

MOIRA[®] : UN SISTEMA DE APOYO A LA DECISIÓN PARA LA INTERVENCIÓN EN CASO DE CONTAMINACIÓN RADIACTIVA DE SISTEMAS HIDRAULICOS

J. JIMÉNEZ

INTRODUCCIÓN

Mediante la aplicación de medidas adecuadas, resulta posible reducir la dosis de radiación originada en caso de contaminación radiactiva de ecosistemas acuáticos. Sin embargo, las estrategias de intervención, a pesar de sus indudables beneficios radiológicos, pueden comportar un detrimento económico, ecológico o social, cuya evaluación con criterios objetivos ha de ser la base de cualquier decisión. Esta cuestión ha sido el objeto del proyecto MOIRA*, del IV Programa Marco de Investigación del EURATOM, en el que han participado dos grupos de la Universidad Politécnica de Madrid: la Cátedra de Tecnología Nuclear, del Departamento de Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, y el Grupo de Análisis de la Decisión, del Departamento de Inteligencia Artificial de la Facultad de Informática.

Para evaluar las estrategias de intervención sobre sistemas hidráulicos de agua dulce, en el proyecto MOIRA se ha desarrollado un sistema informático con múltiples características novedosas:

- Sistema de Información Geográfica (GIS) y base de datos a escala europea, de donde se obtienen los valores para los parámetros de los modelos, permitiendo evaluaciones razonables, bien a partir de la información por defecto,

bien modificando los datos con los de procedencia local.

- Modelos predictivos para la evolución del ¹³⁷Cs y el ⁹⁰Sr en las cuencas, lagos y ríos, complementados con modelos del efecto de las distintas contramedidas aplicables. Se trata de modelos comprobados y validados, de gran fiabilidad.

- Índice de daño ecológico (Ecosystem Index, EI) para las medidas de tipo químico (adición de potasa, cal o fertilizantes), basado en la identificación de los grupos funcionales críticos del ecosistema analizado (fitos, plancton, bentos, peces) y su relación con las características del mismo (p.e. pH, concentración de potasio, fósforo total) y su evolución con respecto a la situación ideal.

- Modelo de dosis a peces (predadores y presas).

- Modelo de la dosis individual y colectiva resultante de los usos del agua, así como del impacto de las me-

didias de tipo restrictivo sobre dichos usos.

- Modelos de impacto económico y coste de las medidas de protección.

- Módulo de Análisis de utilidad Multi-Atributos (AMA), interactivo, que facilita la labor de evaluación por el usuario, tomando en cuenta los factores ecológicos, sociales, radiológicos y económicos previamente cuantificados por los modelos.

EL SISTEMA MOIRA[®]

El sistema desarrollado integra todos los elementos descritos a través de una serie de ventanas (Fig. 1) por las que el usuario selecciona desde el mapa el objeto del análisis (lago, sección de

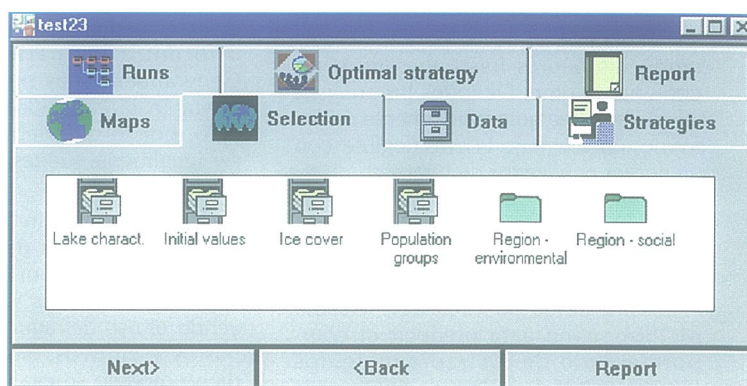


Figura 1.- Ventana principal de acceso a los diferentes módulos del sistema.

*A MOdel based computerised system for management support to Identify optimal remedial strategies for Restoring radionuclide contaminated Aquatic ecosystems, contrato nº FI4P-CT96-0036 del IV Programa Marco de Investigación Europeo, con la participación de las siguientes instituciones: ENEA (co-ordinador, Italia), KEMA (Países Bajos), Studsvik Eco & Safety (Suecia) y las Universidades de Oslo (Noruega), Uppsala (Suecia) y Politécnica de Madrid.

TABLA 1.
Contra medidas cuya simulación está incorporada en el sistema MOIRA.

