

# El Análisis Factorial de Operaciones Industriales

## Una Contribución a la Investigación de Operaciones

*La Investigación de Operaciones es un método científico de proveer a los departamentos ejecutivos de bases cuantitativas para la formulación de decisiones acerca de las operaciones bajo su control y responsabilidad.\**

Por SAMUEL L. RODGERS

### Introducción

La característica predominante del desarrollo de la industria moderna es el continuo aumento en la complejidad de su estructura. Antes de la revolución industrial, la mayor parte de la industria se componía de pequeñas empresas, cada una dirigida por un jefe, quien desempeñaba todas las funciones administrativas. La mecanización de la producción redundó en un crecimiento tan rápido de las empresas industriales que resultó imposible que un hombre desempeñara todas las funciones administrativas. Consecuentemente, se llevó a cabo una división de esta función, surgiendo así los gerentes de producción, de ventas, de finanzas, de personal, y demás. Al progresar la mecanización, se repitió la subdivisión de funciones, hasta que, hoy en día, muchos administradores han dejado de tener contacto directo con las operaciones básicas de la actividad industrial, y se han convertido en administradores ejecutivos.

Durante este período de diferenciación y segmentación de la función administrativa, empezó a surgir y dejarse sentir una nueva clase de problemas administrativos que pueden llamarse de tipo ejecutivo. Estos problemas son la consecuencia directa de la división funcional de las labores de una empresa. En una organización, cada unidad funcional tiene a su cargo una parte de la totalidad, siendo necesaria cada parte para el desempeño de los objetivos generales de la organización. Sin embargo, una consecuencia de esta división de labores ha sido que cada unidad funcional tiende a desarrollar objetivos propios. Por ejemplo, el departamento de producción tiene como objetivo reducir al mínimo el costo de la producción y llevar al máximo su volumen; el departamento de ventas trata de bajar el costo unitario de la venta y aumentar en lo posible el volumen de las mismas, etc. Estos objetivos no son siempre consistentes; al contrario, están frecuentemente en conflicto entre sí, y es la finalidad de los ejecutivos resolver los problemas así creados, de manera tal que los objetivos departamentales y los de la empresa sean optimizados.

Con la aparición de los problemas ejecutivos, se creó la profesión de asesores administrativos. Estos asesores tratan de ayudar al administrador en la solución de sus problemas, aplicando para ello la experiencia tenida en situaciones simi-

lares. El método introducido consistió en observar los aspectos comunes a ciertos problemas ejecutivos y analizar las soluciones propuestas. De esta manera fue desarrollándose la ciencia de la investigación de operaciones, cuyas potentes técnicas lógico-matemáticas ponen al alcance de los directores de empresa y sus administradores la optimalización de todos los factores que intervienen en su actividad industrial. El aprovechamiento de una nueva ciencia depende de la facilidad con que puede ser entendida e interpretada por aquellos que se encargan de la marcha de una empresa e, indiscutiblemente, la naturaleza matemática de la investigación de operaciones ha tenido mucho que ver con su limitada aceptación y empleo en la actualidad.

Es necesario, entonces, un instrumento que, utilizando los principios de la investigación de operaciones, ofrezca al administrador sin preparación matemática una manera de evaluar el estado de su empresa, sobre la marcha, y le permita decidir si es necesario llevar a cabo un estudio a fondo de la empresa, así como analizar el progreso que se está logrando en el estudio. Esta necesidad se convirtió en realidad a mediados del año pasado, cuando el Departamento de Investigaciones Industriales del Banco de México dio a conocer los resultados obtenidos por un grupo de investigadores.\* Este grupo fue integrado por el Sr. Nathan Grabinsky, Economista y Jefe de la División de Economía Industrial del Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, dependencia del citado departamento, y el Sr. Alfred W. Klein, Economista Industrial comisionado por la Junta de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas para aconsejar temporalmente a dicho departamento sobre asuntos de productividad industrial al nivel nacional.

La consigna del grupo de investigadores fue preparar una Guía para Investigaciones Industriales que permitiese a los investigadores especializados en asuntos industriales disponer de una metodología de aplicación general para evaluar el "estado de salud" de la actividad industrial en cualquier nivel. Este fue editado por el Banco de México en dos tomos diseñados de manera apropiada para su mejor comprensión y utilidad. Esta metodología constituye una interpretación novedosa de los principios de la investigación de operaciones

\* Philip M. Morse y George E. Kimball, *Methods of Operation Research*. Chapman & Hall, Ltd. Londres, 1950; p. 7.

