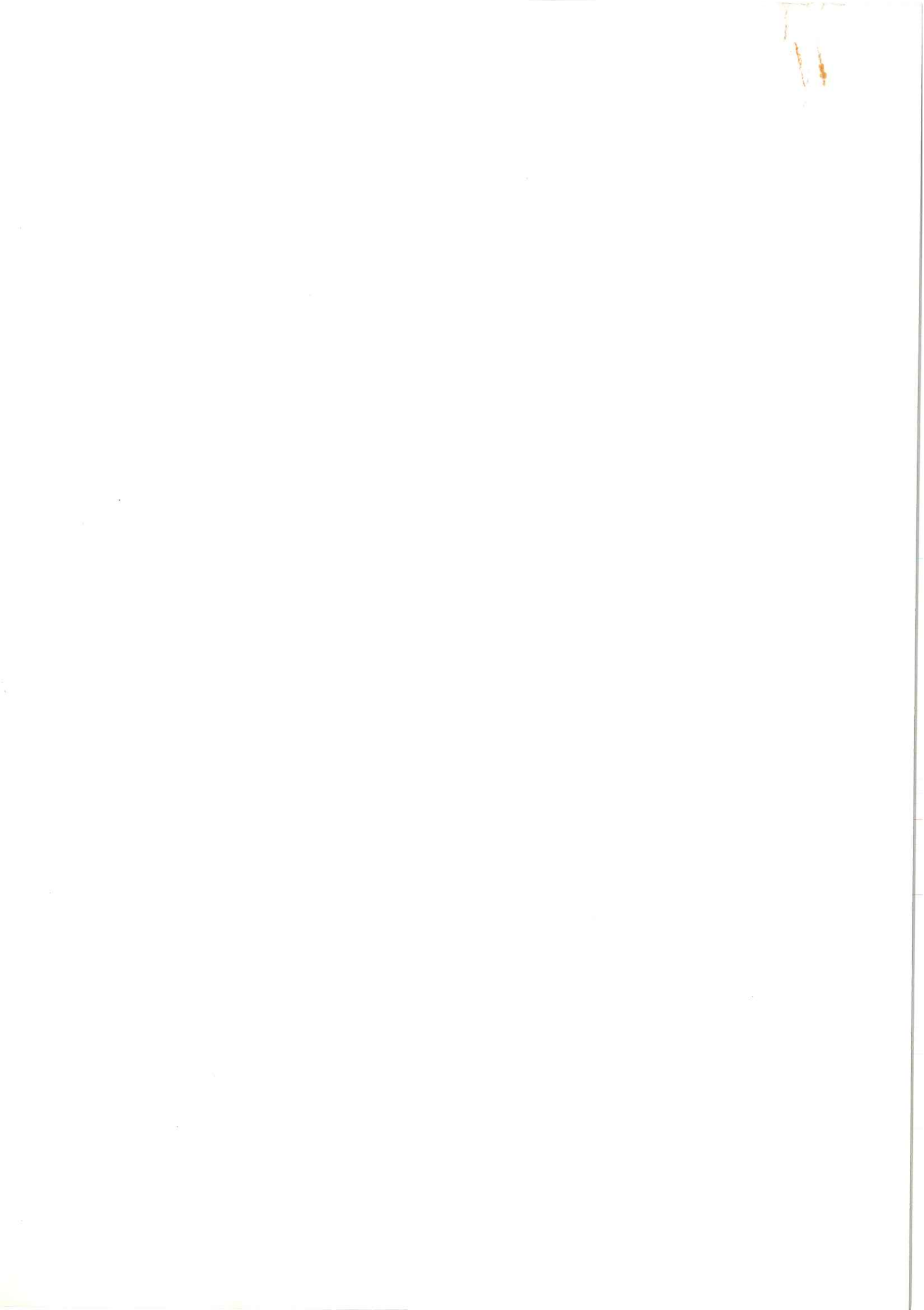


Reprint from

"ENVIRONMENTAL CONTAMINATION
BY RADIOACTIVE MATERIALS"

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1969



DETERMINACION DEL RIESGO A QUE
HA ESTADO SOMETIDA LA POBLACION
COMO CONSECUENCIA DE UN ACCIDENTE
NUCLEAR GENERADOR DE UN AEROSOL
RADIOACTIVO

E. IRANZO, E. RAMOS
Junta de Energía Nuclear,
Madrid, España

Abstract — Resumen

MEASURES TO DETERMINE THE RISK TO WHICH A POPULATION CAN BE SUBJECTED AS A RESULT OF A NUCLEAR ACCIDENT GENERATING RADIOACTIVE AEROSOLS. This study describes the safety measures taken to protect people living in an area where a radioactive aerosol has been produced. The reasons to decide against the evacuation of the area and the way the personnel operated or co-operated to check the existence of internal contamination as a consequence of the inhalation of the generated aerosol are also given. In addition the paper gives a resumé of the techniques used to determine the plutonium-239 burden in the lungs, the amount eliminated with the urine, and the results from 100 persons selected for this purpose.

