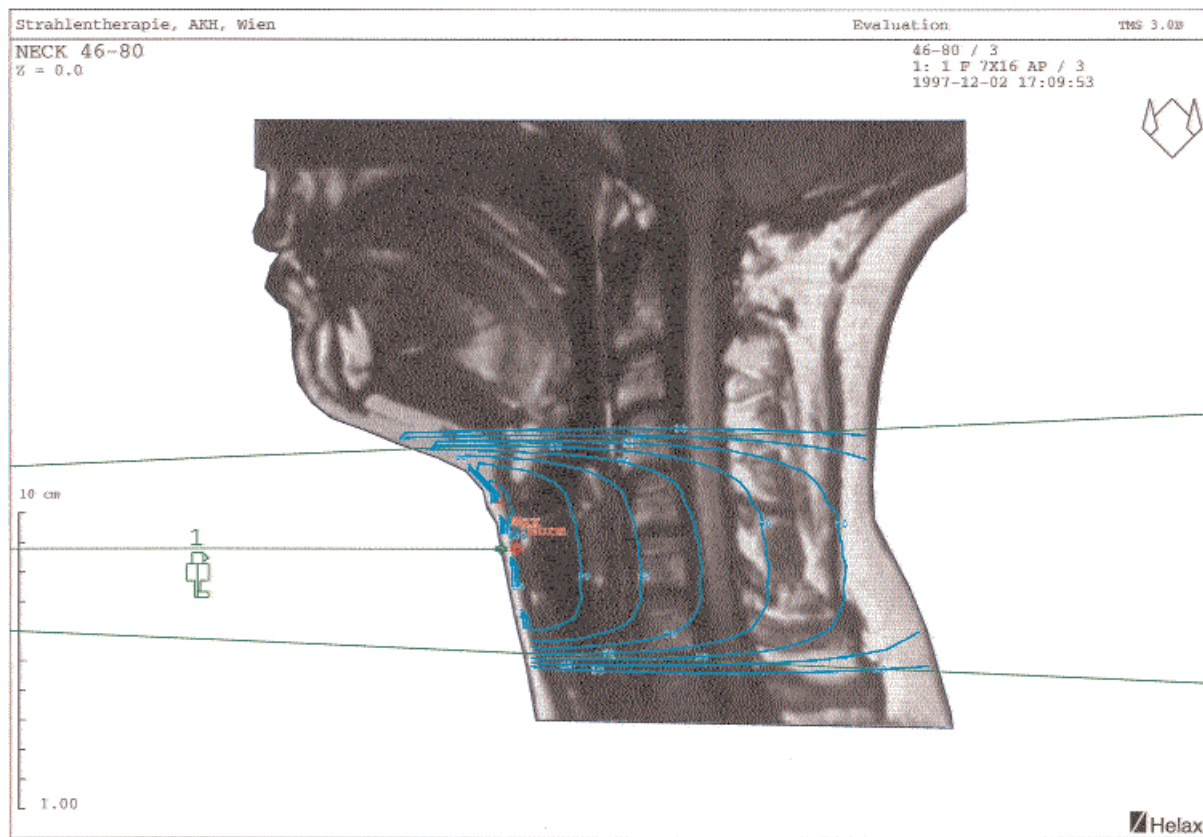


Imagen 10. Pacientes Nos 46 y 80: cuello.



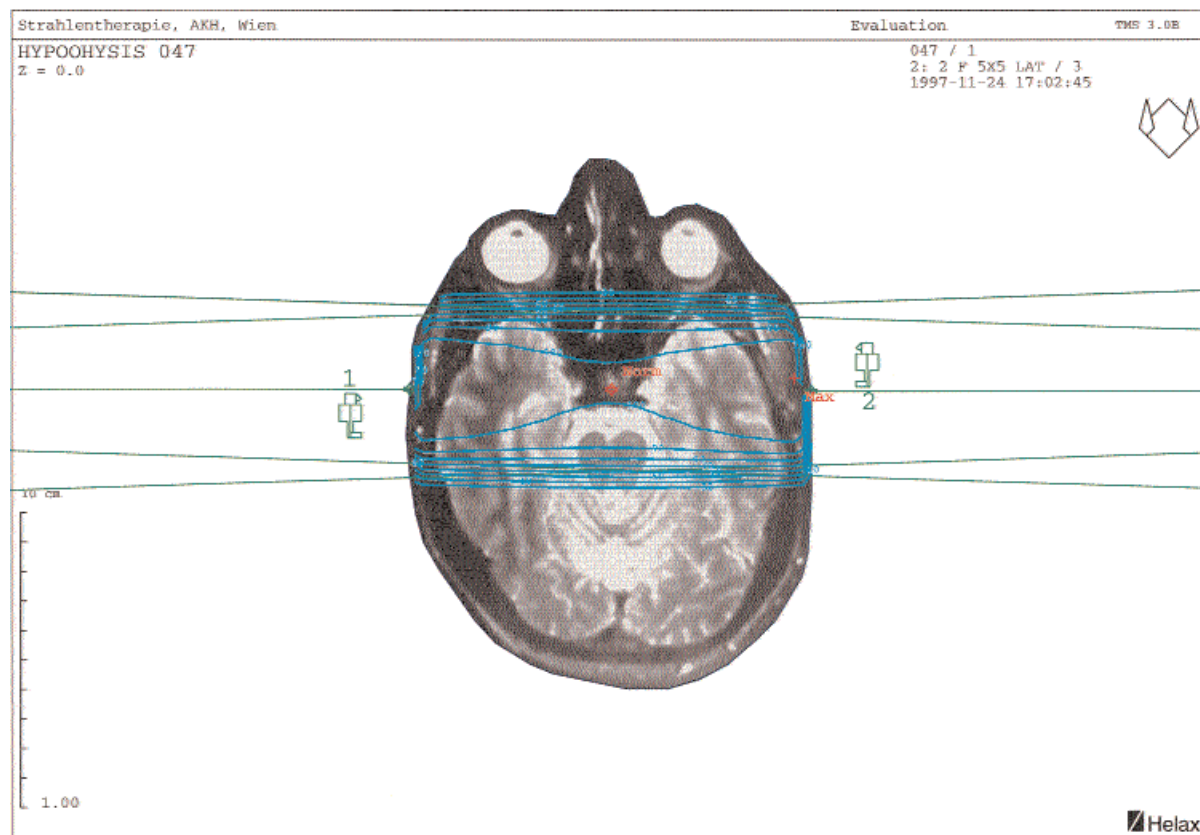


Imagen 11. Paciente N° 47: hipófisis.