\* *El Análisis Factorial*.—Una Guía para Estudio de Economía Industrial.—Depto. de Investigaciones Industriales.—Banco de México, S. A., México 1958, pp. 258 (2 tomos).

que, sin suplantarla, permite percibir con claridad y sencillez la estructura lógica que resulta del avalúo de las relaciones e interdependencias de los distintos factores de la actividad industrial.

En los párrafos subsecuentes examinaremos esta metodología, concretándonos a determinar la extensión de su utilidad y sus limitaciones "a priori", ya que, por el corto tiempo transcurrido desde que fue presentada al público, aún no se han dado casos de investigación industrial en los cuales esta metodología haya desarrollado un papel predominante. Fijaremos nuestra atención en tres puntos principales: primero, las bases en que se funda; segundo, su estructura operacional; y tercero, el lugar que ocupa esta metodología en la investigación de operaciones.

## Las Bases del Análisis Factorial

Por definición convencional, un establecimiento manufacturero es una entidad de la economía de un país, destinado a la transformación de las materias primas en productos elaborados, con el objeto de contribuir a la satisfacción de la demanda de estos productos y lograr ingresos. Para la realización de sus metas económicas individuales, el establecimiento utiliza labor humana, equipo técnico, y fondos financieros, en forma organizada. Su estructura interna y el puesto que ocupa en la industria son similares, y, como ésta es la característica que permite la estructuración iterativa de la investigación industrial, examinémosla.

Ningún proceso industrial es independiente de los demás: cada uno depende, y presupone el funcionamiento correcto de los demás. Ninguna actividad es autosuficiente: cada actividad sigue a unas y precede a otras en una secuencia sin fin, dentro de la cual cada actividad tiene un lugar al cual tiene que adaptar su funcionamiento. El concierto de las actividades industriales debe tomarse como un proceso magno formado de procesos menores eslabonados, no una multiplicidad de actividades menores independientes. Este proceso industrial abarca y aprovecha todas las ramas del conocimiento que tienen que ver con las ciencias materiales. En virtud de esta concadenación de procesos, el sistema industrial moderno tiene cierta semejanza a un sistema de fuerzas equilibradas. Para obtener un funcionamiento eficiente de este conjunto, los sub-procesos constituyentes deben trabajar coordinadamente, y cualquier grado de desajuste en las coordinaciones intersticiales del conjunto tiende a perjudicar el funcionamiento del sistema.

Entre mayor sea el carácter mecánico de una actividad industrial dada, y más dependa su funcionamiento de las otras actividades industriales que la precedan o la sigan, cuanto más urgirá mantener correlacionadas sus actividades, internamente entre sí, y externamente para con las otras actividades del sistema. Mayor será el perjuicio industrial sufrido por el quebranto de las relaciones funcionales normales, y mayor será la ganancia industrial que se derivará de una adaptación más estrecha y un método de reajuste más fácil en el evento de un disturbio. La concadenación mecánica de las actividades industriales aboga por una mayor solidaridad en la administración de cualquier grupo de actividades industriales.

De lo anterior surge el paralelismo que tienen las actividades industriales y las ciencias biológicas, pues conservar el equilibrio de las partes es una lucha constante, y es apto decir de la economía industrial que una función de operación desempeñada de manera ineficaz limita el rendimiento y la productividad del conjunto de operaciones de una empresa. La preservación de este equilibrio depende de la estimación adecuada de las características de cada factor que interviene en la actividad industrial, de su medición y ajuste, de su combinación con los demás factores y, por último, del reconocimiento y establecimiento de los límites de aleatoriedad dentro de los cuales ha de ser considerado como "normal" su funcionamiento. Fue precisamente la identificación y definición de ciertos factores, cuya combinación sumaba la totalidad de la existencia de la actividad industrial, la que llevó al grupo de investigadores a optar por un sistema que analizara a estos factores en función del equilibrio de la actividad industrial.

