VALENCIA 1-3 Octubre 2014
40 REUNIÓN ANUAL
SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

20-06 Docritfab: Un programa para evaluar en tiempo real el impacto radiológico en emisiones accidentales de una fábrica de combustible nuclear.

J. Guillermo Sánchez, Diego Ortiz, Julio López. ENUSA Industrias Avanzadas S.A.
(Correspondencia dirigir a: gsl@fab.enusa.es)

Abstract.- *At Juzbado Fuel Fabrication Plant (ENUSA) UO2 enriched is handled so there are risk of criticality accident and UO2 radioactive aerosol emissions. A tool box to estimate the consequence of these kind of accidents has been developed. The tool is customized with the specific data and parameters of the factory of Juzbado. The interface is very friendly, it can be applied to make different evaluation in real time using a browser with internet connection. We think that this tool is an excellent support to decide in real situation the characteristics of an intervention.*

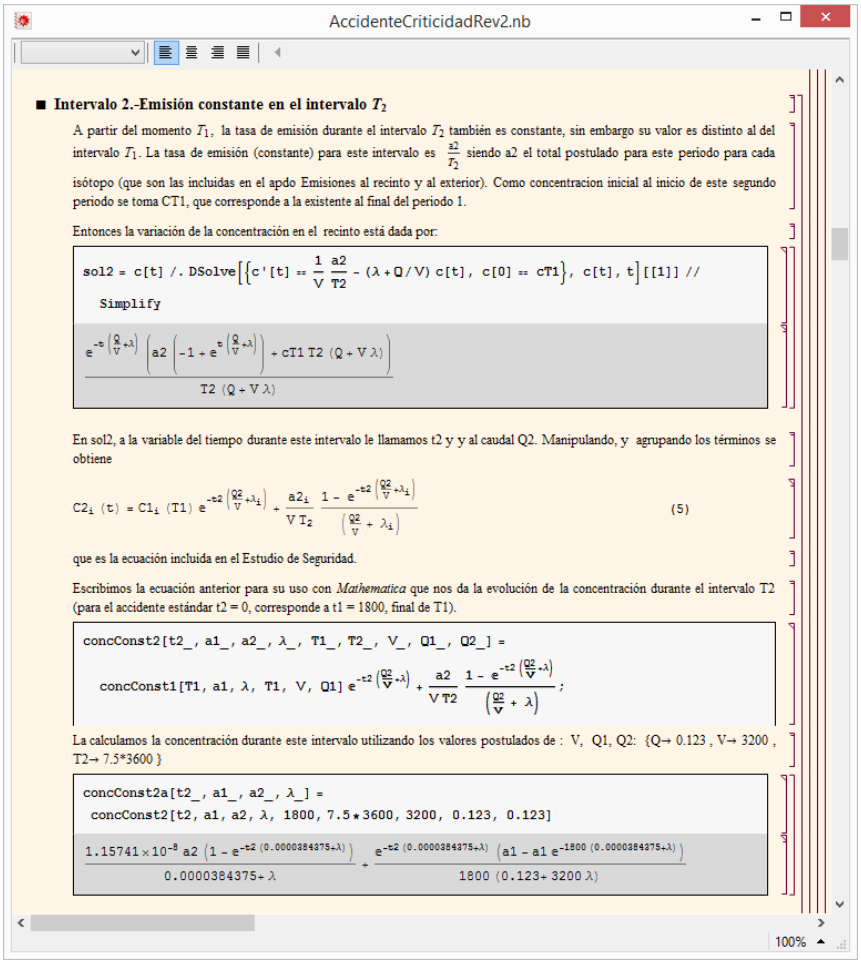
Introducción

En la fábrica de Juzbado se dispone de un conjunto de herramientas que permiten una estimación en tiempo real del impacto radiológico en el exterior de la instalación en caso de emisiones accidentales de aerosoles de UO2 y de productos de fisión, en el caso de accidente de criticidad. Desde el punto de vista de cálculo lo más destacado es que se ha programado las ecuaciones incorporando los datos específicos de la instalación (no es una adaptación de otros programas, ni es una caja negra que devuelve resultados). Entre las características fundamentales están: a) A todas las aplicaciones puede accederse desde un mismo menú integrado, a través de un navegador, utilizando un *interface* sencilla e intuitiva, b) Puede ser utilizada desde cualquier ordenador con conexión a internet, incluso desde una tableta (Android, IPad) o teléfono móvil, sin que tenga que tener el programa instalado, c) Los menús están adaptados a las condiciones específicas la instalación. En conjunto, la forma de acceso es muy simple reduciéndose extraordinariamente el tiempo de aprendizaje, y el riesgo de errores en la manipulación de los datos.

