

PREMIO DYNA

INGENIERIA Y MEDICINA

Comunicación presentada por
Daniel Peña Sánchez de Rivera, Dr. I. I. en el
I CONGRESO ESPAÑOL DE INGENIERIA INDUSTRIAL

C. D. 62:61

INGENIERIA Y MEDICINA (*)

Esta comunicación presenta dos experiencias de aplicación de técnicas de Ingeniería Industrial al campo de la Medicina. La primera experiencia estudia la organización y planificación de una clase de intervenciones quirúrgicas: Las operaciones extracorpóreas. La segunda, desarrolla un modelo matemático, basado en la Teoría Bayesiana de la Decisión, para elegir el tratamiento óptimo en enfermos con ictericia prolongada. En ambas ocasiones, técnicas desarrolladas en estrecho contacto con la Ingeniería y la Economía, han resultado perfectamente adaptables a la actividad sanitaria,

(*) Comunicación presentada por el autor en el I Congreso de Ingeniería Industrial celebrado en Valencia (28 febrero-4 marzo 77). Este trabajo fue galardonado con el Premio DYNA.

obteniéndose resultados muy esperanzadores.

La conclusión principal de esta comunicación es que la colaboración futura de los Ingenieros Industriales, en el campo sanitario, es potencialmente importante. Esta opinión se basa en las aportaciones ya realizadas por Ingenieros, principalmente en USA, y en las propias experiencias del autor.

1. INTRODUCCION

Entre los problemas contemporáneos que han alcanzado una mayor importancia en la actualidad, la Sanidad ocupa uno de los lugares más relevantes, tanto en la cantidad de recursos consumidos, como en la proporción de personas trabajando en dicho campo. Este crecimiento ha sido especialmente espectacular en los países más industrializados y se

presenta ya como una de las actividades clave en la Sociedad del futuro.

No es, pues, de extrañar que la demanda por más y mejores servicios haya desencadenado una preocupación creciente por este sector. En este proceso se ha visto claramente que muchas de las técnicas económicas y matemáticas, creadas para un fin específico de aplicación en la empresa, han resultado muy fructíferas en el campo de la Medicina.

La introducción de nuevos conceptos en el campo de la Sanidad se ha canalizado en tres aspectos diferentes.

El primer aspecto se refiere al Sistema Sanitario en su conjunto. La premisa fundamental es considerar al Sector Sanitario como si se tratase de un sector industrial y aplicar las técnicas económicas de análisis sectorial. Aunque existen problemas específicos de medición de la «eficacia» del sistema, evaluación de los servicios suministrados, etc., existen numerosos trabajos (la mayor parte de ellos anglosajones) sobre el Sistema Sanitario como una totalidad económico-social. Véase, por ejemplo, Ashford (1), Mushkin (7) o Fuchs (4).

El segundo aspecto se refiere a las «unidades» productivas, fundamentalmente hospitales. En este campo, las técnicas y la filosofía del «Management», o de la Dirección Industrial y los conceptos de Organización y Planificación de la Producción, se han extendido enormemente desde 1950 aproximadamente. Este enfoque se ha desarrollado principalmente en los Estados Unidos, donde han proliferado mucho los estudios de este tipo, potenciados por la American Hospital Association, que crea, en 1952, un Comité de Mejora de Métodos. La tendencia a implicar en la dirección del hospital a economistas e ingenieros llevó en 1961 a la creación de Hospital Management Systems Society, que cuenta actualmente con 800 asociados. Poco después, en 1964, el American Institute of Industrial Engineers

(A. I. I. E.) crea la División de Hospitales (Hospital and Health Service Division), que contaba, a finales de 1974, con más de 900 miembros. En un reciente estudio de Staib (13) se concluye que el número de ingenieros trabajando en problemas sanitarios, en el área de Nueva York, se ha doblado desde 1967, y la tasa de crecimiento ha aumentado continuamente desde 1964.

En esta zona geográfica, de los 141 hospitales existentes, 22 (15 %) mantenían en 1972 un servicio de Ingeniería Industrial, con un promedio de tres ingenieros por departamento (13). Si analizamos los hospitales de gran tamaño (de 1.000 a 1.500 camas), la proporción de hospitales con un departamento de Ingeniería Industrial se eleva al 28 %.

Los trabajos de estos ingenieros cubren campos tan variados como la organización de los bancos de sangre, la programación de admisiones, la organización de los almacenes y la gestión de inventarios, la automatización y mecanización de las historias médicas, la previsión de entradas y salidas, el mantenimiento preventivo, la organización general del hospital, etc.

Finalmente, y como tercer aspecto, los ingenieros han aportado su contribución a la mejora de «métodos» específicamente sanitarios. Gilbreth inició la aplicación de los métodos y tiempos a las intervenciones quirúrgicas. Posteriormente, las técnicas estadísticas contribuyeron a la mejora de los procedimientos de diagnóstico, y en los diez últimos años se ha iniciado la aplicación del Análisis Bayesiano a los problemas de decisión de diagnóstico-tratamiento, con resultados prometedores (2), (5), (6), (8), (9), (10), (11).

En nuestro país, las colaboraciones de ingenieros a la mejora de la actividad sanitaria han sido cualitativamente importantes, a pesar de la falta de perspectiva de la Seguridad Social para emprender trabajos sistemáticos de investigación.

