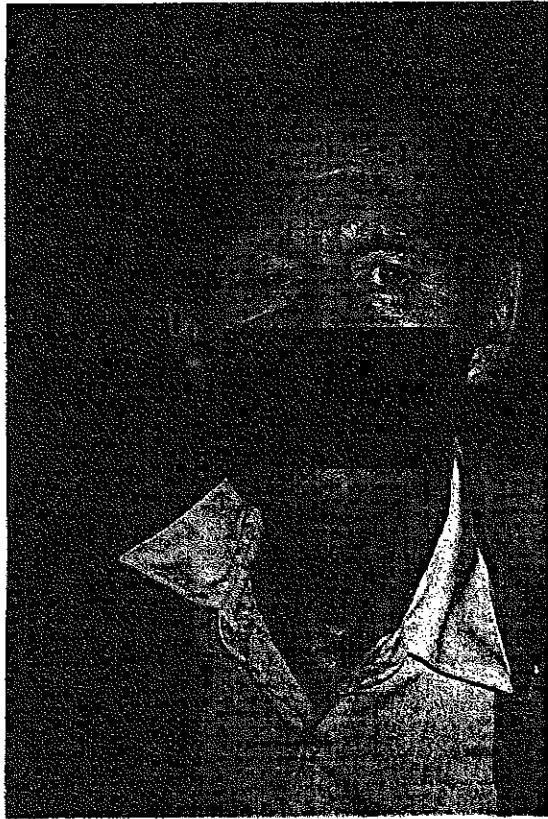


irradiación tanto más grave será la atrofia. Algunos pacientes también desarrollarán microangiopatías mineralizantes (Fotografía 2). Los resultados clínicos posteriores a la radioterapia habitual pueden manifestarse en forma de bajo rendimiento escolar y una disfunción de la glándula pituitaria y del 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 ceguera 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 oículos.

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%:

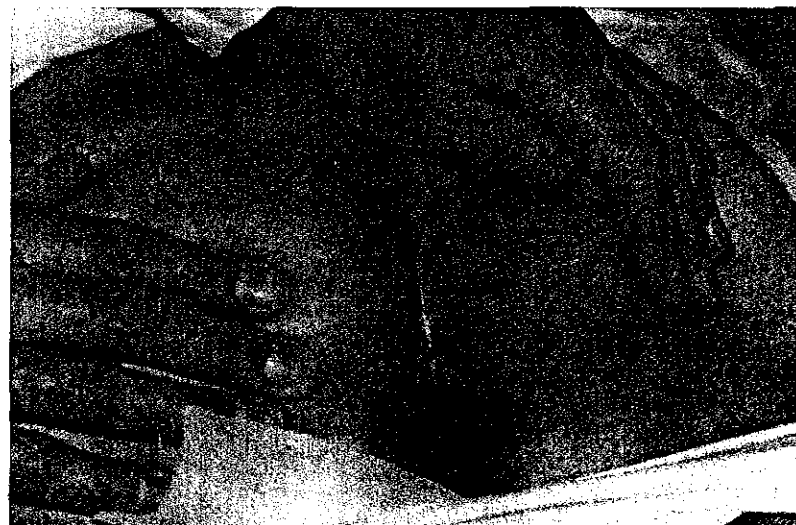
<i>Dosis/fracción (Gy)</i>	<i>Dosis total</i>
1	80
2	60
3	40
4	35
5	30-35
6	25

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.

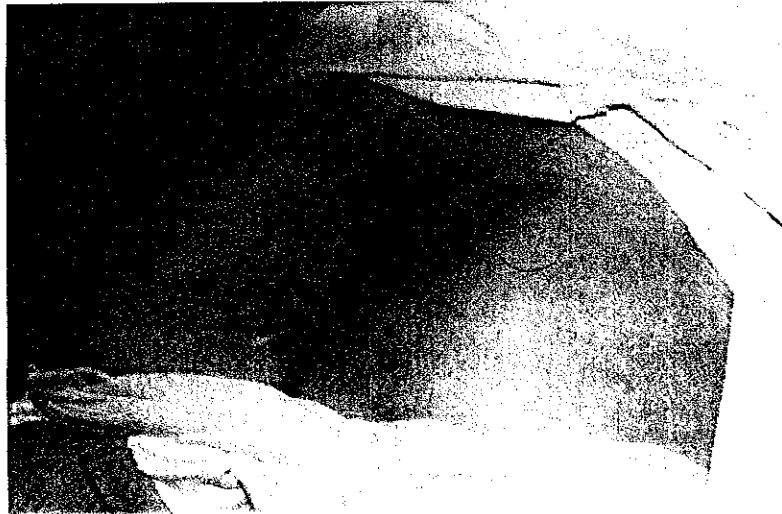
La radiación puede afectar a los nervios periféricos, aunque en general son bastante resistentes. Las dosis de unos 50 Gy repartidas en 25 fracciones a lo largo de 5 semanas pueden provocar lesiones del plexo braquial al 5% de los pacientes.