## La Estructura Funcional del Análisis Factorial

La investigación industrial trata de descubrir las fuerzas que actúan en un ámbito en el cual el resultado final de un

esfuerzo depende de gran variedad de parámetros operativos, que es preciso interpretar justamente para poder modificar con vistas al mejor resultado. De aquí, la teoría que se aplica en el análisis factorial es la siguiente:

1. Analizar la operación total con el propósito de determinar los factores que en ella intervienen.
2. Definir las funciones de esos factores que operan con relación al resultado esperado de la operación en conjunto.
3. Determinar el grado en que el desempeño real y objetivo de estas funciones contribuye, con su participación específica y necesaria, al esfuerzo total.
4. Investigar qué factor o parámetro ejerce, en condiciones determinadas, una influencia decisiva, favorable o adversa, en la operación.

Partiendo de esta teoría, separaron a la actividad industrial en cinco niveles: la empresa, la rama industrial, el sector industrial, la industria manufacturera, y la economía nacional. Identificaron a diez factores comunes a los cinco niveles: el medio ambiente, política y dirección, productos y procesos, financiamiento, medios de producción, fuerza de trabajo, suministros, actividad productora, mercado, y contabilidad y estadística. Tomaron como finalidad común de los factores y de la concadenación de los niveles a la productividad, siendo precisamente la medición de la productividad el índice de la efectividad. La diferenciación de la actividad industrial en cinco niveles no constituye el objeto de nuestro estudio, por lo que, para nuestra discusión, tomaremos a la empresa como representativa. Por limitación de espacio, no podremos estudiar a cada factor en forma detallada, sino que nos concretaremos a examinar la forma en que los factores producen un conjunto que se aproxima a la unidad, condición indispensable para que la medición de la efectividad de la productividad sea real.

## Evaluación de los Factores

Los autores consideran a los factores como los constituyentes anatómicos de las operaciones de la empresa, los definen y les asignan como funciones las tareas o actividades relacionadas con los factores, que debe desempeñar la administración de la empresa. Sin embargo, hay que notar que, de acuerdo con la naturaleza de las preguntas que el investigador debe hacer, los factores toman el aspecto de "cajas negras" según la teoría desarrollada en la Cibernética. Durante la segunda guerra mundial, se hizo necesario determinar —sin violar los sellos— si una mira para bombarderos, cuyo mecanismo era secreto y estaba sellado en una caja negra, debería regresarse a la fábrica para repararse, o destruirse. El problema, entonces, era determinar, sin conocer el contenido de la caja negra, cómo se relacionaban los impulsos aplicados a los controles o conexiones de entrada (input) con los efectos observados en las conexiones o medidores de salida (output).

No parecerá tan extraña esta situación si consideramos la infinidad de situaciones en la vida cotidiana que son precisamente análogas al problema de las cajas negras: el niño que mueve a la manija de la chapa de una puerta, mueve la pestiña que mantiene cerrada la puerta, sin conocer nada del mecanismo. Similarmente, el cajero que opera una máquina sumadora solicita, por medio del teclado (input), determinados resultados (output) de los datos impresores, sin saber nada del mecanismo que logra estos resultados. Concretamente, el administrador de una empresa, mediante preguntas formuladas a sus ayudantes, trata de obtener información acerca del estado de la empresa, sin necesidad de percatarse sobre el funcionamiento detallado de la empresa. Esto es en realidad la exploración de un problema parcialmente conocido. En efecto, si el contralor, por ejemplo, supiera en cualquier instante el estado detallado de la empresa, saldría sobrando la función auditorial. Tampoco habría necesidad de investigación industrial.

Habiendo establecido bases para la aceptación de los factores como problemas de "cajas negras", procederemos a determinar qué se puede saber de ellos sin explorarlos íntimamente. Nos planteamos tres preguntas:

¿Cómo debe proceder un investigador en la exploración de un factor (una caja negra)?

¿Cuáles de las propiedades del contenido del factor son determinables, y cuáles no son fundamentalmente determinables?

¿Qué métodos deben utilizarse si el factor ha de ser eficazmente investigado?

Para comenzar haremos la suposición que nada en absoluto se sabe del factor, más que su función. Al investigador se le dará como instrumento una serie de preguntas tendientes a incrementar la información en forma piramidal. Es decir, de la contestación a la primera pregunta surgen preguntas nuevas, y éstas a su vez sugieren otras nuevas, y así sucesivamente hasta que el investigador llegue a tener, a su juicio, suficiente información para poder evaluar la efectividad del factor en relación con su función asignada, y en relación con las metas de la empresa.

