

Desarrollo de un Programa de Computadora para Apoyar al Asesor Radiológico en el Manejo de una Situación de Emergencia

Eduardo C. M. Loureiro

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – POLI / UPE

Rua Benfica, 455, Madalena

50751-470 Recife, PE

eduloureiro@uol.com.br

Alfredo L. Ferreira Filho¹ y Fernando R. de Andrade Lima²

Centro Regional de Ciências Nucleares - CRCN / CNEN

Av. Prof. Luiz Freire, 1 Cidade Universitária

50740-540 Recife, PE

¹alfredo@cnen.gov.br; ²falima@cnen.gov.br

Resumen

Uno de los aspectos más importantes del manejo de una emergencia radiológica es la capacidad para, de manera inmediata y adecuada, tomar las acciones para proteger a los miembros del público y el personal que interviene en la emergencia. La evaluación del accidente radiológico debe tener en cuenta toda la información pertinente disponible en cualquier momento y debe ser un proceso iterativo y dinámico dirigido a examinar la respuesta en la medida que resulta disponible información más completa y detallada. Este trabajo presenta un programa en Delphi, con las herramientas, procedimientos genéricos y los datos necesarios para apoyar al asesor radiológico en la respuesta inicial a un accidente radiológico. Está basado en el documento del OIEA, Procedimientos Genéricos para la Evaluación y Respuesta durante una Emergencia Radiológica, el IAEA-TECDOC-1162. Estos procedimientos brindan criterios de acción claros, concisos y predeterminados, basados en el conocimiento actual y en las experiencias acumuladas, permitiendo la toma de decisiones inmediatas. La filosofía es mantener el proceso simple y rápido, pero efectivo. El objetivo es brindar, a través de una computadora portátil, orientación práctica y rápida para la respuesta a emergencias, que de implementarse, proveerá una estimación o evaluación básica de la situación y garantizará la capacidad de respuesta necesaria para proteger al público y a los trabajadores en caso de diferentes tipos de emergencias radiológicas. Además de las recomendaciones de acciones de protección adecuadas, brindará también, cuando sea necesario, orientaciones sobre la recuperación de fuentes y operaciones iniciales de limpieza.

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros respondedores en una emergencia pueden o no tener disponible equipamiento para detección de radiación. Por lo tanto suelen adoptar apenas precauciones genéricas adecuadas para

protegerse ellos y otras personas presentes en la escena, de los riesgos radiológicos. En la mayoría de los casos, un equipo de asesores calificados será enviado a la escena para asistirlos en los aspectos radiológicos de la respuesta. El programa computacional está concebido para su uso por este grupo de expertos calificados enviado a la escena de un accidente para evaluar los riesgos radiológicos, brindar protección radiológica para los primeros respondedores y hacer recomendaciones sobre acciones protectoras. Se sigue los *Procedimientos Genéricos para la Evaluación y Respuesta durante una Emergencia Radiológica* propuestos por el *Organismo Internacional de Energía Atómica* en el documento IAEA-TECDOC-1162 [1]. Solo el personal que ha sido entrenado y adiestrado en ellos debe usarlo.

Cuando son activados en respuesta a una emergencia, de los asesores radiológicos se espera que evalúen los riesgos radiológicos o aquellos asociados con la pérdida o el descubrimiento de una fuente o materiales contaminados o las consecuencias de un accidente de transporte que involucre material radiactivo. Al asesor radiológico se le pueden solicitar recomendaciones sobre acciones de protección adecuadas, así como sobre los pasos necesarios para mitigar el riesgo, incluyendo la recuperación y disposición del material radiactivo. El asesor radiológico será capaz de asesorar efectivamente al director de la emergencia en la medida que disponga de información amplia y exacta de la situación. Él, con el apoyo de su equipo, es responsable en el lugar del accidente de la vigilancia, del control de la contaminación, del apoyo a la protección radiológica de los trabajadores de emergencia y de la formulación de recomendaciones de acciones protectoras. Además, iniciará y en algunos casos, realizará la recuperación de fuentes, y las operaciones de limpieza y descontaminación. Los asesores radiológicos también serán responsables de establecer las orientaciones para la retirada de los trabajadores de emergencia, la estimación y registro de las dosis recibidas por estos y/o el público, la solicitud de recursos adicionales para la evaluación radiológica en la medida que se requiera y la asesoría en protección radiológica para llevar a cabo tareas especializadas de evaluación de riesgos y de dosis.

