

## INVESTIGACION DE MERCADOS

Véase MERCADOS, INVESTIGACIÓN DE.

## INVESTIGACION OPERATIVA

Las raíces de la «investigación operativa» (a la que se denomina corrientemente IO) se remontan como mínimo a la revolución industrial, que trajo consigo la mecanización de la producción, de la generación de energía, del transporte y de las comunicaciones. Las máquinas reemplazaron a los hombres como fuente de energía y posibilitaron el desarrollo de los grandes complejos industriales, militares y gubernamentales que conocemos hoy en día. Estos avances iban acompañados por la continua subdivisión de la gestión o administración industrial, comercial, militar y gubernamental, en funciones cada vez más y más especializadas que llegaron a producir el tipo de estructura de múltiples niveles que caracteriza a la mayoría de las organizaciones de nuestra cultura.

Según iba apareciendo cada nuevo tipo de gestor o administrador especializado, se creaba una nueva rama especializada de ciencia o ingeniería aplicada para suministrarle ayuda. Así, p. ej., en la industria este proceso comenzó con la aparición de la ingeniería mecánica y química al servicio de la administración de la producción y ha continuado en tiempos más recientes con el desarrollo de especialidades como la ingeniería industrial, el análisis de valor, el control estadístico de la calidad, la psicología industrial y la ingeniería humana. Hoy en día, por muy especializado que esté un gerente, siempre tendrá disponible un tipo adecuado de ciencia o ingeniería aplicada.

Siempre que se crea un nuevo grado de administración, se crea en el nivel inmediatamente superior una nueva función administrativa, la del *ejecutivo*. La función del ejecutivo consiste en la coordinación e integración de las actividades de las diversas unidades organizativas, de forma que sirvan a los intereses de la organización considerada globalmente, o al menos a los intereses de la unidad en la que se encuentra. La importancia de la función del ejecutivo ha aumentado de manera constante con el incremento del tamaño y de la complejidad de las organizaciones industriales, militares y gubernamentales.

La función del ejecutivo en los negocios y en la industria se ha desarrollado gradualmente. A diferencia de, p. ej., el gerente de producción, el ejecutivo no se encontraba sometido a los violentos estímulos de la nueva tecnología. En consecuencia, el ejecutivo «creció» con sus problemas, que le parecían necesitar para su solución nada más que un buen criterio basado en experiencias pasadas pertinentes. El ejecutivo, por tanto, no sintió ninguna necesidad de una forma científicamente más rigurosa de enfocar sus problemas. No obstante, crecieron sus necesidades de tiempo y buscó ayuda en los que tenían más tiempo y más experiencia para los problemas con los que se enfrentaba. Esta necesidad fue la que dio lugar a la aparición de las consultas administrativas o de gestión en los años veinte. Sin embargo, la consulta de gestión se basaba en la experiencia y en el juicio cualitativo más que en la experimentación o en el análisis cuantitativo. La función del ejecutivo estuvo privada de instrumentos científicos hasta la segunda guerra mundial.

La gran diferencia entre el desarrollo de los ejecu-

vos militares y los correspondientes ejecutivos industriales debe hallarse en el lapso de 20 años transcurrido entre el final de la primera guerra mundial y el comienzo de la segunda.

Como había pocas oportunidades de utilizar la tecnología militar en condiciones de combate durante este periodo, esta tecnología se desarrolló con demasiada rapidez para ser absorbida eficazmente por las tácticas y la estrategia militar. Por tanto, no debe sorprendernos que los ejecutivos militares ingleses recurrieran a la ayuda de los científicos cuando comenzó el ataque aéreo alemán sobre Inglaterra. En principio buscaron ayuda para incorporar el entonces recién descubierto radar a las tácticas y a la estrategia de la defensa aérea. Durante 1939 y 1940 pequeños equipos de científicos, procedentes de cualquier rama en que los hubiera, trabajaron sobre estos problemas con bastante éxito. Dicho éxito engendró nuevas demandas de sus servicios, y su empleo se amplió a los países aliados de Inglaterra: Estados Unidos, Canadá y Francia. Estos equipos de científicos se asignaban normalmente al ejecutivo responsable de las operaciones, y su trabajo vino a conocerse en el Reino Unido como «investigación operativa» y en Estados Unidos con gran número de denominaciones: investigación de operaciones, análisis operativo, evaluación operativa, análisis de sistemas, evaluación de sistemas y ciencia de la dirección. El nombre «investigación operativa» es el más utilizado en Estados Unidos.

