

## informe médico

El 20 de enero de 1984, se encontraron en el Yonke Fénix, niveles de radiación de hasta 40 R/h, por lo que de inmediato se buscaron indicaciones del síndrome de radiación en los trabajadores que más tiempo permanecían en la zona más contaminada (alrededor de la báscula).

Sin embargo, los trabajadores dijeron no haber experimentado vómitos, cansancio ni náuseas y, no presentaban marcas visibles en pies o manos (un examen posterior más minucioso reveló la existencia de pequeñas pigmentaciones en las plantas de los pies). Algunos de los trabajadores recordaron en forma vaga haber estado enfermos del estómago y otros recordaron haber tenido hemorragias nasales y cefalalgia. El 24 de enero se les practicó a todos los trabajadores un examen médico en el IMSS de Ciudad Juárez. Se efectuó la biometría hemática de todos los trabajadores del tiradero y de personas potencialmente expuestas, empezando por las que presumiblemente estuvieron más tiempo en la zona más contaminada. Las biometrías demostraron que existía una leucopenia (disminución en la concentración de leucocitos en la sangre) en cuatro de los trabajadores, en el hijo de uno de ellos y en un cliente que pasaba mucho tiempo junto a la báscula.

A todos los vecinos de la calle de Aldama donde se estacionó la camioneta contaminada se les envió a examen médico al IMSS y a la SSA, y se encontró que tres de ellos mostraban síntomas de haber recibido dosis altas de radiación (más de 50 R).

Ricardo Hernández, la persona que ayudó a transportar la fuente en la camioneta, mostró una quemadura atribuible a radiaciones en proceso de cicatrización sin ningún otro síntoma.

Ha sido posible establecer que las dosis fueron recibidas por los trabajadores en un lapso no mayor a diez semanas antes de la primera visita médica (28 de enero de 1984), al no encontrarles síntomas o signos debidos a exposición aguda a radiaciones ionizantes, se pensó que se trataba de una exposición a bajas dosis, durante un tiempo largo, que probablemente se manifestaría en la interpretación de las biometrías hemáticas cuyos resultados determinarían el tratamiento a seguir, incluyendo la posibilidad de hospitalización. Es sabido que las alteraciones en la sangre y en los órganos hematopoyéticos, aunque no son indicadores perfectos, son las pruebas biológicas de mayor sensibilidad

para indicar una exposición alta a las radiaciones ionizantes penetrantes.

También es sabido que las personas que sobreviven a efectos agudos de una irradiación a cuerpo total, pueden recobrar la salud por muchos años, antes de que presenten los fenómenos estocásticos, estos fenómenos también pueden presentarse después de que una persona se expone a dosis pequeñas de radiación durante periodos prolongados. En el periodo de latencia que antecede a la manifestación de un efecto estocástico, puede haber muy pocos o ningún signo de lesión residual o incipiente por radiación, salvo un aumento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas en leucocitos circulantes. En base a esto, también se puede conocer la cantidad de radiación que en un momento dado puede haber recibido un sujeto, de ahí la importancia de la biometría hemática, ya que además de posibilitar el cálculo de la dosis de exposición se podría efectuar un pronóstico de los casos.

Al revisar las biometrías hemáticas se hizo evidente que de los diez casos, únicamente dos presentaban una definida patología hematológica consistente en anemia, leucopenia y plaquetopenia. En virtud de que ambos casos se mostraban totalmente asintomáticos, se decidió su vigilancia estrecha mediante exámenes físicos y de laboratorio recurriéndose a la hospitalización en caso de que las cifras de hemoglobina, leucocitos y plaquetas, presentaran descenso en la siguiente biometría hemática (ya que entonces existiría el peligro de que se presentara una septicemia y/o sangrado agudo). Cabe mencionar que la Clínica del IMSS estaba preparada para hospitalización y aislamiento, aun cuando nunca se presentó la necesidad. Cinco meses después, la recuperación hematológica se había establecido. Como fenómeno tardío de exposición a radiaciones se presentó hiperchromia café oscuro en las uñas de los dedos de las manos y en plantas de los pies.

En uno de los casos se practicó aspiración de médula ósea, habiéndose reportado como hipoplasia medular. No se consideró pertinente su repetición ya que las biometrías hemáticas subsecuentes en todos los casos indicaron recuperación del cuadro hematológico.

