

## RIESGO NUCLEAR A BORDO DE LA SONDA CASSINI-HUYGENS

*Gloria García Cuadrado*

*Estudiante de Física en la Universidad de Barcelona*

*Miembro de AESSE Estudiantes*

*ggc27@casal.upc.es*

Hace 65 millones de años, se supone que el choque de un asteroide de unos 10 Km de diámetro contra la Tierra, fue la causa de la extinción de los dinosaurios. Podríamos pensar que el riesgo de ser bombardeados por un asteroide es mayor cuanto mayor es el tamaño de éste, pero no sucede así siempre; la explicación clave está en entender el concepto de RIESGO.

Cuando decimos que el riesgo para tal suceso es ínfimo o elevado, nos referimos a que la probabilidad de que se dé ese suceso multiplicada por las consecuencias potenciales del mismo, ese producto es el que es alto o bajo; esto nos permite comparar el riesgo de dos o más sucesos que pueden ser de muy distinta índole; así, un suceso muy probable puede implicar menor riesgo que otro menos probable dependiendo de las consecuencias potenciales que lleve asociado, y viceversa. Por ejemplo, se ha estimado que la Tierra se enfrenta cada año a una probabilidad de 2 entre 1 millón, de ser el blanco de un asteroide de 1,5 Km de diámetro, suceso que provocaría 1500 millones de muertes; el factor de riesgo asociado a este suceso es  $2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^9 = 3,0 \cdot 10^3 = 3000$ . Por otro lado, podemos calcular el riesgo asociado a un impacto más frecuente de un asteroide de menor tamaño: la Tierra afronta 1 entre 250 posibilidades de ser golpeada por un asteroide de 50 a 300 m de diámetro, lo que causaría 5000 muertes; luego el factor de riesgo que asociamos a este segundo suceso es  $(1/250) \cdot 5000 = 20$ ; así pues, el riesgo asociado al asteroide de mayor tamaño es mayor que el asociado al asteroide más pequeño, y esto es cierto aunque la probabilidad de que la Tierra sea golpeada por el mayor, es mucho más pequeña que la asociada al menor.

Para poder comprobar, además, que en este caso particular, el riesgo asociado al choque con un asteroide no crece al aumentar el tamaño de éste, citamos el caso del asteroide con el que iniciamos el artículo (10 Km de diámetro hace 65 millones de años): su factor de riesgo es de 50 ( $(1/10000000) \cdot 5 \cdot 10^9$ ), menor que el asociado al asteroide de 1,5 Km de diámetro (factor de riesgo de 3000).

Entendiendo ahora el concepto de riesgo, podemos preguntarnos si es o no significativo el riesgo asociado a la carga de 33 Kg de Plutonio transportado en la sonda espacial Cassini y hacer una valoración de si vale o no la pena correr tal riesgo.

La misión Cassini es un proyecto ESA-NASA cuyo objetivo es el estudio de Saturno: su campo magnético, su sistema de anillos y sus lunas. Al ingenio que enviamos a Saturno se le ha bautizado con el nombre de Cassini, y transporta una sonda que será liberada cuando Cassini

alcance Saturno, la cual caerá en la superficie de una de sus lunas más famosas: Titán, donde se especula la existencia de un mar y de una fuente no identificada que llena la atmósfera de esta luna con vapor de metano. A la sonda que visitará Titán, se le ha dado el nombre de Huygens, en honor a Christiaan Huygens, descubridor de esta luna en 1655; por su parte, la sonda Cassini ha recibido el nombre de Jean Dominique Cassini, descubridor de cuatro lunas



*El lanzador Titan IV / Centaur con la sonda Cassini / Huygens*

menores de este planeta y de un espacio en la estructura de los anillos de Saturno que también ha recibido su nombre (*La División de Cassini*).

La sonda Cassini-Huygens fue lanzada el 15 de Octubre por un TITAN IV/CENTAUR y permanecerá entre las órbitas de Venus y la Tierra a la espera de aprovechar los «tirones» gravitatorios de la Tierra primero (pasará de nuevo el 16 de Agosto de 1999) y de Júpiter después (30 de Diciembre del año 2000) para catapultarse desde ahí, hacia Saturno, alcanzándolo el 25 de Junio del 2004.