Entonces, los datos primarios de cualquier investigación de un factor consisten de una secuencia de valores, cada uno con dos componentes: la pregunta y su contestación (equivalentes a causa y efecto); y la totalidad de información obtenible acerca del factor será lo que se pueda deducir por interpretación del protocolo. (La palabra "protocolo" se refiere, en esta instancia a la forma y secuencia de la investigación). La información obtenible por estos métodos consiste sólo en generalidades que tienden a enlazar a los factores en forma flexible, ya que sólo una investigación minuciosa, entablada por medios matemáticos rigurosos, puede reducir a los factores hasta sus elementos atómicos, y de éstos crear un modelo matemático que represente a la estructura de la empresa en forma detallada.

Pregúntese, entonces, si es posible obtener información fidedigna y adecuada para interpretar correctamente el funcionamiento de una empresa utilizando este método. Para la finalidad del análisis factorial, sí, ya que, por medio de una investigación factorial se abre el camino para investigaciones detalladas donde se requieran, o bien destacando los errores macroscópicos que perjudican al buen funcionamiento de la empresa, permitiendo así el empleo de correctivos generales. En cambio, si es necesario descubrir errores o desviaciones sutiles, el análisis factorial puede ser el indicador del sentido que debe tomar la investigación de operaciones.

Los factores cubrirán las necesidades del conjunto de descripción de la empresa cuando su evaluación sea lo suficientemente detallada para lograr su equilibrio. La magnitud de cada factor en el conjunto debe ser justo, pues el acrecentar de modo aislado el funcionamiento de un factor de operación por encima de un nivel óptimo puede obstaculizar un mejor resultado en el conjunto de la gestión de la empresa y constituir, a su vez, un gasto inútil de energías.

## De la Productividad y su Medición

Existe cierto grado de indeterminismo cuando se trata de definir el concepto de "productividad". Aparentemente, esto se debe más a los diferentes significados que tiene con referencia a distintas técnicas y actividades. Sin embargo, podemos decir que la suma de las metas factoriales fijadas por la administración de una actividad industrial, tomadas como la unidad, comparadas con su grado de cumplimiento en la práctica, indican el grado de productividad de esa actividad industrial. Los autores dan varias fórmulas para la medición de la productividad, que dependen del punto de vista de quien las emplee para su selección. Lo importante es la selección de la unidad de medición apropiada, ya sea horas-hombre, valor numérico, u otro. Debe en todo caso representar al objeto de la investigación, correlacionado con la razón de ser de la actividad.

El método que se emplee para la medición de la productividad debe ser lo suficientemente flexible para permitir experimentación con los resultados: libertad para variar independientemente tanto al numerador como al denominador, con el objeto de observar la actuación del cociente. De esta manera se podrá diseñar un cuadro de valores que dé lugar a un modelo dinámico de la operación de la empresa. Este es el método estadístico que, a diferencia del método determi-

nístico, supone cierto grado de aleatoriedad en la composición e interdependencia de los factores. Del uso que se les dé a las mediciones de la efectividad depende la practicalidad de los resultados de la investigación. Los autores presentan como un método de estimación de los aspectos individuales de los factores un modelo para tabular y combinar evaluaciones que padece de ciertas fallas, por no existir actualmente métodos adecuados para determinar los componentes que se deben tomar en cuenta, la determinación del peso de ponderación de cada componente, ni la intención del investigador u otras personas que intervinieron en la recopilación de aquella información que está sujeta a interpretación no numéricamente determinable.

El segundo tomo del análisis factorial consiste en hojas guías, con las cuales los autores intentan proporcionar una serie de esquemas que servirán de referencia para formular los diagnósticos en todos los niveles de la industria manufacturera. En ellos se han asentado en detalle los elementos y componentes de los factores de operación, que son comunes a todas las industrias. Incluyen, además, una colección de fórmulas que pueden ayudar a la evaluación cuantitativa de los hallazgos de la investigación.