Cálculos

Los cálculos de evaluación de dosis, de dilución, concentraciones, etc, se han desarrollado siguiendo las guías correspondientes (RG 1.115, RG 3.34, etc.), se han programado las ecuaciones utilizando métodos de cálculo simbólico, incorporando los datos específicos de la instalación (no es una adaptación de otros programas, ni es una caja negra que devuelve resultados). Como lenguaje de programación se ha utilizado el programa *Mathematica* (Ver ejemplo en la Ilustración 1), y el acceso al mismo puede hacerse: (i) en versión experta desde en la intranet de ENUSA o (ii) en versión web, via internet, con menús simplificados (en esta versión el interface se ha desarrollado en lenguaje java con una utilidad denominada webMathematica). En la versión experta el

personal ejecuta el programa en entorno Mathematica pudiendo simular distintas condiciones (Ilustración 2).



AccidenteCriticidadRev2.nb

■ **Intervalo 2.-Emisión constante en el intervalo T_2**

A partir del momento T_1, la tasa de emisión durante el intervalo T_2 también es constante, sin embargo su valor es distinto al del intervalo T_1. La tasa de emisión (constante) para este intervalo es $\frac{a2}{T_2}$ siendo a2 el total postulado para este periodo para cada isótopo (que son las incluidas en el apdo Emisiones al recinto y al exterior). Como concentracion inicial al inicio de este segundo periodo se toma CT1, que corresponde a la existente al final del periodo 1.

Entonces la variación de la concentración en el recinto está dada por:

```
sol2 = c[t] /. DSolve[{c'[t] == 1/V a2/T2 - (λ + Q/V) c[t], c[0] == cT1}, c[t], t][[1]] //
  Simplify
```

$$\frac{e^{-t\left(\frac{Q}{V}+\lambda\right)}\left(a2\left(-1+e^{t\left(\frac{Q}{V}+\lambda\right)}\right)+cT1\,T2\,(Q+V\lambda)\right)}{T2\,(Q+V\lambda)}$$

En sol2, a la variable del tiempo durante este intervalo le llamamos t2 y y al caudal Q2. Manipulando, y agrupando los términos se obtiene

$$C2_i(t) = C1_i(T1)\,e^{-t2\left(\frac{Q2}{V}+\lambda_i\right)} + \frac{a2_i}{V\,T_2}\,\frac{1-e^{-t2\left(\frac{Q2}{V}+\lambda_i\right)}}{\left(\frac{Q2}{V}+\lambda_i\right)} \qquad (5)$$

que es la ecuación incluida en el Estudio de Seguridad.

Escribimos la ecuación anterior para su uso con *Mathematica* que nos da la evolución de la concentración durante el intervalo T2 (para el accidente estándar t2 = 0, corresponde a t1 = 1800, final de T1).

```
concConst2[t2_, a1_, a2_, λ_, T1_, T2_, V_, Q1_, Q2_] =
  concConst1[T1, a1, λ, T1, V, Q1] e^(-t2 (Q2/V + λ)) + a2/(V T2) (1 - e^(-t2 (Q2/V + λ)))/(Q2/V + λ);
```

La calculamos la concentración durante este intervalo utilizando los valores postulados de : V, Q1, Q2: {Q→ 0.123 , V→ 3200 , T2→ 7.5*3600 }

```
concConst2a[t2_, a1_, a2_, λ_] =
 concConst2[t2, a1, a2, λ, 1800, 7.5*3600, 3200, 0.123, 0.123]
```

$$\frac{1.15741\times10^{-8}\,a2\left(1-e^{-t2\,(0.0000384375+\lambda)}\right)}{0.0000384375+\lambda} + \frac{e^{-t2\,(0.0000384375+\lambda)}\left(a1-a1\,e^{-1800\,(0.0000384375+\lambda)}\right)}{1800\,(0.123+3200\,\lambda)}$$

100%

Ilustración 1 .- Ejemplo de programación utilizando Mathematica.

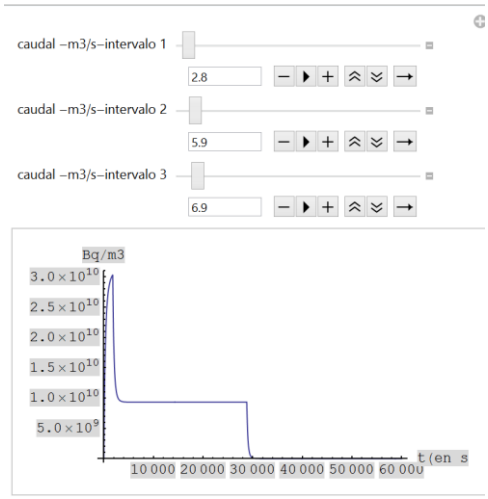


Ilustración 2 Ejemplo de uso del programa para simular distintas condiciones.

Aplicación en emergencias en tiempo real

En emergencias lo adecuado es usar la versión web vía internet. A las distintas opciones puede accederse desde un mismo menú integrado, a través de un navegador (Explorer, Chrome, Firefox, Safari, etc.), utilizando un *interface* sencilla e intuitiva. Los cálculos pueden realizarse directamente desde el navegador (Ilustración 3), incluso utilizando una tableta (ilustración 4). El programa permite incorporar directamente los datos suministrados por la estación meteorológica. Los resultados permiten evaluar situaciones de emisiones prolongadas en las que las condiciones meteorológicas van cambiando (Ilustración 5).

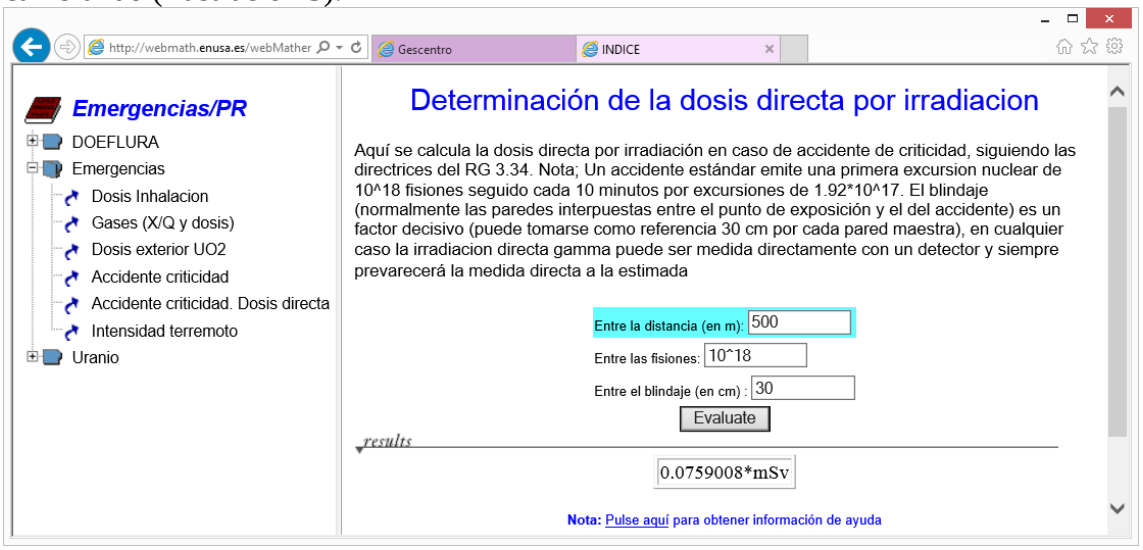


Ilustración 3 Menú de acceso y ejecución de cálculos

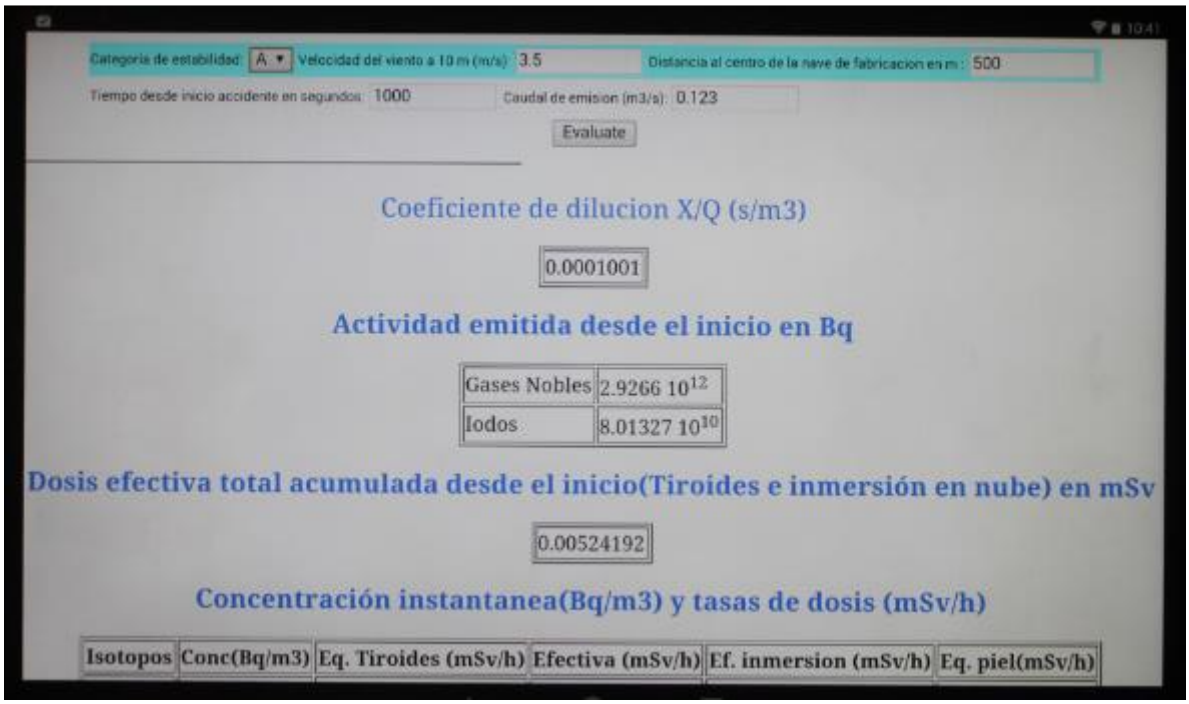
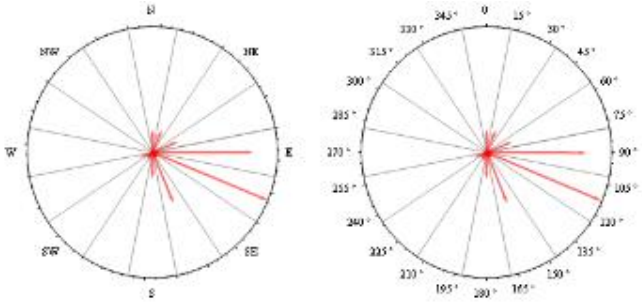


Ilustración 4 Interacción con la aplicación para emisiones en caso de Accidente de criticidad (el ejemplo esta hecho desde una tableta Android)



SectorArrastre	Dosis(mSv)
N	0.00169873
NNE	0.00180627
NE	$9.64794\ 10^{-6}$
ENE	0.0020547
E	0.00741781
ESE	0.00925364
SE	0.000564203
SSE	0.00406848
S	0.00195203
SSW	0.000750613
SW	0.00035006
WSW	0.00105806
W	0.0000720114
WNW	0.000220035
NW	0.000123247
NNW	0.000129895

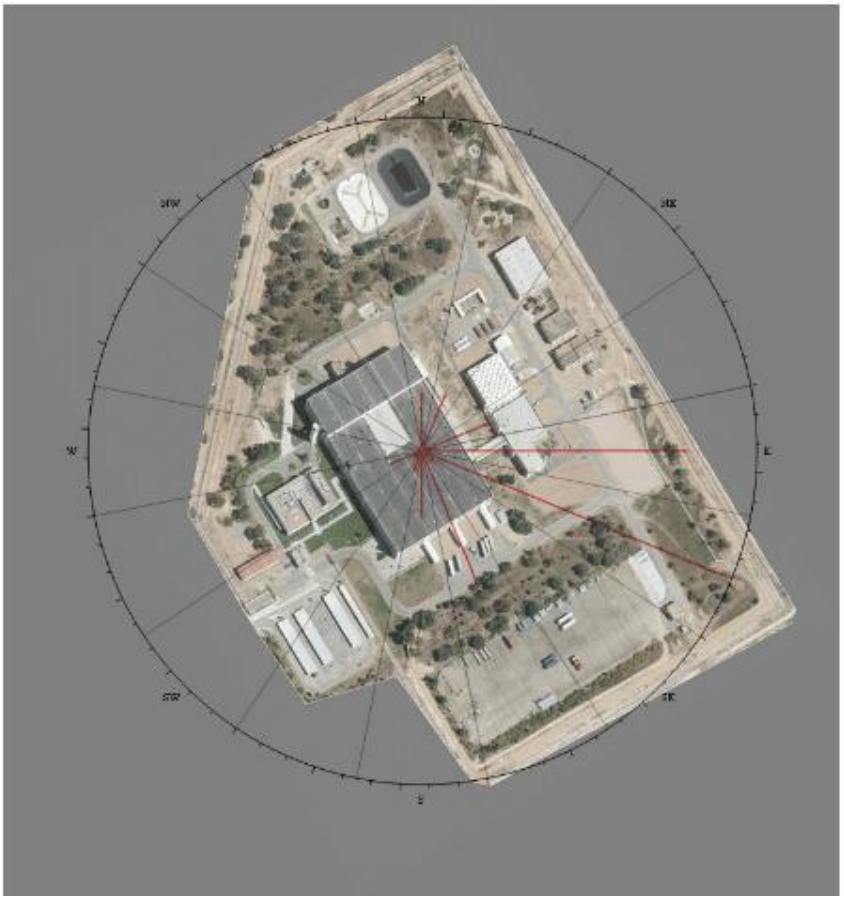


Ilustración 5.- El ejemplo corresponde a la valoración de una emisión continuada durante horas de aerosoles radiactivos de UO2. Los datos meteorológicos son incorporados directamente desde el fichero generado por la estación meteorológica.

Aplicación a evaluar escenarios

El personal experto puede optar por utilizar directamente el programa en *Mathematica*, en este caso tiene la posibilidad de variar prácticamente todos los parámetros y simular distintos supuestos. Este uso es especialmente adecuado para el estudio de distintos escenarios y aplicar las conclusiones en procedimientos de intervención, en el diseño de equipos, y en revisiones del Estudio de Seguridad.

Discusión

Para valorar accidentes en instalaciones nucleares existe una amplia variedad de programas. Estos programas normalmente han sido desarrollados pensando en centrales nucleares norteamericanas, aunque aparentemente ofrezcan como posibilidad su uso a otras aplicaciones del ciclo del combustible. Al pretender cubrir una amplia variedad de instalaciones es necesario interactuar a través de menú para incorporar los datos específicos de instalación. Es frecuente que no contemplen características propias de una instalación concreta. Además estos programas normalmente son simples *interfaces* a otros desarrollados en la década de los 80 del siglo XX utilizando Fortran, y deben estar instalados en el ordenador en el que se van a ejecutar, no incorporando posibilidades de interactuar con ellos vía Internet. Su uso requiere un personal experto que dedique mucho tiempo de formación.

Para solventar los inconvenientes anteriores, ENUSA ha desarrollado programas propios, siguiendo las guías establecidas, con métodos de programación muy actuales. Un aspecto importante es que al ser Juzbado una fábrica de combustible de UO2, la tipología y las consecuencias potenciales de accidente son sustancialmente más reducidas que en las centrales nucleares. Un programa para situaciones simples no tiene por qué complicarse para incluir situaciones de otras instalaciones. Además pueden incluirse aspectos específicos no incorporados en programas más generales. Otro aspecto fundamental es que a estos programas puedan accederse desde cualquier sitio sin más herramienta que una tableta o un teléfono multimedia (Smartphone) conectado a Internet. Todo ello redunda en simplicidad de uso y, por consiguiente, de aprendizaje y versatilidad en la forma de acceder.

El desarrollo de estas herramientas incorpora aspectos novedosos y forman parte del programa de I+D de ENUSA

Referencias

Estudio de Seguridad de la Fábrica de Juzbado.

Mathematica, más allá de las matemáticas. Sánchez León, J. Guillermo
ISBN 13: 978-84-616-5498-7. Addlink Software Científico S.L.