A continuación presentamos dos investigaciones realizadas por el autor en este campo.

2. ESTUDIO DE UNA INTERVENCIÓN QUIRÚRGICA: LAS EXTRACORPÓREAS

2.1. Planteamiento del problema

Se denominan bajo el nombre común de extracorpóreas las operaciones en que es necesario operar directamente sobre el corazón o los grandes vasos que llegan a él. A este fin, se cortocircuita el corazón, uniendo sus entradas y salidas a una máquina que efectúa el papel del corazón y de los pulmones del enfermo, es decir, absorbe de las cavas, como una bomba, la sangre no oxigenada que llega al corazón, la oxigena y la impulsa por la aorta en forma arterial para su distribución por el organismo.

El interés que presentan estas operaciones es doble. Por una parte, interviene una gran cantidad de personal quirúrgico con los consiguientes problemas de coordinación, existiendo, además, actividades parciales o fases no encadenadas directamente por imperativos de carácter médico, pudiendo, por lo tanto, alterarse su orden de sucesión. Por otra parte, la gran duración de estas operaciones, hasta siete horas a veces, y el hecho de que el enfermo tenga que permanecer anestesiado durante todo el período, representa un peligro constante. La práctica parece confirmar que en las intervenciones quirúrgicas el peligro de complicaciones post-operatorias crece proporcionalmente al tiempo de anestesia, de una forma que podríamos considerar lineal, hasta una duración media de unas tres horas. A partir de este momento, la relación tiempo de anestesia-riesgo esperable se acelera, soliendo suponerse exponencial, es decir, el riesgo crece más que proporcionalmente al tiempo.

En el caso concreto plantea-

do, la duración de anestesia tiene una especial importancia, por tratarse precisamente de enfermos con el corazón muy débil, y realizarse la operación sobre órganos vitales del enfermo, sometiéndole a una circulación artificial, con los peligros que esto puede añadir. Estos factores hacen resaltar la importancia de acelerar en lo posible la marcha de la operación.

Finalmente, estas operaciones requieren un personal sanitario muy especializado y cuyo coste de utilización es, por lo tanto, elevado, así como equipo instrumental especial. Una reducción de tiempo representa un importante ahorro económico y una mejora de la calidad de servicio al poder aumentarse las operaciones efectuadas en el mismo tiempo, ofreciendo, en consecuencia, un mejor servicio a la comunidad.

Estas consideraciones condujeron a la realización de un estudio entre el Departamento de Cirugía Cardiovascular de la Clínica Puerta de Hierro, de Madrid y la Cátedra de Investigación Operativa de la E. T. S. I. I. de Madrid, siendo el autor de esta comunicación responsable del mismo.

El objetivo del estudio era diseñar una secuencia de realización de la intervención, de manera que el tiempo invertido fuera mínimo.

2.2. Enfoque del trabajo

En cada fase de la operación existen unos criterios técnicos que es preciso respetar. Es evidente, por ejemplo, que no puede cortarse el pericardio sin haber abierto previamente el esternón. Estos criterios técnicos, cuando son rigurosos, como el anterior, no permiten, naturalmente, una alteración, pero, en otros casos, existe una cierta flexibilidad cuando su orden de sucesión, dentro de la operación, no viene dictado por una concatenación de actividades, sino por una condición de límite de terminación antes de una actividad deter-

minada. Por ejemplo, los catéteres que se introducen en venas y arterias deben imprescindiblemente estar colocados al empezar la perfusión, o circulación artificial por la máquina extracorpórea, pero es indiferente que estén puestos al principio de la esternotomía o al final de ésta.

Por lo tanto sí parecía, en principio, posible estudiar la secuencia óptima de realización de las distintas actividades, de forma que el tiempo total invertido fuese mínimo.

La operación puede dividirse en tres grandes partes: La Preparación, que cubre desde la entrada del enfermo en el quirófano hasta el comienzo de la circulación extracorpórea; la Intervención propiamente dicha, que varía con el tipo de disfunción del paciente, y la fase de cierre que se extiende desde la recuperación de la circulación natural hasta la salida del enfermo del quirófano.

La fase de preparación ofrece variantes en su realización, en función de que durante la operación se efectúe un trasplante de válvula, realizado con tejido del enfermo o no, mientras que la fase de cierre es, en todos los casos, similar. Únicamente el período operatorio que transcurre cuando el enfermo se encuentra sometido a circulación artificial extracorpórea, varía según el tipo de enfermedad. Por otra parte, estas dos fases constituyen del 50 al 80 % del tiempo total de la intervención, por lo que se decidió reducir el estudio a estas partes. Esta decisión se apoyaba, además, en las grandes dificultades de intentar una estandarización del proceso quirúrgico en el período de intervención en el corazón, ya que la experiencia y habilidad del cirujano son en esta etapa claves. Por último, las posibilidades de reducción del tiempo eran muy limitadas, por las restricciones quirúrgicas que imponen en este período una secuencia muy rígida.

Para estudiar las fases indicadas, se dividieron en sus actividades básicas elementales y

se tomaron tiempos directamente en el quirófano durante su realización. Para ello observamos unas 40 intervenciones, obteniendo datos estadísticos en 30 de ellas.