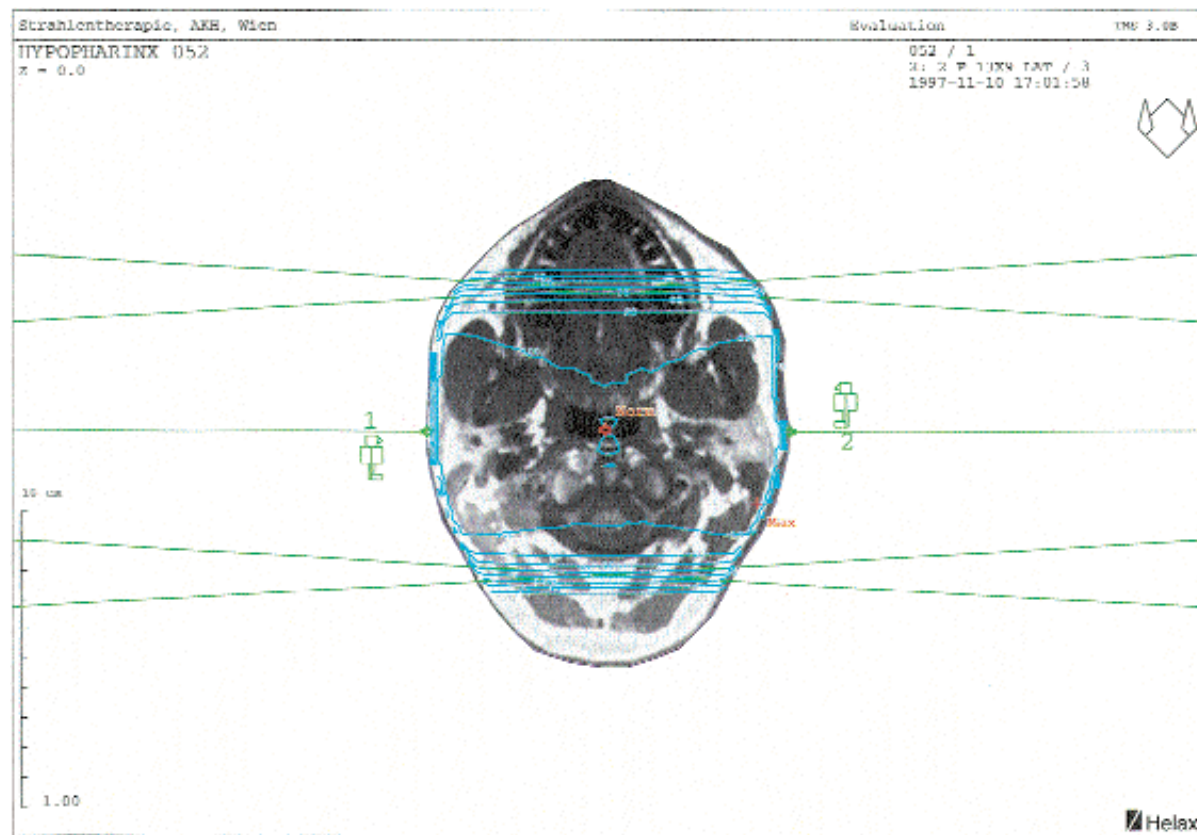


Imagen 12. Paciente N° 52: hipofaringe.

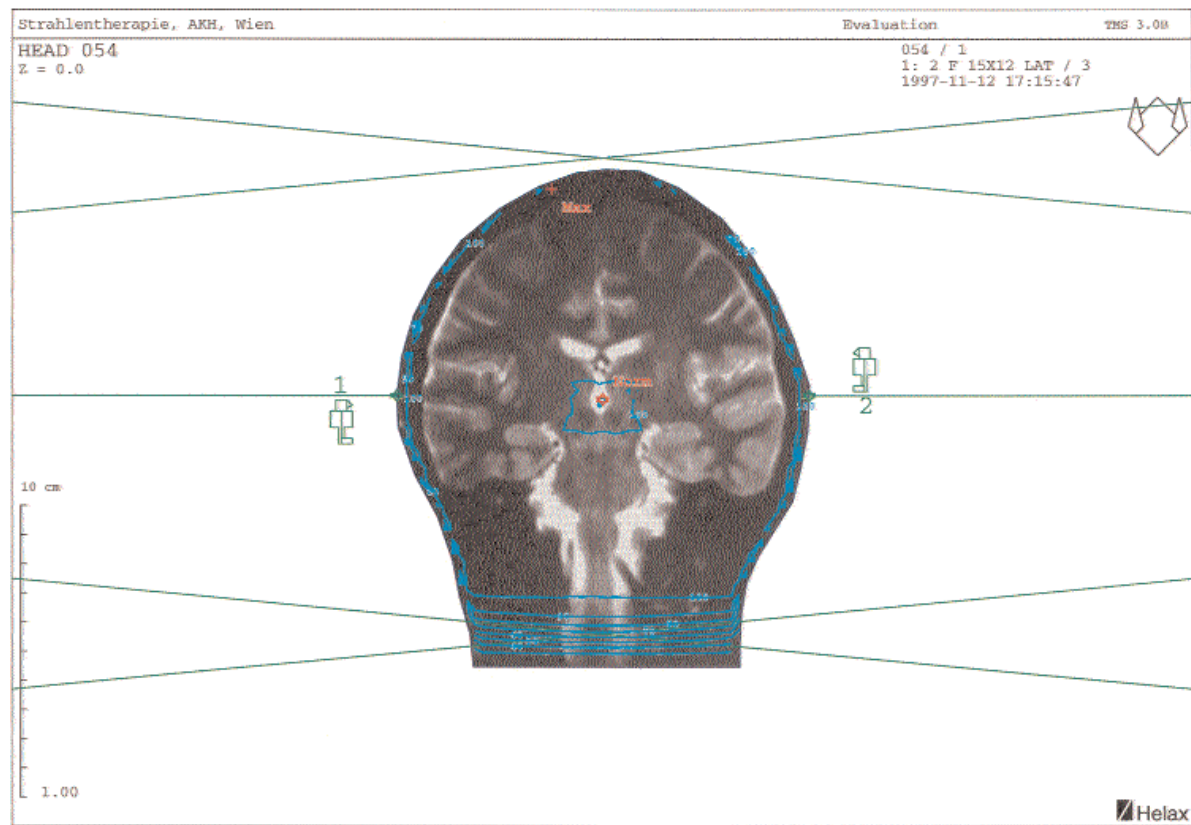


Imagen 13. Paciente N° 54: cabeza.

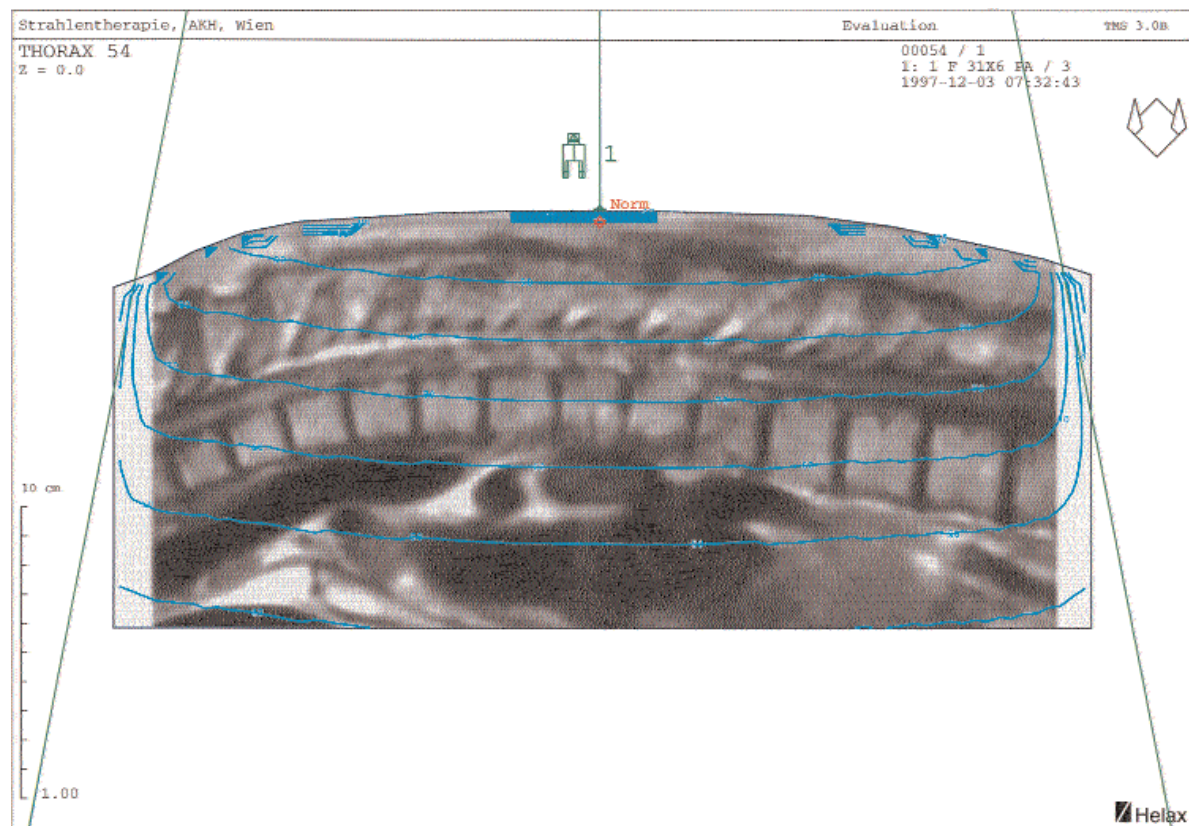


Imagen 14. Paciente N° 54: tórax.