DETERMINACION DEL RIESGO A QUE HA ESTADO SOMETIDA LA POBLACION COMO CONSECUENCIA DE UN ACCIDENTE NUCLEAR GENERADOR DE UN AEROSOL RADIOACTIVO. En esta comunicación se realiza una exposición de las medidas tomadas con el personal que habita en un área donde se produjo un accidente que originó un aerosol radiactivo. Se expresan los motivos que llevaron a la decisión de no requerir una evacuación y la forma en que se realizó la elección del personal para comprobar la existencia de una contaminación interna como consecuencia de la inhalación del aerosol generado. Se hace un resumen de las técnicas empleadas para la evaluación de la carga pulmonar de plutonio-239 y el excretado por orina y se presentan los resultados obtenidos con las 100 personas seleccionadas para tal fin.

El día 17 de Enero de 1966 se produjo un accidente de aviación durante una operación de abastecimiento de combustible en vuelo, que originó la pérdida de un avión B-52 y otro nodriza, pertenecientes a las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos de América. El accidente tuvo lugar sobre la vertical de la aldea de Palomares, perteneciente al municipio de Cuevas de Almanzora, provincia de Almería y los restos de los aviones siniestrados se encontraban esparcidos en una amplia área, correspondiente en su mayor parte al indicado término municipal de Cuevas de Almanzora, al término municipal de Vera y a la zona del mar Mediterráneo, próxima a la costa, comprendida entre Puerto Rey y Villaricos.

La citada aldea de Palomares posee una población de unos 1.200 habitantes y se halla situada a muy poca distancia de la playa, cerca de la desembocadura del río Almanzora, sobre su orilla derecha. El caserío no forma propiamente un núcleo urbano, sino que está irregularmente distribuido. Grupos de casas o casas aisladas se reparten caprichosamente en una extensa zona de relieve irregular atravesada por una carretera, caminos e innumerables acequias para el riego de huertos o de predios vecinos.

Como consecuencia del accidente mencionado, cuatro bombas termonucleares que eran transportadas por el avión B-52 se desprendieron cayendo dos de ellas con sus respectivos paracaídas, por lo que se recogieron intactas, una en el lecho del río Almanzora, muy cerca de su desembocadura, la otra en el mar. Los dos restantes artefactos no pudieron ser recuperados íntegros porque, al caer sin paracaídas y por efecto del choque violento con el suelo, hizo explosión una parte del explosivo convencional y se produjo una fragmentación y la oxidación consecutiva de la esponja de uranio y plutonio constitutiva de la bomba, originándose un aerosol, de dichos elementos, que fué dispersado por efecto del fuerte viento reinante en dirección S.O.-N.E., contaminando una extensa zona al depositarse sobre el suelo, plantas y edificaciones. Esta zona tenía como centros más activos los de impacto, que correspondían a una colina semi-desértica, situada al S.O. de la aldea, distante de la misma unos 1.500 metros, a la altura de la cota 72 del cerro de Algarrobinas, y unas huertas situadas en el mismo extremo. Este del caserío y a unos 200 metros de las dos casas más próximas. En sus inmediaciones se encontraban dispersos numerosos fragmentos metálicos, de diversos tamaños, pertenecientes a las bombas.

Al comprobar el estado en que se encontraban estos dos artefactos, se adquirió la certeza de que se había originado un problema de contaminación por emisores alfa y se procedió a una rápida comprobación de la existencia de la misma y de que no existía contaminación importante por emisores beta o gamma.