Esta información permitió asignar a cada actividad elemental una distribución de probabilidad del tiempo de su realización. El problema se redujo a realizar diagramas para analizar la secuencia óptima de ejecución, compatible con las restricciones médicas, de manera que la duración total, por término medio, de la intervención, fuese mínima.

La fase de preparación comprendía 15 actitudes elementales. El método propuesto tiene seis actividades críticas —que realiza el cirujano más experimentado—, siendo las otras nueve realizadas en paralelo por los dos ayudantes.

La fase de cierre podría ser prácticamente realizada por dos cirujanos en paralelo. Se distribuyeron las actividades de manera que la carga estuviese equilibrada y que la probabilidad de demora fuese lo más reducida posible.

2.3. Resultados

El método propuesto en las operaciones sin fascia lata —aquellas en las que no se trasplanta una válvula del enfermo, fabricada con tejido matriz del propio enfermo— redujo la duración de la intervención, de 3 horas y 30 minutos, más el tiempo de perfusión (circulación extracorpórea), a dos horas y 45 minutos, con una reducción del 21 %. Esta reducción se obtenía sin introducir ningún cambio en la realización de las fases y modificando únicamente el orden de sucesión de las actividades elementales. Posteriormente se estudió el método mejor de efectuar determinadas actividades críticas (coser la piel, cateterización, canalización de grandes vasos, etc.), lo que produjo una reducción esperada por término medido de otros 45 minutos, con lo que la

reducción total de tiempo se elevó al 50 %.

En las intervenciones con fascia lata, la reducción obtenida fue de 50 minutos y de una hora 50 minutos aproximadamente, lo que representa unas proporciones de reducción esperada importantes.

Las ventajas principales de esta investigación pueden resumirse en:

- a) Una reducción importante de la duración de la intervención con la consiguiente disminución de riesgos para el enfermo.
- b) La identificación de las actividades críticas, que permite concentrar en ellas el esfuerzo de los cirujanos más experimentados.
- c) La estandarización de los cometidos de los tres cirujanos, lo que permite un aprendizaje más rápido y sistemático de los médicos ayudantes.
- d) El establecimiento de un control de tiempos que permite la evaluación continuada de los resultados operatorios.

2.4. Extensiones del problema

El estudio descrito era de interés limitado al restringirse a un tipo de intervención concreta. Frente al factor atractivo de su inmediata aplicación práctica, en contrapartida, no pretendía establecer teóricamente normas de decisión para optar entre diferentes métodos alternativos. Por esta razón, nos pareció interesante extender esta metodología proporcionándole un enfoque teórico que permita una aplicación generalizada en otros casos. A continuación señalamos brevemente las líneas principales de análisis.

Supongamos una intervención dividida en actividades elementales, e_i . Para cada e_i conocemos la distribución de probabilidad de duración $f(t_i)$.

Al realizar un estudio del camino crítico, nos podemos encontrar con que no exista una alternativa claramente domi-

nante, ya que el tiempo esperado menor no es un criterio definitivo. Es fundamental considerar la dispersión que puede tener la variable tiempo total de intervención, como puede ponerse de manifiesto con el ejemplo siguiente. Supongamos dos métodos distintos de realización de la intervención: A y B. Con el método A, la intervención dura tres horas con certeza. Con el método B puede durar desde una hora hasta cuatro, con función de densidad uniforme. Es claro que la opción entre ambas depende de la relación específica para ese tipo de intervenciones entre mortalidad y duración de anestesia. Si la relación es lineal hasta las tres horas y crece fuertemente con carácter exponencial a partir de ese punto, escogiendo como criterio de decisión reducir la mortalidad esperada, el método A puede ser claramente superior al B, a pesar de su mayor duración esperada. Por lo tanto es imprescindible considerar no el valor medio, sino la distribución de probabilidad completa del tiempo total de intervención $f(t_i)$.

El procedimiento general de selección sería el siguiente: Supongamos que, según incluyamos unas u otras actividades en el camino crítico, la duración de la intervención viene dada por las distribuciones $f_1(T) \dots f_n(T)$. Si conocemos la relación entre la probabilidad de muerte, p , y la duración de la intervención, T , $p = g(T)$, podemos utilizar el método de Montecarlo —el procedimiento general de cambio de variable será inaplicable en muchos casos por la forma específica de $p = g(T)$ — para realizar el cambio de variable y obtener las nuevas distribuciones $f_1(p) \dots f_n(p)$; que proporcionarán las distribuciones de probabilidad de la probabilidad de muerte con la intervención. Entonces sí que podemos escoger como método óptimo aquél que lleve asociado una esperanza más pequeña, es decir, escoger el método i si

$$E[f_i(p)] < E[f_j(p)] \quad \forall j \neq i$$

El análisis puede enriquecerse si tenemos en cuenta la edad del enfermo y buscamos el método quirúrgico que proporcione una maximación de las preferencias del paciente por duraciones de vida.