En este trabajo se ofrece de forma informatizada procedimientos genéricos de respuesta para proteger al público y a los trabajadores de emergencia en diferentes tipos de emergencias radiológicas, incluyendo los accidentes que involucren material radiactivo en forma sellada o abierta, generadores de radiación y accidentes durante el transporte. Éstos pueden también ser aplicables a emergencias radiológicas que puedan resultar de actos deliberados, como las actividades terroristas. Los procedimientos propuestos en el programa ofrecen los pasos básicos que deben seguirse, los cuales permiten al asesor radiológico evaluar la situación radiológica, recomendar medidas de protección apropiadas y para tomar acciones para recuperar la fuente. Se tratan de procedimientos para el manejo de la respuesta desde el punto de vista radiológico en el lugar del accidente y procedimientos para realizar estimaciones básicas de dosis. El programa también permite que las acciones de respuesta radiológica llevadas a cabo sean adecuadamente registradas y almacenadas. Estas informaciones pueden ser usadas posteriormente para sacar lecciones o para argumentaciones legales.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El programa (software) indica los procedimientos a ser realizados por los participantes con distintas funciones en una estructura de respuesta a una emergencia radiológica. Los procedimientos a ser seguidos en cada caso son presentados en forma secuencial, permitiendo

que para cada paso sea hecho un breve relato pues hay espacio para digitación del informe relativo a cada procedimiento. De esta forma se facilita para que las acciones de respuesta sean adecuadamente registradas y recuperadas posteriormente. Los textos, tablas y gráficos son exhibidos oportunamente en la pantalla del ordenador para orientar y auxiliar el usuario en cada paso a ser seguido (Fig. 1). El programa presenta opciones de elección de la información deseada. Los cálculos de estimativa de dosis son hechos automáticamente. El programa permite también la impresión de los formularios utilizados en el proceso de respuesta. Se espera que esta nueva herramienta que informatiza el documento del OIEA facilite también el proceso de entrenamiento de los equipos de respuesta a emergencias radiológicas, haciéndolo más atractivo.