Los valores de las medidas encaminadas a determinar el área y orden de la contaminación alcanzada en la misma dieron por resultado el comprobar que se había originado la contaminación de una superficie total de 226 hectáreas aproximadamente. De ellas, 2,2 hectáreas presentaban una contaminación alfa superior a 700.000 des./min por 100 cm², correspondientes a las proximidades de los puntos de impacto de las bombas, que en línea de aire se encontraban entre sí a una distancia de unos 2.600 m. Aproximadamente 17 hectáreas presentaban contaminaciones entre 700.000 y 70.000 des./min por 100 cm² y el resto, equivalente a unas 207 hectáreas, mostraba contaminaciones inferiores a 70.000 des./min por 100 cm², teniendo, algo más de la mitad de ellas, un valor inferior a 7.000 des./min por 100 cm².

Al mismo tiempo que se iniciaron las operaciones para determinar la existencia y el orden de contaminación de la zona, se procedió a efectuar las medidas que permitieran dictaminar sobre la existencia de un riesgo real de inhalación de un aerosol radiactivo que, dadas las características de los elementos constitutivos del mismo, podría ser el que justificase o no la necesidad de proceder a una evacuación parcial o total de la población de Palomares. Para ello se procedió a la toma de muestras de aerosoles en diversos lugares del pueblo y de los campos, con preferencia entre las cañas próximas al punto donde se produjo el impacto localizado en el extremo este del caserío y en los lugares donde, según la dirección

del viento, mayores probabilidades existirían de contaminación del medio ambiente atmosférico por arrastre de los radionúclidos depositados en suelo y vegetales.

Con este fin se dispuso de:

- Un laboratorio móvil, de la División de Medicina y Protección, Volkswagen tipo 22, dotado de material de la firma "Frieseke und Hoepfner (Erlagen-Bruck)", y provisto, entre otras cosas, de un colector portátil de muestras de aerosoles, modelo FH 422, con capacidad de aspiración de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ y un contador proporcional de flujo de gas metano, modelo FH 407 A.

La energía eléctrica es suministrada por unos generadores que van situados en la parte posterior de la furgoneta.

- Equipos portátiles tomadores de muestras de aerosoles, Staplex, tipo TF 1 A, con una capacidad de toma de muestra de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, aproximadamente, alimentados por grupos generadores de corriente alterna.

El laboratorio móvil, por su gran facilidad de maniobra, se destinó a la toma de muestras de aire en diversos lugares de las proximidades del núcleo urbano de Palomares y de la aldea de Villaricos, y en otros situados dentro de un radio de acción de 6 km. Los equipos Staplex se situaron en los lugares más estratégicos del núcleo de la población, que nos interesaban, y en zonas próximas a los dos lugares de impacto de los artefactos termonucleares. Variando la posición de los equipos en cada muestra, dentro de un radio de acción de unos 100 metros para cada uno de ellos, se procedió a la toma de muestras de 30 minutos.

La medida de la actividad alfa de las muestras tomadas se efectuaba en dos ocasiones, la primera a la hora de finalizada, con el fin de adquirir una idea lo más rápida posible de si estaba muy por encima de la correspondiente a la radiactividad natural de aquella zona, y la otra a las 24 horas, para comprobar cual era la concentración en el aire de radionúclidos de largo periodo de semidesintegración.

Los recuentos de la actividad de las muestras demostraron la no existencia de núclidos radiactivos emisores alfa, en el medio ambiental, en concentraciones que podrían justificar una medida de evacuación. Salvo en puntos situados en la dirección del viento, a una distancia inferior a 100 metros de los lugares de impacto anteriormente indicados, en condiciones de un fuerte viento del S.O.P. que sopló entre las 15 horas y las 17 horas del día 20 de enero, cuando todavía no se había adoptado ninguna medida especial de descontaminación ni de humidificación de las tierras, los valores de la concentración en el aire de radionúclidos, de periodo de semidesintegración largo, estaban en el orden de 10^{-13} microcurios por centímetro cúbico o menores, siendo, en consecuencia, iguales o inferiores a los considerados como máximos permitidos por el Organismo Internacional de Protección contra las Radiaciones

(O.I.P.R.) para el plutonio-239, en sus características de máxima restricción (C.M.A. = 6×10^{-13} microcurios por centímetro cúbico).

En los puntos indicados, y en las circunstancias especiales especificadas anteriormente, este valor fué sobrepasado en un factor del orden de 100.