No es la primera vez que una misión espacial utiliza combustible nuclear: cualquier misión que se adentre lo suficiente en el Sistema Solar externo, debe recurrir a otras fuentes de energía que no sean la solar (paneles solares para sondas que se envíen suficientemente lejos del Sol, serían inviables por el tamaño que éstos requerirían para captar suficiente radiación solar); las dos sondas Voyager lanzadas para perderse en la oscuridad del Cosmos llevando el mensaje de la vida que existe en la Tierra, o más recientemente la sonda Galileo, son ejemplos de ingenios espaciales que utilizan combustible nuclear.

Esta fuente de energía suplementaria está basada en el proceso de *Fisión nuclear*: átomos pesados como el plutonio (Pu) son sometidos a ciertas condiciones de

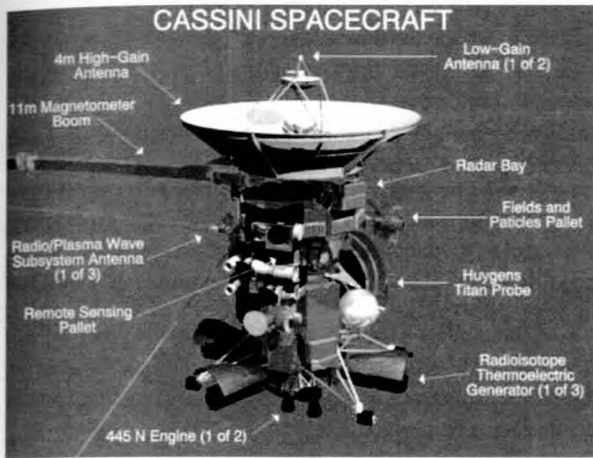


Diagrama de la sonda Cassini

presión, temperatura y densidad, y son entonces bombardeados por neutrones; el átomo pesado entonces, se desestabiliza y se rompe en átomos cuya suma de masas es menor que la masa del plutonio; esta diferencia en las masas final e inicial se convierte en energía; esta energía básicamente se invierte en dar energía cinética a partículas que ha emitido el núcleo de plutonio al fisionarse, las cuales tienen una masa muy pequeña con lo que adquieren gran velocidad; estas partículas, a su vez, son absorbidas por una sustancia líquida a la cual le traspasan su energía de movimiento, haciendo así que ésta se caliente y entre en ebullición; el vapor desprendido mueve unas turbinas cuyo movimiento genera corriente eléctrica, la cual es la que alimentará a la sonda y a sus instrumentos.

Este proceso ocurre en tres dispositivos a bordo de la Cassini que reciben el nombre de *Generadores termoelectricos por radioisotopos* (RTG de *Radioisotope Thermoelectric Generator*), con una carga total de 33 Kg de plutonio.

¿De dónde proviene el peligro del plutonio?.

Hemos visto ya que se puede extraer energía de él artificialmente (mediante el proceso de fisión, tal y como lo hacen los RTGs de la Cassini), pero este material es ya de por sí solo peligroso: es de naturaleza inestable y sin ningún tipo de influencia externa «decae» (se convierte en una partícula de masa menor) emitiendo en el proceso una radiación conocida con el nombre de *radiación alfa* (haces de partículas alfa, que son núcleos de helio a muy alta velocidad). Pero estas partículas poseen una peculiaridad: son fácilmente absorbidas (por una lámina de metal, por una simple hoja de papel, por la ropa que vestimos, etc); así, la radiación, al ser frenada prácticamente por cualquier cosa, sólo constituye un peligro potencial para los seres vivos, si se libera desde el interior mismo del organismo, es decir, si el plutonio ha conseguido infiltrarse y va decayendo a lo largo de los años directamente dentro del organismo;

mo; la radiación sería entonces absorbida por los tejidos vivos, lo cual podría alterar el metabolismo celular pudiendo producir cáncer.

Es por tanto de vital importancia evitar la liberación del plutonio contenido en los RTGs de la Cassini-Huygens; por ello durante años previos al lanzamiento la cuestión ha estado sometida a un profundo estudio y a numerosos tests. Además, dos accidentes ocurridos previamente al lanzamiento de la sonda, verificaron la seguridad de los RTGs frente a la liberación de su contenido: en 1968 el lanzamiento del satélite NIMBUS-B, y en 1970 la reentrada del módulo lunar del Apolo XIII; en ambos casos no se produjo disipación de material nuclear.

