

Departament d'Estadística i I.O., Universitat de València.  
Facultat de Matemàtiques, 46100-Burjassot, València, España.  
Tel. +34.96.364.3560 (directo), +34.96.386.4362 (secretaría)  
Fax +34.96.364.3560 (directo), +34.96.386.4735 (secretaría)  
E-mail: jose.m.bernardo@uv.es, Web: <http://www.uv.es/~bernardo/>

Compuesto el 27 de Julio de 2001

# Proyecto de Diseño de un Sistema de Gestión Automatizada de Control Ambiental de Actividades Portuarias

JOSÉ-MIGUEL BERNARDO  
*Universitat de València, España*

## RESUMEN

*Puertos del Estado* y la *Universitat de València* han firmado un convenio de colaboración para diseñar un sistema que permita la gestión automática, en tiempo real, de los posibles problemas medioambientales derivados de las operaciones que se desarrollan en los puertos. El sistema está basado en el uso de la *Teoría de la Decisión*, y su implementación requiere recabar información relevante de las autoridades portuarias, especialmente de sus responsables para cuestiones medioambientales. Con objeto de preparar las entrevistas que, previsiblemente, tendrán lugar a mediados de Septiembre, se describen muy brevemente los elementos básicos de un problema de decisión, particularizando al caso que nos ocupa, y se incluye un esquema del tipo de información que se pretende adquirir y sistematizar.

*Palabras Clave:* PROBLEMAS DE DECISIÓN; ACCIONES ADMISIBLES; FACTORES RELEVANTES; BANCOS DE DATOS DISPONIBLES; MODELOS PROBABILÍSTICOS; INFERENCIA ESTADÍSTICA; CONSECUENCIAS POSIBLES; CRITERIOS DE DECISIÓN .

## 1. ESTRUCTURA DE UN PROBLEMA DE DECISIÓN

En esta sección se describen brevemente los elementos que constituyen la estructura de un problema general de decisión, utilizando como ejemplo la elección del tratamiento más adecuado para un enfermo aquejado de un síndrome determinado. Para una información más detallada, ver Lindley (1970) y Bernardo (2001).

**1. Acciones Admisibles.** Se tiene un problema de decisión cuando existen diferentes *acciones* admisibles con las que responder a una situación sobre la que es necesaria una respuesta. Para una solución adecuada a un problema de decisión es fundamental que se trate de un conjunto *exhaustivo*, esto es, que se incluyan en el análisis todas las alternativas imaginables. Por ejemplo, en un problema de elección de tratamiento, el conjunto de acciones admisibles es el de *todos* los tratamientos deontológicamente posibles.

**2. Factores Relevantes.** Cada acción admisible puede dar como resultado distintas consecuencias, en función de una colección de *factores relevantes*, que el decisor no controla, aunque puede estudiar su comportamiento estadístico para determinar la *probabilidad* de que

tomen uno u otro valor. Por ejemplo, las consecuencias de aplicar un determinado tratamiento a un paciente concreto dependen del verdadero estado físico del paciente (su verdadera enfermedad) que el médico, en principio, desconoce. Sin embargo, un análisis apropiado de la historia clínica del paciente permite determinar (utilizando los apropiados bancos de datos) la probabilidad de que el paciente sufra cada una de las enfermedades compatibles con el síndrome observado.

**3. Información Disponible.** Un problema de decisión puede ser resuelto (en el sentido de determinar la estrategia óptima en ese momento) con cualquier nivel de información; sin embargo, el valor esperado de la estrategia óptima aumenta con el nivel de información, de forma que debe recabarse cuanta información relevante sea accesible antes de tomar una decisión. La generación sistemática de bancos de datos y la posibilidad de usar *on line* esta información es esencial en la puesta en marcha de un sistema de decisión automatizado. Por ejemplo, los modelos de diagnóstico automático utilizados como ayuda en las decisiones médicas, utilizan bancos de datos que contienen (en forma depurada) miles historias clínicas correspondientes a desórdenes relacionados con el síndrome objeto de estudio.

**4. Modelos Probabilísticos e Inferencia Estadística.** La relación entre la información disponible y los factores relevantes es típicamente probabilística: determinados datos son más probables bajo determinados valores de los factores relevantes; el análisis adecuado de la información disponible requiere una especificación responsable de tales modelos probabilísticos que permita, mediante un proceso de inferencia estadística, determinar la probabilidades con que pueden observarse los distintos valores de los factores relevantes. Por ejemplo, la especificación de un modelo que describa el comportamiento estadístico de la composición sanguínea para distintas enfermedades, permite establecer la probabilidad de que un paciente sufra una u otra enfermedad dada la información proporcionada por su análisis de sangre.

**5. Consecuencias Posibles.** A cada acción admisible y valor concreto de los factores relevantes le corresponde una consecuencia definida cuyo *valor* (o cuyo *coste*) debe ser establecido en unidades adecuadas: es imposible tomar decisiones racionales si no se sabe lo que se quiere, y tales preferencias deben ser expresadas de forma cuantitativa. En un problema de decisión médica es necesario medir (por ejemplo en años de esperanza de vida) el *valor* de cada una de las consecuencias a que se puede llegar según el tratamiento escogido y la verdadera situación física del paciente.

**6. Criterio de Decisión.** La teoría matemática de la decisión demuestra de la determinación de las probabilidades asociadas a los factores relevantes, y la determinación de los valores asociados a las posibles consecuencias de las acciones posibles, no es sólo eminentemente intuitiva, sino *lógicamente necesaria*. Se demuestra además que la acción óptima es aquella con *máximo valor ponderado medio*, donde la ponderación del valor de las consecuencias se efectúa por medio de sus probabilidades respectivas. En el ejemplo médico, el tratamiento óptimo es el que da lugar a consecuencias con un valor medio ponderado máximo, esto es, el que maximiza la suma de los productos de las esperanzas de vida correspondientes a los distintos resultados del tratamiento por sus respectivas probabilidades.

## 2. EL CONTROL AMBIENTAL PORTUARIO COMO PROBLEMA DE DECISIÓN

En esta sección se describen brevemente los elementos que constituyen la estructura de la gestión del control medioambiental portuario cuando se le considera desde la perspectiva de la teoría de la decisión.

**1. Acciones Admisibles.** Ante la posibilidad de problemas medioambientales derivados de las actividades que se desarrollan en los puertos, se trata de listar el conjunto más exhaustivo posible de las medidas que pueden sugerirse para eliminarlos o atenuarlos. Por ejemplo, los

problemas derivados del trasiego de mercancías (soja, carbón, cementos,..) pueden tal vez ser paliados o atenuados mediante la modificación de las condiciones en las que se efectúan los procedimientos de carga y descarga, o mediante el retraso de la descarga hasta la modificación de condiciones meteorológicas adversas. Los problemas derivados del ruido tal vez puedan atenuarse mediante la construcción de barreras protectoras o con la modificación del sistema de transporte al exterior de las mercancías descargadas.

**2. Factores relevantes.** Las consecuencias derivadas de una descarga (en determinadas condiciones y con determinadas técnicas de manipulación) dependen de algunos factores previsibles, como el tipo de mercancía descargada o las exigencias comerciales asumidas, y de otros aleatorios, como la intensidad y la dirección del viento o la estabilidad atmosférica.

**3. Información disponible.** Las redes de monitorización ambiental en los puertos o los centros meteorológicos de los ayuntamientos pueden proporcionar información relevante sobre la distribución de probabilidad de los factores climáticos relevantes. Los órganos de gestión de los puertos pueden proporcionar información sobre la frecuencia y tipo de descargas.

**4. Modelos probabilísticos e inferencia estadística.** Los modelos de propagación de las partículas en suspensión (en función de las condiciones de la descarga y de las variables meteorológicas) deben servir para determinar la probabilidad de que se produzcan emisiones de partículas en suspensión que lleguen a afectar a núcleos poblados. Análogamente, los modelos de propagación de partículas sedimentables deben servir para determinar la probabilidad de que se produzcan depósitos indeseados en determinados lugares interiores o cercanos a los puertos.

**5. Consecuencias Posibles.** Es necesario valorar, en alguna escala apropiada, los costes (en gastos de limpieza, en imagen, en problemas sanitarios) derivados de los distintos escenarios que pueden producirse en función de las condiciones en las que se efectúen las descargas, las acciones paliativas que se puedan tomar y las distintas condiciones meteorológicas que pueden presentarse.

### 3. CUESTIONARIO BASE

Hacia la mitad del próximo Septiembre se intenta tener una primera aproximación a la problemática específica de cada uno de los puertos que participan en el Proyecto, describiéndola con detalle en base al esquema siguiente:

**1. Problemas observados** (*e.g.*, emisión de partículas en suspensión, emisión de partículas sedimentables, ruidos, olores, contaminación química,...)

**2. Alternativas admisibles** (*e.g.*, modificación de las condiciones en las que se efectúan los procedimientos de carga y descarga, retraso de la descarga hasta la modificación de las condiciones meteorológicas, suspensión de la descarga, construcción de barreras, irrigación con productos apropiados, modificación de las técnicas de manipulación empleadas, construcción de terminales específicas cubiertas,...)

**3. Factores relevantes** (previsibles, *e.g.*, materiales descargados, condiciones comerciales y aleatorios *e.g.*, intensidad y la dirección del viento, variaciones de la presión atmosférica, presencia o ausencia de precipitaciones,...)

**4. Consecuencias posibles.** Descripción de posibles incidencias medioambientales en las condiciones concretas de cada puerto, y valoración de las consecuencias de podrían derivarse de ellas.

## REFERENCIAS

- Bernardo, J. M. (2001). Bayesian Statistics. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Paris: UNESCO. (En prensa, accesible en la web en <<ftp://matheron.uv.es/pub/personal/bernardo/BayesStat.pdf>>
- Lindley, D. V. (1970). *Making Decisions*. (2nd. ed, 1985) Chichester: Wiley. Traducción española de la primera edición: *Principios de la Teoría de la Decisión*. Barcelona: Vicens-Vives. 1977