Estas primeras determinaciones dieron una idea de la magnitud del problema ocasionado por el accidente, permitiéndonos deducir las siguientes conclusiones:

- No existía problema de irradiación externa del personal.
- El problema más importante era el de la posible contaminación interna del personal de la aldea de Palomares, durante los momentos inmediatos posteriores al accidente, como consecuencia de la inhalación del aerosol originado antes citado.
- Podía existir un problema de contaminación externa del personal de Palomares, tanto en ropas, como en piel y pelo, que podría ser causa de una contaminación interna posterior si no era eliminado lo más rápidamente posible. Esta contaminación externa podía ser debida:
 - a) al depósito directo del aerosol.
 - b) al contacto directo con los fragmentos de las bombas y con los restos de los aviones, cosechas, suelos y diversos materiales que pudieran haber resultado contaminados.
- La contaminación superficial diseminada podía ser causa de que por efecto del viento se originase una posterior resuspensión de núclidos radiactivos en el aire, manteniendo constante el riesgo de contaminación interna del personal por inhalación, en tanto aquella no desapareciera.
- El trabajo, en el campo, de recolección de las cosechas que se encontraban en plena sazón para algunos frutos, en las áreas contaminadas, podría ser causa de contaminaciones internas y externas del personal.

La ingestión de frutos y alimentos contaminados en su exterior podría dar lugar a una contaminación interna, si bien la naturaleza de los núclidos radiactivos y, en consecuencia, su pequeña absorción intestinal harían que no entrañase un riesgo importante.
- La contaminación podría difundirse al exterior de la zona afectada con la salida del personal, material y productos vegetales contaminados.
- Además de los habitantes de Palomares y de los que se encontraban en la aldea durante los momentos inmediatamente posteriores al accidente, podrían haber resultado afectados los de la aldea de Villaricos y todos aquellos que, atraídos por la curiosidad, vinieron de los pueblos situados en aque

lla comarca y recorrieron los diversos lugares donde se encontraban restos de los aviones y material que transportaban. Muchas personas recogieron pequeños restos y los conservaron como recuerdo.

Como consecuencia de ellas se organizó el plan de actuación a seguir.

En cuanto al personal se refiere, que es lo que nos interesa en esta comunicación, el primer problema con que nos enfrentamos fué el de adquirir una idea básica sobre la posible contaminación de las personas que se hallaban en Palomares cuando se produjo el accidente. Para ello se procedió, en principio, a la determinación de la contaminación externa de todos los habitantes de las casas próximas al lugar del impacto número 3, de aquellos que, sin vivir habitualmente en dichas casas, se encontraban en la zona correspondiente a las mismas y de los que habitaban en las más próximas al lugar del impacto número 2, a pesar de que su distancia a éste es del orden de 1 km. Las determinaciones efectuadas dieron medidas de contaminación externa poco importantes, con valores máximos del orden de 2.000 des./min por 100 cm², correspondientes, principalmente, al calzado, zona baja de los pantalones y mangas de vestidos, jerseys y chaquetas.

Al mismo tiempo que se realizaban dichas determinaciones, se tomaron muestras parciales de orina de todas estas personas para conocer la cantidad de radionúclidos emisores alfa en general y de plutonio-239, en especial, excretados y obtener, en consecuencia, una idea rápida del alcance de la contaminación interna, si existía, partiendo para su cálculo de las experiencias realizadas por el Dr. Langham y colaboradores en Los Alamos y adoptando el modelo de absorción y eliminación por el propuesto para el plutonio-239 (1).

Estas muestras se enviaron, por vía aérea, a los laboratorios de la División de Medicina y Protección de la Junta de Energía Nuclear, en Madrid. El resultado del análisis de las mismas así como el de las muestras de 24 horas que al día siguiente se tomaron del mismo personal, nos indicaron que la cantidad de plutonio-239 inhalado no representaba ningún riesgo grave inmediato que exigiera la administración de agentes quelantes, y que los valores obtenidos eran inferiores o muy poco superiores a los mismos que corresponderían a la carga máxima admitida establecida por el O.I.P.R. (Carga máxima admitida = 0,04 microcurios para hueso como órgano crítico y 0,4 microcurios para el total del organismo como órgano crítico). Por otra parte, era necesario tener en cuenta, que, durante la recogida de la muestra de orina, podría producirse fácilmente una contaminación de la misma, derivada del medio ambiente externo, que podría dar lugar a una evaluación en exceso o errónea de la contaminación interna de las personas indicadas, como pudo comprobarse en las nuevas determinaciones efectuadas sobre personas que se mantuvieron rigurosamente controladas en lugar totalmente libre de

contaminación, después de ser sometidas a una perfecta descontaminación externa. En una de ellas que, por haber dado un valor más alto, fué trasladada a Madrid y sometida a un control diario durante 10 días consecutivos, se determinó que la eliminación urinaria de plutonio-239 era tal que, de acuerdo con la fórmula de Langham anteriormente mencionada, su carga no podría ser superior al 80% de la máxima admitida, considerando al hueso como órgano crítico, y que en consecuencia y dada su edad 75 años, no presentaba motivo de grave preocupación.

Una vez efectuada la comprobación de la contaminación externa en aquellas personas que se consideró podían haber sido las más afectadas, se inició, con jornada casi continua de unas 16 horas diarias aproximadamente, la comprobación de la contaminación externa del personal de la Guardia Civil que había prestado servicio en las zonas contaminadas y el de la totalidad de los vecinos de las aldeas de Palomares y Villaricos y de los pueblos comarcales que habían visitado por causas diversas, en las primeras horas, el lugar del accidente.

Estos reconocimientos se efectuaron por tres motivos principales:

- Efecto psicológico tranquilizante al ver que no se encontraban externamente contaminados, ya que en los primeros días y por diversas causas las noticias que se divulgaron eran totalmente erróneas, crearon un cierto recelo entre las gentes sencillas del poblado y podrían haber originado el pánico colectivo sin que existiese una causa real que lo justificase.
- Detección de la existencia de contaminación externa en personas y de su cuantía para, en función de ella, determinar aquellas que, aún encontrándose alejadas de los lugares donde lógicamente podían haber experimentado una inhalación del aerosol radiactivo, hubieran estado posteriormente expuestas al riesgo de dicha inhalación a causa de un contacto directo con suelos, productos vegetales o material contaminado y deberían ser, inmediata o posteriormente, sometidas a medidas de determinación de su contaminación interna.
- Detección de la contaminación del vestuario, piel y pelo para, en caso de resultado positivo, dar las normas adecuadas para su descontaminación o, si ésta era elevada, efectuar la recogida de las piezas contaminadas, eliminando las fuentes que podrían originar posteriormente una contaminación interna.

Las primeras medidas de contaminación externa se realizaron con equipos portátiles detectores de actividad alfa, modelo 2672, de la "Nuclear Chicago Corporation" y se efectuaron "in situ". A partir del segundo día se incorporaron dos equipos fijos de detección del tipo Intégrateur Portatif Alpha Beta I.P.A.B 2 B, "Nardeux", que se instalaron en un local de la aldea habili-

tado para este fin y fueron manipulados por dos equipos, de dos técnicos cada uno, pertenecientes a la División de Medicina y Protección de la Junta de Energía Nuclear.

Las determinaciones efectuadas a este respecto no revelaron, en las 1.950 personas comprobadas, contaminación importante alguna; solamente un pequeño número presentaba contaminaciones del orden de 2.000 des./min por 100 cm² y otro grupo, más reducido aún, mostraba contaminaciones del orden de 20.000 des./min por 100 cm² en zonas aisladas de sus trajes; estas últimas correspondieron al personal militar (Guardia Civil) que estuvo efectuando servicio de vigilancia en los lugares más contaminados.

Con el fin de evitar la posibilidad de una nueva contaminación externa, reducir el riesgo de inhalación por estancia en lugares contaminados e impedir la difusión de la contaminación a zonas apartadas de la del accidente, se tomaron las siguientes medidas:

- Prohibición de penetrar la gente en las zonas de cultivo correspondientes al área de Palomares en tanto no queden delimitadas las zonas contaminadas.
- Prohibición de acercarse y curiosear entre los restos de los aviones en tanto no se comprobase la existencia o no de contaminación.
- Prohibición de penetrar en el casco urbano de Palomares a los muchos curiosos procedentes del exterior en tanto no se comprobó la no existencia o existencia de valores muy bajos de contaminación, etc.
- Prohibición de cosechar tomates y habas, que se encontraban en plena recolección, hasta comprobar cuales podían ser recogidos sin riesgo para el recolector y para el usuario.
- Prohibición de enviar a los mercados exteriores los tomates que se encontraban en los almacenes y que habían sido recogidos a partir del día 17 de enero, en tanto se comprobaba si existía o no contaminación en los mismos.
- Comprobación de la existencia de contaminación en los alimentos almacenados en el pueblo.
- Control de entrada y salida de vehículos de la zona.
- Recubrimiento con una capa de aceite mineral de las áreas inmediatas correspondiente a los puntos de impacto de los ingenios termonucleares fragmentados e irrigación con agua, manteniendo continuamente húmedas las zonas subsiguientes con más elevada contaminación, para eliminar el riesgo de resuspensión en el aire de los núclidos radiactivos contaminantes.

Una vez establecido este plan de urgencia para impedir una posterior difusión de la contaminación y evaluar el alcance que pudiera tener la interna del personal afectado en los primeros momentos y día, tanto en número aproximado de personas

afectadas como de cuantía en las que presentaban mayor riesgo potencial de exposición, se establecieron las líneas a seguir en un futuro de meses y años, con el fin de vigilar a los habitantes de aquella comarca y deducir las consecuencias que pudieran derivarse para ellos del accidente en sí y de las soluciones que se emplearon.

El punto primordial de todas nuestras preocupaciones ha sido, como es lógico, la determinación de la existencia o no de contaminación interna por plutonio-239 del personal que se encontraba en la zona durante los momentos consecutivos al accidente, las posibilidades de contaminación que pudieran presentarse durante el periodo de tiempo en que se llevaron a cabo las operaciones de delimitación de zonas y descontaminación, y la determinación de la existencia o no de un riesgo derivado de las medidas que se había decidido tomar con las zonas donde los valores de contaminación fueron inferiores a 700.000 des./min por 100 cm². Este riesgo podría derivarse de:

- inhalación de plutonio si, como consecuencia de las operaciones de laboreo de las tierras y de los vientos existentes, se originaba un aerosol, contaminado con dicho elemento, que alcanzase una determinada difusión;
- contaminación como consecuencia de las operaciones de laboreo de las tierras donde había quedado cierta cantidad de plutonio-239;
- contaminación por contacto e ingestión de los productos vegetales que se cultivan en la zona, en el caso de que estos presentasen una contaminación externa;
- contaminación por ingestión de los productos vegetales empleados como alimentos en el caso de que se produjese, durante su crecimiento, una absorción de plutonio-239 o uranio-235.

Hacemos la salvedad de que no existe riesgo de contaminación por agua de bebida, ya que las aguas existentes en dicha zona presentan una concentración tal elevada de sales que las hacen totalmente impotables, siendo transportada desde 50 kilómetros de distancia el agua que el público consume para la bebida.

En cuanto se relaciona con la medida directa de la determinación de la posible contaminación interna, el estudio se planteó bajo los dos aspectos siguientes:

- Determinación del plutonio-239 excretado en orina, para determinar la fracción que hubiese podido pasar la frontera pulmonar y linfática.
- Determinación de la cantidad de plutonio-239 existente en los pulmones.

Para estas determinaciones y con posterioridad a los análisis de plutonio-239 y actividad alfa total en orina que se hicieron en los momentos próximos consecutivos al accidente, en las personas que se consideraron en aquellos momentos con mayo-

res probabilidades de contaminación interna, se efectuó una selección entre la población de Palomares, atendiendo a las siguientes causas:

- Situación más próxima con respecto a los lugares de impacto de las bombas fraccionadas y de las zonas con mayor contaminación en el momento mismo de ocurrir el accidente, y en consecuencia, con mayores posibilidades de inhalar el aerosol generado en las explosiones convencionales.
- Estancia en las zonas de máxima contaminación durante el día del accidente y el posterior.
- Permanencia, en el momento del accidente y días posteriores, en casas y zonas del pueblo donde se había encontrado una mayor contaminación, dentro de los límites bajos en que ésta se produjo en el mismo.
- Situación durante el accidente y con posterioridad en casas y zonas del pueblo donde la contaminación fue nula, para que nos sirviesen de controles, y al mismo tiempo pudiésemos determinar, con certeza, si se había cometido algún error al no considerar necesaria la evacuación, del personal de aquella zona, durante las operaciones de delimitación de la contaminación y de descontaminación.

En principio y para la determinación de plutonio-239 excretado en orina, se efectuó una primera selección de 69 personas, a las que, "in situ", se les recogió una muestra de orina de 24 horas por mes, durante tres meses consecutivos.

Posteriormente y con el fin de efectuar las tomas de muestras lejos de la zona de Palomares y determinar por recuento con contadores proporcionales el contenido de plutonio-239 pulmonar, se amplió a 100 el número de las personas seleccionadas, de las cuales 49 eran varones mayores de 14 años, 32 hembras mayores de 14 años, 10 varones menores de 14 años, y 9 hembras menores de 14 años.

Todas ellas fueron trasladadas a Madrid y en los laboratorios de la División de Medicina y Protección de la Junta de Energía Nuclear se les efectuó las determinaciones indicadas.

Inicialmente se les sometió a un completo reconocimiento médico, para conocer su estado sanitario y tomarlo como punto de partida en el estudio y control epidemiológico subsiguiente:

Para la determinación del plutonio-239 excretado en orina se tomaron, de cada una de dichas personas, tres muestras completas de orina de 24 horas, correspondientes a tres días consecutivos.

La determinación del plutonio-239 en orina se realiza según la técnica de Campbell y Mose (2), con ligeras modificaciones. Consiste, en esencia, en una coprecipitación con fosfatos

alcalinos, fijación a partir de la solución en NO_3H 8 N sobre resina aniónica Dowex AG1 X 2, purificación con CIH concentrado para eliminar los iones de uranio y torio y electrodepósito final del eluido en CIH 0,5 N, empleando CIH 1 N - oxalato amónico 4% como electrolito, sobre planchetas de acero inoxidable de 13 mm de diámetro, con una tensión de 20 voltios y una intensidad de corriente de 200 miliamperios.

La medida del plutonio-239 electrodepositado se efectúa mediante espectrometría alfa, que nos permite, además, determinar la recuperación de plutonio obtenida en cada análisis al medir el plutonio-236 recuperado del que previamente se añade a cada muestra a analizar.

Los resultados de las tres muestras de orina pertenecientes a cada persona, recogidas "in situ", mostraron en ocasiones una gran dispersión, dándose el caso extremo de que si bien dos de los resultados eran 0 y 0,2 des./min en 24 horas, respectivamente, el tercero alcanzaba hasta 113 des./min en 24 horas. Clasificadas las personas en razón del valor máximo correspondiente a estas tres evaluaciones se dedujo que el 27 por ciento presentaba cantidades de plutonio-239 inferiores a 0,1 des./min en 24 horas, el 41 por ciento cantidades comprendidas entre 0,1 y 1 des./min en 24 horas, el 24 por ciento entre 1 y 10 des./min en 24 horas y el 7 por ciento mayores de 10 des./min en 24 horas.

En cuanto se refiere a las muestras de orina recogidas durante la estancia del citado personal en Madrid, tomadas todas las precauciones para que no existiera posibilidad alguna de contaminación de las mismas, los resultados de los análisis mostraron que en el 71 por ciento de los casos no existía plutonio-239, en un 18 por ciento se encontraron, en algunos análisis, contenidos inferiores a 0,1 des./min en la orina de 24 horas, un 9 por ciento presentó contenidos comprendidos entre 0,2 y 0,1 des./min por 24 horas y, finalmente, un 2 por ciento presentaron un contenido comprendido entre 0,2 y 1 des./min en la orina de 24 horas.

La diferencia entre los resultados correspondientes a los dos grupos de toma de muestra de orina ha sido muy notable y teniendo en cuenta lo que los últimos valores consignados representan en el espectro alfa correspondiente a las medidas de 1.000 minutos realizadas, hemos querido ser muy pesimistas en la consignación de ellos, que, en casi la totalidad de los casos, podrían, más exactamente, considerarse como negativos.

Para la determinación del contenido pulmonar de plutonio-239 se han efectuado medidas, de todas las personas anteriormente indicadas, con contadores²³ proporcionales pulmonares, considerando la zona comprendida entre 10 keV-28 keV, donde se encuentran los rayos XL del uranio de 13,6, 17,4 y 20,2 keV en una abundancia del 4% por desintegración. Estos

contadores consisten en dos cámaras proporcionales de flujo, de una capacidad de 14 litros y superficie sensible de detección de 17,4 x 30,1 cm cada una, que trabajan con una mezcla de argón (90%) y metano (10%) y que han sido diseñadas, en el Laboratorio Nacional de "Los Alamos", por Mr. P. Dean. La calibración de dichas cámaras se efectuó con una fuente puntual de plutonio-239, simulando los tejidos del tórax mediante dos planchas de polietileno de 2,54 cm de espesor.

En función del fondo de las cámaras, del tiempo de recuento y de la eficiencia de las mismas se determinó que el valor mínimo detectable de plutonio-239 era de 40×10^{-9} Ci. En las determinaciones efectuadas en estas condiciones todos los valores obtenidos fueron del orden del fondo, lo cual es un índice de que la carga de plutonio-239 que pudiera encontrarse en sus pulmones, si existe, sería inferior a 40 nanocurios. Valor bastante tranquilizador teniendo en cuenta que la carga pulmonar máxima admitida es de 16 nanocurios.

La introducción de cierta modificación en las cámaras permitió reducir el fondo de las mismas, de forma que, bajo las nuevas condiciones, se aumentó la sensibilidad a un valor mínimo de detección de 16×10^{-9} Ci. Las medidas efectuadas en estas condiciones, con parte del personal, demostraron que en ningún caso los valores obtenidos eran superiores a dicha cifra.

En la actualidad, se están realizando trabajos dirigidos a conseguir una mejor calibración de dichas cámaras con maniqués torácicos y adquirir una idea más exacta de las posibilidades que presentan para determinar las contaminaciones pulmonares por compuestos insolubles de plutonio. Se está también al tanto de cualquier avance que nos permita eludir las dificultades técnicas, con que ahora nos enfrentamos, para determinar estas contaminaciones pulmonares, ya que en el ánimo de la Junta de Energía Nuclear está el mantener una vigilancia continua sobre el personal de la aldea de Palomares a lo largo del tiempo, para detectar cualquier anomalía que pudiera surgir y para comprobar si estamos o no en lo cierto, de que, según los datos hasta la fecha obtenidos, no se produjeron contaminaciones internas graves que puedan ser causa del desarrollo, en el futuro, de lesiones radiológicas.

B I B L I O G R A F I A

- (1) LANGHAM W.H., Physiology and toxicology of plutonium-239 and its industrial medical control, Health Physics 2 (1959) 172.
- (2) CAMPBELL E.E., MOSS W.D., Determination of plutonium in urine by anion exchange, Health Physics 11 (1965) 737.

DISCUSSION

H. HOWELLS: Could you explain how you measured the alpha contamination on the ground due to the deposited plutonium from the damaged weapons? Did you detect the plutonium with X-ray detectors monitoring for the soft gamma radiation emitted by the plutonium-239?

I should also like to ask, in the subsequent 'clean up' operation, when there was a need to remove large quantities of soil, did you first treat the soil to reduce the possibility of resuspension of plutonium contamination into the air?

E. IRANZO: In answer to your first question, that type of detector was not used, but we measured the alpha activity of the plutonium-239 with proportional counters. This gave rise to great difficulties because of the need to keep them almost in contact with the ground, and the windows got perforated as a result of contact with small stones, vegetation etc.

Regarding your second point, to avoid resuspension during the clean-up operation, we wetted the vicinity of the impact areas with mineral oil, and the remaining areas were sprayed with water to keep them moist.

J. TADMOR: I realize that you were not faced by a situation in which you had to evacuate populated areas. However, I assume that you discussed the emergency measures that might need to be taken in case the contamination of the atmosphere and soil had been severe. What were the action levels for radiation and contamination you decided upon, i.e. at which levels of contamination of soil and at which level of atmospheric contamination would you have taken measures in populated centres, such as total evacuation of the population, keeping the population indoors, restriction on the use of land, etc?

E. IRANZO: As you know, we are at present in process of trying to decide the radiation and contamination levels for emergency situations (some have already been established); and you are aware of the differences of opinion in this respect. Hence you can appreciate the responsibility involved in taking a decision in this matter in face of a totally unforeseen situation.

But to answer your question briefly: We did not consider any radiation level since there was no risk of external radiation. If the environmental contamination values had been constant and greater than 100 times the MPC, we would have taken certain special steps with regard to the population. Given the type of contamination, we considered that at all times except under very unusual conditions, resuspension attaining such values in the populated area would be virtually impossible.

As regards the ground, we considered that removal of the upper layers of the soil contaminated to the extent of more than 700 000 dis/min per 100 cm² was adequate. On ground where the contamination levels were lower, we eliminated surface contamination by ploughing over the area, thereby diluting it considerably, and also eliminated subsequent risk of resuspension in the environment with concentrations of the order of the MPC; the values have been continually checked since that time by four aerosol sampling stations in the area, the alpha activity in general and the ²³⁹Pu and ²³⁵U contents in particular being subsequently determined in our laboratories.