Al final de la guerra sucedieron cosas muy diferentes con la IO en Inglaterra y en Estados Unidos. En la primera, se redujeron los gastos de investigación para la defensa. Esto llevó al despido de numerosos trabajadores de IO del ejército, precisamente cuando los gerentes industriales se encontraban con la necesidad de reconstruir gran parte de las instalaciones fabriles inglesas que habían resultado dañadas durante la guerra y de actualizar el equipo anticuado. Además, el Partido Laborista británico, que había ocupado el poder, comenzó la nacionalización de varias industrias principales y básicas. Los ejecutivos de esas industrias buscaron y obtuvieron la ayuda de los hombres de la IO licenciados del ejército. Las industrias del carbón, hierro y acero, transporte y otras muchas comenzaron a crear una IO industrial.

A diferencia de Gran Bretaña, la investigación para la defensa en Estados Unidos aumentó al final de la guerra. Como consecuencia, la IO militar se amplió y la mayor parte de los especializados en IO durante la guerra siguieron trabajando para el ejército. Los ejecutivos industriales no pidieron ayuda, ya que estaban volviendo al modelo familiar de tiempos de paz, que no representaba ninguna gran reconstrucción de instalaciones ni nacionalización de la industria.

No obstante, a final de los años cuarenta comenzó a estar disponible el ordenador electrónico, que ofreció al gerente industrial la posibilidad de automatización, es decir, de sustitución del hombre por máquinas en las funciones de control. El ordenador hizo asimismo posible que un solo hombre controlase de forma efectiva actividades a gran escala y ampliamente diseminadas gracias a su capacidad de procesar grandes cantidades de datos con exactitud y rapidez. Encendió la chispa que habría de iniciar lo que se ha denominado a veces segunda revolución industrial. Con el fin de explotar la nueva tecnología de control, los gerentes industriales comenzaron a recurrir a los científicos para

que les ayudasen, como ya habian hecho antes lo militares. Absorbieron a los trabajadores de IO que consiguieron escapar de los militares y animaron a las instituciones académicas a educar más hombres para trabajar en este campo.

En un plazo de 10 años habia al menos tantos trabajadores de IO en las organizaciones académicas, gubernamentales e industriales como en el ejército. Más de la mitad de las grandes empresas de Estados Unidos han utilizado o utilizan IO y hay ahora unos 4.000 trabajadores de IO en el país. En 1953 se fundó una sociedad nacional, la Operations Research Society of America. Otras naciones siguieron el ejemplo y en 1957 se creó la Federación Internacional de Sociedades de Investigación Operativa. Comenzaron a aparecer gran cantidad de libros y revistas sobre el tema en gran número de idiomas. Tanto en Estados Unidos como en otros países comenzaron a proliferar los cursos y planes de estudios superiores de IO.

En resumen, después de un vigoroso crecimiento en el ejército, la IO comenzó su segundo decenio con un continuo crecimiento en el campo militar y un crecimiento todavía más rápido en el de las organizaciones industriales, académicas y gubernamentales.

**Características esenciales de la IO.** Las características esenciales de la IO son su orientación de sistemas (o ejecutiva), su empleo de equipos de personas provenientes de distintos campos y su metodología.

**Enfoque de sistemas para los problemas.** El enfoque de sistemas para los problemas se basa en la observación de que, en sistemas organizados, el comportamiento de cualquiera de las partes tiene algún efecto, antes o después, en el rendimiento de cualquiera de las otras partes. No todos estos efectos son significativos o ni siquiera es posible detectarlos. Por tanto, la esencia de este método se encuentra en la búsqueda sistemática de interacciones significativas en la evaluación de acciones o formas de actuar en cualquier parte de la organización. El empleo de este conocimiento permite la evaluación de acciones y procedimientos en términos de la organización considerada globalmente, es decir, de su efecto global.

