



TEMAS DE LA REFORMA ADMINISTRATIVA

INVESTIGACION OPERATIVA

001:65.011

Por SEBASTIAN FERRER MARTIN.

La Investigación Operativa (I.O.) constituye un excelente método para obtener información sobre la realidad de una actividad que se pretende mejorar. El especialista estadístico señor Ferrer describe en este trabajo el ámbito de aplicación de la I.O. y sus técnicas de trabajo más usuales.

I. CARACTERISTICAS GENERALES

ANTECEDENTES

La I.O. es un útil importante en toda reforma o planificación. La definición más difundida de la I. O. es la dada por los profesores Morse y Kimball: "Es un método científico que permite proporcionar a los dirigentes una base cuantitativa sobre las operaciones que se encuentran bajo su gobierno."

También se la define como "la ciencia de la preparación de las decisiones, la investigación científica que se desarrolla en un proceso considerado en su totalidad, con objeto de utilizarla para poder adoptar las decisiones más adecuadas a los fines que se persiguen".

La I.O., siempre que es posible, tiende a establecer sobre bases racionales y cualitativas la elección entre diferentes decisiones que se ofrecen al dirigente y la previsión de sus consecuencias.

En muchas cuestiones en que incluso el sentido común tradicional aconsejaba tomar decisiones en una determinada dirección, se ha podido comprobar que tal sentido común puede ser altamente engañoso. El Instituto Franklin, de Filadelfia, realizó a este respecto una serie de experimentos con armas navales para determinar hasta qué punto el sentido común basado en la experiencia personal, mejor diríamos impresión personal de los expertos, puede dar lugar a decisiones erróneas, y, en efecto, comprobó en múl-

tiples ejemplos que frecuentemente el sentido común conducía a preferencias que eran opuestas a la eficacia real.

La I.O. se aplicó inicialmente en el campo militar y ha llegado a ser un útil extremadamente fecundo de análisis en los campos más diversos.

Los trabajos de I.O. comenzaron en forma sistemática en 1940. El alto mando inglés hubo de enfrentarse con el grave problema de contener la proyectada invasión por los alemanes, que disponían de medios de ataque aéreo muy superiores a las defensas de Inglaterra.

El Estado Mayor inglés puso en manos de un equipo de seis hombres de ciencia el problema de lograr el aprovechamiento máximo del sistema de defensa británico.

Tras el éxito rotundo de este equipo de I.O., que puede considerarse como el primero que haya funcionado de una manera orgánica y definida, se estableció una serie de grupos de I.O. adscritos a diversas ramas de la actividad militar, que ocuparon a cerca de 400 hombres de ciencia procedentes de los más diversos campos de la investigación.

La analogía entre la organización militar y las grandes empresas de negocios e industriales es tan evidente, que en seguida se pensó en aplicar los principios de la I.O. al estudio de las actividades industriales, administrativas y gubernamentales y, en general, de organismos extensos y complejos en que existe la necesidad de suministrar a los altos dirigentes una base cuantitativa para tomar decisiones en los múltiples problemas que se les presentan.

En general, el servicio de I.O. está situado al lado de la Dirección General, a la que está agregado y a la que suministra sus informaciones, o cerca de los departamentos a los que debe servir.

F A S E S

Aunque la I.O. no puede tener soluciones prefabricadas, el método seguido muy frecuentemente es el siguiente:

- 1.° Fijar las variables que influyen en el problema.
- 2.° Determinar las unidades por medio de las cuales serán medidas las causas y sus efectos.
- 3.° Encontrar una relación entre causas y efectos y construir un modelo matemático.

Este modelo puede construirse con diversas hipótesis, puede ser una

función matemática en la hipótesis determinista de relación directa entre causa y efecto o puede ser una expresión estadística en la hipótesis probabilística de distribución al azar. También pueden utilizarse fórmulas empleadas en la resolución de problemas de la teoría de juegos cuando es preciso considerar las reacciones de un adversario teniendo en cuenta la posición adoptada por el otro, etc.

También se suelen considerar, en investigaciones de esta clase, las fases siguientes:

1. Estudiar cuál es el resultado que se pretende alcanzar.
2. Analizar la información de que se dispone.
3. Determinar las distintas formas de actuar.
4. Establecer el criterio para la selección de los distintos caminos a elegir.
5. Estudiar los posibles obstáculos a las formas de actuar.
6. Tomar una primera decisión.
7. Contrastar los resultados obtenidos con esta decisión.
8. Estudiar planes alternativos.
9. Asignar planes a posibles variaciones debidas a causas que no se pueden controlar.
10. Tomar la decisión final.