La edad del paciente determina una distribución de probabilidad de vida, $f_i(v)$, conocida por datos demográficos. Si el método operatorio j tiene una distribución de probabilidad de muerte, $f_j(p)$, la distribución de la vida esperada con ese método es la convolución producto de ambas distribuciones de probabilidad, lo que puede realizarse fácilmente mediante el Método de Montecarlo. De esta manera asociamos a cada paciente de edad i , sometido a la intervención por el método j , la distribución de probabilidad de vida $f_{ij}(v)$. La decisión entre las alternativas es directa, una vez supuesta una estructura de preferencias del paciente por duraciones de vida. Una solución razonable es suponer una estructura de preferencias lineal y escoger, en consecuencia, aquella $f_{ij}(v)$ con mayor esperanza matemática.

3. ESTUDIO DE UN PROBLEMA DE DIAGNOSTICO-TRATAMIENTO: LA ICTERICIA

3.1. Planteamiento del problema

La ictericia es la coloración amarillenta de la piel, debido a un pigmento que se denomina dilirrubina. El diagnóstico diferencial de la ictericia es uno de los problemas clásicos en medicina.

Entre las muchas causas que pueden dar como síntoma ictericia, hay seis enfermedades, cuyo diagnóstico diferencial es extremadamente difícil. Estas enfermedades son:

1. Hepatitis Colostática (HG).
2. Cirrosis Biliar Primaria (CBP).
3. Coledoco Litiasis (CL).

4. Cáncer en vías biliares (CVB).
5. Cáncer en Ampolla de Vater (CAV).
6. Cáncer en Cabeza de Páncreas (CP).

El diagnóstico diferencial entre estas enfermedades es un problema importante. Primero, los tratamientos están contraindicados entre sí. El tratamiento de la Hepatitis y de la Cirrosis es médico, para las otras enfermedades, quirúrgico. Segundo, el pronóstico en el caso de cáncer depende decisivamente de la rápida detección del mismo, por lo que la demora en la intervención supone un riesgo grande para el paciente. Tercero, el diagnóstico no puede, en general, realizarse con las fuentes de información, sin riesgo para el paciente, habituales en medicina: exploración, análisis clínicos, radiografías, y hay que acudir a test, con riesgo de mortalidad no nulo, como la Biopsia o la Colangiografía percutánea. Cuarto, los resultados del tratamiento para el cáncer en vías biliares y cabeza de páncreas son bastante desfavorables, por lo que no existe acuerdo unánime entre los médicos sobre la conveniencia de la intervención, sobre todo si el paciente es de edad avanzada.

En resumen, el problema muestra una complejidad suficiente para suponer que las técnicas de Análisis de Decisiones puedan resultar fructíferas.

3.2. Enfoque del trabajo

El objetivo del estudio era construir un modelo de decisión que permitiese al médico seleccionar la estrategia óptima en función de:

- La información objetiva disponible.
- La opinión particular del médico.
- Las preferencias del paciente.

La opinión particular del médico se cuantificaba en proba-

bilidades y entraba en el modelo como probabilidad a priori. El programa evalúa si es necesario recoger información adicional mediante una Biopsia o una Colangiografía antes de pasar al tratamiento y elige, entre los tratamientos, aquél que maximiza la utilidad esperada del paciente.

La lógica utilizada fue la del Análisis Bayesiano de Decisiones. Vamos a explicarla esquemáticamente mediante un ejemplo muy simple. Supongamos un paciente aquejado de un conjunto de síntomas, que pueden ser debidos únicamente a dos causas, S_1 y S_2 . Los tratamientos correctos para cada enfermedad son T_1 y T_2 .

Supongamos también, por simplicidad, que la única consecuencia relevante al par enfermedad-tratamiento es la duración de la convalecencia, y que la estructura de preferencias sobre esta variable real es lineal. Las consecuencias podrían resumirse así:

	T_1	T_2
S_1	6 días	7 días
S_2	20 días	10 días

El médico puede buscar información adicional mediante una prueba, cuyo coste monetario es despreciable. El único inconveniente es que con probabilidad 2, la utilización de la prueba provoca una reacción que alarga en un día la curación del paciente, sea cual sea su estado y el tratamiento utilizado. La prueba no garantiza totalmente el diagnóstico, pero se conocen las probabilidades condicionadas $P(r_i/S_j)$. (Obtener el resultado r_i cuando el enfermo padece la enfermedad S_j .)

Si los únicos resultados posibles del test son:

- s_1 : el test sugiere S_1
- s_2 : el test sugiere S_2

Dispondremos de los valores $P(s_1/S_1)$ y $P(s_2/S_2)$. Se verificará:

$$\begin{aligned} P(s_1/S_1) + P(s_2/S_1) &= 1 \\ P(s_1/S_2) + P(s_2/S_2) &= 1 \end{aligned}$$

La estructura del problema puede recogerse en un árbol de decisión como indica la figura 1.