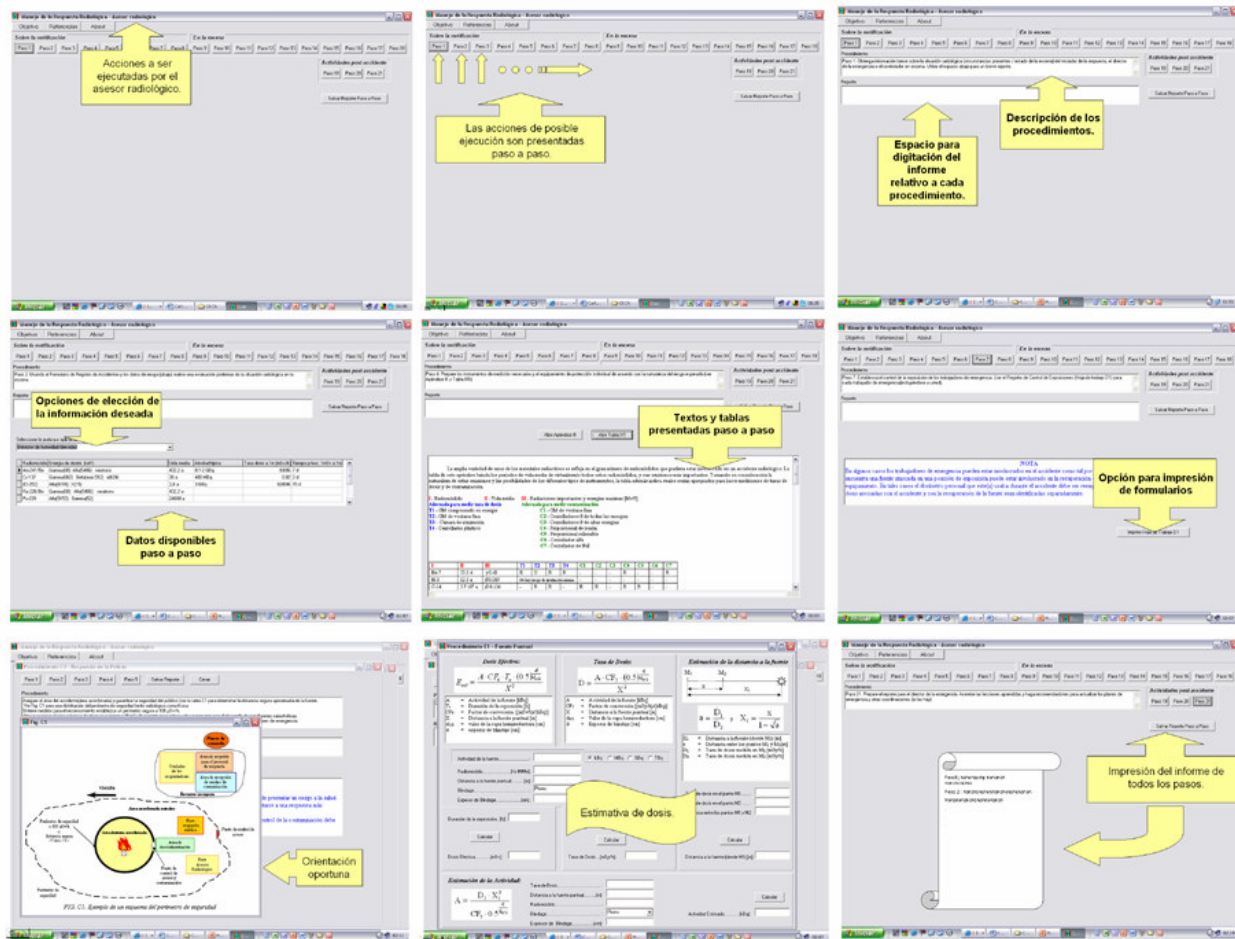


Figura 1. Características de las diversas ventanas: a) Acciones a ser ejecutadas por el asesor radiológico; b) Las acciones de posible ejecución son presentadas paso a paso; c) Espacio para digitación del informe relativo a cada procedimiento; Descripción de los procedimientos; d) Opciones de elección de la información deseada; Datos disponibles paso a paso; e) Textos y tablas presentadas paso a paso; f) Opción para impresión de formularios; g) Orientación oportuna; h) Múltiplas Ventanas; Estimativa de dosis; i) Impresión del informe de todos los pasos.

2.1. Procedimiento D0

El programa ha sido desarrollado utilizando Delphi 6.0 (Object Pascal), una potente herramienta de desarrollo de programas que permite la creación de aplicaciones para Windows. Se inicia básicamente a partir del **procedimiento D0** (Manejo de la Respuesta Bajo el Aspecto Radiológico) descrito en el IAEA-TECDOC-1162 y exige las siguientes entradas: Notificación de una situación de accidente o emergencia (hoja de trabajo A1 del TECDOC); Información breve del iniciador de la respuesta, del director de la emergencia o del controlador en escena; Circunstancias presentes/estado de la escena; Identificación de los riesgos radiológicos presentes o potenciales. Las salidas esperadas con la consecución de este procedimiento pueden así ser descritas: Análisis de peligros/riesgos; Recomendaciones de acciones protectoras para el público y los trabajadores de emergencia; Asesoría sobre el manejo en la escena; Consideración de estrategias de recuperación y limpieza inicial. Cada procedimiento es organizado en el orden más probable en que las acciones de evaluación y respuesta serán desempeñadas. El objetivo del procedimiento D0, a ser realizado por el asesor radiológico, es brindar orientación sobre la evaluación de la situación radiológica, las recomendaciones de acciones de protección adecuadas y sobre la recuperación de fuentes y operaciones iniciales de limpieza. Contiene 21 pasos, divididos en tres secciones, que se puede así resumir:

- 1- **Sobre la notificación** (8 primeros pasos): Paso 1- Obteniendo información; Paso 2 - Prebando riesgos y rango de dosis potencialmente involucrados a partir de la selección de la práctica o aplicación referente al accidente; Paso 3 - Impartiendo recomendaciones iniciales dirigidas a la escena; Paso 4 - Seleccionando instrumentos y equipamientos de acuerdo con la naturaleza del riesgo; Paso 5 - Prebando el tipo de tarea a desarrollar en primera instancia en función del rango de dosis involucrado; Paso 6 - Impartiendo instrucciones a los equipos de respuesta; Paso 7 - Controlando la exposición de los trabajadores de la emergencia; Paso 8 - Activando el personal de evaluación y monitoreo.
- 2- **En la escena** (del paso 9 al 18): Paso 9 - Estableciendo contactos en la escena; Paso 10 - Confirmando eventual situación de exposición/ contaminación; Paso 11 - Evaluando acciones protectoras; Paso 12 - Estableciendo puntos de control; Paso 13 - Estableciendo eventual área de descontaminación; Paso 14 - Tomando muestras de aire; Paso 15 - Estableciendo protección en caso de contaminación del aire; Paso 16 - Orientando el monitoreo y las acciones protectoras; Paso 17 - Asistiendo al personal que ingresa al perímetro de seguridad; Paso 18 - Recuperando la escena.
- 3- **Actividades post accidente** (los tres últimos pasos): Paso 19 - Evaluación de dosis; Paso 20 - Acciones a largo plazo; Paso 21 - Informe.

Ya en el paso 2, el programa permite seleccionar la práctica o aplicación con probabilidad de estar involucrada en el accidente e presenta datos relativos al riesgo correspondiente, conforme tabla D5 del TECDOC (Radio nucleido, Energía, $T_{1/2}$, Actividad típica, Tasa de dosis a 1 metro y Tiempo para exceder 1 mSv a 1 metro). Son estas las opciones del menú pop up:

- **Fuentes selladas utilizadas en medicina:** Densitometría ósea; Braquiterapia manual; Braquiterapia remota de carga diferida; Teleterapia; Irradiación total de sangre.

- **Fuentes selladas utilizadas en la industria:** Radiografía Industrial; Prospección geológica; Detectores de humo; Pararrayos; Detector de humedad/densidad; Eliminadores de estática; Detector de captura electrónica; Analizador de fluorescencia de Rayos X; Esterilización y preservación de alimentos; Instalación de calibración; Medidor de nivel; Medidor de espesor; Medidor de densidad; Medidor en transportadores.
- **Fuentes selladas utilizadas en la investigación:** Fuentes de calibración; Detector de captura electrónica; Irradiadores; Instalaciones de calibración; Blancos de tritio.