En muchos casos, si el problema es sencillo, basta con las seis primeras fases, es decir, hasta tomar la primera decisión.

EQUIPOS DE I.O.

Los Servicios de I.O. comprenden, en general, una plantilla de personal, relativamente reducida, compuesta especialmente de matemáticos, físicos, economistas y estadísticos, aparte de los especialistas del campo sobre el cual se vaya a resolver el problema.

Como ejemplos de la composición de equipos de investigación operativa, citaremos los dos siguientes:

GECO, New York, 18 personas:

- 2 matemáticos,
- 1 economista,
- 1 estadístico y
- 14 ingenieros.

A. D. LITTLE, Cambridge, 19 personas:

- 2 biólogos,
- 8 matemáticos,
- 1 ingeniero,
- 7 físicos y
- 1 economista.

El trabajo de los equipos se realiza decidiendo en común sus componentes la forma de abordar el problema para obtener las soluciones.

SOCIEDADES DE I.O.

En la actualidad existen Sociedades que agrupan a personas interesadas en la I.O. en distintos países. Estados Unidos cuenta con las Sociedades: "Operations Research Society of America", "Institute of Management Science" y "Society for the Advancement of Management". Independientemente de éstas, hay un cierto número de Sociedades privadas, la más conocida es la Sociedad "A. D. Little", de Cambridge y San Francisco, que ha realizado un centenar de estudios de I.O. por año. Esta Sociedad tiene ya, en esta rama, una experiencia de varios años.

Otras Empresas importantes tienen su servicio propio de I.O. Entre ellas: "General Electric Company", "Westinghouse Air Brake Cy", "Ford Motor", "International Harvester", "Kodak", "Motsanto Chemical Cy", "S.K.F.", "Sylvania Electric Products" y "Lever Brothers".

Francia cuenta con la Société Française de Recherche Opérationnelle"; Italia publica el *Bolletino de Ricerca Operativa*, y Austria la revista *Unternehmensforschung del Institut für Statistik*, de la Universidad de Viena.

Todas las Sociedades disponen de revistas que se dirigen a un público variado, compuesto de hombres de acción, que no rechazan la investigación metódica para obtener la decisión óptima, a la vez que a técnicos decididos a participar activamente en el progreso científico en su campo.

LA I.O. EN ESPAÑA

En España empieza a extenderse la I.O. en 1952, con las publicaciones *Nuevas aplicaciones de la Estadística: La Investigación Operacional*, por Sixto Ríos, e *Investigación Operativa*, del Patronato "Juan de la Cierva",

de Investigación Técnica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Actualmente ha alcanzado gran desarrollo la I.O. en España, y son bastantes los trabajos realizados. Recientemente, en el mes de mayo de 1957, se ha desarrollado un curso sobre "Aplicaciones de la Investigación Operativa a la Industria", organizado por el Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo, en colaboración con el Instituto de Investigaciones Estadísticas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y se ha creado después una Sección de Investigación Operativa en el Instituto de Racionalización del Trabajo.

La I.O. es, en el momento actual, en gran número de países, una disciplina a la que recurre gran número de Departamentos ministeriales, empresas industriales y comerciales, ya porque tengan su servicio de I.O. propio, ya porque utilicen Sociedades especializadas.

Es importante que la I.O. sea utilizada y difundida si se desea que nuestros ingenieros, funcionarios y científicos puedan desarrollar sus actividades en esta rama y sea colocada al servicio de nuestra economía.

II. TECNICAS DE I.O.

ENUMERACIÓN

Entre las técnicas que la I.O. utiliza, ocupan un lugar muy importante la Estadística Matemática y el Cálculo de Probabilidades.

La I.O. utiliza casi todas las ciencias, no solamente en sus modalidades tradicionales de aplicación, sino en su parte fundamental y teórica y sobre todo en sus principios básicos para investigar, apoyándose en ellas hasta lograr soluciones para los problemas planteados.

No enumeraremos todas las ciencias y técnicas que se pueden utilizar, pero sí citaremos algunas de ellas, como: Estadística Matemática, Técnica del Muestreo, Programación lineal, Teoría de juegos. Teoría de las colas y Teoría de la información.

ESTADÍSTICA MATEMÁTICA

No sólo es útil la Estadística para la descripción de los fenómenos mediante cuadros de números, medias, etc., reuniendo datos demográficos, económicos o de otra clase como fin único o como base para planificar, sino que hay otras muchas ramas de la Estadística de gran utilidad a la I.O.

En muchos problemas de I.O. se construyen modelos matemáticos que representan cuantitativamente el proceso o conjunto de operaciones en estudio, e interesa determinar valores que nos den un resultado óptimo, lo que se consigue con la ayuda de la Estadística Matemática.

Podemos, con ella, resolver problemas como los siguientes:

Fijar el rendimiento de un organismo de trabajo en cierto tiempo, teniendo en cuenta los costes, con el fin de que el coste total anual sea mínimo.

Si tenemos dos grupos de individuos de características análogas sometidos a distintos sistemas de trabajo y se examina el rendimiento de unos y otros, se obtiene un conjunto de medidas de rendimiento de un grupo y otro, y podemos decir cuándo los resultados son significativos de que los individuos de un grupo tienen un sistema de trabajo más eficaz que los del otro.

Análogamente, en Medicina podemos comparar la eficacia de dos tratamientos médicos; en Agricultura, dos métodos de cultivo, etc.

También resuelve la Estadística los problemas de correlación y regresión, que nos indican la dependencia que existe entre las variables en estudio; así, en Agricultura, relación entre abonos y cosechas; en Sociología, relación entre medios económicos de los padres y el número de hijos, etc.

Cuando se trata de predicciones, de todos son conocidas las aplicaciones a los Seguros en que, sobre la base de tablas especiales, se predice en el futuro el número de accidentes de cierto tipo, y, en Demografía, la predicción del número de habitantes en poblaciones futuras.

La Estadística proporciona métodos de inspección estadística para determinar, sin examinar cada uno de los elementos de un grupo, si éstos reúnen ciertas condiciones, con la ayuda de la técnica del Muestreo.

No nos vamos a extender a enumerar todos los problemas que resuelve la Estadística ni citar los campos a que se extiende, pero sí recordaremos que no se limita actualmente a la explotación de los datos económicos, sociológicos y demográficos, sino que ha extendido su campo de aplicación a todas las investigaciones en que el gran número de factores de variación que intervienen exigen la aplicación de una técnica basada en la teoría de probabilidad.

TÉCNICA DEL MUESTREO

En gran número de problemas de I.O. es necesario estimar ciertos valores de los elementos de un conjunto teniendo datos únicamente de parte de ese conjunto, problema éste que resuelve la Técnica del Muestreo, ayudada por la teoría de la estimación.

Muestreo es el proceso mediante el cual se selecciona una muestra, que es una parte o grupo seleccionado de un conjunto.

Un investigador de I.O. debe estar familiarizado con los distintos métodos de muestreo.

Entre los métodos de muestreo citaremos algunos como los siguientes: irrestrictivamente aleatorio, estratificado, sistemático, sistemático estratificado, polietápico, por conglomerados o por áreas, polifásico, repetido o sucesivo y de poblaciones móviles.

SISTEMAS DE INSPECCIÓN

Las muestras constituyen la base de distintos sistemas de inspección. Y los equipos de I.O. deben realizar en el transcurso de sus trabajos abundantes inspecciones.

Entre los distintos tipos de inspecciones tenemos:

Inspección corriente o por muestreo.—En la inspección corriente se saca una muestra del grupo o conjunto y sobre la base de una completa inspección de esta muestra se juzga al conjunto.

Gráficos de inspección de calidad.—Aplicada a la industria con gran amplitud la inspección estadística de la calidad, puede aplicarse también a inspecciones de personal, material, etc., ajenos a la industria.

Por medio de los gráficos de inspección, podemos registrar el rendimiento del personal, por las unidades de trabajo o la calidad de los productos fabricados.

INSPECCIÓN SUCESIVA

Como dato curioso, diremos que en los meses de marzo y abril de 1943, A. Wald ideó el análisis sucesivo para utilizarlo en los trabajos de mejora de los equipos militares y navales y en problemas análogos de investigación bélica. La utilidad de la inspección sucesiva al facilitar conclusiones dignas de confianza, extraídas de un mínimo de datos, fué considerada motivo suficiente para que este análisis se calificara de “restringido” en la terminología de la ley de Espionaje en Estados Unidos. No obstante, el Ejército, la Marina y la “Oficina de Investigaciones y Progresos Científicos” la introdujeron en varios miles de establecimientos industriales como base para la inspección, que dió por resultado una amplia demanda de información sobre

ello. Accediendo a peticiones de representantes de la Oficina de Producción de Guerra, del Ejército y de la Marina, quedó suprimido el calificativo de “restringido” en el mes de mayo de 1945, extendiéndose a inspecciones en los campos más diversos.

INSPECCIÓN DEL TRABAJO

El estudio de las interrupciones en el trabajo o períodos de inactividad tiene gran interés, porque permite conocer, y a ser posible eliminar, las causas a que obedecen esas interrupciones.

Si esta inspección se lleva a cabo mediante el cronómetro, el procedimiento es costoso, además de laborioso, y por este motivo se determinan estas interrupciones mediante la aplicación del muestreo estadístico.

Tippet fué el primero que trató de medir estas interrupciones mediante el muestreo, sin emplear el cronómetro, indicando solamente si en el momento de hacer la observación se está trabajando o no, e indicando las causas de la inactividad, ya que la cifra que indica el porcentaje de observaciones que han registrado la operación en estado de inactividad se aproxima a la cifra que indica el porcentaje de tiempo que ha estado en dicho estado, cuando el número de observaciones es suficientemente grande.

Para medir el número de inactividades, podemos aplicar distintos tipos de muestreo. Juzgaremos cuál de ellos es el más conveniente, estudiando previamente la población de la que vamos a extraer la muestra.

La importancia de medir las inactividades y buscar sus causas es de todos conocida, pero podemos citar un caso significativo. En un hospital se estudiaron las inactividades de las enfermeras en su cometido, y se comprobó que todas eran debidas a los trámites administrativos. Después de encomendar éstos a un empleado para que los cursara rápidamente, el rendimiento de las enfermeras aumentó el 100 por 100.

PROGRAMACIÓN LINEAL

Hace unos doce años se inició en Estados Unidos el estudio de problemas conocidos con el nombre de “linear programming”. Un problema de programación lineal consiste en hallar el máximo o mínimo de una función lineal de varias variables, cuando estas variables están sujetas a condiciones expresadas mediante desigualdades lineales, es decir, inecuaciones lineales.

La técnica de la programación lineal es la destinada a desempeñar un papel extremadamente importante en las planificaciones macroeconómicas, y el país que utilice esta técnica estará en mejor posición para dirigir su política de planificación nacional y determinar la política económica más adecuada.

La programación lineal nació en el campo de la administración racional de empresas, ya que es aquí donde se plantea más frecuentemente el problema de tomar decisiones para elegir un programa de acción que haga máximas o mínimas ciertas magnitudes, como costo, tiempos, etc., estando limitada la elección por ciertas condiciones, como capacidad del lugar de trabajo, disponibilidad de capital, etc.

Cuando es pequeño el número de factores o variables que entran en el problema, son simples las relaciones que ligan dichos factores, y éstas tienen pocas limitaciones que deben satisfacer, por lo cual es relativamente fácil decidir apoyándose en la experiencia. Pero en empresas complejas y amplias es necesario un método de cálculo que permita llegar a la decisión óptima compatible con las circunstancias de cada caso concreto. La programación lineal resuelve este problema por elección entre todos los programas realizables, compatibles con las limitaciones.

Son muchos los problemas resueltos por aplicación de la programación lineal, entre ellos, por ejemplo: determinar un régimen alimenticio adecuado que tenga coste mínimo; obtener la mezcla más económica de distintas gasolinas de aviación; determinar la forma de realizar ciertos trabajos de modo que sea máxima la productividad, etc.

TEORÍA DE JUEGOS

Esta teoría de juegos de estrategia se aplica, como su nombre indica, a problemas donde hay que tener en cuenta las posibles acciones de un enemigo o competidor.

En 1928, von Neumann fué el primero en dar un método relativo a estos problemas y establecer el principio del "minimax", que permite tomar decisiones en ellos.

En I.O. se llega frecuentemente a problemas en los que es posible ejecutar diversas acciones, pero de las cuales hay que decidirse a tomar una. La teoría de juegos da una base para tomar esa decisión, teniendo en cuenta las consecuencias de las acciones, que dependen no solamente de cada acción, sino también de las elegidas por el adversario.

Por ejemplo: puede tratarse de una situación análoga a la del llamado

“duelo silencioso”, donde los adversarios disponen cada uno de una pistola silenciosa, con una sola bala, de forma que ninguno de los dos sabe si el otro ha tirado, y se puede determinar una buena estrategia para cada uno de los adversarios.

Pueden ser cuatro unidades de fuerzas a las que se oponen tres unidades, pudiendo las primeras colocarse en tres posiciones distintas, se podrá determinar la probabilidad de éxito al tomar cada una de esas tres decisiones y deducir qué estrategia debe ser adoptada.

Puede tratarse de un comerciante que intenta vender su mercancía al público y puede hacerlo en los lugares A, B y C; el público se encuentra corrientemente en A, pero puede desplazarse a B y C; teniendo en cuenta costes de desplazamientos y precios del artículo que vende, se puede determinar la mejor estrategia para el vendedor. Etc.

Cuando se trata de cuestiones militares, se puede considerar una situación táctica como un “juego”, en el que cada uno de los ejércitos contrarios es un jugador.

En las situaciones estratégicas, los jugadores están representados por la totalidad de las fuerzas nacionales o por las naciones.

Análogamente, en el campo económico o en otro donde exista competición, hay un “juego”.

La teoría de juegos constituye una ayuda importante para los equipos de I.O.

TEORÍA DE LAS COLAS

Estos problemas aparecen cuando se presentan sucesivamente acciones, individuos, vehículos o cualquier otra clase de elementos y, a medida que van llegando, ocupan a quienes les atienden, personas, máquinas, etc., con lo cual forman una cola, donde aguardan a que les llegue el turno.

La mayor parte de la teoría de las colas se refiere a problemas de comunicaciones telefónicas, de circulación y de alimentación y avería de máquinas.

En toda cola pueden existir los elementos siguientes: usuarios, lugar de servicio, proceso de entrada, cierta disciplina en la cola y un mecanismo de servicio.

Utilizando la probabilidad de que un nuevo usuario llegue a la cola en un intervalo de tiempo determinado y la probabilidad de que se marche uno por haber sido servido y teniendo en cuenta los tiempos de espera, se puede determinar el comportamiento de la fila.

Son muchos los problemas en que los equipos de I.O. han utilizado la teoría de las colas, entre ellos, los de aterrizaje de aviones, despachos de aduanas, paso de peatones, coordinación de semáforos luminosos, aprovisionamiento de máquinas, carga y descarga de barcos, planificación de horarios de lugares públicos, etc.

TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

Aparece la teoría de la información en 1948, con la publicación de los artículos de Claude Shannon en el *Bell System Technical Journal*, bajo el título "Una teoría matemática de las comunicaciones".

El modelo que estudia esta teoría comprende cinco elementos sucesivos en el orden siguiente: la fuente, el transmisor, la línea, el receptor y el destinatario; y un sexto elemento, el ruido, ligado a la línea.

La fuente es el proceso, persona o cosa que produce los mensajes. El transmisor es el equipo que liga la fuente con la línea; esta acepción del término es más general que la empleada corrientemente. La línea es la parte del sistema de comunicación encargado del transporte del mensaje. El receptor es el equipo que liga la línea y el destinatario; esta acepción, como dijimos en el transmisor, es más general que como se usa corrientemente. El destinatario es el último eslabón de la cadena, y puede ser una persona o una máquina.

En toda comunicación existe cierta perturbación que tiene por efecto alterar el mensaje transmitido de una forma que no es posible prever; esto es lo que se llama "el ruido". El ruido existe en cada uno de los eslabones de la cadena citada, pero sólo se tiene en cuenta en la línea casi siempre, por ser parte donde la energía del mensaje es más débil.

El sistema que acabamos de ver es muy general y muy grande el número de procesos de comunicación que podemos considerar.

Aparte de que la mayoría de los procesos de comunicación son de todos conocidos, podemos considerar un ejemplo; si se trata de un oficio o de una orden escrita de un jefe de un organismo a otro, tendríamos:

Fuente: el jefe que dé la orden.

Transmisor: el secretario o mecanógrafo escribiendo.

Línea: el motorista que lleve la orden u otro empleado.

Receptor: secretario o empleado que recoge la orden.

Destinatario: la persona a la que se dirige la orden.

En este ejemplo, el ruido puede ser atribuido a todos los accidentes imprevistos o paradas que efectúe el motorista.

La teoría de la información reemplaza cada uno de los elementos de la cadena descrita por un modelo matemático, reproduciendo su comportamiento global y estudiando sus interacciones, proporciona teoremas generales aplicables a procesos del mismo esquema.

La forma en que la teoría de la información da conclusiones para los distintos sistemas de comunicación, a partir del estudio de modelos matemáticos abstractos, es análoga a la que se sigue en otras ciencias.

Puede estudiar la teoría de la información el máximo de información que puede transmitir un sistema y aplicarlo en campos muy diversos.

No nos extendemos más sobre las técnicas que utiliza la I.O., pues ello haría este trabajo excesivamente largo, y aunque aún quedan algunas que no hemos citado, se puede ver con lo dicho la posibilidad de aplicar a la Administración la I.O., o aisladamente cada una de las técnicas de que se sirve y la conveniencia de que existan en algunas de las Secretarías Técnicas equipos de Investigación Operativa.

Del presente trabajo sobre "Investigación operativa" se han editado quinientos ejemplares en tirada aparte, que pueden solicitarse a "Documentación Administrativa", Trafalgar, 29, teléfono 23 05 02, al precio de tres pesetas ejemplar.