Si el médico especifica sus probabilidades a priori para cada una de las enfermedades, $P(S_1)$, $P(S_2)$; $P(S_1) + P(S_2) = 1$, el problema se resolvería de la forma siguiente:

a) Calcularíamos las probabilidades a priori $P(S_i/s_j)$ $i, j =$

$= 1, 2$ aplicando el teorema de Bayes:

$$P(S_i/s_j) = \frac{P(s_j/S_i) P(S_i)}{\sum_{i=1, 2} P(s_j/S_i) P(S_i)}$$

b) Obtendríamos la utilidad esperada, que, en este caso, es simplemente la esperanza matemática, en cada punto aleatorio.
c) Escogeríamos, en cada pun-

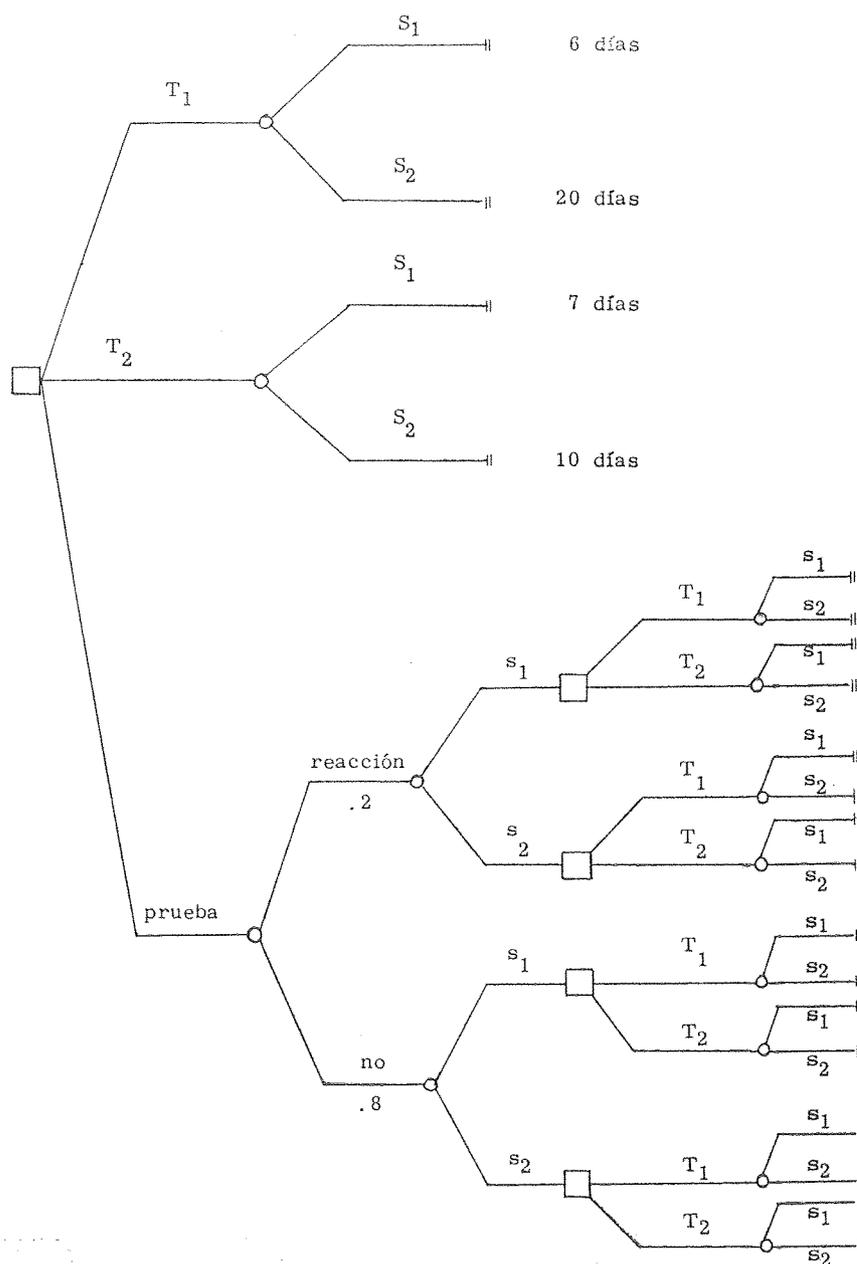


Fig. 1

to de decisión, aquella acción que nos conduzca a un valor esperado más alto.

Este sencillo ejemplo pone de manifiesto algunos aspectos de los PDT que subrayaremos.

1. El diagnóstico y el tratamiento deben estudiarse conjuntamente. En general el diagnóstico se efectúa en probabilidad, suponiendo que la enfermedad es debida a la causa más verosímil. Sin embargo, este diagnóstico no especifica forzosamente el tratamiento, ya que las consecuencias no suelen ser simétricas y, por lo tanto, los errores distintos. Por ejemplo, si el médico tuviese que optar, sin más información, entre T_1 y T_2 escogería T_2 , siempre que:

$$7 P(S_1) + 10 (1 - P(S_1)) < 6 P(S_1) + 20 (1 - P(S_1))$$

$$P(S_1) < \frac{10}{11} \approx 0,91$$

Por lo tanto, incluso con una gran seguridad de que el enfermo padece S_1 , del orden del 90 %, el médico aplicará T_2 .

2. No existe un tratamiento «correcto» en abstracto. Este sólo puede definirse en base a una estructura de preferencias y a un sistema de consecuencias fijo. Por ejemplo, si las preferencias por las consecuencias no fuesen lineales, dos médicos elegirían, ante la misma incertidumbre, tratamientos distintos.
3. El valor de una prueba está ligado a su eficacia para mejorar nuestras decisiones y no a su capacidad de suministrarnos información, y aunque ambos aspectos están obviamente relacionados, no son idénticos. En los problemas de decisión nos interesa el incremento de utilidad que obtenemos mediante la realización del test, que nos mide la calidad de la información, y no la «canti-

dad de información», medida como reducción de entropía (14).