Esta manera de enfocar los problemas organizativos es radicalmente opuesta a la que se basa en «reducir el tamaño del problema». Los trabajadores de IO casi siempre aumentan el alcance del problema que se les presenta tomando en cuenta las interacciones que no se incluyeron en la formulación inicial del mismo. Hay que crear nuevos métodos de investigación para tratar estos problemas ampliados y más complicados. Los analizaremos a continuación.

Como muestra del enfoque de sistemas a los problemas organizativos, tomemos en consideración el caso de una empresa que tiene cinco plantas que transforman una materia natural en materia prima y 15 plantas de acabado que utilizan esta materia prima para fabricar los productos vendidos por la empresa. Las plantas de acabado se encuentran muy distantes unas de otras y tienen diferentes capacidades para fabricar una gran variedad de productos acabados. Ninguna planta de acabado puede fabricar por sí sola toda la gama de productos, pero se puede fabricar cualquiera de los productos en más de una planta.

Cada año se gastan millones de dólares en transportar la producción del primer grupo de plantas al segundo. Por tanto, el problema que la gerencia presentó a un equipo de IO era cómo asignar la producción de las

plantas de materias primas a las de acabado para reducir al mínimo los costes totales de transporte entre las plantas. Formulado así, se trata de un problema bien definido, completo en sí mismo, para el que puede lograrse una solución directa mediante el empleo de una de las técnicas de IO, la programación lineal. [Véase PROGRAMACIÓN.]

En las fases iniciales de su trabajo los trabajadores de IO observaron que mientras todas las plantas de materias primas funcionaban a plena capacidad, no ocurría lo mismo con ninguna de las plantas de acabado. Se preguntaron si los costes de producción por unidad en las plantas de acabado variaban con el porcentaje de la capacidad empleada. Encontraron que así era, así como que los costes variaban de distinta forma en cada planta. Como resultado de esta indagación, se volvió a formular el problema original para que incluyese no solo los costes de transporte, sino también los aumentos del coste de producción derivados de transportar a una planta de acabado menos material del que se necesita para el funcionamiento a pleno rendimiento. Al solucionar este problema ampliado, se encontró que el incremento de los costes de producción superaba los costes del transporte y que una solución del problema original (según lo había formulado la gerencia) habría producido un incremento de los costes de producción que superaría el ahorro de costes de transporte.

Los trabajadores de IO se preguntaron luego si el aumento de los costes de producción derivado de la capacidad ociosa dependía de la manera en que se planificaba la producción, y descubrieron que sí. En consecuencia, se comenzó otro estudio relacionado con el anterior en un intento de determinar cómo planificar la producción en cada planta de acabado para reducir al mínimo el aumento de los costes por unidad de producción derivado de la capacidad no utilizada. Durante el transcurso de este estudio de planificación de la producción quedó claro que los costes de producción dependían del volumen de existencias de productos semiacabados. Se emprendió, pues, otro estudio para determinar en qué momento del proceso debían mantenerse existencias de semiacabados y cuál debía ser su cuantía. Eventualmente, hubo que tomar asimismo en consideración el coste de transporte de los productos acabados hasta los clientes.

En la secuencia de estudios descritos brevemente, no fue necesario esperar a que estuvieran todos completos antes de que se pudieran aplicar los resultados del primero. Se aplicaron inmediatamente soluciones a cada parte del problema total porque se habían tomado precauciones para no perturbar otras operaciones. Con cada hallazgo sucesivo se reajustaron de manera adecuada las anteriores soluciones. Se hizo eventualmente algún cambio en cada aspecto de las actividades de la organización, pero con la mirada puesta en su efecto global. Esta es la esencia del enfoque de sistemas a los problemas organizativos.

**El equipo interdisciplinario (formado por distintos especialistas).** Aunque la división del campo del conocimiento científico en materias específicas es un fenómeno relativamente reciente, estamos ya tan acostumbrados a clasificar el conocimiento científico de forma que corresponda o bien a la estructura de departamentos de las universidades o a la organización profesional de los científicos, que actuamos con frecuencia como si la naturaleza se encontrase estructurada de la misma ma-

nera. Sin embargo, rara vez nos encontramos con problemas puramente físicos, puramente psicológicos, puramente económicos, etc. Hay solo problemas; las disciplinas científicas representan simplemente distintas formas de enfocarlos. Casi todos los problemas pueden verse con los ojos de cualquier disciplina, pero, por supuesto, no siempre resulta útil.