Básicamente, este material sirve de guía y recordatorio para las investigaciones; para recopilar datos en el trabajo de diagnóstico; y de ayuda para analizar y ordenar la información que se posea sobre los problemas. Mas que esto no puede hacerse —el investigador tiene que proporcionar mucho al análisis en cuanto a la evaluación del material, ya que es terreno particular de juicio y criterio, materia aún no cuantificable.

El principal peligro que acechará al investigador es el efecto que pueden tener las preguntas. Dependiendo del sentido de la pregunta, del grado de comunicación y confianza que exista entre el investigador y la administración de la empresa, cada pregunta puede producir efectos de excitación o inhibición. Por excitación entendemos la predisposición del interrogado para contestar sin reserva, y por inhibición, la tendencia, mucho más frecuente y probable, de escatimar la contestación o bien, darle sentido obligado y, en cierto grado, falso. Sólo la pericia del investigador en la evaluación de la información puede evitar que caiga víctima de contestación fraudulenta.

Si una investigación industrial ha de funcionar de la mejor manera posible para lograr una interpretación que redunde en recomendaciones válidas acerca de la operación óptima futura de la empresa, entonces deben establecerse dos condiciones de primera importancia: comunicación y confianza, y esto incumbe tanto al investigador como al administrador. Esto es especialmente cierto en el análisis factorial, donde el investigador depende no sólo de resultados impersonales de métodos matemáticos, sino también de la cooperación del personal de la empresa.

La comunicación y la confianza —ambos tienen que tener doble sentido: el investigador debe tener acceso a toda la información necesaria a la investigación si ha de tener confianza en los resultados obtenidos. Al estar seguro de la obtención de la información, éste sentirá confianza en el personal de la empresa y podrá dar mayor rendimiento. Por otro lado, la administración debe recibir informes oportunos y francos del investigador acerca del progreso de la investigación, si ha de tener confianza en la veracidad y utilidad de los resultados.

A continuación damos la forma esquemática para el desarrollo de una investigación industrial dada por los autores en las páginas 42 y 43 del primer tomo, que es bastante acertado.

## Procedimiento en la Investigación Industrial

Etapa I. Planear la investigación

1. Definir la materia objeto de la investigación
2. Definir el propósito final de la investigación
3. Determinar el tiempo disponible para la investigación
4. Planear las fases y el volumen del trabajo
5. Determinar los medios de investigación e información y la facilidad para obtenerlos

6. Obtener la autorización necesaria para la orientación y el programa a que se sujetará la investigación

#### Etapa II. Analizar el tema objeto de la investigación y su operación

1. Determinar los factores pertinentes al tema y a su operación
2. Averiguar las funciones de cada factor
3. Determinar la información mínima necesaria
4. Recopilar la información
5. Verificarla
6. Asegurarse de que está completa

#### Etapa III. Examinar cada factor en esta forma:

1. ¿Hasta qué grado concuerda la operación de los factores con las funciones asignadas a éstos?
2. ¿Qué tendencia se registra en el campo de cada factor?
3. ¿Qué evolución ocurre en los campos relacionados?
4. ¿Cuáles elementos del factor están estimulando la operación?
5. ¿Cuáles elementos del factor ejercen una influencia limitadora?
6. ¿Qué objetivos debieran lograrse en el campo de cada factor?
7. ¿De qué medios se dispone para alcanzar estos objetivos?

#### Etapa IV. Combinar los hallazgos para diagnosticar sobre el total de las operaciones

1. ¿Cuál parece ser la capacidad óptima de acuerdo con los objetivos de la operación?
2. ¿Cuál es la ejecución total real?
3. ¿Cuáles son los factores limitadores?
4. ¿Qué factores deben estudiarse con mayor detalle?
5. ¿Qué objetivos pueden alcanzarse con el empleo de los medios disponibles?
6. Examinar el total de los hallazgos encontrados en cooperación con otros especialistas.

#### Etapa V. Presentar el diagnóstico

1. Preparar documentos para su discusión; diagramas, etc.; para su presentación.
2. Señalar claramente qué hallazgos y diagnósticos están sujetos al juicio de las personas responsables de la ejecución de las operaciones que se investigan.
3. Exponer el desarrollo de los hallazgos.
4. Obtener el acuerdo de las diferentes opiniones sobre cada uno de los pasos antes de avanzar al siguiente.
5. Estimular las decisiones.
6. No perder de vista el hecho de que la decisión es prerrogativa de las personas responsables de la ejecución o dirección.