Las numerosas pruebas confirman que la forma de plutonio más adecuada es el dióxido de plutonio por ser este un compuesto del Pu de alta insolubilidad, de forma que en el caso de una liberación, no pudiera moverse libremente por el medio a través del agua, penetrando así en la cadena alimentaria y con ello en el interior de los organismos.

Por otro lado se ha comprobado también que la forma de transporte de este material a bordo de la Cassini más segura, es almacenarlo en unos contenedores de un tipo especial de cerámica, la cual permite que el número de partículas pequeñas de plutonio liberadas en caso de accidente, sea mínimo (cantidades de pequeño tamaño de Pu serían nocivas ya que podrían ser inhaladas durante la respiración, y, con ello, ser introducidas en el organismo).

Es importante remarcar que la exposición de una persona a radiación, no implica necesariamente la contracción de enfermedades como el cáncer: todo depende de la dosis y del tiempo de exposición.

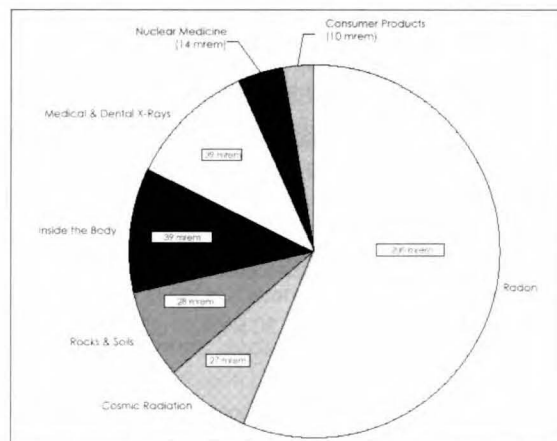


Figure 1 Average Annual Dose From Background Radiation - About 360 Millirem (mrem)

La dosis se mide en unidades llamadas *millirem* (mrem) y vivimos en un medio en el que estamos continuamente sometidos a dosis de radiación de diferentes fuentes: artificiales (como rayos X o medicina nuclear) y naturales (el radón presente en el cemento de los edificios y otros materiales radioactivos presentes en el planeta, así como los rayos cósmicos procedentes del espacio exterior). Todas estas fuentes de radioactividad contribu-

yen a hacer que a lo largo del año cada uno de nosotros estemos expuestos a una dosis de 360 mrem, y que, en 50 años, la dosis total recibida por cada uno de nosotros ascienda a 15000 mrem.

Conocida ahora cuál es la fuente del problema, analicemos el riesgo que ésta supone. Hemos dicho que el principal estaría en la liberación de Pu; ¿qué tipo de accidentes entonces causarían esta liberación?

**(i) Accidente durante los primeros instantes del lanzamiento del TITANIV**

Las pruebas realizadas muestran la rudeza de los RTGs que no liberan el plutonio en impactos contra agua o arena; cabe notarse que casi la totalidad de la trayectoria de lanzamiento es sobre agua y que el dióxido de Pu es poco soluble en ella.

El TITANIV tiene un índice de fracaso de 1 entre 20 (19 lanzamientos con éxito entre 20 realizados en Febrero de 1997), pero la probabilidad de accidente del lanzador CON liberación de Pu baja estrechamente a tan sólo 1 caso entre 1400.

Asumamos, sin embargo, que este caso entre 1400 se da; debido a la forma en que el Pu se ha almacenado (gracias a la cerámica mencionada anteriormente) la mayor parte del Pu no podría escapar más allá de la zona del siniestro, con lo que podría ser recogida rápidamente, y respecto al pequeño nivel que se esparciría más allá, ya hemos visto que la cantidad de material que potencialmente podría ser inhalada es muy pequeña.

La población expuesta a la radiación, sería de 100.000 personas, y la dosis para una de estas 100.000, sería menor que 2 mrem en 50 años; en tal caso se estiman un 0.1 fatalidades (0.1 es prácticamente ningún caso de cáncer) y así tenemos que el factor de riesgo asociado a este tipo de accidente es  $(1/1400) \times 0.1 = 0.00007$ .