Si queremos explicar un coche aplastado por una locomotora en un paso a nivel, p. ej., podríamos hacerlo en términos de las leyes del movimiento, del fallo de ingeniería de los dispositivos de aviso, del estado de salud física o mental del conductor, del uso social de los automóviles como instrumento de suicidio, etc. La forma en que enfocamos los problemas depende de nuestros propósitos al hacerlo. Un ingeniero de caminos y un profesor de conducir lo verían de forma totalmente distinta.

Aunque la experiencia indica una forma útil de enfocar los problemas con los que estamos más familiarizados, tenemos la tendencia a tratar las situaciones no conocidas y complicadas en la forma que nos es más familiar. No es, pues, sorprendente que, dado el problema, p. ej., de aumentar la productividad de una instalación fabril, un psicólogo de personal trate de seleccionar los mejores trabajadores o de mejorar la preparación que reciben los obreros. Un ingeniero mecánico intentará mejorar la maquinaria. Un ingeniero industrial tratará de mejorar el trazado de la planta, simplificar las operaciones efectuadas por los obreros u ofrecerles incentivos más atractivos. El analista de sistemas y procedimientos intentará mejorar el flujo de información que entra y sale de la planta, y así sucesivamente. Todos ellos pueden producir mejoras, pero ¿cuál es la mejor? En el caso de problemas complicados rara vez lo podemos saber por adelantado. Resulta, por tanto, conveniente considerar y evaluar una gama de enfoques del problema tan amplia como sea posible. La IO ha aumentado mucho nuestra capacidad para enfrentarnos con todas las complejidades y enfoques de un problema dado y, por tanto, ha incrementado nuestras oportunidades de beneficiarnos del empleo de equipos de distintos especialistas para resolver problemas.

Como se han identificado más de 100 disciplinas científicas, puras y aplicadas, está claro que no es posible integrarlas todas en la mayoría de los proyectos de investigación. Pero en la IO se utilizan tantas materias diferentes como sea posible, y el trabajo del equipo se ve sometido a una revisión crítica de tantas de las disciplinas no incluidas en el equipo como sea posible.

**Metadología.** La experimentación se encuentra en el núcleo del método científico, pero está claro que el tipo de sistema organizado sobre la base hombre-máquina del que se ocupan los gerentes de la industria, del ejército y del gobierno no puede llevarse nunca a un laboratorio, y solo raras veces pueden manipularse dichos sistemas en su medio ambiente natural lo bastante para experimentar con ellos en el mismo. En consecuencia, el trabajador de IO se encuentra en la misma posición que el astrónomo y sale de sus dificultades de una manera muy parecida a la de este. Si no puede manipular el propio sistema, construye una representación del mismo, un modelo que pueda manipular. En la IO dichos modelos son representaciones abstractas (simbólicas) que pueden resultar muy complicadas desde el punto de vista matemático. No obstante, desde el punto de vista lógico son bastante sencillas. En ge-

neral, adoptan la forma de una ecuación en la que el rendimiento del sistema,  $P$ , se expresa en función,  $f$ , de un conjunto de variables controladas,  $C$ , y un conjunto de variables no controladas,  $U$ :

$$P = f(C, U).$$

Las variables controladas representan los aspectos del sistema que puede manipular la gerencia (p. ej., cantidades de producción, precios, gama de líneas de la producción, etc.). A dichas variables se las denomina con frecuencia variables de decisión, ya que la adopción de decisiones por la gerencia puede considerarse una asignación de valores a dichas variables. Las variables no controladas representan aspectos de un sistema y de su medio que afectan al rendimiento del sistema significativamente, pero que no están bajo el control de la gerencia (p. ej., la demanda del producto, los precios de los competidores, el coste de la materia prima y la localización de los clientes).

La medida del rendimiento del sistema puede ser muy difícil de construir, ya que debe reflejar la importancia relativa de cada objetivo perteneciente a la organización. Esta medida se denomina algunas veces criterio o función objetiva, ya que suministra la base para seleccionar la forma «óptima» o «mejor» de actuación.