3.3. Construcción del modelo

El modelo fue programado en FORTRAN y construido con la lógica expuesta. Las entradas del modelo están formadas por:

- a) El vector de estado del paciente. Este vector tiene como componentes las probabilidades de que, en opinión del médico, el enfermo padezca cada una de las enfermedades posibles.
- b) La Estructura de Preferencias del paciente por duraciones de vida.

Las verosimilitudes o probabilidades condicionadas de obtener un resultado mediante un test, dada la enfermedad que padece el enfermo, se recogieron de historias clínicas publicadas y se almacenaron en el ordenador como datos del problema. Los datos básicos incluían también los riesgos, cuantificados en probabilidades de muerte, de cada prueba y tratamiento y la distribución de probabilidad de vida del paciente dada su edad.

Las salidas del programa eran la secuencia óptima de decisiones. A continuación se incluyen dos salidas para dos enfermos específicos. Los detalles operativos de construcción del modelo pueden encontrarse en (8).

FORMATOS DE SALIDA

El tratamiento recomendado para un enfermo que puede padecer una de las enfermedades siguientes

Hepatitis colostática	Probabilidad = .550
Cirrosis biliar primaria	Probabilidad = .020
Coledoco litiasis	Probabilidad = .050
Cáncer vías biliares	Probabilidad = .010
Cáncer de páncreas	Probabilidad = .200
Cáncer ampolla de vater	Probabilidad = .170

Es el que sigue =

Efectuar una biopsia, si el resultado es =

Hepatitis	Comenzar tratamiento médico.
Cirrosis	Comenzar tratamiento médico.
Extrahepática	Intervención quirúrgica.
Dudoso	Comenzar tratamiento médico.

El tratamiento recomendado para un enfermo que puede padecer una de las enfermedades siguientes

Hepatitis colostática	Probabilidad = .300
Cirrosis biliar primaria	Probabilidad = .000
Coledoco litiasis	Probabilidad = .700
Cáncer vías biliares	Probabilidad = .000
Cáncer de páncreas	Probabilidad = .000
Cáncer ampolla de vater	Probabilidad = .000

Es el que sigue =

Efectuar una biopsia, si el resultado es =

Hepatitis	Comenzar tratamiento médico.
Cirrosis	Comenzar tratamiento médico.
Extrahepática	Intervención quirúrgica.
Dudoso =	

Efectuar una colangiografía, si el resultado es =

No visualización	Comenzar tratamiento médico.
Normal	Comenzar tratamiento médico.
Cáncer vías biliares	Comenzar tratamiento médico.
Coledoco litiasis	Intervención quirúrgica.
Cáncer de páncreas	Intervención quirúrgica.
Ampuloma	Intervención quirúrgica.
Extrahepática	Intervención quirúrgica.

3.4. Resultados

El modelo se probó con 50 enfermos hipotéticos, definidos por el vector de estado a priori. Posteriormente utilizamos la forma Normal de Análisis (9) para realizar un estudio de sensibilidad de las probabilidades. La comparación de los resultados obtenidos por el modelo y los médicos que sirvieron de contrastación es la siguiente:

- a) El modelo propone unos tratamientos óptimos bastante concordantes con los dados por los médicos y la concordancia aumenta con la experiencia del médico, aunque el número de médicos consultados no permite establecer conclusiones estadísticamente significativas.
- b) En los casos de discrepancia hemos podido observar un fenómeno que podríamos llamar «espejismo de diagnóstico», consistente en que el médico centra su atención más en la reducción de su incertidumbre que en el tratamiento correcto. En estos casos el médico elige una estrategia que disminuye su incertidumbre recogiendo información, aunque la esperanza de vida del enfermo es menor que pasando directamente al tratamiento.
- c) En algunos casos, los médicos no actuaron de forma consistente. Por esto entendemos escoger el tratamiento únicamente en función del vector de estado del enfermo que recoge toda la información, sin tener en cuenta el proceso de llegada a este vector de estado. Creemos que esto es debido a que la modifi-

cación de la opinión ante información adicional es más débil que la que correspondería si aplicásemos el teorema de Bayes. Podríamos decir que existe cierta «inercia» en la modificación de la opinión.

3.5. Conclusiones

La conclusión fundamental del estudio es que la Teoría Bayesiana de la Decisión es una herramienta útil y prometedora para el análisis de los problemas médicos. Concretamente:

- a) La T. B. D. ofrece un marco lógico para esclarecer y dirimir los conflictos de opinión entre especialistas, al separar la estimación de las probabilidades de los juicios de valor sobre las consecuencias.
- b) Este análisis permite al médico comprobar de forma explícita en qué puntos su información personal es insuficiente y debe buscar ayuda en la literatura médica.
- c) Proporciona un mecanismo para integrar las diferentes opiniones de especialistas.
- d) Ofrece a los hospitales una guía del tipo de información que debe recogerse y de su importancia relativa para la decisión.
- e) Puede manejar eficazmente sucesos con probabilidad muy pequeña.
- f) Las preferencias del paciente pueden incluirse en el análisis.
- g) El análisis de un problema complejo puede programarse e introducirse en el or-

denador. Si los datos de base se han obtenido de los mejores especialistas, la mecanización permite poner al servicio de toda la comunidad médica la información disponible sobre el tema y, en consecuencia, mejorar las decisiones de los médicos menos experimentados. La información puede, además, irse reactualizando con las nuevas experiencias.