En cuanto a las espermatobioscopías, únicamente en dos casos de los diez más expuestos, se reportó azoospermia, hecho atribuible a la radiación recibida directamente a testículos durante el desempeño de sus labores. Sabemos que son necesarios más de dos meses y medio, después de una exposición única de menos de 300 rads y menos de un mes de una dosis única de más de 400 rads, para que la azoos-

permia inducida por radiaciones sea completa. Es necesario continuar los controles para determinar si la azoospermia es temporal o permanente, lo cual estará en función de la dosis recibida.

El tratamiento en estos casos fue básicamente expectante, bajo control clínico y de laboratorio, con medidas higiénico-dietéticas, tales como alimentación hiperprotéica, reposo físico, aseo personal cuidadoso, recomendando evitar conglomerados humanos, vigilar tanto la temperatura como la aparición de sangrados abundantes y adoptar una dieta rica en líquidos obtenidos de frutas frescas. En ninguno de los casos se detectó sintomatología aguda que determinara un tratamiento de otra naturaleza.

El Dr. Carl Hubner, del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Tenn., E.U., efectuó estudios de dosimetría biológica en las personas que en la biometría hemática habían resultado con leucopenia. Estos estudios de dosimetría están basados en conteo de aberraciones cromosómicas de un cultivo de leucocitos y en relacionar la fracción de aberraciones observadas con la dosis de radiación recibida. Las curvas dosis-frecuencia se obtuvieron en condiciones controladas de laboratorio y los resultados coincidieron con las dosis estimadas y con los resultados de las biometrías hemáticas. (Ver tabla 5).

En cuanto a los problemas futuros y dependiendo de las dosis recibidas, deberá pensarse en la posibili-

dad de neoplasias, cambios degenerativos (no neoplásicos) acortamiento de la vida y efectos genéticos en descendientes por lesión en células germinales del individuo expuesto.

La persona con la quemadura en la mano, será vigilada estrictamente por la posibilidad de necrosis tardía en la región tenar de la mano derecha que pueda obligar a un injerto pediculado o amputación según las circunstancias que se presenten.

Todo lo anterior implica una vigilancia médica juiciosa a muy largo plazo con solución de los problemas según se presenten síntomas y signos.

A fines de 1984 se encontró que siete de los trabajadores del Yonke Fénix mostraban síntomas de azoospermia y 16 de oligospermia. Estos estudios han sido efectuados por el IMSS y sobrepasan los números esperados con anterioridad, ya que en los inicios del accidente, la mayor parte de los trabajadores ahora reportados como azoospermicos u oligospermicos, no mostraron pancitopenia (depresión en el conteo de células sanguíneas). Es posible que la exposición a los testículos haya sido mayor que el resto del cuerpo por estar más cerca del piso o que la radiosensibilidad de los testículos sea mayor que la hasta ahora reportada en la literatura.

Es necesario continuar los estudios a largo plazo, de ser posible efectuar dosimetría biológica con rompimientos cromosómicos para hacer asignación de dosis y esclarecer este efecto.

**tabla 5**  
**estimación de dosis por estudios**  
**de aberraciones cromosómicas\***

| dosis calculadas (rad) |           |                        |                     |                        |                            |
|------------------------|-----------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|
| caso                   | edad/sexo | dicéntricos/<br>célula | exposición<br>aguda | exposición<br>continua | estimación<br>más probable |
| 1                      | 16/M      | 0.132                  | 151                 | 880                    | 390                        |
| 2                      | 28/M      | 0.283                  | 203                 | 1530                   | 550                        |
| 3                      | 39/M      | 0.008                  | 27                  | 50                     | 45                         |
| 4                      | 24/M      | 0.004                  | 16                  | 25                     | 24                         |
| 5                      | 14/M      | 0.032                  | 66                  | 204                    | 133                        |
| 6                      | 44/M      | 0.02                   | 50                  | 127                    | 93                         |
| 7                      | 29/M      | 0.096                  | 124                 | 611                    | 310                        |
| 8                      | 5/M       | 0.026                  | 58                  | 165                    | 115                        |
| 9                      | 28/F      | 0.002                  | 10                  | 13                     | 13                         |
| 10                     | 64/F      | 0.118                  | 139                 | 752                    | 355                        |

\* preliminar

## trabajos de localización de la varilla contaminada

Con objeto de localizar y concentrar la varilla que resultara contaminada a consecuencia del accidente, se solicitó a la fundidora Aceros de Chihuahua, S.A., una lista de los productos (varilla, alambρόn y material relaminable) que se fabricó durante los meses de diciembre de 1983 y enero de 1984.

Dicha empresa proporcionó una relación de 109 distribuidores localizados en 14 estados de la República Mexicana.