Aplicación de agentes químicos (Dependiente del tiempo)	Aplicación de medidas físicas (Dependiente del tiempo)	Aplicación de restricciones sociales (en periodos definidos por el usuario o basándose en límites de dosis y contaminación)
• Tratamiento con Potasa • Adición directa de cal • Cal en áreas húmedas • Fertilización	• Retirada de sedimentos contaminados • Retirada de hielo y nieve • Construcción de diques para contención de la inundación primaveral • Derivación del caudal en ríos mediante canales	• Restricción al consumo de pescados • Restricción al consumo de agua potable (con fuentes alternativas de agua limpia) • Restricciones al uso de agua para regadío de cultivos • Acceso restringido a zonas contaminadas

río), verifica y modifica los datos por defecto, define el escenario de contaminación y las estrategias de intervención a ensayar, mediante la combinación flexible de cualquiera de las contra medidas indicadas en la Tabla 1. El sistema es capaz de efectuar la simulación en pocos minutos, de manera que se proceda a comparar las diferentes estrategias entre sí, para ir descartando las peores hasta encontrar un conjunto óptimo. De todos los análisis, se confecciona automáticamente un informe, en lenguaje HTML (legible con cualquier navegador de Internet).

MODELOS

Los modelos básicos del sistema MOIRA sirven para predecir el comportamiento de los radionucleidos (^{137}Cs y ^{90}Sr) en lagos, ríos, zonas costeras y en la biota de los ecosistemas de agua dulce. La elección de esos dos radionucleidos no es casual: el pozo radiactivo producido por los ensayos de armas atómicas hasta los años 60 y los accidentes de Kyshtym (en los Urales) y Chernóbil han permitido conocer su comportamiento medioambiental con mucha precisión. Además, su elevado periodo convierte su presencia en un problema para décadas. Con los modelos también se estima el impacto de una serie de contra medidas (Tabla 1) sobre el nivel de contaminación. Para su inclusión en el sistema, los modelos deben reunir condiciones, tales como:

- Que incluyan los procesos clave que regulan el transporte de un cierto contaminante (p.e., radiocesio) en un ecosistema determinado (p.e., un lago).
- Que su estructura sea la más simple posible, con el mínimo número de variables.
- Que los valores de dichas variables se puedan obtener o medir con re-

lativa facilidad (p.e., pH, contenido en fósforo, turbidez, etc.).

- Que resulte posible validar todas sus partes esenciales frente a datos empíricos que abarquen todo el rango de condiciones ambientales para las que el modelo vaya a ser aplicable.

- Que tengan un elevado poder predictivo, mediante un adecuado equilibrio entre las partes del modelo. Generalmente, las partes más débiles limitarán la capacidad global del modelo, por lo que debieran todas ellas ser igualmente fuertes o débiles (incertidumbre similar).

El sistema tiene un modelo dinámico para la estimación de la dosis individual y colectiva por diversas vías de exposición internas y externas, incluyendo el uso del agua para regadío de pastos y cultivos. Además, mediante dicho modelo se evalúa el impacto de las medidas restrictivas sobre los hábi-

tos de la población -contra medidas de tipo "social"- que pueden ayudar a reducir la dosis recibida (véase Tabla 1).

Por último, el impacto económico se considera dividido en efectos directos e intangibles. Para los primeros, el cálculo tiene en cuenta la naturaleza de cada contra medida y los elementos principales de su coste (mano de obra, materiales, maquinaria, gestión de residuos generados, etc.), incluyendo un descuento para aquellos cuya realización se plantee en el futuro. Para los segundos, tales como la pérdida de imagen de la zona y las reacciones adversas del mercado para los productos de la misma, el usuario debe definir directamente su importancia en una escala de 0 a 100.

COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS MEDIANTE EL ANALISIS MULTI-ATRIBUTOS

En la selección de la estrategia óptima de intervención, contando con toda la información relevante que los distintos modelos del sistema MOIRA proporcionan, se persigue el objetivo de minimizar el impacto de la contaminación, no solo desde el punto de vista radiológico, sino también medioambiental, social y económico a los que la decisión puede afectar.