- h) El enfoque, mediante T. B. D., permite integrar los programas de diagnóstico automático que han comenzado a desarrollarse en los últimos diez años. Los resultados de estos programas pueden constituir la entrada del análisis del problema mediante T. B. D.

Estas ventajas de la T. B. D. reflejan que esta técnica puede ser especialmente útil para el aprendizaje en Medicina. En nuestra opinión, su función formativa es muy grande, ya que obliga al decisor a centrarse en los aspectos cruciales del problema y a explicitar la información de que dispone. Además, permite utilizar al máximo la intuición y la experiencia del médico, que se incluyen en el análisis sencillamente mediante probabilidades subjetivas. La cuantificación del grado de certidumbre elimina además los efectos conocidos de distorsión de la información referida a la incertidumbre cuando ésta se transmite verbalmente.

El punto señalado en g) merece también ser recalcado. Los médicos disponen, en general, de poca experiencia en enfermedades de pequeña incidencia. Si estas enfermedades son graves, un estudio mediante esta metodología permite difundir la experiencia acumulada de los especialistas que investiguen sobre ellas. Si el tratamiento más indicado es objeto de controversia, un análisis riguroso, mediante T.B.D., puede llevar a delimitar los factores en que se requiere más información para llegar a un acuerdo, y diseñar experimentos para obtenerla.

Junto a estas ventajas importantes esta técnica también tiene sus limitaciones. En primer lugar, es conveniente que el médico disponga de un banco de datos que le permita obtener probabilidades a priori cuando su experiencia sea pequeña. En segundo lugar, hay que profundizar en métodos de utilización de funciones de preferencias multivariantes aplicados a los problemas médicos. En tercer lugar, son necesarios métodos que permitan manejar pacientes con varias enfermedades simultáneas. Finalmente, las consecuencias de los tratamientos en función del tiempo que el paciente lleva padeciendo la enfermedad, requieren un estudio profundo para definir métodos estandard de análisis del problema. Los resultados entonces no serían fijos, sino en función de este tiempo t y aparecería el problema de incluir pruebas que aporten información sobre el valor de t .

La experiencia con este trabajo ha hecho patente que un estudio de este tipo requiere la colaboración permanente y constante de un equipo de médicos especializados. En este sentido, el desarrollo de programas de Diagnóstico-Tratamiento requiere una inversión apreciable de tiempo. Como contrapartida, podemos decir que los médicos con los que hemos trabajado han demostrado un gran entusiasmo por las posibilidades futuras de estas técnicas. En nuestra opinión, no todos los tipos de problemas médicos son analizables por estas técnicas, que sí pueden ser plenamente eficientes como método de trabajo para estudiar problemas complejos, donde las consecuencias posibles conduzcan a costes de incertidumbre muy elevados.

4. COMENTARIOS FINALES

La aportación de los Ingenieros a la Medicina, desde un punto de vista estrictamente técnico, está fuera de toda duda. La radiología, los electroencefalogramas, los electrocár-

diogramas o las operaciones a corazón abierto serían impensables sin la colaboración de la técnica, para construir y mejorar los aparatos necesarios. Además de esta aportación a la mecanización y enriquecimiento de instrumentos de diagnóstico y tratamiento, la colaboración de los ingenieros en la organización de los servicios hospitalarios, al control de costes y a la mejora de métodos ha contribuido a una mejor utilización de los recursos sanitarios y, en definitiva, a proporcionar un servicio médico más eficaz a la comunidad. Las dos experiencias presentadas en este trabajo son sugestivas de que esta colaboración puede ser relevante en problemas específicamente médicos, como la organización de una intervención quirúrgica o la construcción de modelos de decisión. La utilización de modelos matemáticos y la introducción del ordenador ofrecen enormes posibilidades de profundización conjunta en el conocimiento del cuerpo humano y de su patología y en el diseño de técnicas eficaces para tomar mejores decisiones en problemas médicos. En concreto, las técnicas de simulación están suministrando ya información enormemente valiosa sobre el comportamiento de determinados órganos humanos.

Deseamos profundamente que esta nueva faceta de la Ingeniería se desarrolle en los próximos años en nuestro país con éxito. Esta comunicación pretende contribuir, aunque sea en muy pequeña medida, a esta importante tarea.