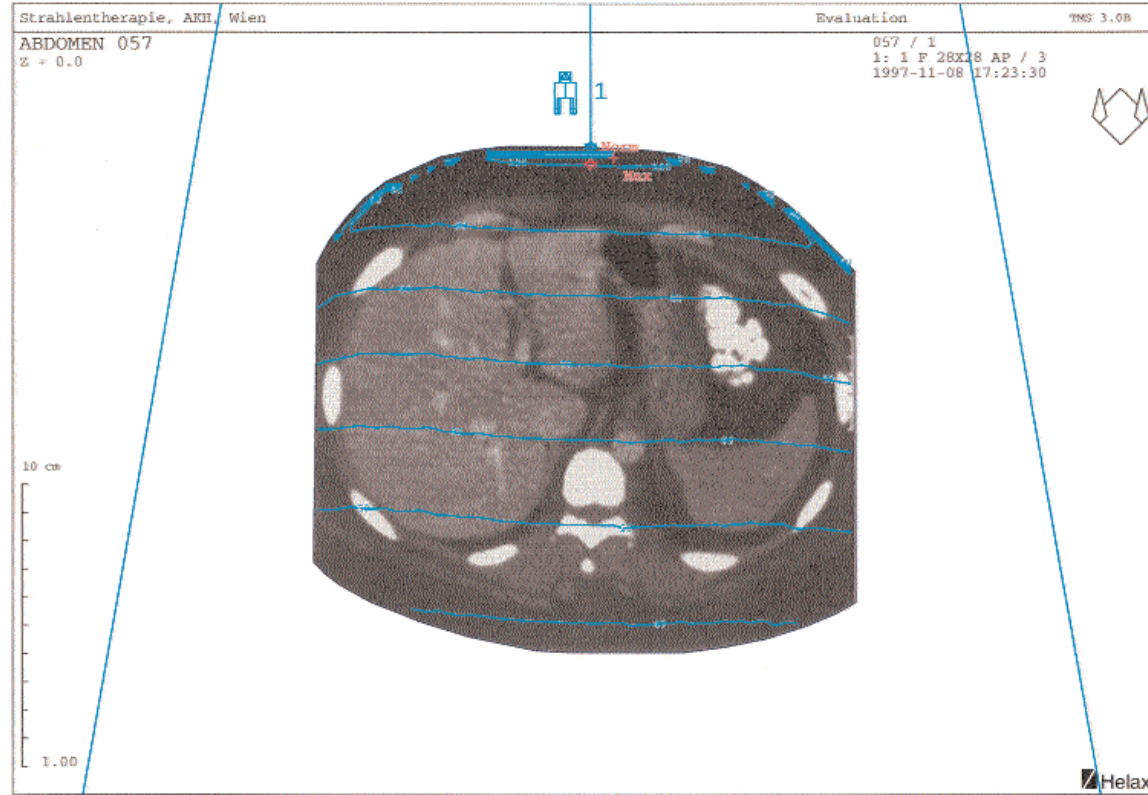


Imagen 15. Paciente N° 57: abdomen.

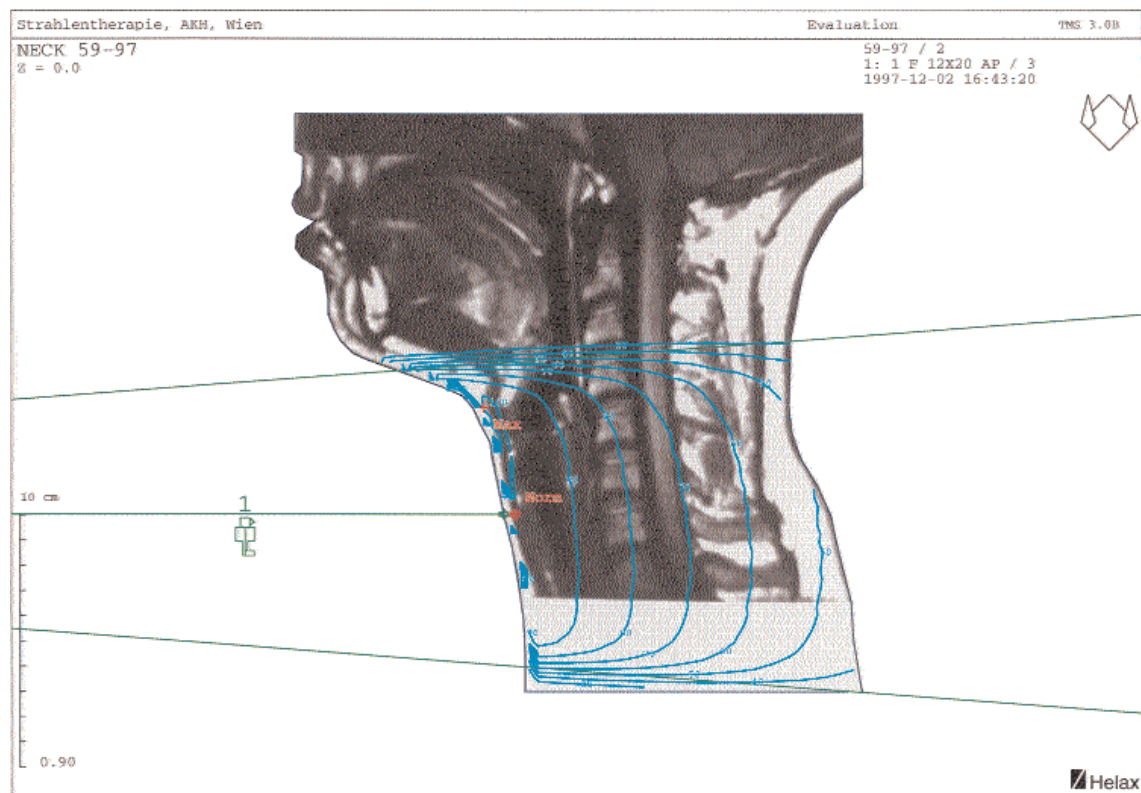


Imagen 16. Pacientes N<sup>os</sup> 59 y 97: cuello.



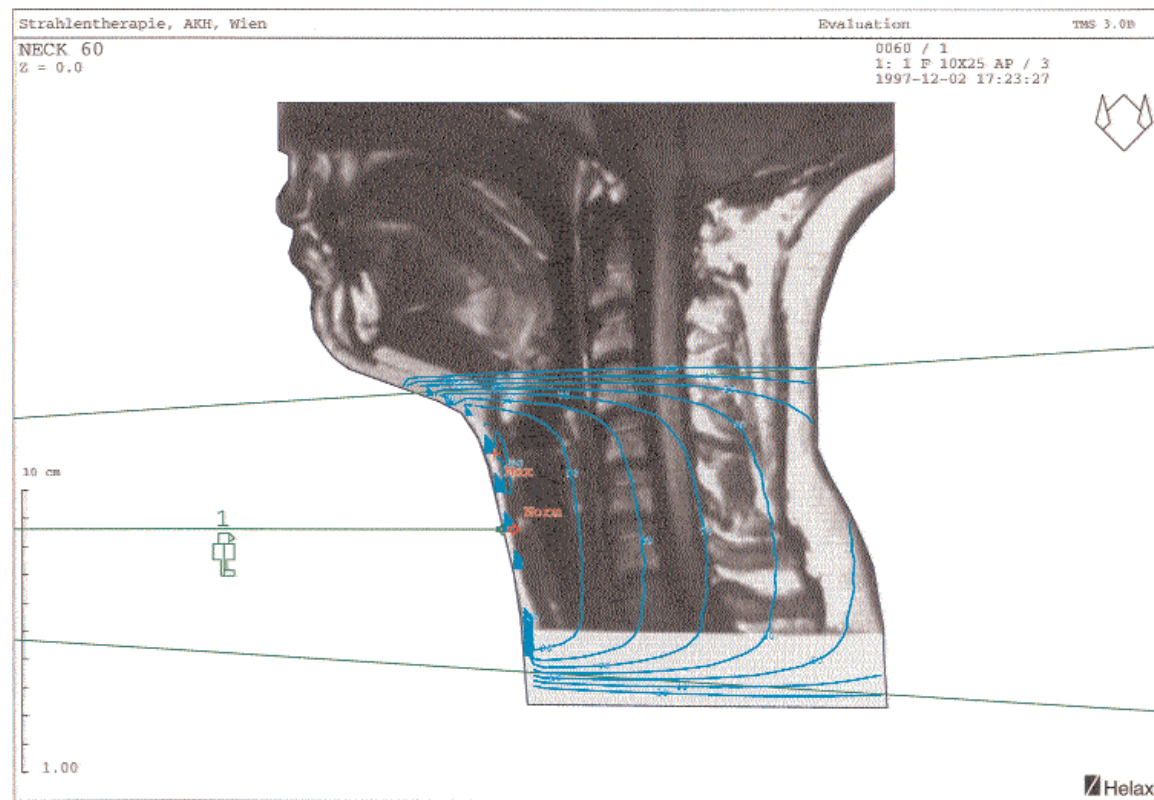


Imagen 17. Paciente N° 60: cuello.