Uno de los principios fundamentales de la investigación industrial, sea cual fuere la forma de su presentación, es que ni el investigador ni la investigación suplirá al administrador, ni le restará nada a sus atribuciones como autoridad responsable de la empresa. La función que debe desempeñar el investigador es exclusivamente la de proporcionar a la administración toda la información derivada de la investigación, debidamente orientada.

Hemos recorrido y examinado en forma breve la metodología del análisis factorial de las operaciones industriales, concebido por los Sres. Grabinsky y Klein, mas no hemos intentado repetir textualmente muchos aspectos interesantes del método, pues éstos están consignados en los dos libros de que ya se hizo mención. Estimamos que la utilidad del análisis factorial tiene la forma de doble paréntesis: considerando el diseño del método, su utilidad es inversamente proporcional al grado de precisión y detalle requerido. Sirve muy especialmente para descubrir los parámetros que comparan al comportamiento de los factores con la definición de sus funciones. Con referencia a los distintos niveles, la profundidad a que es efectivo el análisis factorial es mayor, proporcionalmente, en cada nivel superior, pues la amplitud en cada caso es mayor, y la información obtenible en forma inequívoca es más detallada que la del nivel inferior. El paréntesis interior de utilidad es ésta: la utilidad de los resultados del análisis factorial es proporcional a la pericia del investigador, sobre todo en la estimación de aquellos parámetros no cuantificables, como son la intención del interrogado, la indeterminación estadística de una serie de experimentos tendientes a establecer el ritmo de operación de alguna parte de la empresa no mecanizable, etc.

### El Análisis Factorial y la Investigación de Operaciones

La investigación de operaciones es un conjunto ordenado de métodos tecnológicos para la investigación científica de las operaciones industriales, cuya aplicación depende de los objetivos que la administración de una empresa o actividad industrial desee. Algunas de las técnicas son deterministas y otras estocásticas, según sea menor o mayor la variación de los valores obtenidos en pruebas repetidas sobre un aspecto dado de la actividad. En ambos casos, la plausibilidad de los resultados está templada por su interpretación, en función de determinadas bases, llamadas ideales. Presupone la investigación de operaciones, la formación de un modelo matemático de más o menos complejidad, del cual se desprenden y se definen los algoritmos que reducen la representación de las operaciones, sus procesos y sub-procesos, a funciones adecuadamente cuantificables.

El análisis factorial, en cambio, por carecer de métodos matemáticos superiores, depende de la evaluación, relativamente poco numérica, de los efectos producidos en un factor por la combinación y actuación de sus sub-procesos. De aquí la aplicación que se le ha dado a la teoría de las cajas negras —método investigativo que merece mayor exploración para su aprovechamiento en el análisis factorial. El análisis factorial bien podría ser desarrollado como indicador del "estado de salud" de una actividad industrial, precursor de una investigación de operaciones. El lugar indicado para el análisis factorial en la estructura de la investigación de operaciones es, entonces, el eslabón entre la administración y el investigador —terreno cuya topografía es conocida a ambas partes: la estructura del análisis factorial se asemeja al modelo matemático y su lenguaje lo reproduce analógicamente, desprovisto de símbolos matemáticos, y de las tautologías y redundancias del lenguaje cotidiano.

En esta época de progreso nacional acelerado, la solidaridad de la administración industrial aboga por la solvencia de la comunidad, y los medios inmediatos que permitan al industrial observar el efecto que produce cada factor en el objetivo y funcionamiento de su empresa, y de su empresa en la economía nacional, se encuentran precisamente en la investigación industrial. De alcance inmediato para familiarizarse con el valor intrínseco de la investigación de operaciones y la potencialidad de mejoramiento de sus funciones es el análisis factorial. Una vez que se haya percatado de su valor, no estará lejano el día en que la investigación de operaciones sea considerada como una rutina tan importante como lo es actualmente la auditoría del estado financiero de una empresa.

Para concluir, quiero expresar mi agradecimiento a los autores de esta metodología, y a su patrocinador, el Banco de México, por haberme permitido hacer uso de su material en este artículo. Creo que el análisis factorial ha abierto las puertas para encaminar a la industria manufacturera nacional hacia una mejor estructuración, así como al mayor aprovechamiento de los avances de la ciencia.