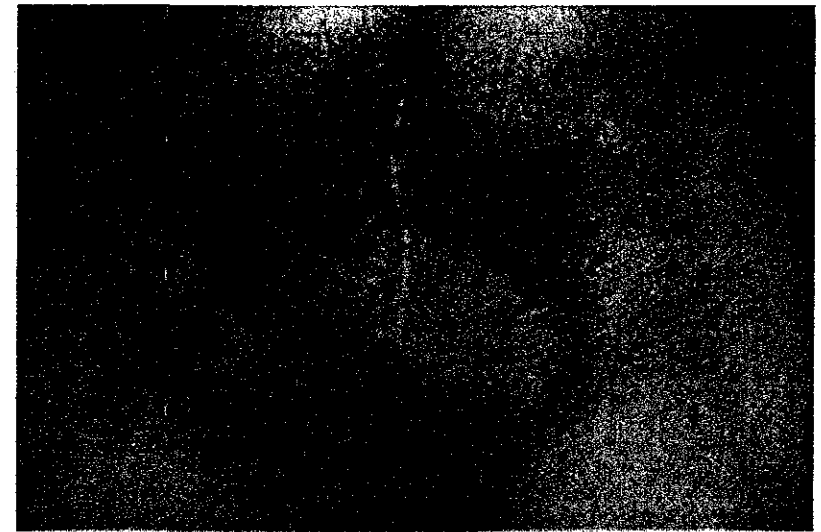
Fotografía 5. Descomposición de la piel en el pliegue glúteo, debida a sobreexposición.



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 sufren de afecciones del nervio del plexo sacro y del intestino.

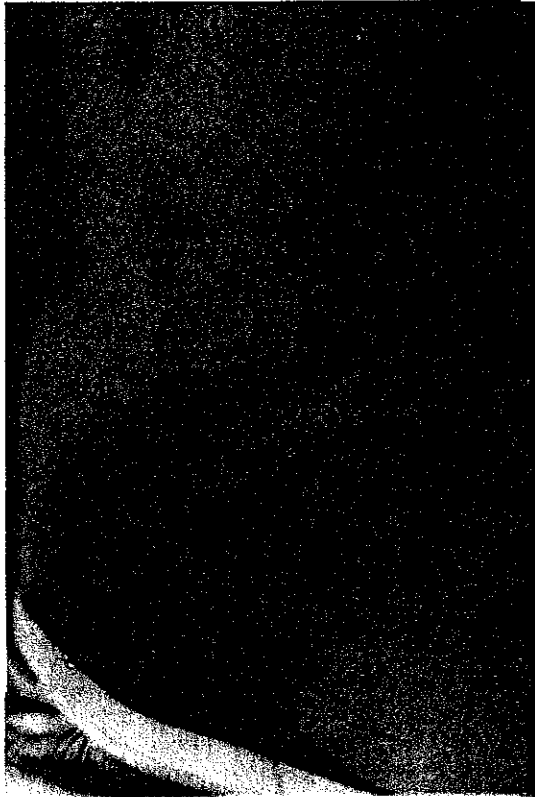


Fotografía 8. Pigmentación excesiva con cicatrización central de la piel. La sobreexposición del intestino muy sensible situado debajo ha ocasionado graves complicaciones, entre ellas diarrea sanguinolenta crónica, obstrucción intestinal y anemia.

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

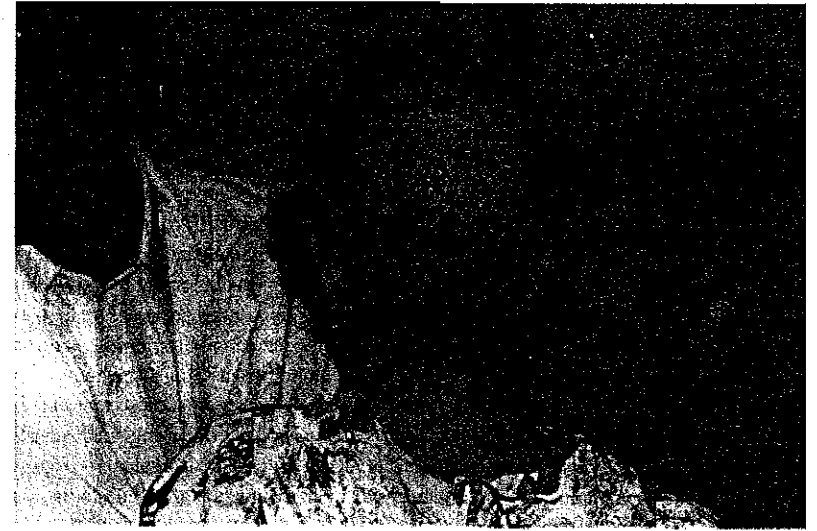
Al aplicar dosis altas de radiación, la reacción exudativa aguda de piel suele ir seguida por una regeneración temporal. La curación de la reacción inicial no debe tomarse como señal de que no ha habido una fuerte sobreexposición ni de que se pueden descartar reacciones tardías. Las repercusiones en 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



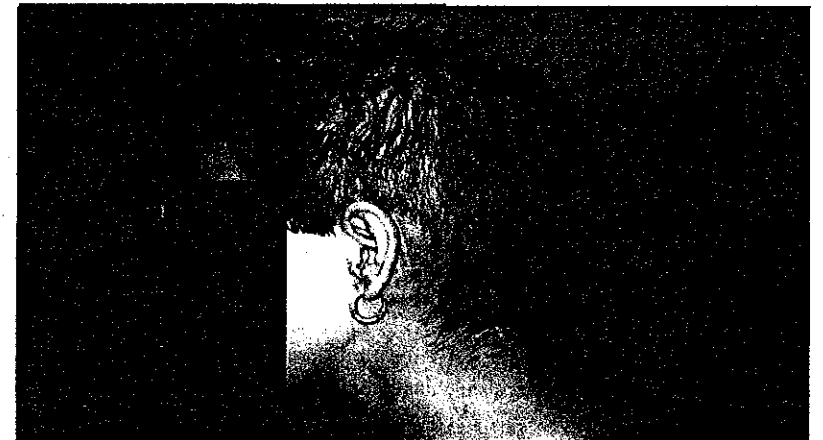
Fotografía 9. Fibrosis subcutánea grave, pigmentación y epilación permanente tras la irradiación de la zona inguinal izquierda. Asimismo, debido a la sobreexposición la capacidad de movimiento de la cadera izquierda ha quedado reducida.

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, fistulas 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 x 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])^{a,b}

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 $\leq 5\%$ de pérdida de peso respecto al peso anterior al tratamiento; náusea que no requiere antieméticos; molestia abdominal que no requiere medicamentos para simpatolíticos 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 al 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 para simpatolíticos; 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 nivel normal	Insuficiencia hepática inhabilitante; anomalías grandes en pruebas de funciones hepáticas; seroalbúmina a nivel de albúmina; edema o ascites	Necrosis; coma hepático; encefalopatía

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

^b 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 posttraumático (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 Chernobil 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 inadmisibles 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 cursos 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 profundidad⁵ 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

⁵ 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 desintegración⁶.

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

⁶ 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

**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}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 Aleyon 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 Aleyon 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 Aleyon 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
 Dirección: Hospital de Distrito, San José
 País: Costa Rica

Lote TLD N°: SR 971
 TLDs irradiados por: R. Pacheco Jiménez
 Fecha de la irradiación: 5 de agosto de 1997
 Evaluación: 18 de agosto de 1997

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES TLD PARA Co-60 Y FOTONES DE ALTA ENERGIA

Haz	Unidad de radiación	Grupo TLD N°	Dosis indicada por el usuario (Gy)	Dosis medida en el OIEA ^a (Gy)	Dosis media medida en el OIEA ^b (Gy)	% desviación respecto a la dosis media medida en el OIEA ^b	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	0.98

^a La incertidumbre de la medición de la dosis es 1.8% (desviación estándar 1); no incluye la incertidumbre intrínseca del protocolo de dosimetría (véase la Colección de Informes Técnicos del OIEA, N° 277 10).

^b % desviación respecto a la dosis media medida en el OIEA = $100 \times (\text{dosis indicada por el usuario} - \text{dosis media medida en el OIEA}) / \text{dosis media medida en el OIEA}$. 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 $\pm 5\%$ entre la dosis indicada por el usuario y la dosis medida en el OIEA.

J. Izewska

Encargo de TLD — OIEA, Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica

Fecha: 18 de agosto de 1997

Jefe — OIEA, Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica

P. Andreo

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 físico 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	▼	N° de Serie:	1423
Radio interior de la cavidad (mm):	3,05		
Material de la pared:	PMMA	Espesor (g/cm ²):	0,045
Material de recubrimiento:	PMMA	Espesor (g/cm ²):	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_0 ,		101,3	kPa	
	Temperatura, T_0 ,		20,0	°C	
	Humedad relativa		50,0	%	
	Voltaje de polarización		-250,0	V	
	Tamaño de campo		10 x 10	cm x cm	
	Distancia fuente-cámara		85,0	cm	

3. Constantes y factores

$k_{at}k_{in}$	0,972		
W/e	33,97		
I-g	0,997	(para radiación gamma Co-60)	

4. Factor de dosis absorbida a cámara de aire

Factor de calibración cámara de ref. ($N_{D,aire}$):		45,769E-3	Gy/div
para	Presión, P_0 ,	101,3	kPa
	Temperatura, T_0 ,	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

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 _{en} de la cámara, z _{ref}	= 4,8 cm

2. Cámara de ionización

Modelo de cámara:	PTW 30001 PMMA/Al Farmer	Nº de Serie:	1423
Material de la pared:	PMMA	espesor (g/cm ²)	0,045
Electrodo central:	aluminio		
Modelo de electrómetro	UNIDOS	Nº de Serie:	
Factor de dosis absorbida a cámara de aire N _{D,air} (Gy/div) = 45,769E-3			
para	P ₀	101,3	kPa
	T ₀	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 _{TP}	1,151
Temperatura, T (°C)	22	M ₀	22,51 div/min
Corrección de recombinación (radiación continua; Fig. 13) [10]		ρ _s	1,000
Promedio de lecturas de cámara (div/min)		M ₀	25,91

4. Dosis absorbida en agua

Razón de frenado, agua/aire (Cuadro XIII) [10]	S _{w,air} =	1,133
Factor de perturbación (ec. (25), Cuadros XX, XXI) [10]	P _{w,wall} =	1,001
	α =	0,414
	S _{w,wall,air} =	1,102
	(μ _{en} /ρ) _{w,wall} =	1,030
Corrección del electrodo central =	ρ _{cel} =	1,000
D _w (z _{ref}) =	1,3447	Gy/min
D _w (z _{max}) =	1,6873	Gy/min
	(%DD zref) =	79,697

%DD Co-60 10x10

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

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 ²)	0,079
Material de recubrimiento:	PMMA	Espesor (g/cm ²)	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 ₀		101,3	kPa
Temperatura, T ₀		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 _{air} k _m =	0,982
W/c =	33,97
1-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 ₀	101,3	kPa
Temperatura, T ₀	20,0	°C
Humedad relativa	50,0	%
Voltaje de polarización	-250,0	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 D_w

Unidad de Co-60	<u>ALCYON II</u>		
Maniquí de referencia:	<u>agua</u>		
Tamaño de campo de referencia:	<u>10 x 10</u> cm x cm	a distancia de fuente =	<u>80</u> cm
	Profundidad en agua del centro de la cámara, z(ctr)	=	<u>50</u> cm
	Desplazamiento del punto efectivo de medición 0,6 r		
	Profundidad de referencia en agua del P _{en} de la cámara, z _{ref}	=	<u>4,8</u> cm

2. Cámara de ionización

Modelo de cámara:	<u>PTW 30002 C/C Farmer</u>	Nº de Serie:	<u>152</u>
Materiales de la pared:	grafito	Espesor (g/cm ²)	<u>0,079</u>
Electrodo central:	<u>grafito</u>		

Modelo de electrómetro	<u>UNIDOS</u>	Nº de Serie:	<u> </u>
Factor de dosis absorbida a cámara de aire		N _{D,air} (Gy/div) =	<u>45,262E-3</u>
	para P ₀		<u>101,3</u> kPa
	T ₀		<u>20,0</u> °C
	H.R.		<u>50,0</u> %
	Volt. polarización		<u>-250,0</u> V

3. Corrección de lecturas del electrómetro

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

Presión, P (kPa)	<u>88,6</u>	ρ _{ap} =	<u>1,151</u>
Temperatura, T (°C)	<u>22</u>	M ₀ =	<u>22,814</u> div/min
Corrección de recombinación (radiación continua; fig 13) [10]		ρ _s =	<u>1,000</u>
Promedio de lecturas de cámara (div/min)		M ₀ =	<u>26,26</u>

4. Dosis absorbida en agua

Razón de frenado, agua/aire (Cuadro XIII) [10]	S _{w,air} =	<u>1,133</u>
Factor de perturbación (ec (25), Cuadros XX, XXI) [10]	ρ _{wall} =	<u>0,990</u>
	α =	<u>0,609</u>
	S _{wall,air} =	<u>1,002</u>
	(ρ _{en} /ρ) _{w,wall} =	<u>1,113</u>

Corrección del electrodo central =	ρ _{cor} =	<u>1,000</u>
D _{w(z_{ref})} =	<u>1,3339</u>	Gy/min
D _{w(z_{max})} =	<u>1,6737</u>	Gy/min
(%DD) zref) ≈	<u>79,697</u>	

%DD Co-60 10x10	SSD	60	80	100	
	r =	4	81,5	83,7	85,0
	r =	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:	<u>NE 2505/3, 3B '74-present</u>	Nº de Serie:	<u>19</u>
Radio interior de la cavidad (mm):	<u>3,35</u>		
Materiales de la pared:	<u>nylon 66</u>	Espesor (g/cm ²)	<u>0,041</u>
Materiales del recubrimiento:	<u>PMMA</u>	Espesor (g/cm ²)	<u>0,551</u>
		Espesor total	<u>0,592</u>
Electrodo central:	<u>aluminio</u>		

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):	<u>NK</u>	▼	<u>8,677E-03</u>	Gy/div ▼

Factor de calibración cámara de ref. (NK):	<u>8,677E-03 Gy/div</u>	
para	Presión, P ₀	<u>101,3</u> kPa
	Temperatura, T ₀	<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 x cm
	Distancia fuente-cámara	<u>85,0</u> cm

3. Constantes y factores

k _{at} k _m =	<u>0,965</u>
W/e =	<u>33,97</u>
Y-g =	<u>0,997</u> (para radiación Co-60)

4. Factor de dosis absorbida a cámara de aire

Factor de calibración cámara de ref. (N _{D,air}):	<u>8,348E-3 Gy/div</u>	
para	Presión, P ₀	<u>101,3</u> kPa
	Temperatura, T ₀	<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	<u>ALCYON II</u>	
Maníquf de referencia:	agua	
Tamaño de campo de referencia:	10 x 10 cm x cm a distancia de fuente =	<u>80</u> cm
Profundidad en agua del centro de la cámara, z_{ctr} =		<u>5,0</u> cm
Desplazamiento del punto efectivo de medición 0,6 r		
Profundidad de referencia en agua del P_{ef} de la cámara, z_{ref} =		<u>4,8</u> 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/cm ²)	0,041
Electrodo central:	aluminio		
Modelo de electrómetro	NE 2502	Nº de Serie:	10261
Factor de dosis absorbida a cámara de aire para	P_o	ND,air (Gy/div) =	<u>8,348E-3</u>
	T_o	101,3 kPa	
	H.R.	20,0 °C	
	Volt polarización	50,0 %	
		-250,0 V	

3. Corrección de lecturas del electrómetro

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

Presión, P (kPa)	<u>88,6</u>	$P_{TP} =$	1,151
Temperatura, T (°C)	<u>22</u>	$M_o =$	<u>121,84</u> div/min
Corrección de recombinación (radiación continua; fig. 13) [10]		$P_s =$	<u>1,000</u>
Promedio de lecturas de cámara (div/min)		$M_u =$	140,25

4. Dosis absorbida en agua

Razón de frenado, agua/aire (Cuadro XIII) [10]		$S_{w,air} =$	1,133
Factor de perturbación (cc (25), Cuadros XX, XXI) [10]		$P_{wall} =$	1,009
	α	=	0,386
	$S_{wall,air}$	=	1,141
	$(M'_{ref})_{w,wall}$	=	1,015
Corrección del electrodo central =		$P_{cel} =$	1,000
$D_w(z_{ref}) =$	<u>1,3384</u>	Gy/min	
$D_w(z_{max}) =$	<u>1,6787</u>	Gy/min	(%DD) z_{ref} = 79,726

%DD Co-60 10 x 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. Marenco Zúñiga

R. Pacheco Jiménez

(1) *Retículo en eje de colimador (tolerancia: ±1 mm)*

- Situar el colimador en posición horizontal
- Encender el sistema simulador de luz
- Girar el colimador en 360°

¿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 x 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°	90°	180°	270°
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°
- Brazo a 0°

<i>SAD = 70 cm</i> (a 25 cm de la cruz)	<i>SAD = 80 cm</i> (a 35 cm de la cruz)	<i>SAD = 90 cm</i> (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: ±2 mm)*

- Colimador a 0°
- Brazo a 0°
- Plano en SAD = 80, papel registrador de 35 x 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 x 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^a

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