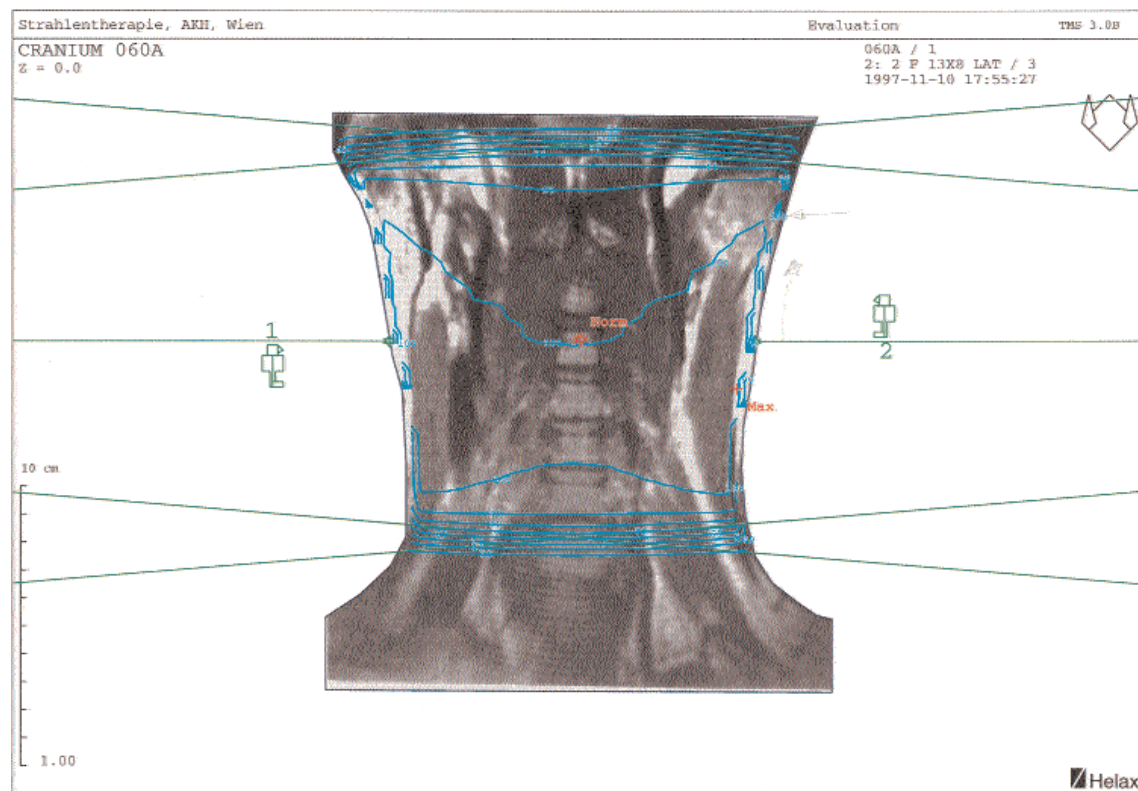


Imagen 18. Paciente N° 60: cuello.



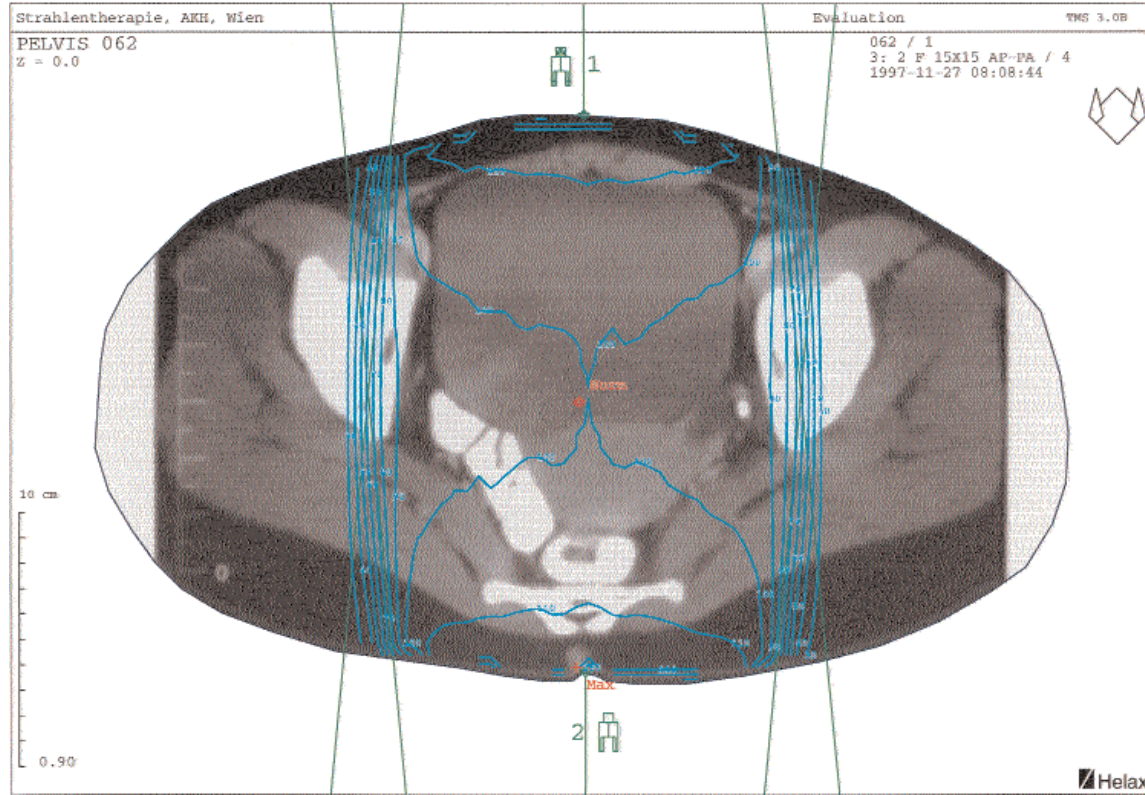


Imagen 19. Paciente N° 62: pelvis, recto.

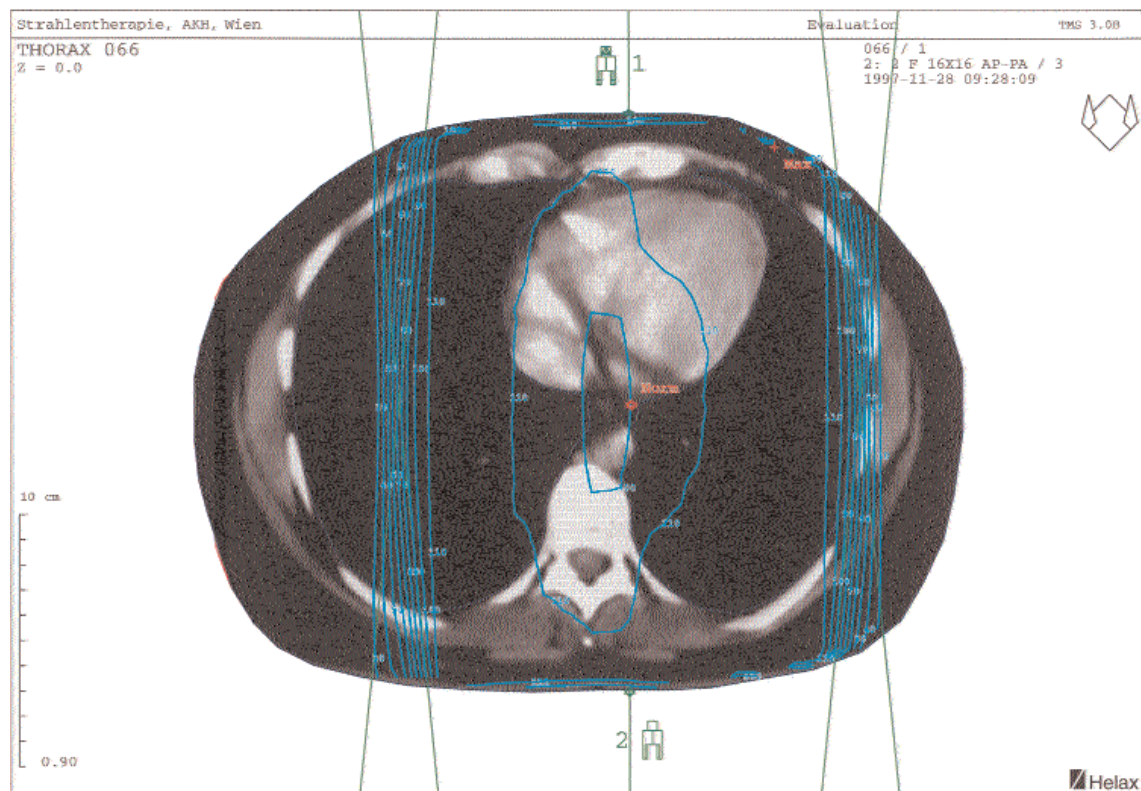


Imagen 20. Paciente N° 66: tórax, corazón (P).

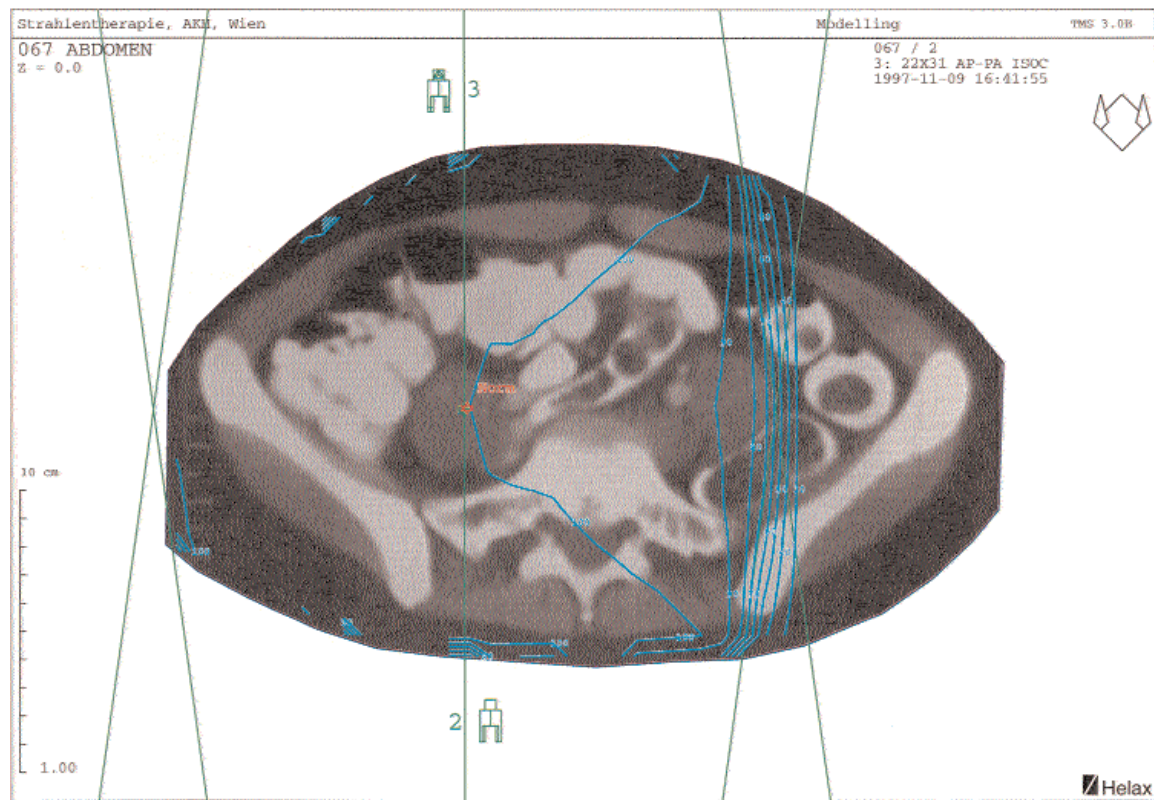


Imagen 21. Paciente N° 67: abdomen, lado derecho del colon.

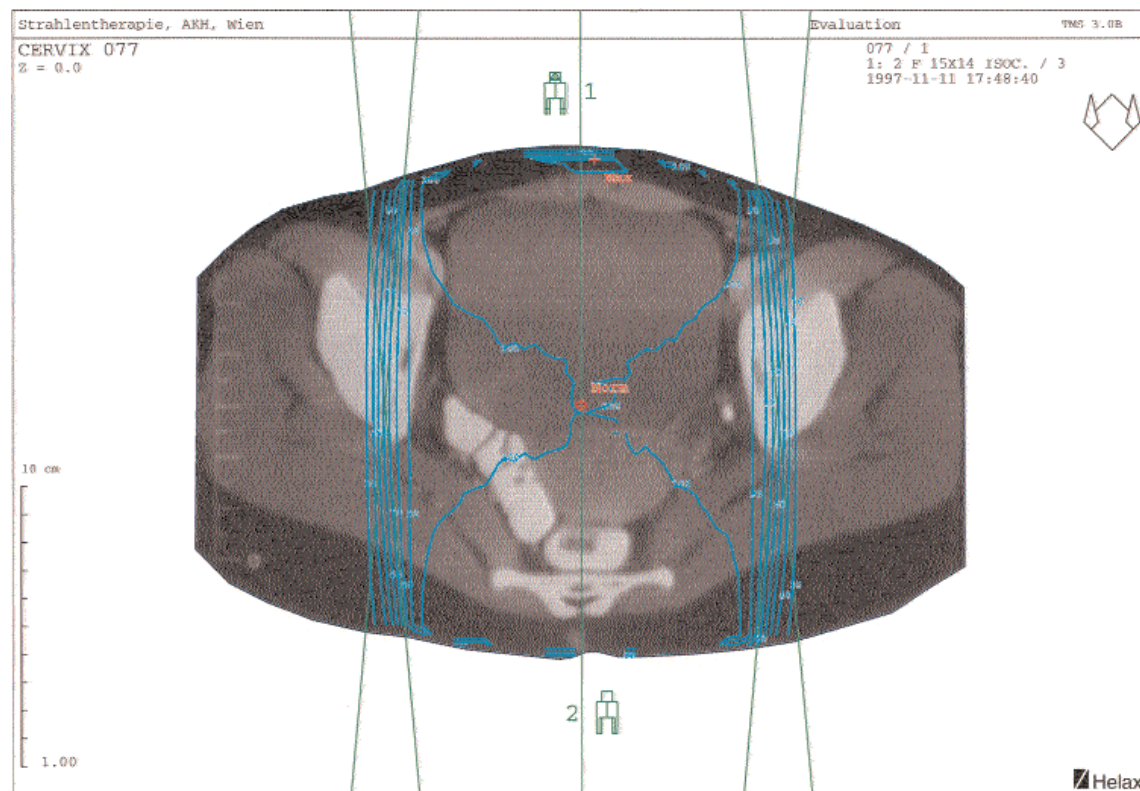


Imagen 22. Paciente N° 77: cuello de útero, tejido subcutáneo y gastrointestinal.



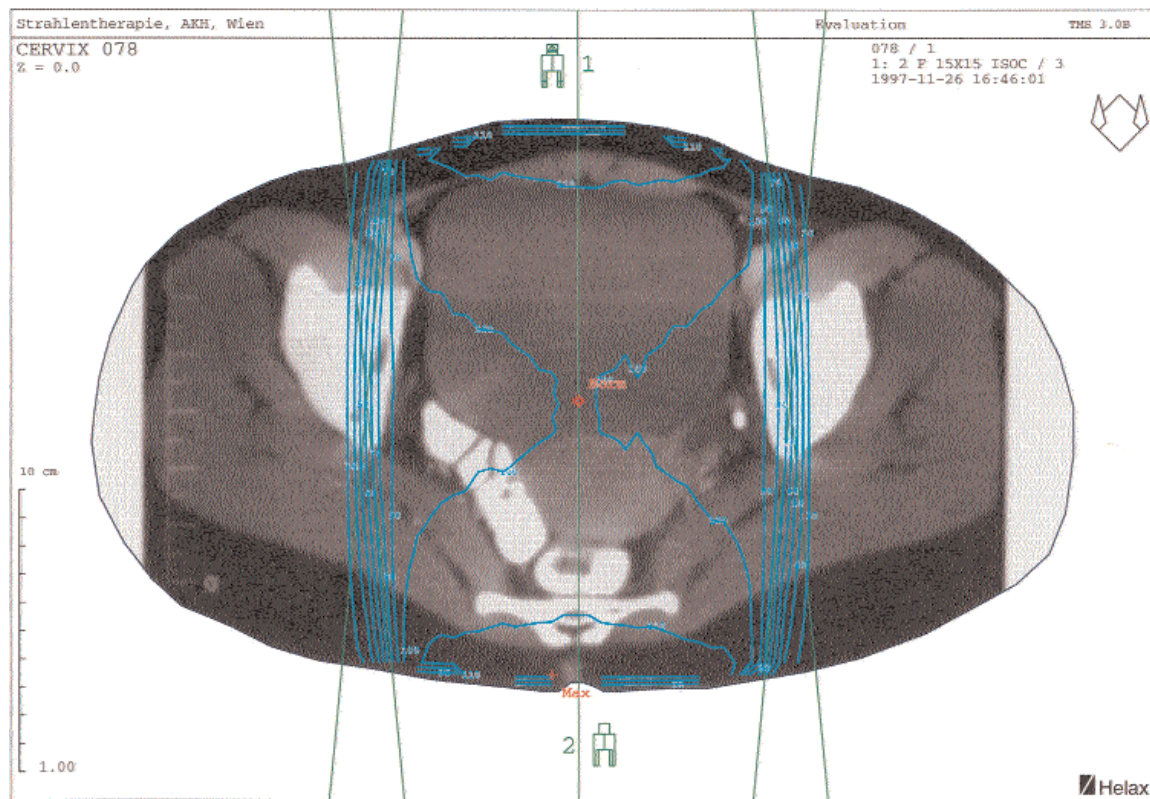


Imagen 23. Paciente N° 78: cuello de útero.

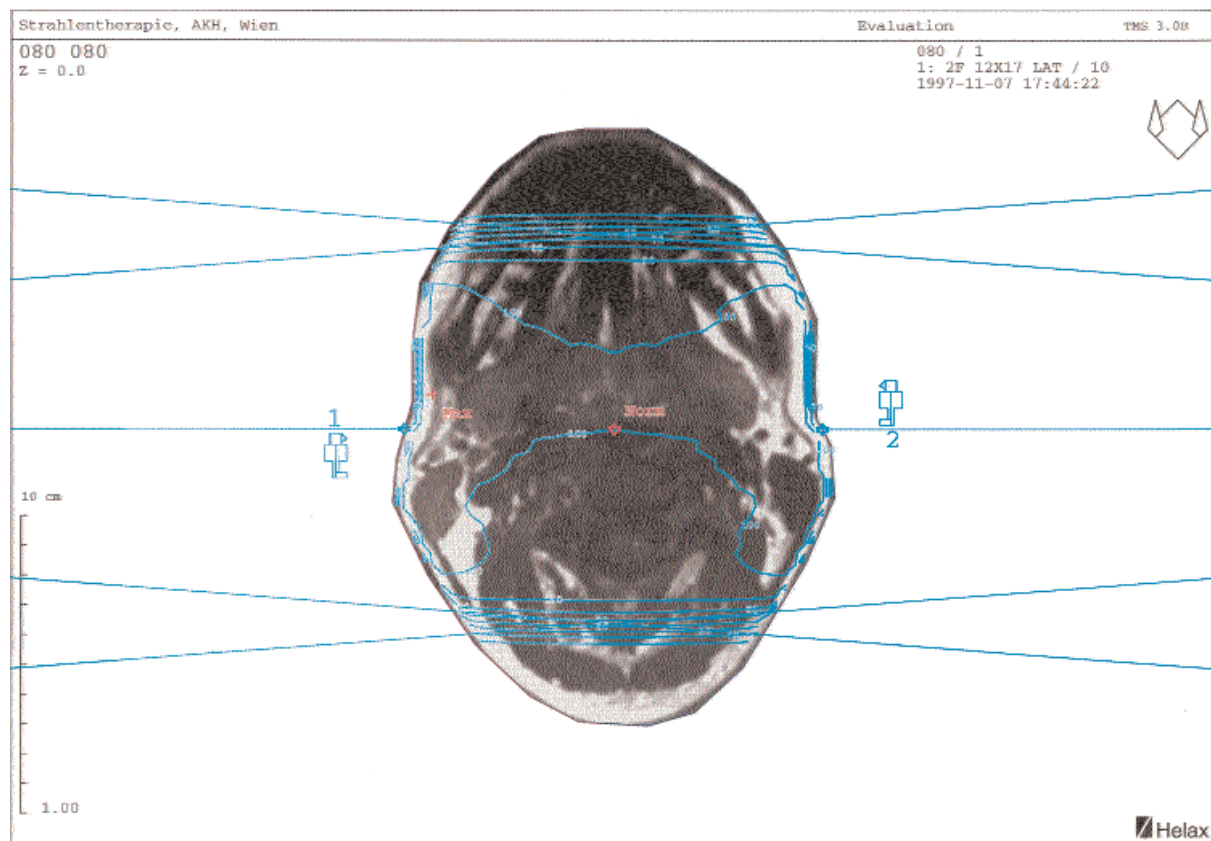


Imagen 24. Paciente N° 80: cuello.

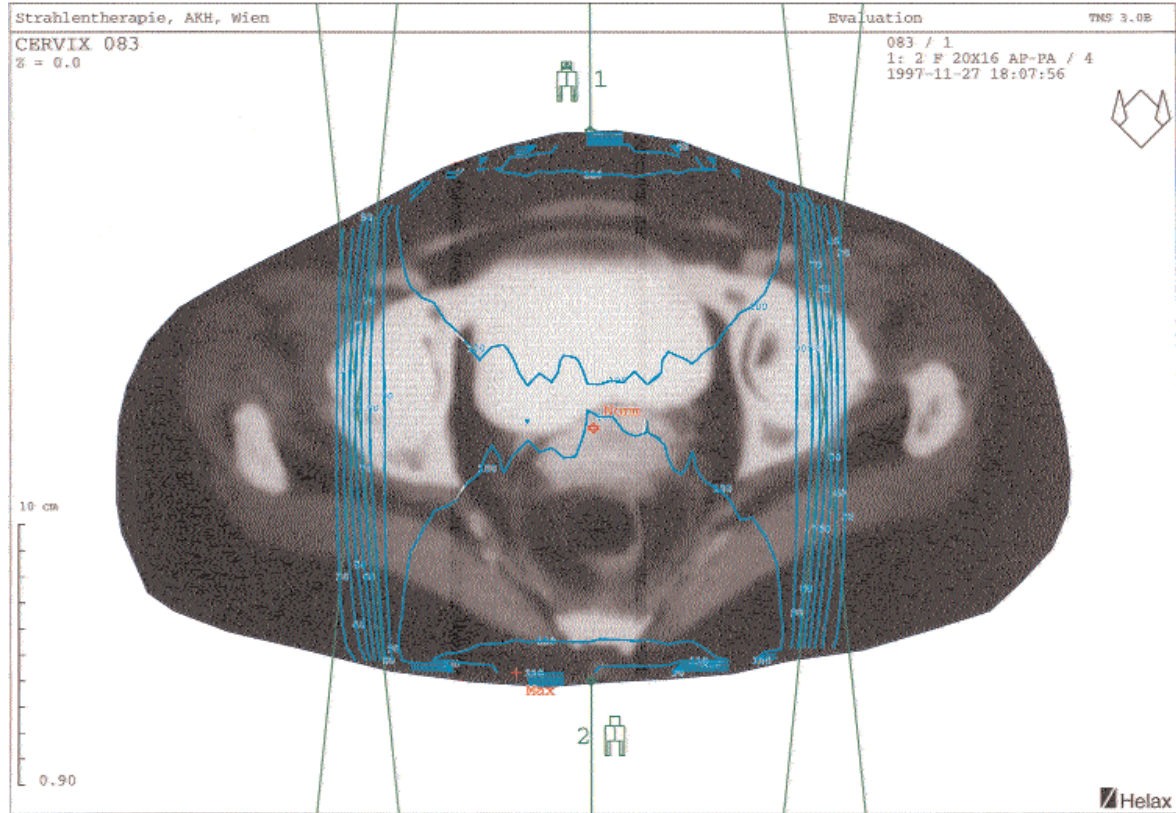


Imagen 25. Paciente N° 83: cuello de útero, intestino, recto (P).

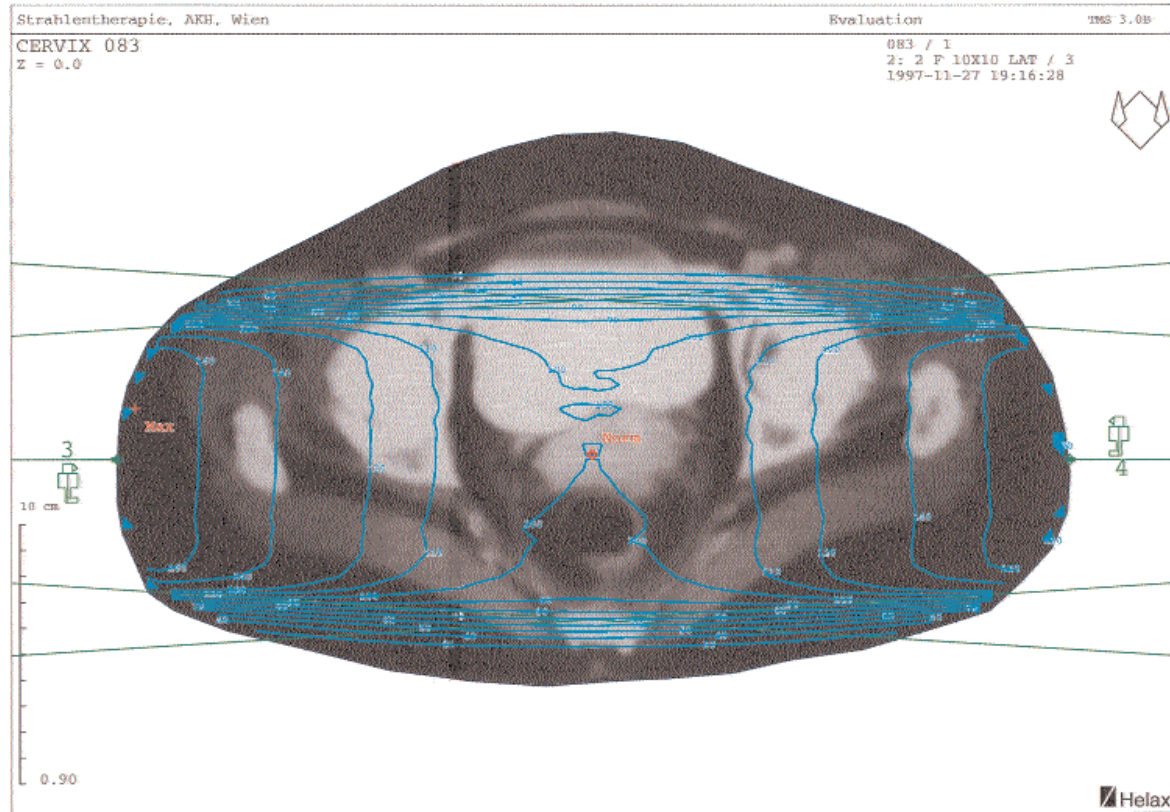


Imagen 26. Paciente N° 83: cuello de útero, recto.



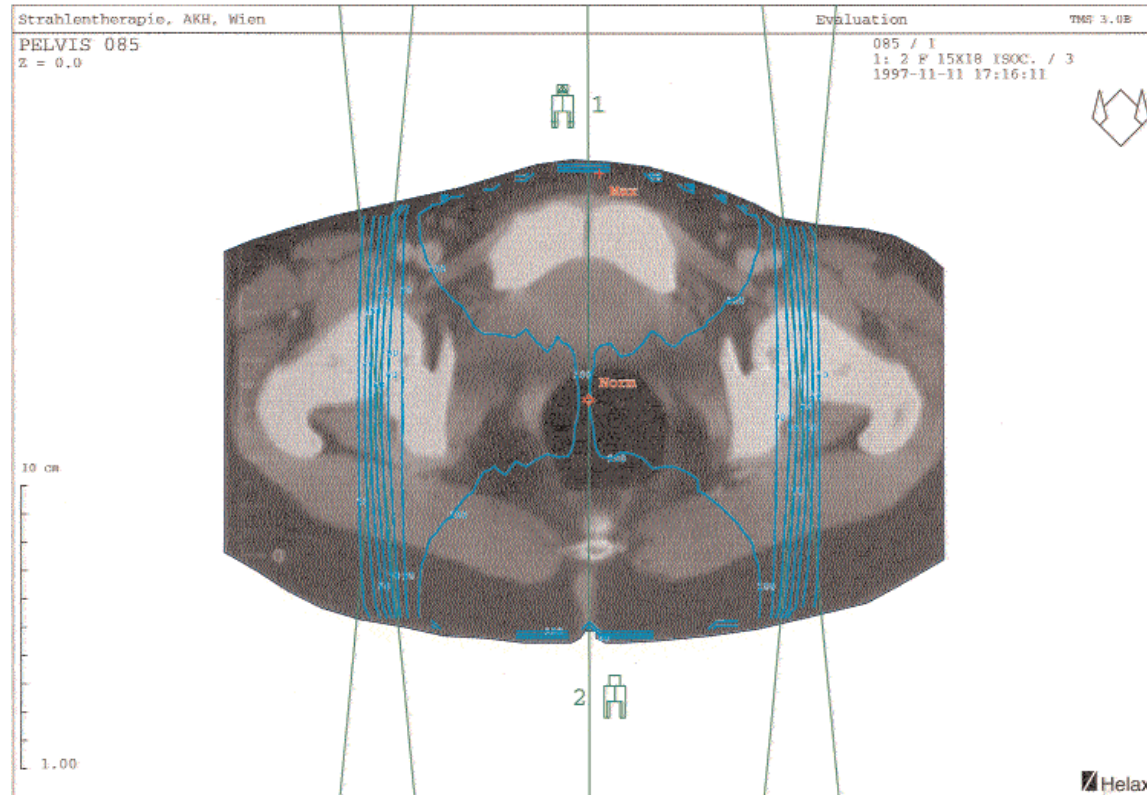


Imagen 27. Paciente N° 85: pelvis, recto.

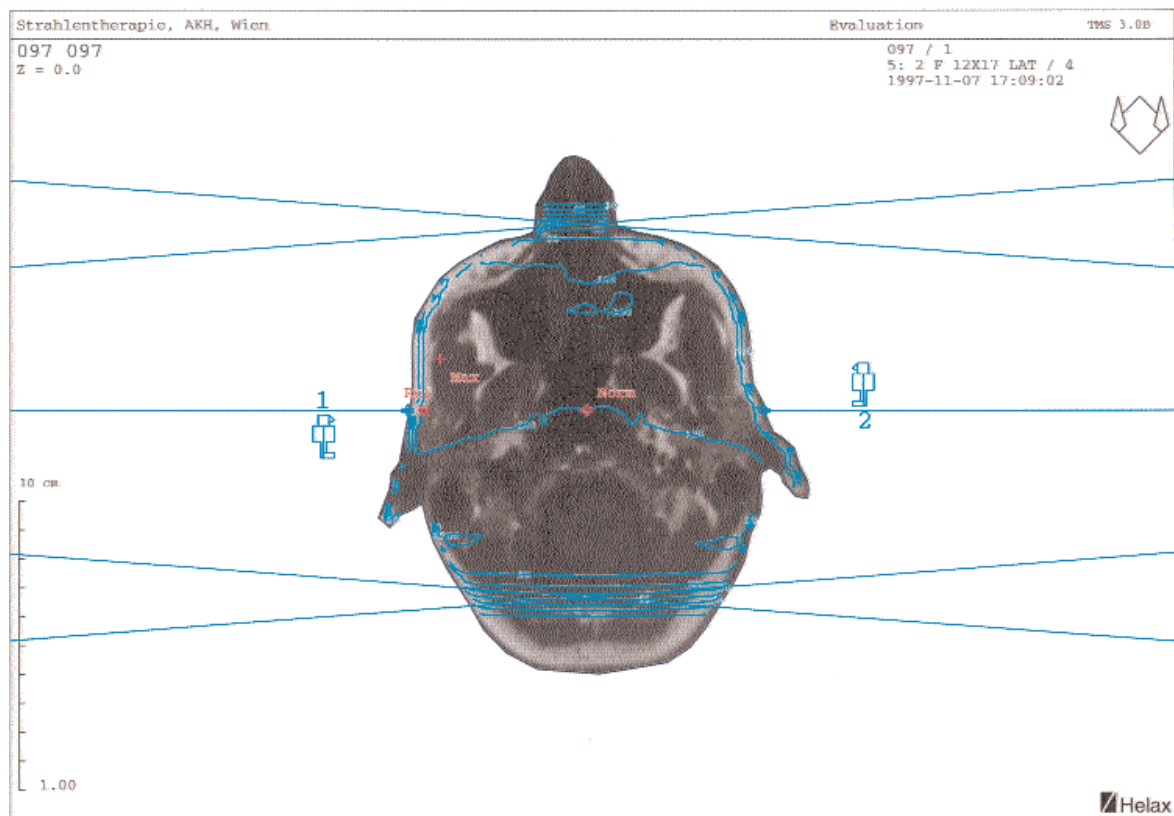


Imagen 28. Paciente N° 97: cráneo.

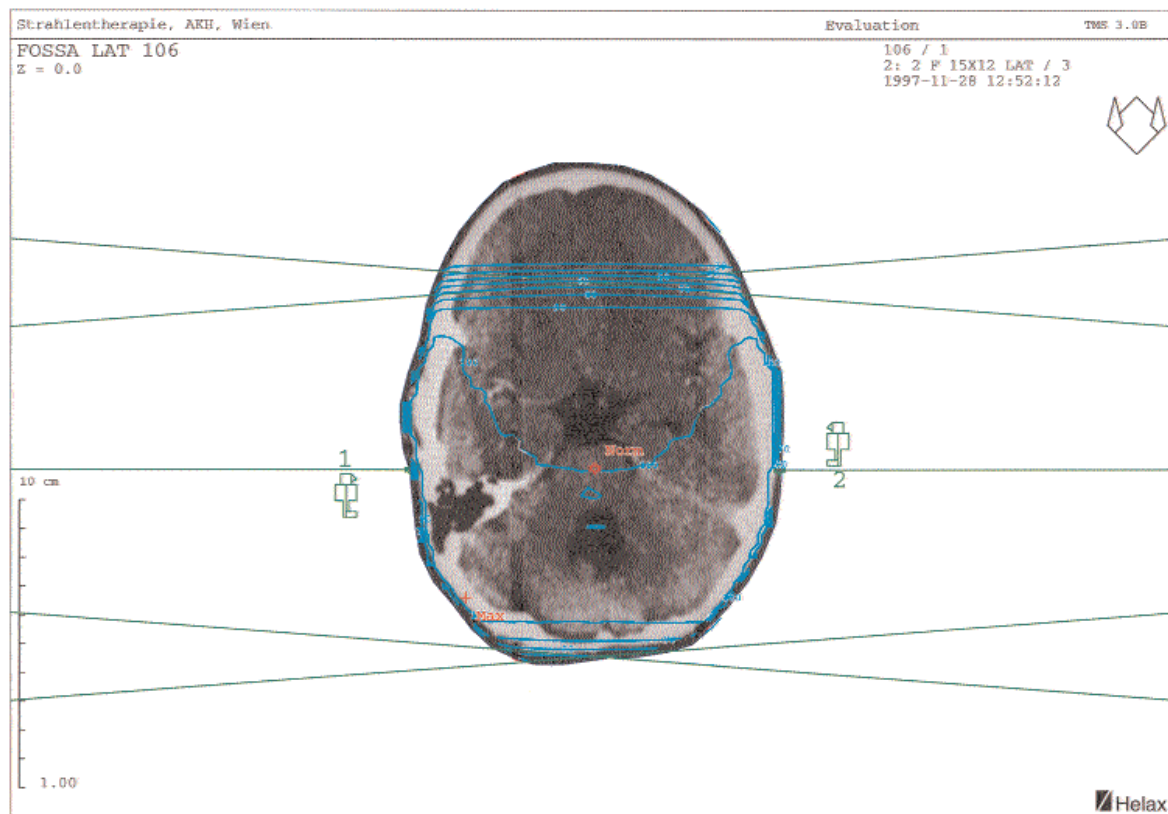


Imagen 29. Paciente N° 106: fosa posterior (P).

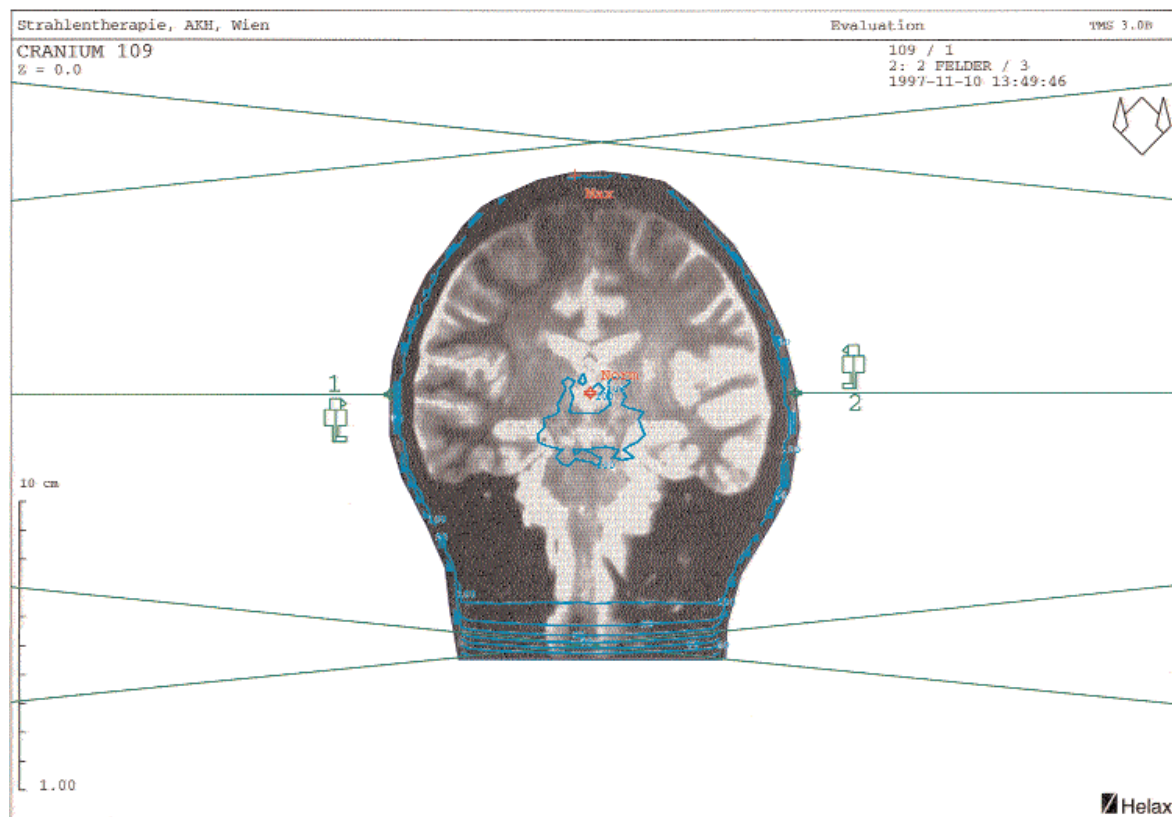


Imagen 30. Paciente N° 109: cráneo.