Con objeto de llevar a cabo una verificación radiológica inmediata a tales distribuidores, la CNSNS envió personal para identificar lotes de varilla contaminada y evitar su venta. Posteriormente se estableció una coordinación con la SSA para inspeccionar los domicilios de los compradores de esta varilla y, en su caso, proceder a su recolección correspondiendo a cada institución la revisión de siete entidades.

El plan para la inspección y recolección de varilla contaminada fue el siguiente:

- a) Visitar a cada uno de los distribuidores e inspeccionar la varilla existente, tomando la información pertinente.
- b) Con la ayuda de un representante de la SSA, levantar un acta de aseguramiento de la varilla contaminada en poder del distribuidor a fin de evitar la venta de ésta.
- c) Obtener información acerca de las personas que compraron varilla a partir de diciembre de 1983, con objeto de localizar sus domicilios.
- d) Inspeccionar los domicilios proporcionados por el distribuidor y asegurar la varilla contaminada que no hubiera sido instalada, para su recolección posterior.
- e) En domicilios en los que existiera varilla ya instalada, medir los niveles de exposición existentes y dar indicaciones para recuperarla cuando se rebasara el nivel tolerable aceptado, levantando el acta de aseguramiento correspondiente.
- f) Remitir la varilla asegurada al distribuidor correspondiente para su concentración y envío posterior a Achisa, lo que permitió la reposición de la varilla al comprador.
- g) Concentrar temporalmente para su control, la varilla contaminada en un terreno adjunto a las

instalaciones de Achisa, propiedad de esta empresa.

En aquellas localidades en las que los distribuidores no controlaron la totalidad de las ventas de varilla mediante notas o factura, se procedió a boletinar el hecho a través de la radio y periódicos locales, para que las personas involucradas se reportaran a los Centros de Salud de la región, para que posteriormente se hicieran las inspecciones en los domicilios no registrados.

En el periodo de febrero a octubre de 1984, se efectuaron por parte de la CNSNS inspecciones radiológicas a 156 distribuidores y 1,500 construcciones en siete estados de la república, comprendiendo 56 poblaciones.

Otra empresa que se vio afectada por esta situación fue Falcón de Juárez, S.A. de C.V., la cual fabricó 30,000 bases metálicas con un peso aproximado de 200 toneladas. Toda su producción fue exportada a E.U., se recuperó en el mismo periodo y se concentró temporalmente en el terreno del Yonke Fénix ubicado junto al Cereso, para su posterior disposición.

## gestión de desechos

El Cobalto-60 es un isótopo que no existe en la naturaleza, sino que es producido artificialmente por el hombre a partir del Cobalto-59, que existe en forma natural.

Para producir las fuentes de Cobalto-60, se introducen pequeños cilindros metálicos de Cobalto-59 al interior de un reactor de producción de isótopos. En estas instalaciones, el Cobalto-59 absorbe un neutrón y se convierte en Cobalto-60. El Cobalto-60 así producido es un material radiactivo que se utiliza principalmente en medicina e industria. El cobalto es un sólido metálico de brillo plateado que tiene una temperatura de fusión de 1440°C y una temperatura de ebullición de 2900°C, tiene propiedades paramagnéticas, lo que significa que puede ser atraído por campos magnéticos.

La densidad del cobalto a 20°C es de 8.9 gm/cm<sup>3</sup>. En forma metálica es insoluble en agua. El peso atómico del isótopo de Cobalto-59 que existe en la naturaleza es de 58.94 unidades de masa atómica.

El decaimiento radiactivo se mide en una unidad llamada *curie* (Ci). Un *curie* indica que la fuente radiactiva tiene  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones en cada segundo.

El Cobalto-60 decae emitiendo radiación Beta ( $\beta$ ) y radiación gamma ( $\gamma$ ), convirtiéndose en Níquel-60, que es un isótopo estable. Durante su decaimiento, el Cobalto-60 emite una partícula beta de una energía máxima de 0.312 mega-electrónvolt (MeV) y dos partículas gamma de 1.17 MeV y de 1.33 MeV por cada desintegración.

La vida media del Cobalto-60 es de 5.26 años, lo cual significa que cada 5.26 años, la actividad presente de una fuente se reduce a la mitad.

La radiación beta es fácilmente absorbida y detenida por una pequeña capa de papel, tierra, lámina, de tal manera que no es necesario un buen blindaje; mientras que la radiación gamma sí lo requiere y éste puede ser de agua, tierra, concreto o plomo en diferentes espesores. Es recomendable que en este caso, en los límites de la instalación los miembros del público no reciban más de 50 mrem/año, debido a esta circunstancia, es necesario que todos los desechos radiactivos producidos durante este accidente sean colocados en trincheras, con el objeto de que la tierra que cubre el material sirva como blindaje radiológico. Esta práctica es seguida por la mayoría de los países que generan desechos radiactivos y se tiene una gran experiencia acumulada en el mundo.