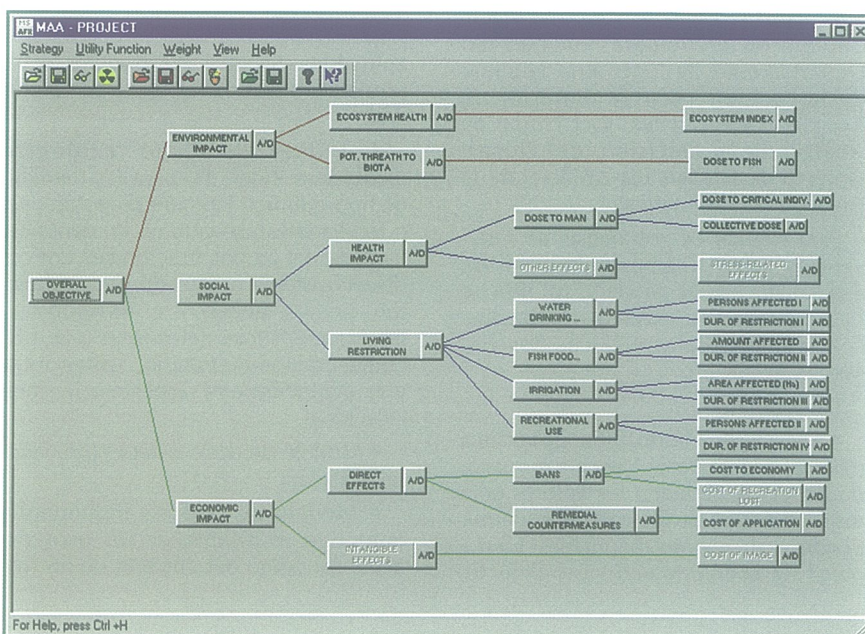


Figura 2.- Árbol de objetivos considerados para el Análisis de utilidad Multi-Atributos en el sistema MOIRA.

El objetivo general puede subdividirse en tres objetivos, que corresponderían al mínimo impacto ecológico, social y económico. Estos a su vez pueden irse desglosando en niveles, hasta llegar finalmente al último nivel, compuesto por los objetivos para los cuales cabe definir atributos, cuya evaluación puede hacerse empleando los modelos descritos anteriormente. La Figura 2 muestra la jerarquía de objetivos en forma de árbol que, de forma general se ha incorporado en MOIRA. Según el escenario analizado, el árbol puede perder alguna de sus ramas, cuando éstas no resulten necesarias.

Los pasos posteriores del proceso consisten en asignar funciones de utilidad (o de valor) a cada atributo y factores de ponderación o "pesos" para cada objetivo. Las funciones de utilidad toman valores entre 0 y 1 (un 0 para la alternativa peor de todas y un 1 para la mejor) lo cual permite pasar de las escalas "naturales" o "construidas" a una base común sobre la cual evaluar el cumplimiento de los objetivos situados en el extremo del árbol: su "utilidad". Una suma ponderada de las utilidades obtenidas para cada objetivo, con factores normalizados en cada "horquilla" del árbol, nos lleva a definir una función de utilidad para el objetivo principal, de tipo aditivo, tal como

$$u(x_1, \dots, x_n) = \sum k_i u_i(x_i)$$

en donde $u_i(x_i)$ son las utilidades de cada objetivo, k_i son los factores de ponderación y $u(x_1, \dots, x_n)$ es la utilidad de cada alternativa, obtenida a partir del valor de los atributos de cada uno de los objetivos x_i .

El módulo desarrollado permite tener en cuenta la imprecisión del usuario a la hora de asignar las funciones de utilidad y los factores de ponderación. También permite realizar con facilidad los necesarios análisis de sensibilidad, que indican los factores que están influyendo más sobre la ordenación final de las alternativas, y los rangos de variación que la dejarían inalterada.

CONCLUSIÓN

Para concluir cabría indicar dos puntos:

- Primero, que una vez terminado su desarrollo, el sistema MOIRA se está probando y validando, en el marco de otro proyecto europeo*, para evaluar la situación de los entornos contaminados de Cheliabinsk (Rusia) y Chernóbil (Ucrania).
- Segundo, que el equipo del proyecto MOIRA está convencido de que los principios generales empleados en el proyecto podrían ser de utilidad para evaluar otras contaminaciones ambientales distintas de la radiactiva, razón por la cual se ha presentado una propuesta al V Programa Marco en el área general de "Energía, medio ambiente y desarrollo sostenible".

*El proyecto COMETES, del Programa de Cooperación Internacional (INCO-COPERNICUS) de la UE. Con la participación de ENEA (Italia, coordinador), Inst. Geológico de la Academia de Ciencias (Bulgaria), Inst. de Matemáticas de la Academia de Ciencias e Inst. de Investigaciones Hidrometeorológicas (Ucrania), Asociación "Typhoon" (Rusia) y las Universidades de Oslo (Noruega), Uppsala (Suecia), y Politécnica de Madrid.