**(ii) Accidente durante una fase avanzada de lanzamiento en caso de reentrada al volver a pasar por la Tierra.**

La probabilidad de un accidente de este tipo con liberación de Pu es de 1/476. La población expuesta a radiación sería de 5000 personas y la dosis para cada una de ellas menor que 20 mrem en 50 años, lo cual resultaría en 0.04 fatalidades estimadas.

El factor de riesgo asociado entonces a este tipo de accidente sería de  $(1/476) \times 0.04 = 0.00008$ .

**(iii) Accidente debido a una oscilación no prevista de la sonda en su reentrada en órbita terrestre.**

Cuando la Cassini-Huygens vuelva a pasar por órbita terrestre, para aprovechar el tirón gravitatorio de nuestro planeta y de Júpiter, se da un riesgo de accidente con liberación de Pu si se produce una oscilación no prevista de la sonda. Su trayectoria de paso por la Tierra ha sido también calculada con precisión de modo que la probabilidad de que se produzca tal oscilación sea de 1

entre 1000000 como máximo.

En un accidente tal, la mayor parte del Pu quedaría distribuido en las capas altas de la atmósfera durante un largo período de tiempo; esto haría que el Pu fuera esparciéndose de forma muy escalonada y en pocas dosis además; teniéndose en cuenta que la mayor parte del planeta es agua, éste caería en un gran porcentaje en el océano, donde no podría disolverse.

La cantidad que por otro lado quedaría en suspensión en el aire, susceptible de ser respirada, proporcionaría una dosis de radiación por persona de menos de 1 mrem a lo largo de 50 años.

Se ha estimado con ello que las fatalidades asociadas se situarían en unos 120 casos de cáncer, obteniéndose así un factor de riesgo de 0.001.

Pero, ¿qué sentido tienen estos números?; sólo en términos relativos podemos establecerlo. En la Tabla 1 se recoge un listado de sucesos con sus probabilidades de ocurrencia, fatalidades que provocarían y el correspondiente factor de riesgo asociado; mirémosla un momento.

Table 1

Potential Event	Probability	Estimated Fatalities	Risk Factor
10 Kilometer (6 Mile) Diameter, or greater, Asteroid Hitting the Earth	1 in 100 million	5 billion	50
1.5 Kilometer (1 Mile) Diameter Asteroid Hitting the Earth	2 in 1 million	1.5 billion	3,000
50-300 Meter (150-1000 Feet) Diameter Asteroid Hitting the Earth	1 in 250	5,000	20
Cassini Inadvertent Earth Swingby Reentry with Plutonium Dioxide Release	1 in 1 million	120	0.0001
Cassini Early Launch Accident with	1 in 1,400	0.1	0.00007
Cassini Late Launch or Reentry from Earth Orbit Accident with Plutonium Dioxide Release	1 in 476	0.04	0.00008

Plutonium Dioxide Release

Ciertamente, hay accidentes asociados a la misión Cassini-Huygens de probabilidad apreciable; por ejemplo, el más probable lo tenemos estipulado en 1/476 para el caso de un accidente en la fase tardía del lanzamiento, pero, frente a éste, sigue siendo más probable que nos golpee un asteroide de 50 a 300 m de diámetro.

Con respecto a las catástrofes, sólo uno de los accidentes de la Cassini, provocaría casos de cáncer: 120 casos de cáncer potenciales; esto es considerable, pero, miremos la columna de su izquierda y veamos que la posibilidad de accidente es realmente baja: 1 entre 1.000.000.

Y en todos los casos asociados a un accidente en la misión Cassini, el factor de riesgo es como mínimo, 5 órdenes de magnitud menor que el riesgo que corremos de ser golpeados por un asteroide: el riesgo de que nos bombardee tal objeto es, como mínimo, 100.000 veces mayor que el de un accidente durante la misión.

A la vista de las cifras, el riesgo no es considerable y el aventurarnos en el proyecto resulta constructivo y provechoso; ¿qué es pues más razonable?

**Para más información:**

<http://www.jpl.nasa.gov/cassini>