Evaluación en tiempo real el impacto radiológico en emisiones accidentales de una fábrica de combustible nuclear

J. Guillermo Sánchez (gsl@fab.enusa.es), Diego Ortiz, Julio López..

VALENCIA 1-3 Octubre 2014
REUNIÓN ANUAL
SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

- En emergencias: Evaluación de dosis, de dilución, concentraciones, etc, desarrollados siguiendo las guías correspondientes (RG 1.115, RG 3.34, etc.)

- Versión web web vía internet. Acceso a través de un navegador utilizando un *interface* sencilla e intuitiva. Los cálculos pueden realizarse incluso utilizando una tableta o un móvil (Smartphone).

Accidentes

Dosis Inhalacion

Emisiones al exterior(X/Q,dosis)

Accidente criticidad

Intensidad terremoto

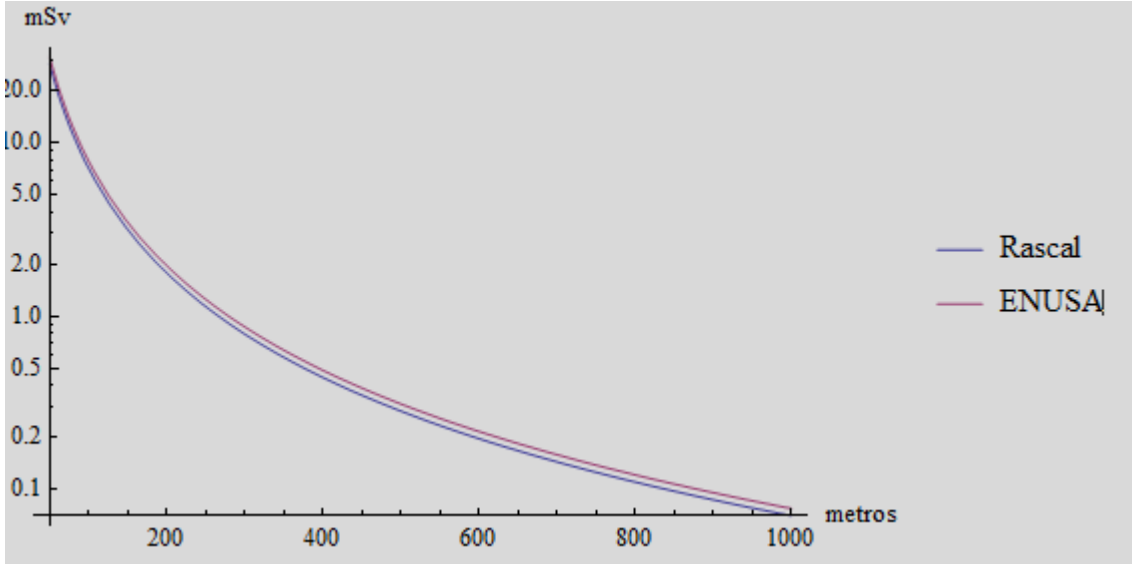
Actividad U

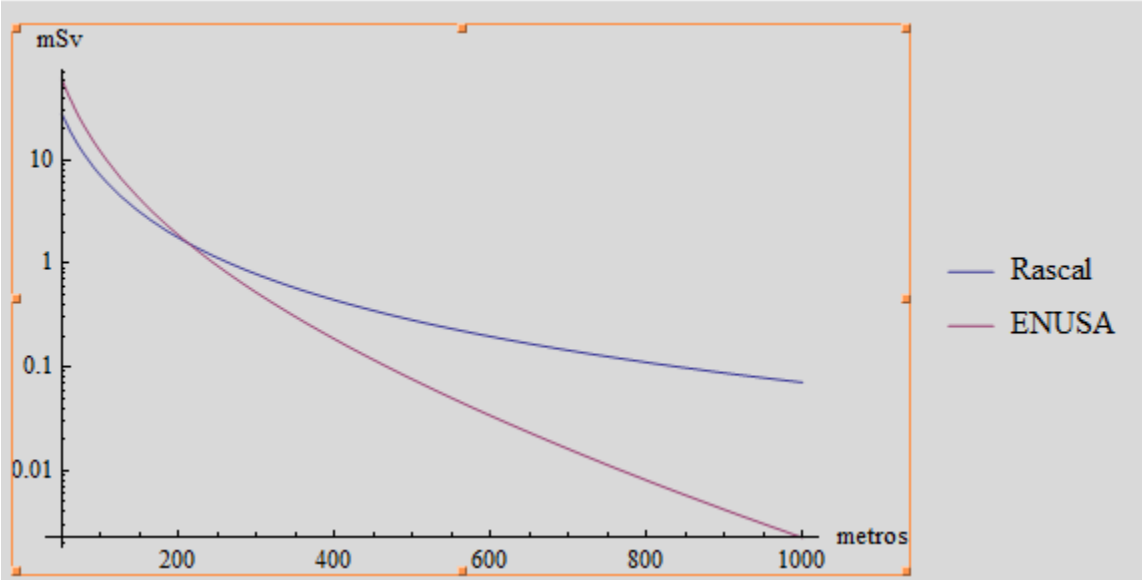
Isotopico U

Gases

Liquidos

- Se han programado las ecuaciones utilizando métodos de cálculo simbólico (*Mathematica*), incorporando los datos específicos de la instalación (no es una adaptación de otros programas, ni es una caja negra que devuelve resultados) y se han comparado con otros programas. A veces se ha encontrado que los programas generales no tienen en cuenta características especificas que llevan a una valoración poco realista