#### el emplazamiento del almacén definitivo

En los sitios de disposición terrestre, el agente principal por medio del cual el material radiactivo puede llegar al medio ambiente humano es el agua, que puede lixiviar los isótopos radiactivos y arrastarlos al subsuelo y contaminar el manto acuífero del lugar en cantidades que no permitan el uso del agua. El agua también puede erosionar la parte superior de las trincheras y arrastrar los desechos fuera de éstos y transportarlos hasta donde pueda exponer al ser humano de manera directa (radiación directa) o indirecta (consumo de alimentos contaminados).

Por los motivos anteriormente descritos, se escoge el lugar de enterramiento de tal manera que los desechos tengan el menor contacto posible con el agua y con otros agentes que pudieran transportar los desechos radiactivos hasta el hombre. Los criterios básicos de selección son los siguientes.

- a) Ser un terreno de poco valor comercial.
- b) Bajo potencial de uso en agricultura y ganadería.
- c) Bajo potencial de uso habitacional e industrial.
- d) Baja precipitación pluvial.
- e) Aguas freáticas profundas

f) Bien comunicado

g) Geológicamente estable.

h) Que no acuse erosión por agentes naturales, agua, viento, desprendimientos de tierras, seres vivos, etcétera.

Todos los criterios mencionados tienen por objeto evitar que el material radiactivo alcance a los seres humanos de manera directa o indirecta.

Cuando el terreno disponible no cumple totalmente con los criterios de selección, no se conocen con exactitud sus características, es necesario agregar barreras de ingeniería que garanticen la inmovilidad de los desechos y proteger de esta manera la salud y la seguridad del público.

Se debe proveer de control institucional al "cementerio" o depósito final de los desechos con la finalidad de:

- a) Evitar la exposición inadvertida de intrusos que pudieran verse expuestos a las radiaciones de los desechos.
- b) Proporcionar mantenimiento a las trincheras, cercas, etcétera.
- c) Mantener un programa de monitoreo ambiental.

Adicionalmente a la selección y diseño del "cementerio" deben estimarse los riesgos (dosis de radiación) y presentarse en un Informe de Seguridad. Las dosis de radiación deben calcularse tomando en cuenta las cantidades de material radiactivo, rutas potenciales de exposición al hombre, barreras naturales y de ingeniería, etc. Este Informe debe evaluarse por el Organismo Regulador, quien dictamina si es aceptable el emplazamiento del "cementerio" y otorga la licencia respectiva. El Organismo Regulador en la República Mexicana es la CNSNS.

Para los desechos concentrados en Ciudad Juárez, Chih., dicho sitio fue ubicado en febrero de 1984 en el desierto de Samalayuca a 500 m de la estación Desierto del ferrocarril Chihuahua-Ciudad Juárez y, a 12 Km., al sur de la garita del Km. 28. Su capacidad sería de 12 mil m<sup>3</sup> para permitir el acomodo, en 16 trincheras de 25 x 6 x 5 m, de diez mil toneladas de: varilla, bases de mesas, material en proceso, chatarra, escoria, tierra contaminada y la camioneta *pick-up*.

Durante los meses de mayo y junio de 1984, se efectuaron los estudios geohidrológicos, corroborando la información preliminar sobre la seguridad del sitio escogido.

En las mismas fechas se llevó a cabo la estimación de crecimiento demográfico y los estudios meteorológicos y climatológicos de la zona, confirmándose lo adecuado del sitio.

Durante los meses de junio, julio y agosto, se realizaron las obras de construcción con estricto apego a los requisitos de seguridad y diseño señalados.

En el transcurso de julio, la Confederación Patronal de la República Mexicana en Ciudad Juárez manifestó fuerte oposición para que se llevara a efecto la disposición de los desechos en el sitio seleccionado. No obstante las reuniones de dicha organización con la SEDUE, con la SSA y con la CNSNS, para analizar la seguridad y adecuación del sitio, se generó una corriente de opinión pública rechazando la ubicación del sitio.

Con este motivo, a principios del mes de septiembre de 1984, el C. Gobernador del Estado ordenó la cancelación del sitio cuando se iniciaba el traslado del material para su confinamiento en dicho lugar.

Sin embargo, técnicamente se ha considerado a dicha instalación como de máxima seguridad e idoneidad para la disposición final de los desechos radiactivos.

Conviene mencionar que simultáneamente a la realización de los estudios geohidrológicos, se procedió con las gestiones para obtener los recursos financieros necesarios para las tareas mencionadas, y para efectuar el transporte del material, ya que todo esto ascendía a una cantidad considerable que no podía cubrirse con los presupuestos de las dependencias.

Posteriormente, el gobierno estatal propuso varios lugares más, localizados al sur del sitio anteriormente seleccionado, ofreciendo hacerse cargo del transporte de los desechos y del reinicio de la construcción, hasta el mismo grado de avance que se tenía en el otro sitio.

El nuevo sitio que se seleccionó se localiza en un lugar denominado El Malquerido, cercano al ejido de Villa Luz. Por acuerdo del gobierno estatal y con objeto de reducir la inquietud de la población, se inició el traslado de los desechos radiactivos a la proximidad del nuevo sitio, en espera de que se concluyeran los trabajos de la construcción, quedando la vigilancia de los mismos a cargo del propio gobierno.

Sin embargo, cuando ya se habían trasladado 240 tambores a este sitio y habían arribado 11 *trailers*

cargados de varilla procedentes de Chihuahua, se experimentó la oposición de los ejidatarios, quienes amenazaron con incendiar los vehículos si no se retiraba de inmediato el material.

Lo anterior obligó, en el mes de octubre, a que el gobierno estatal cancelara la utilización de este segundo sitio, manteniéndose el material ya trasladado en un lugar al sur de Samalayuca, para llevarse tres días después a La Piedrera.

Conviene mencionar que se han terminado los estudios geohidrológicos correspondientes al segundo sitio, cuyas características requerían de obras adicionales de seguridad tanto para la salud de la población, como para la protección del ambiente.

A principios de noviembre se seleccionó un tercer sitio, ubicado aproximadamente a 15 km al suroeste de Samalayuca, en el extremo norte del rancho La Piedrera, el cual fue adquirido por el gobierno del estado. En virtud de que dicho predio colinda con el ejido de El Vergel, la administración gubernamental ha recabado el consentimiento de los ejidatarios.

Con el fin de confinar los desechos radiactivos a la mayor brevedad y en el menor tiempo posible, se formularon especificaciones adicionales, que se deberán satisfacer en la construcción de las celdas, para que éstas ofrezcan seguridad para retener el contaminante, independientemente de que algunas de las características particulares del sitio pudieran no resultar del todo apropiadas y disponer así del tiempo suficiente para completar los estudios detallados del lugar.

Por la misma razón, se han transportado a las inmediaciones de dicho sitio más de 5,200 toneladas de metal procedente de Chihuahua, así como 860 tambores con tierra y gránulos de cobalto, la camioneta *pick-up* y 200 toneladas de bases metálicas procedentes de Ciudad Juárez.

La movilización y traslado del material se ha efectuado en todo momento bajo la vigilancia y supervisión técnica de acuerdo a un plan de seguridad radiológica previamente elaborado para estos fines.

Una parte de la varilla se ha depositado en el "cementerio" administrado por el ININ, localizado en Maquixco, Estado de México (70 toneladas), y otra parte (115 toneladas) en Mexicali, Baja California, siguiendo las normas dictadas por la CNSNS.

La Piedrera consta de nueve trincheras con muros de concreto y sus dimensiones son 40 metros de largo, 15 metros de ancho y cinco metros de profundidad.

Está localizado en una zona desértica bordeando la zona de dunas de Samalayuca. La superficie que ocupa la instalación es de 102 hectáreas.

El inventario aproximado de los desechos que se enterrarán en la instalación es el que se detalla en la tabla 6:

**tabla 6**  
**volumen y actividad estimados del material**  
**confinado en sitios de disposición**  
**final**

|                     | toneladas | volumen en<br>m <sup>3</sup> | actividad<br>aprox. (Ci)* |
|---------------------|-----------|------------------------------|---------------------------|
| camioneta           | —         | 7.0                          | 60                        |
| cabezal             | —         | 0.5                          | 5                         |
| varilla             | 3115      | 1040.0                       | 132                       |
| material en proceso | 1738      | 434.0                        | 74                        |
| bases metálicas     | 200       | 700.0                        | 9                         |
| chatarra            | 1950      | 2445.0                       | < 2                       |
| tambos              | 860**     | 179.0                        | 158                       |
| tierra y escoria    | 29181     | 16212.0                      | 10                        |
| <b>total</b>        | —         | <b>21017.5</b>               | <b>&lt; 450</b>           |

\* referida a enero de 1984.

\*\* en unidades