REFERENCIAS

1. ASHFORD J. R. y N. G. PEARSON: «Who uses the Health Service and Why?», *Journal of Royal Statistical Society A*. Part. 3. 1970.
2. BETAQUE NE y GORRY: «Automating Judgemental Decision Making for a Serious Medical Problem», *Management Science*. Vol. 17. Núm. 8. 1971.
3. COOPER M. y A. CULYER: «Health Economics», *Penguin Modern Economics Reading* 1973.
4. FUCHS V. R.: «The Output of the Health Industry», *Milbank Memorial Fund Quarterly*. Volumen 44. 1966.
5. GORRY G. A. Y OTROS: «Decision Analysis as the basis for computeraided Management of acute renal failure», *The American Journal of Medicine*. Octubre 1973.
6. HENSCHKE U. K. y B. J. FLEIHINGER: «Decision Theory and Cancer Therapy», *Cancer*. Noviembre 1967.
7. MUSHKIN S. J.: «Health as investment», *Journal of Political Economy*. Vol. 70, páginas 129-57. 1962.
8. PEÑA D.: «Aplicación de la Teoría de la Decisión al Diagnóstico y Tratamiento Médico», Tesis Doctoral, E.T.S.I.I. de Madrid, 1976.
9. RAIFFA H.: *Decision Analysis*. Addison-Vesley. 1970.
10. RUBEL R. A.: «Decision Analysis and Medical Diagnosis and Treatment». Tesis Doctoral. Harvard. 1967.
11. SCHWARTZ W. B. Y OTROS: «Decision Analysis and Clinical Indgement», *The American Journal of Medicine*. Octubre 1973.
12. SMALLEY H. y J. FREEMAN: *Dirección y Organización de Clínicas y Hospitales*, Ibérica Europea de Ediciones. Madrid. 1970.
13. STAIB W. A. y R. T. SVHM: «The growth of Management Engineering in Hospitals», *Industrial Engineering*. Octubre 1974.
14. YAGLON A. M. y I. M. YAGLON: *Probabilité et Information*. Dunod. 1969.

EL AUTOR

Daniel Peña Sánchez de Rivera. Nació el 9 de junio de 1948.

Ingeniero Industrial (Promoción 114) por la E. S. I. I. de Madrid (1965-1970), es Diplomado en Sociología Económica por la Universidad de Madrid (1968-1971) y Graduado ITP. Universidad de Harvard. 1972.

Doctor Ingeniero Industrial con sobresaliente «cum laude» por la E. S. I. I. de Madrid, 1976.

Profesor de la E. S. I. I. de Madrid desde octubre de 1972, de Investigación Operativa (72/73, 73/74, 74/75), Teoría de Decisión (Cursos de Doctorado 74/75, 75/76 y Estadística (76/77, 77/78).

Profesor de la Escuela de Organización Industrial desde octubre de 1971. Actualmente, Director del Departamento de Métodos Cuantitativos e Informática de la E. O. I.

Becario IAESTE para Formación en Francia (verano 1969).

Beca de MEC de formación personal investigador, 1971.

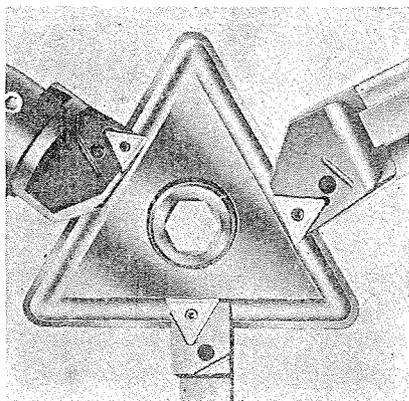
Becario IBM para estudios en su centro de Cálculo (1969/70).

Premio DYNA 1977.

¡MAYORES BENEFICIOS!

Obtenga una rentabilidad óptima en sus máquinas de tornear y mandrinar, con el sistema de herramientas de uso general VALENITE

El sistema de herramientas de uso general significa: robustez, gran precisión, herramientas standard, economía y suministro rápido, para todos los problemas de mecanizado en máquinas de tornear y mandrinar —convencionales o de control numérico— para cortes de ligeros a bastos, y trabajos de ranurar, roscar, perfilar y copiar.



Con las piezas adicionales standard se pueden fijar, con seguridad, los insertos de corte, valiéndose de un tornillo de fijación, o de una brida superior... o con ambos elementos..., y además, pueden utilizarse insertos de corte con rompervirutas sinterizado, o con rompervirutas mecánico. Usted puede elegir. Elija únicamente las piezas necesarias para cada uno de los problemas específicos de mecanizado.

Además, se tiene, que los insertos de corte, bridas, tornillos de brida, plaquitas de asiento y rompe-

virutas, están normalizados y son intercambiables a través de todo el programa de portainsertos y mandriles existentes. Un sistema de concepción clara, uniforme y de gran universalidad —y todo de serie—. Un sistema de fijación de inserto de diseño moderno; el tornillo de fijación oprime, hacia atrás y de una forma positiva y segura, el inserto de corte contra las dos caras de asiento del mismo. Las superficies de asiento están achafanadas para evitar el deterioro de las aristas de corte sin utilizar.

Si, adicionalmente, se montase una brida superior, entonces el inserto de corte no se movería lo más mínimo, incluso en los trabajos más complejos, en los que las fuerzas de corte actúan en diferentes direcciones.

Valenite facilita el proyecto de herramientas para máquinas de control numérico. El programador y el ingeniero de herramientas pueden elegir, directamente del catálogo VALENITE, herramientas con una precisión de $\pm 0,08$ mm. Gracias a los precios favorables de almacén, se disminuyen, perceptiblemente, los gastos de herramientas, tanto al equipar la máquina por vez primera, como al tener que reponer las mismas.

Infórmese; un catálogo de 72 páginas con el título: «SISTEMA DE HERRAMIENTAS DE USO GENERAL», le ofrece una vista general de todo el programa de herramientas de tornear, mandriles (fijos) y mandriles VARI-SET de cabezal de mandrinar recambiable y de diámetro regulable.