En el paso 4, el programa presenta una **GUÍA PARA LA INSTRUMENTACIÓN ADECUADA** (apéndice III del TECDOC) con orientaciones sobre el nivel deseado de instrumentación y equipamiento que debe estar disponible para brindar los servicios requeridos. Se puede seleccionar instrumentación adecuada para: Identificación y localización de fuentes de radiación; Mediciones de tasa de dosis; Medición de tasa de dosis beta; Medición de contaminación beta; Medición de tasa de dosis de rayos x y contaminación; Medición de la contaminación alfa; Suministros. Además hay un link para la tabla III-1 del mismo apéndice con **DATOS DE RADIONUCLIDOS Y GUIA PARA DETECTORES MAS ADECUADOS**, ya sea para medir tasa de dosis o para medir contaminación. En el paso 5 se puede prever el tipo de tarea a desarrollar en primera instancia en función del rango de dosis involucrado para los respondedores (tabla D3 del TECDOC) y obtener orientación de las dosis de retirada cuando existe riesgo de inhalación de yodo radiactivo (tabla D4 del TECDOC). En el paso 7 se puede imprimir la Hoja de trabajo D1, propuesta en el TECDOC, que permite el Registro de Control de Exposiciones (para cada trabajador de emergencia). En el paso 8 el programa presenta la tabla D2 del TECDOC con **ORIENTACION SOBRE EL MONITOREO** y el objetivo a ser alcanzado, a partir del tipo de accidente: Fuente extraviada, perdida o abandonada; Contaminación o fuente encontrada; Fuentes selladas sin blindaje; Fuentes selladas dañadas; Accidente con fuente no sellada; Dispersión de emisores alfa; Reentradas de satélites con fuente de energía de origen nuclear; Impacto transfronterizo. La misma orientación vuelve a presentarse en el paso 16. En el paso 9, ya en la escena, es posible que el asesor radiológico tenga que asumir provisoriamente las funciones de controlador en escena caso tenga sido el primero a llegar. En este caso el programa desvía para el Procedimiento C1. En el paso 11, comparando mediciones realizadas con los **NIVELES DE INTERVENCION OPERACIONALES** establecidos en la tabla D1, el asesor podrá decidir cuales acciones protectoras inmediatas deben ser adoptadas. En el paso 12 el programa presenta un ejemplo de un esquema de perímetro de seguridad (figura C1 del TECDOC). En el paso 18, suponiendo la causa primaria de la emergencia bajo control, la fuente confinada y toda la contaminación contenida, el programa ofrece la posibilidad de desviar para los procedimientos abajo: **Procedimiento D1:** Recuperación de la escena/ remoción del material radiactivo; **Procedimiento D2:** Descontaminación de las personas y del equipo; **Procedimiento D3:** Limpieza inicial del sitio y disposición de los desechos radiactivos.

2.2. Procedimiento D1

La subrutina relativa al **procedimiento D1** abarca las siguientes entradas y salidas. Entradas: Caracterización de la escena; Identificación y cuantificación del (los) material(es) radiactivo(s) involucrado(s). Salidas: Definición de las precauciones de seguridad; Inventario de los recursos requeridos; Pasos de la recuperación prescritos. El objetivo es proporcionar una orientación

general sobre los pasos básicos necesarios para iniciar la recuperación de fuentes radiactivas o la remoción de material radiactivo cuando sea factible. Los 10 pasos de este procedimiento pueden así ser resumidos: Paso 1 - Confirmando toma de acciones de protección y estabilización de la situación; Paso 2 - Reuniendo y evaluando la información disponible; Paso 3 - Evaluando los riesgos de la remoción inmediata; Paso 4 - Garantizando el almacenamiento seguro; Paso 5 - Seleccionando los equipos y recursos para la remoción; Paso 6 - Seleccionando el proceso de mitigación; Paso 7 - Planeando el procedimiento adecuado; Paso 8 - Garantizando la vigilancia; Paso 9 - Controlando los bultos; Paso 10 - Confirmando la completa remoción con nuevo monitoreo.

2.3. Procedimiento D2

La subrutina relativa al **procedimiento D2** abarca las siguientes entradas y salidas. Entradas: Información relativa al tipo y nivel de actividad del material radiactivo involucrado; Resultados de los monitoreos de las personas, equipos esenciales y vehículos. Salidas: Orientación sobre actividades de descontaminación. El objetivo es proporcionar orientación sobre métodos simples de descontaminación de personal, equipos esenciales y vehículos. Los 18 pasos de este procedimiento pueden así ser resumidos:

Orientación general: Paso 1- Preparando los equipos e recursos para la descontaminación; Paso 2 - Designando el área de descontaminación; Paso 3 - Monitoreando antes; Paso 4 - Verificando eventual persistencia de contaminación removible; Paso 5 - Asegurando la documentación relativa a descontaminación.

Descontaminación de personas: Paso 6 - Descontaminando el personal (acceso a la *Guía para la descontaminación del personal* - Tabla D7 del TECDOC); Paso 7 - Descontaminando las ropas, si factible; Paso 8 - Incautando para esfuerzos posteriores; Paso 9 - Etiquetando los artículos contaminados; Paso 10 - Registrando contaminación en la piel.

Descontaminación de vehículos y equipos: Paso 11 - Descontaminando la parte exterior de los vehículos; Paso 12 - Aislado vehículos aún no descontaminados exteriormente; Paso 13 - Controlando la descontaminación del vehículo; Paso 14 - Aislado vehículos aún no descontaminados interiormente; Paso 15 - Verificando eventual persistencia de contaminación removible en el vehículo; Paso 16 - Monitoreando y descontaminando herramientas y equipos; Paso 17 - Proporcionando recibo (Hoja D3) a los dueños de artículos contaminados; Paso 18 - Ensacando artículos contaminados para almacenamiento.

2.4. Procedimiento D3

La subrutina relativa al **procedimiento D3** abarca las siguientes entradas y salidas. Entradas: Cuantificación e inventario de los desechos involucrados por categorías; Información sobre la disponibilidad de medios de transporte seguro, embalaje apropiado y opciones de almacenamiento. Salidas: Recomendaciones para la remoción. Los 6 pasos de este procedimiento pueden así ser resumidos: Paso 1 – Categorizando los desechos; Paso 2 - Planeando el almacenamiento; Paso 3 - Estableciendo requisitos para las embalajes; Paso 4 -

Estableciendo los medios de transporte y la seguridad física; Paso 5 - Preparando la documentación de transporte; Paso 6 - Monitoreando el sitio después de la remoción.

2.5. Procedimiento D0 (actividades post accidente)

Volviendo al procedimiento D0, tendremos los pasos correspondientes a las actividades **post accidente**. En el paso 19, el programa pone disponible una subrutina para evaluación de dosis con el propósito de estimar la dosis a los trabajadores de emergencia y/o al público, una vez que se ha estabilizado la situación y se han completado las actividades de recuperación.

2.5.1. Subrutina de evaluación de dosis

Esta subrutina abarca las siguientes entradas y salidas. Entradas: Tipo de exposición involucrada; Fuentes de radiación o material radiactivo involucrado; Resultados del monitoreo; Resultados de los dosímetros; Cronología de los eventos. Salidas: Dosis estimadas para un accidente específico. Esta subrutina cuenta con los tres pasos siguientes: Paso 1- Evalúa las dosis de dosímetros personales como los fílmicos o termo-luminiscentes (TLDs) y las lecturas directas de los Electrómetros de Fibra de Cuarzo (EFQ) o de los dosímetros personales electrónicos (DPEs); Paso 2- Permite seleccionar el tipo de exposición involucrada y a partir de entonces hace los cálculos de dosis, tasas de dosis y estimación de la actividad basándose en las circunstancias de la situación de emergencia (Fig. 2). Son los siguientes los casos planteados (procedimientos E1-E7): Fuente puntual; Fuente lineal y derrame (pequeña área); Contaminación del terreno; Contaminación de la piel; Inhalación; Ingestión; Inmersión en el aire. Paso 3- Estima la dosis efectiva total sumando las contribuciones producto de todas las vías de exposición. La dosis efectiva total puede ser calculada teniendo en cuenta todas las vías principales a través de las cuales los individuos fueron expuestos en un accidente.

$$E_T = E_{ext} + E_{inh} + E_{ing} \quad (01)$$

Donde: E_T es la dosis efectiva total; E_{ext} es la dosis efectiva por radiación externa; E_{inh} es la dosis efectiva comprometida producto de la inhalación y E_{ing} es la dosis efectiva comprometida producto de la ingestión.

2.6. Procedimiento D0 (continuación)

En el paso 20 del procedimiento D0 se orienta para una evaluación a fin de determinar la necesidad de acciones protectoras a largo plazo. En el paso 21 se termina el procedimiento con la elaboración del informe final. Para tal, el programa permite acceso a los informes salvos paso a paso.

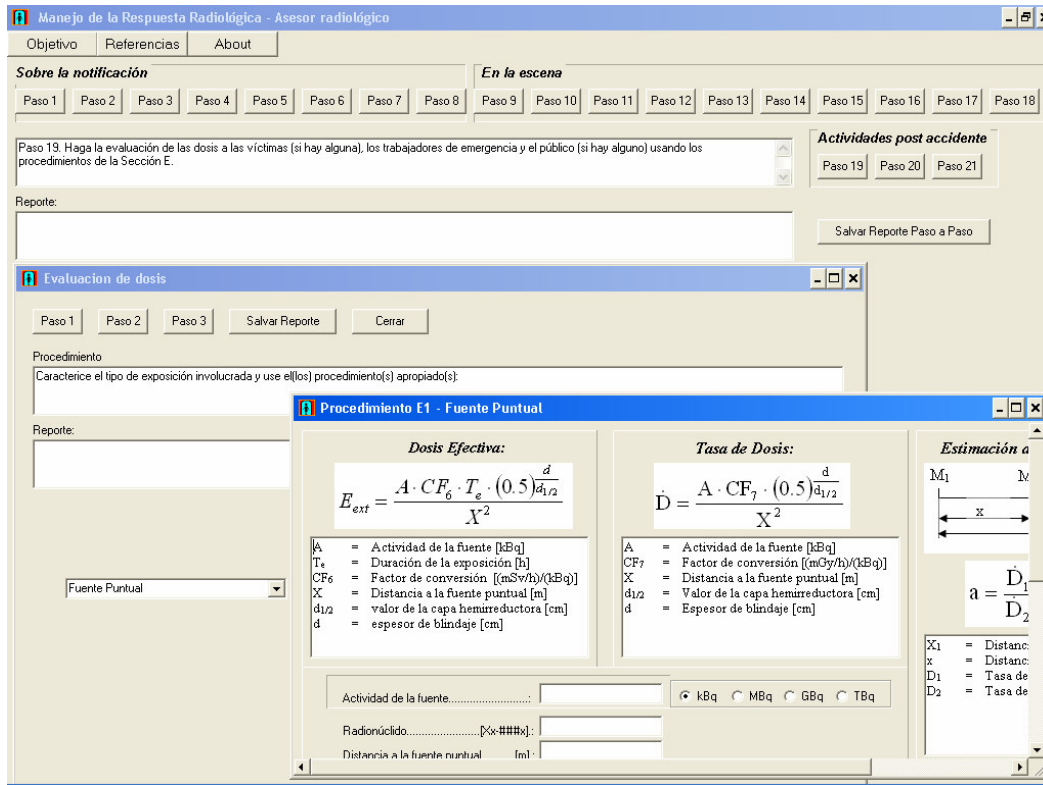


Figura 2. Pantalla del cálculo de dosis para fuente puntual.

3. CONCLUSIONES

Es en el punto *evaluación de dosis* (planteado en el paso 19 del procedimiento D0 descrito en el TECDOC 1162) que el programa presenta mayor utilidad práctica, por envolver muchos cálculos asociados a datos de innumerables tablas. Otra ventaja es posibilitar, por la uniformización de los procedimientos, una rápida visión de conjunto de la secuencia de pasos a ser seguida y de las complejas tareas a ser realizadas por el asesor radiológico, facilitando incluso su entrenamiento. La facultad de evidenciar, cuando se ejecuta las instrucciones paso a paso, la inmensa complejidad de la respuesta a una emergencia radiológica es uno de los puntos fuertes del programa. Y al mismo tiempo que ayuda en la tarea, el programa muestra claramente la imperiosa necesidad de entrenamiento en el área. También se puede destacar la facilidad para hacer uso de las informaciones que se tornen disponibles durante el desarrollo de los acontecimientos y el incentivo y simplicidad para la confección del informe del accidente durante la propia respuesta a la emergencia. El programa actualmente se limita a los procedimientos de ese grupo de expertos calificados enviado a la escena de un accidente para evaluar los riesgos radiológicos, brindar protección radiológica para los primeros respondedores y hacer recomendaciones sobre acciones protectoras. Un próximo paso en el desarrollo del programa sería incluir los procedimientos de los demás miembros de la organización genérica de respuesta: desde el iniciador de la respuesta y el primero respondedor hasta el director de la emergencia y el controlador en la escena. Este *upgrade* se tornaría útil especialmente para el controlador en la escena y para el director de la emergencia.

AGRADECIMIENTOS

A la *Organización Panamericana de la Salud* por co-auspiciar el Primer Congreso Pan Americano del IRPA y apoyar nuestra participación.

REFERENCIAS

1. IAEA-TECDOC-1162, *Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency*, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (2000).