Pueden imponerse limitaciones o restricciones a los posibles valores de las variables controladas. Así, p. ej., al preparar un presupuesto se pone normalmente una limitación a la cantidad total que puede asignarse a los diferentes departamentos, o puede haber restricciones legales a las actividades de decisión de los gerentes. Estas restricciones pueden expresarse corrientemente como ecuaciones o desigualdades e integrarse en el modelo.

Una vez que se han representado mediante un modelo matemático las elecciones del responsable de las decisiones, el investigador debe hallar un conjunto de valores de las variables controladas que de el mejor rendimiento (o el más aproximado) del sistema. Estos valores «optimizadores» pueden encontrarse bien experimentando en el modelo (es decir, por *simulación*) o bien mediante el análisis matemático. En cualquier caso, el resultado es un conjunto de ecuaciones, uno para cada variable controlada, dando el valor de la misma, en relación con un conjunto determinado de valores de las variables no controladas y otras controladas, que da el mejor rendimiento del sistema considerado globalmente. [Véase SIMULACIÓN.]

Si el problema se repite periódicamente, los valores de las variables no controladas (p. ej., la demanda) pueden variar de un periodo de decisión a otro. En dichos casos, debe asimismo suministrarse un procedimiento para determinar cuándo los valores de las variables incontroladas han sufrido un cambio significativo para reajustar la solución adecuadamente. Este procedimiento se denomina sistema de control de solución.

El producto de un estudio de IO consiste normalmente en un conjunto de reglas para determinar los valores óptimos de las variables controladas, junto con un procedimiento para comprobar de manera continua los valores de las variables incontroladas. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que un solo estudio, unificado y amplio, de IO rara vez es posible en una organización de tamaño apreciable. En vez de ello, lo que suele ocurrir es una secuencia de estudios interrelacionados, cada uno de los cuales se ha diseñado para que se pueda ajustar a los resultados de los otros.

Diez años de construcción y trabajo con modelos de problemas de gerencia en la industria han mostrado que, a pesar de no haber nunca dos problemas cuyo contenido sea exactamente idéntico, la mayoría se ajustan a un tipo básico, o a una combinación de tipos cuyo número es muy limitado. Estos tipos de problemas se han estudiado ampliamente, de forma que hoy en día poseemos un considerable conocimiento acerca de cómo construir y resolver modelos que resulten adecuados. Las definiciones apropiadas de estos tipos de problemas requieren más espacio del que tenemos disponible, pero las siguientes breves caracterizaciones indican su naturaleza.

**Problemas de existencias.** Determinan la cantidad que se debe adquirir de un recurso o la frecuencia de su adquisición cuando se penaliza el tener demasiado (o demasiado poco) disponible.

**Problemas de asignación.** Determinan la asignación de recursos a un número de trabajos en los que los recursos disponibles no permiten que cada trabajo se lleve a cabo de la mejor forma posible de manera que se efectúen todos los trabajos (o tantos como se pueda) y se consiga el mejor rendimiento global, dados unos criterios para medir el rendimiento.

**Problemas de colas.** Determinan la cantidad de servicios necesarios, o cómo programar la llegada de tareas a los servicios de forma que se reduzcan al mínimo las pérdidas relacionadas con servicios ociosos, con el tiempo de espera y con la escasez de servicio.

**Problemas de secuencias.** Determinan el orden en que debe efectuarse un conjunto de tareas en una instalación de etapas múltiples de forma que se reduzcan al mínimo los costes correspondientes al rendimiento de las tareas y a los retrasos en completarlas.

**Problemas de rutas.** Determinan qué trayectoria o ruta a través de una red de puntos o localizaciones es la más corta (o la más larga), tiene capacidad máxima (o mínima) o es menos (o más) costosa de recorrer, dentro de ciertas limitaciones en relación con las trayectorias o rutas permitidas.

**Problemas de reposición.** Determinan cuándo hay que reponer los instrumentos, herramientas o instalaciones de manera que se reduzcan al mínimo los costes de adquisición, mantenimiento, funcionamiento y fallos.