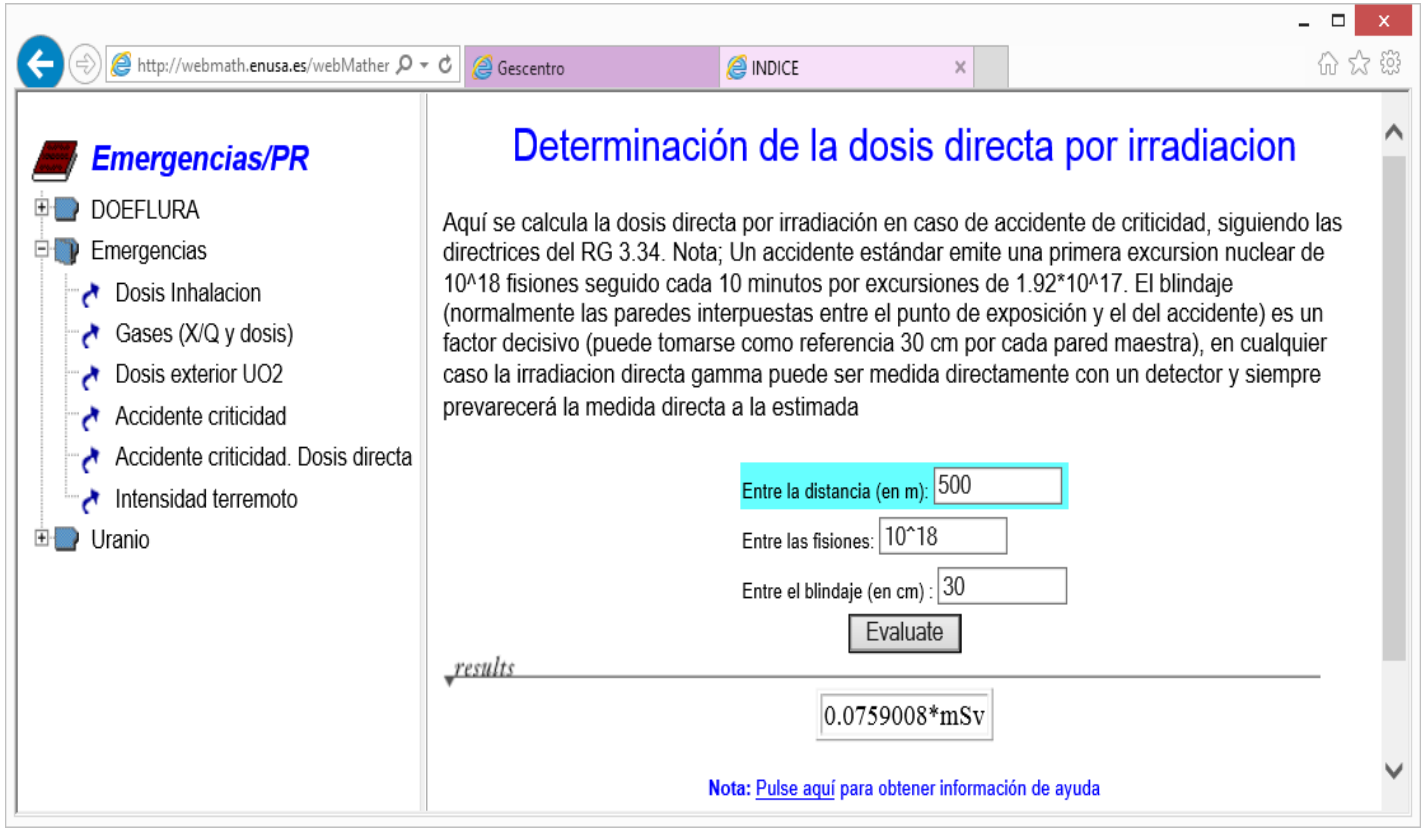


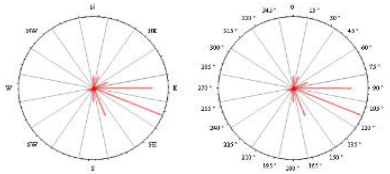


- Se compara la irradiación directa en caso de accidente de criticidad, el programa RASCAL, que es el que se propone que se utilice, la sobreestima pues no tiene en cuenta la atenuación del aire

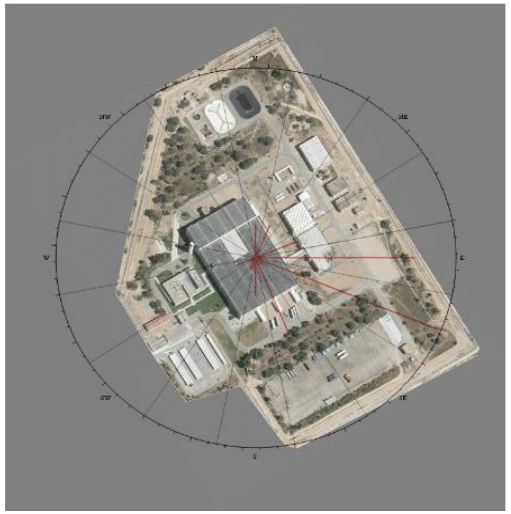
- Acceso a través de un navegador utilizando un *interface* sencilla e intuitiva. Los cálculos pueden realizarse incluso utilizando una tableta o un móvil (Smartphone).

- Permite evaluar situaciones de emisiones prolongadas en las que las condiciones meteorológicas van cambiando.





SectorArrastre	Dosis(mSv)
N	0.00169873
NNE	0.00180627
NE	$9.64794\ 10^{-5}$
ENE	0.0020547
E	0.00741781
ESE	0.00925364
SE	0.000564203
SSE	0.00406848
S	0.00195203
SSW	0.000750613
SW	0.00035006
WSW	0.00105806
W	0.0000720114
WNW	0.000220035
NW	0.000123247
NNW	0.000129895



Discusión sobre la aplicación de programas en condiciones de accidente

La situación

- Normalmente se usan programas desarrollados pensando en centrales nucleares norteamericanas incorporando múltiples situaciones muchas de las cuales no aplican a la instalación de uso (en nuestro caso: Fabrica de Juzbado)
- Es necesario incorporar los datos específicos de instalación. El tratamiento de datos frecuentemente no tiene en cuenta condiciones particulares.
- Frecuentemente se usan varios programas según el tipo de accidente que tienen que estar instalados en el ordenador en el que se van a ejecutar
- Su uso requiere un personal experto que dedique mucho tiempo de formación. En casos reales el riesgo de errores en el uso no es despreciable.

Discusión

La respuesta

- Se han desarrollado programas propios, siguiendo las guías establecidas, con métodos de programación muy actuales, especialmente adaptados a la fábrica de combustible de UO2 de Juzbado.
- A estos programas puedan accederse desde cualquier sitio a través un navegador con una única interface sin más herramienta que una tableta o un teléfono multimedia (Smartphone) conectado a Internet (no requiere una instalación local del programa). Todo ello redunda en simplicidad de uso de lo que se derivan las siguientes ventajas.
  - Reduce el tiempo de aprendizaje
  - Minimiza el riesgo de error
  - Mejora el tiempo de respuesta.