**Problemas de competencia.** Determinan la regla que debe seguir un responsable de la adopción de decisiones para conseguir los mejores resultados cuando las consecuencias de su decisión dependen en parte de decisiones tomadas por otros.

**Problemas de búsqueda.** Determinan la cantidad de recursos a emplear y cómo asignarlos en la búsqueda de información que debe utilizarse para un fin determinado de manera que se minimicen los costes relacionados con la búsqueda y con los errores que pueden derivarse del uso de información incorrecta.

**El futuro de la IO.** La IO se ha ocupado primordialmente de la toma de decisiones por los ejecutivos o del proceso de control. Existen, por supuesto, otros enfoques para mejorar el rendimiento de las organizaciones (p. ej., seleccionando el mejor personal, proporcionándole mejor entrenamiento o una mejor motivación, acelerando sus operaciones mediante el estudio del trabajo, cambiando el equipo y los materiales, modificando las comunicaciones, cambiando la estructura organizativa). Esta multiplicidad de enfoques disponibles plantea al ejecutivo el problema adicional de seleccionar el enfoque a utilizar. Rara vez cuenta con una

base objetiva para hacerlo. Está claro que sería conveniente crear un enfoque integrado y amplio de las organizaciones que seleccione o combine racionalmente diferentes puntos de vista. La IO y otras investigaciones interdisciplinarias orientadas a los sistemas están avanzando en el desarrollo de dicho enfoque global para todos los problemas organizativos. Esto lleva a descripciones matemáticas de estructuras organizativas y sistemas de comunicaciones, proporcionando de esta forma la posibilidad última de integrar los estudios de la estructura organizativa, comunicación y control.

Se han encontrado ya soluciones precisas para algunos problemas limitados de la estructura organizativa. Así, p. ej., dados el objetivo global de una organización y una descripción de su tarea y medio ambiente, es posible determinar el número y tipos de unidades en que debería dividirse la organización y los objetivos a asignar a estas unidades con el fin de reducir al mínimo la ineficiencia que se deriva de la estructura de la organización. Se trata de un problema de diseño estructural. O, dada una organización que tenga una estructura ineficiente, es posible determinar los tipos de control descentralizado que deben aplicarse a la toma descentralizada de decisiones con el fin de reducir al mínimo la ineficiencia. Se trata de un problema de control estructural.

Estos avances están llevando a una teoría integrada y a una metodología generalizada de la investigación acerca de los sistemas organizados. Como, en cierto sentido, todos estos sistemas son sistemas sociales, la participación del científico social resulta fundamental en estos esfuerzos interdisciplinarios.

[A. L. C.]

RUSSELL L. ACKOFF

[Véase también SISTEMAS, ANÁLISIS DE.]

BIBLIOGRAFIA

- ACKOFF, RUSSELL L.; y RIVETT, PATRICK. 1963 *A Manager's Guide to Operations Research*. New York: Wiley.
- CHURCHMAN, CHARLES W.; ACKOFF, RUSSELL L.; y ARNOFF, E. LEONARD. 1957 *Introduction to Operations Research*. New York: Wiley.
- DUCKWORTH, WALTER E. 1962 *A Guide to Operational Research*. London: Methuen.
- EDDISON, R. T.; PENNYCUICK, K.; y RIVETT, B. H. P. 1962 *Operational Research in Management*. New York: Wiley.
- MILLER, DAVID W.; y STARR, MARTIN K. 1960 *Executive Decision and Operations Research*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Progress in Operations Research. Vol. 1. Edición dirigida por Russell L. Ackoff. Operations Research Society of America, Publication in Operations Research, No. 5. 1961 New York: Wiley.
- SASIENI, MAURICE; YASPAN, ARTHUR; y FRIEDMAN, LAWRENCE. 195 *Operations Research: Methods and Problems*. New York: Wiley.

INVESTIGACION Y DESARROLLO

- I. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INDUSTRIALES *Jacob Schmookler*
- II. FINANCIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL *Henry W. Rieck*

INVESTIGACION Y DESARROLLO INDUSTRIALES

En tanto que el término «investigación», en su acepción corriente, describe la búsqueda de nuevos conocimientos científicos o industriales y el de «desarrollo»: