



## Capítulo 1

# INTRODUCCIÓN

## 1. Introducción

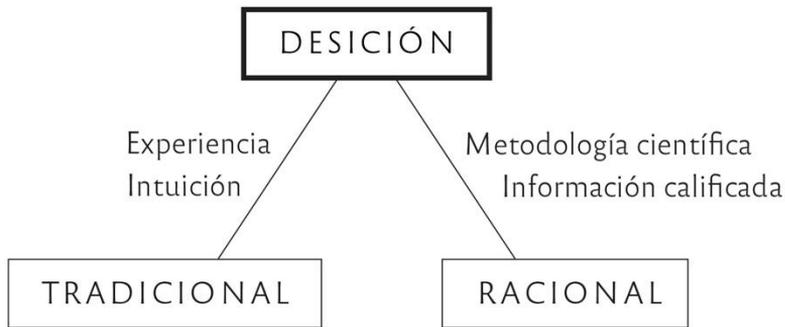
La evidente dificultad de tomar decisiones ha hecho que la humanidad se aboque a la búsqueda de una herramienta o método que le permita tomar las mejores decisiones de acuerdo con los recursos disponibles y los objetivos que persigue. Si bien la experiencia e intuición resultan útiles en muchas situaciones, cuando el problema a resolver es de naturaleza compleja es conveniente recurrir a un proceso más racional que ayude a tomar buenas decisiones.

Una decisión equivocada puede repercutir considerablemente en los intereses y objetivos de una organización y, en ocasiones, pueden pasar años para rectificar tal error. Cuando el problema es complejo, se requiere que las decisiones sean eficientes, eficaces y que se tomen rápidamente, pues el hecho de posponer una acción puede dar una desventaja decisiva en el mundo de la competencia.

En muchas situaciones, por las características de los problemas a resolver, se hace necesaria la participación de varias personas especialistas, cuya visión multidisciplinaria facilitará el proceso de toma de decisión.

En este contexto, la Investigación de Operaciones surge como una metodología desarrollada para estudiar problemas de decisión de naturaleza compleja. Su función es apoyar al tomador de decisiones (quien está a cargo de la gerencia o de la administración, decisor), proporcionándole información calificada para la formulación de políticas y estrategias necesarias para la gestión.

La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa (IO) se define como “la aplicación del método científico a problemas relacionados con las organizaciones o sistemas a fin de que se produzcan soluciones racionales que sirvan a los objetivos de toda la organización”.



La IO se desarrolló a partir de los grandes éxitos obtenidos mediante su aplicación a la resolución de problemas de organización militar durante la Segunda Guerra Mundial. Cuando estas técnicas fueron introduciéndose en el mundo de los negocios como ayuda a la toma de decisiones, se comenzó a conocer con el nombre de Ciencia de la Administración (*Management Science*), Ciencia de la Gestión o Métodos Cuantitativos. En la actualidad, hay muy poca distinción entre estos términos y se usan indistintamente.

Lawrence y Pasternak (1998) definen Investigación Operativa de una forma generalista, pero a la vez completa en cuanto a lo descriptiva. Según ellos, se trata de un enfoque científico para la toma de decisiones ejecutivas que consiste en:

- el arte de modelar situaciones complejas,
- la ciencia de desarrollar técnicas de solución para resolver dichos modelos y
- la capacidad de comunicar efectivamente los resultados.

Podríamos caracterizarla como una metodología de naturaleza multidisciplinaria que, para su aplicación, requiere de objetividad, racionalidad, creatividad y una actitud de cuestionamiento crítico permanente.

## 2. Breve historia de la Investigación Operativa

Si bien hay estudios relacionados con lo que hoy conocemos como IO desde el siglo XVIII, existe consenso en ubicar los orígenes de la Investigación Operativa en Gran Bretaña durante la Segunda Guerra Mundial. Fue allí donde la administración militar encargó a un grupo de científicos de distintas

áreas el estudio de los problemas tácticos y estratégicos asociados a la defensa del país durante el conflicto bélico (despliegue de radares, manejo de operaciones de bombardeo, colocación de minas). Se integraron grupos de trabajo compuestos por profesionales en ingeniería, matemática, estadística, física, biología y psicología, entre otros, para hacer una distribución racional de los recursos con los que contaban. Sus esfuerzos fueron decisivos para ganar combates tan importantes como la Batalla Aérea Británica, la Batalla del Atlántico Norte y la Campaña de las Islas del Pacífico.

Con la motivación de los resultados alentadores obtenidos por los equipos británicos, la administración militar de Estados Unidos comenzó a realizar investigaciones similares. Para eso, reunieron a un grupo selecto de especialistas, quienes empezaron a tener buenos resultados y, en sus estudios, incluyeron problemas logísticos complejos, la planificación de minas en el mar y la utilización efectiva del equipo electrónico.

Después de la guerra, estos éxitos atrajeron la atención de la industria, que quería solucionar nuevos problemas causados por el aumento de la complejidad de los procesos industriales y una mayor especialización en los mismos, lo que creaba una posible incompatibilidad de objetivos.

Aunque se ha acreditado a Gran Bretaña la iniciación de la Investigación Operativa como una nueva disciplina, los Estados Unidos tomaron pronto el liderazgo en este campo rápidamente creciente. La primera técnica matemática ampliamente aceptada en el medio de IO fue el método simplex de programación lineal, desarrollado en 1947 por el matemático norteamericano George B. Dantzig. Desde entonces, las nuevas técnicas se han desarrollado gracias al esfuerzo y la cooperación de las personas interesadas tanto en el área académica como en el área industrial.

Un segundo factor en el progreso impresionante de la IO fue el desarrollo de la computadora digital que, con su enorme capacidad de velocidad de cómputo, almacenamiento y recuperación de información, permitió tomar decisiones con rapidez y precisión.

En la Tabla 1, se detallan los aportes de diversa autoría que se consideran antecedentes de la IO.

**Antecedentes de la Investigación Operativa**

<b>Año</b>	<b>Autoría</b>	<b>Técnica desarrollada</b>
1759	Quesnay	Modelos primarios de programación matemática
1873	Jordan	Modelos lineales
1874	Walras	Modelos primarios de programación matemática
1896	Minkowski	Modelos lineales
1897	Markov	Modelos dinámicos probabilísticos
1903	Farkas	Modelos dinámicos probabilísticos
1906	Erlang	Líneas de espera
1920-1930	Köning-Egerváry	Asignación
1937	Morgestern	Lógica estadística
1937	Von Neumann	Teoría de juegos
1939	Kantoróvich	Planificación en producción y distribución
1941	Hitchcock	Transporte
1947	George Dantzig	Método simplex
1947		Año en que se dio inicio a la programación y, con el uso de las computadoras, empezó a extenderse la Investigación de Operaciones
1950-1956	Kun-Tucker	Programación no lineal
1953	Kendall	Introduce la notación para identificar los sistemas de colas
1954	Lemke	Desarrollo del simplex dual
1957	Markowitz	Simulación y programación discreta
1957	Kelly y Walker	Desarrollan el método CPM
1958	Bellman	Programación dinámica
1958	Gomory	Programación entera
1958	Arrow-Karlin	Inventarios
1959	Dijkstra	Algoritmo de ruta más corta
1956-1962	Ford-Fulkerson	Redes de flujo
1960	Raiffa	Análisis de decisiones
1960	Land y Doig	Algoritmo de ramificación y acotamiento
1962	Ford-Fulkerson	Método primal-dual
1963	Karmarkar	Algoritmos de punto interior

**Tabla 1**

### 3. Los modelos utilizados en Investigación Operativa

Una característica esencial del enfoque de la IO es que se basa en el supuesto de la racionalidad, es decir, las personas y las organizaciones actúan de manera reflexiva, poseen información, calculan los riesgos y los beneficios de sus decisiones y tratan de maximizar su utilidad o de minimizar sus costos, es decir, optimizan en función de sus expectativas y tienen recursos limitados.

Un elemento esencial en este enfoque cuantitativo es la formulación del modelo matemático, el cual es una representación abstracta de situaciones o problemas reales a través de símbolos, relaciones o expresiones matemáticas. La función principal del modelo es deducir conclusiones formalmente válidas del problema real mediante el estudio del modelo abstracto. Cabe señalar que, incluso en el enfoque de racionalidad limitada (Simon, 1957)<sup>1</sup>, se afirma que un modelo matemático no tiene que ser exacto, solo tiene que ser lo bastante aproximado como para proporcionar mejores resultados que los logrados mediante el sentido común.

La construcción de modelos constituye una herramienta útil para lograr una visión estructurada de la realidad. La ventaja que tiene el construir un modelo que represente una situación real es que permite analizar tal situación sin interferir en la operación que se realiza, ya que el modelo es como “un espejo” de lo que ocurre. También facilita el manejo del problema en su totalidad y el estudio de todas sus interrelaciones simultáneamente. Por último, un modelo matemático forma un puente para poder emplear técnicas matemáticas poderosas mediante computadoras en el análisis del problema.

Un modelo matemático comprende principalmente tres conjuntos básicos de elementos: variables y parámetros, restricciones y función objetivo.

**Variables y parámetros.** Existen dos tipos de variables, exógenas y endógenas. Las exógenas o externas son variables no controlables por el decisor, es decir, sobre las que no se puede influir, como los factores ambientales que rodean un problema económico (por ejemplo, la inflación y

---

<sup>1</sup> Simon señala que la mayoría de las personas son solo parcialmente racionales y que, de hecho, actúan según impulsos emocionales no totalmente racionales en muchas de sus acciones. Sostiene que la racionalidad personal está limitada por tres dimensiones: la información disponible, la limitación cognoscitiva de la mente individual y el tiempo disponible para tomar la decisión.

la tasa de cambio). Por su parte, las variables endógenas o internas, también llamadas variables de decisión, son aquellas cuyos valores queremos determinar utilizando el modelo, como, por ejemplo, los tiempos y materiales necesarios para la fabricación de un producto. Por último, los parámetros del modelo son valores conocidos que relacionan las variables de decisión con las restricciones y función objetivo pueden ser determinísticos o probabilísticos y su valor puede variar dependiendo del ámbito de aplicación del modelo.

**Restricciones.** Para tener en cuenta las limitaciones tecnológicas, económicas y otras del sistema, el modelo debe incluir restricciones (implícitas o explícitas) que restrinjan las variables de decisión a un rango de valores factibles.

**Función objetivo.** La función objetivo define la medida de efectividad del sistema como una función matemática de las variables de decisión.

La “solución óptima” será aquella que produzca el mejor valor de la función objetivo, sujeta a las restricciones. “Optimizar” es la acción de llevar una cierta magnitud a su óptimo, o sea, a su máximo o a su mínimo, según se trate de algo que se considera beneficioso o perjudicial, en cuyos casos respectivos se utilizan también los nombres de “maximizar” o “minimizar”.

## 4. Clasificación de los modelos

Existen diversas clasificaciones de los modelos de IO. A los fines de organización de este libro, se propone la siguiente:

- Según el objetivo del problema
- Según la naturaleza de los datos

### 4.1. Clasificación según el objetivo del problema

**Modelos de optimización:** Su objetivo es maximizar cierta cantidad (beneficio, ingresos, eficiencia) o minimizar cierta medida (costo, tiempo, distancias), generalmente teniendo en cuenta una serie de limitaciones o requisitos que restringen la decisión (disponibilidad de capital, personal, material, requisitos para cumplir fechas límite, etc.). Ejemplos de modelos de optimización son:

- **Problemas de localización**, que consisten en realizar una asignación de recursos a actividades de manera que se optimice cierta medida de efectividad, por ejemplo, si hay que decidir la ubicación de varias fábricas atendiendo a las distancias de las mismas entre los centros de demanda y

los proveedores. O en el caso de la asignación de objetos a tareas para optimizar alguna medida, como puede ser un tiempo o un costo, el cual se conoce como problema de Asignación. Si tenemos que distribuir productos desde ciertos orígenes a varios destinos de forma que cierta función lineal alcance su valor óptimo, estamos ante un problema de Transporte o Transbordo.

- **Problemas de mezcla**, que se ocupan de encontrar la combinación óptima de un conjunto de ingredientes a incluir en una mezcla, respetando ciertas condiciones de cantidades mínimas o máximas que la misma debe contener y tratando de lograr el mínimo costo.
- **Problemas de secuenciación**, que se ocupan de colocar objetos en cierto orden. Por ejemplo, supongamos que tenemos  $N$  trabajos que deben ser procesados en el mismo orden en  $M$  máquinas distintas, las que requieren tiempos de procesamiento diferentes. ¿De qué forma se deben ordenar los trabajos para que el tiempo total de procesamiento de estos en cada una de las máquinas sea mínimo?
- **Problemas de rutas**, que tratan de encontrar la ruta óptima desde un origen a un destino cuando existen varias alternativas posibles. El ejemplo más característico es el clásico Problema del Viajante de Comercio. Un viajante de comercio tiene que visitar  $N$  ciudades una y solo una vez antes de volver a su origen. ¿En qué orden debe visitarlas para minimizar la distancia total viajada? Este problema de formulación tan sencilla es, en muchos casos, muy difícil de resolver.
- **Problemas de inventario**, que consisten en determinar la cantidad óptima de productos que se deben tener disponibles en un almacén. Si un cliente quiere comprar una cierta cantidad de productos, pero no están disponibles, esto supondría una venta perdida. Por otro lado, si hay un exceso de productos, el costo de almacenamiento puede ser demasiado grande. El objetivo de este problema es encontrar un punto de equilibrio.

**Modelos descriptivos:** Su objetivo es describir o predecir sucesos (nivel de ventas, fechas de terminación de proyectos, número de clientes, etc.) dadas ciertas condiciones. Ejemplos de estos modelos son:

- **Problemas de espera en fila.** Cualquier situación en el que haya que esperar para obtener un servicio es un problema de este tipo. Su objetivo es encontrar una forma de mejorar el rendimiento global del sistema, que se mide normalmente atendiendo al tamaño de la cola, o bien al tiempo que transcurre desde que un cliente llega al sistema hasta que lo abandona (tiempo de respuesta).
- **Problemas de reemplazo**, que se ocupan de decidir el tiempo adecuado para reemplazar los equipos que fallan o se deterioran.

- **Problemas de planificación y control de proyectos.** El objetivo es determinar la fecha de finalización de un proyecto complejo como, por ejemplo, planificaciones de campañas publicitarias, lanzamiento de un nuevo producto, proyectos de ingeniería, etc.

#### 4.2. Clasificación según la naturaleza de los datos

Según sea la naturaleza de los datos que se disponen, en algunos casos tendremos que ajustar el problema con un **Modelo Determinístico**, en el cual todos los datos importantes del mismo se suponen conocidos; pero en otros, algunos de estos datos se consideran inciertos, pudiendo conocerse su probabilidad de ocurrencia, por lo que será necesaria la utilización de un **Modelo Estocástico**. Sin embargo, existen modelos que conviene tratar como **Mixtos** de estas dos categorías. En el gráfico 1 se hace una agrupación aproximada de los diferentes tipos de problema dentro de la categoría a la que pertenecen.

## 5. Las limitaciones de los modelos matemáticos

Si bien es cierto que el modelo racional para la toma de decisiones considera que las personas eligen optimizando y tomando en cuenta todas las variantes y con la información perfecta, la realidad dista mucho de ese deseable escenario. En realidad, las personas en las organizaciones no tienen la información completa y poseen percepciones subjetivas y juicios *a priori* de los problemas, o simplemente falta de tiempo y de recursos (entre los que podemos contar sus conocimientos técnicos del análisis cuantitativo).

De este modo, los tomadores de decisiones elegirán las que sean mínimamente aceptables, que representen aproximaciones útiles y aplicables a los problemas, que no choquen con su sentido común y que sean compatibles con su buen juicio y experiencia. Además, los decisores se apoyan en procedimientos heurísticos que proporcionan herramientas intuitivas que, a su vez, guían y simplifican la toma de decisiones, ya que representan estrategias mentales de sencilla aplicación para los tomadores de decisión (Tversky y Kahneman, 1971, 1986). Tienen particular importancia directrices tales como la pericia, el estilo gerencial, el conocimiento y la práctica administrativa, entre otros.

Finalmente, cabe mencionar que las decisiones importantes en la organización generalmente involucran la acción coordinada de varias áreas funcionales, o simplemente de grupos de interés, que tienen sus propios decisores, por lo que eventualmente se presentan conflictos de intereses de las partes implicadas.

De este modo, las decisiones organizacionales son el resultado de procesos de negociación, de relaciones sociales complejas y de factores políticos cuya relevancia trasciende incluso el más preclaro argumento cuantitativo. Así, las decisiones individuales se tornan en decisiones colectivas, las cuales deben integrar información relevante de las diferentes áreas, deben contemplar distintos enfoques de las personas afectadas, en ellas puede reflejarse el peso específico de los líderes de la organización, aunque idealmente las decisiones deberían de ser consensuadas para inducir el compromiso de los integrantes de la organización; adicionalmente, muchas decisiones deben ser negociadas considerando grupos al exterior de la organización, por lo que los factores políticos y coyunturales adquieren singular importancia.

## 6. Metodología científica

El enfoque de la IO sigue las pautas del método científico. En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema y sigue con la construcción de un modelo científico que intenta abstraer la esencia del problema real. En este punto, se propone la hipótesis de que el modelo es una representación lo suficientemente precisa de las características esenciales de la situación como para que la solución obtenida sea válida también para el problema real. Esta hipótesis se verifica y modifica mediante las pruebas adecuadas. Entonces, en cierto modo, la Investigación Operativa incluye la investigación científica creativa de las propiedades fundamentales de las operaciones.

El investigador operativo se ocupa además de la administración práctica de la organización. Así, para tener éxito, deberá también proporcionar conclusiones positivas y claras que pueda usar el tomador de decisiones cuando las necesite.

### 6.1. Etapas del método científico aplicado a la IO

**Identificación del problema y relevamiento de la información.** Esta etapa comprende la identificación de la estructura del sistema en el cual se presenta

el problema, la definición de los interrogantes que se plantean, la obtención de datos respecto a la estructura del sistema y su funcionamiento. A fin de lograr un conocimiento acabado del problema a resolver, se deberán realizar reuniones con las áreas de dirección y personal, buscar información interna y externa relacionada a la situación (como estudios realizados con anterioridad, estadísticas existentes, etc.), además de información en los distintos sectores relacionados al problema (clientes, proveedores, sindicato, etc.). Se debe tener en cuenta que el tiempo dedicado a esta etapa puede redundar en un gran ahorro de esfuerzo en el futuro.

**Formulación del modelo.** Dada la imposibilidad de realizar el estudio del problema en el sistema real, se hace necesaria la construcción de un modelo matemático que lo represente. En él se aíslan los aspectos, conceptos y relaciones fundamentales del problema, obteniendo de esta manera un subsistema abstracto que representa en forma simplificada y generalmente incompleta al sistema real, pero que permite trabajar sobre el mismo y sacar conclusiones válidas del aspecto que se quiere investigar.

Lógicamente, este proceso de modelización debe ser tal que el deseo de simplificar no lleve a eliminar elementos o relaciones que sean fundamentales para el problema en estudio.

En esta etapa, se deben definir las variables a usar que reflejen los interrogantes definidos en la etapa anterior, la explicitación de los parámetros del sistema y su entorno y, con todos ellos, la formulación del modelo simbólico, mediante relaciones funcionales matemático lógicas que expresen el o los objetivos propuestos y los condicionantes impuestos. Aquí surge la necesidad de aplicar la creatividad, es decir, pensar con amplitud de criterio, sin preconcepciones producto de la costumbre y la tradición, tratando de usar la imaginación para generar nuevas ideas.

**Enunciación de hipótesis.** Esta etapa se refiere a explicitar con toda claridad los supuestos y las limitaciones con que se desarrollará el estudio. Esto resulta de gran importancia, pues en caso contrario corremos el riesgo de, una vez encontrada una solución del problema planteado, no saber bajo qué condiciones dicha solución es adecuada, ni podremos tratar de verificar en qué medida las mismas representan adecuadamente la realidad.

**Validación del modelo.** La validación del modelo y sus soluciones se refiere a una validación de tipo técnica, es decir, verificar que no se hayan omitido variables o relaciones significativas, y a una validación operacional, esto es, si los resultados son factibles en el sistema real.

**Toma de decisión e implementación.** Se trata de la implementación del modelo validado. Esta etapa es de vital importancia para el éxito del trabajo realizado. Se deberá evaluar juntamente con el tomador de decisiones la mejor estrategia para poner en funcionamiento los cambios sugeridos, cuidando de explicar a todos los sectores afectados la solución adoptada, de manera tal de minimizar el rechazo por parte de quienes van a ser testigos de la puesta en marcha.

**Seguimiento y control.** La última etapa es la evaluación y revisión sobre el sistema real de los resultados del modelo. El control es imprescindible para evitar, detectar y, en su caso, corregir desviaciones respecto a lo planificado.

En el gráfico 2 se resumen las etapas del método científico.

## 7. Investigación Operativa Hard y Soft

En los últimos años, ha cobrado fuerza una rama de la IO relacionada a la toma de decisiones grupales y a la utilización de métodos que no emplean modelos matemáticos. Sorensen y Vidal (2003) proponen agrupar a los métodos de Investigación Operativa en IO *hard* y en IO *soft*.

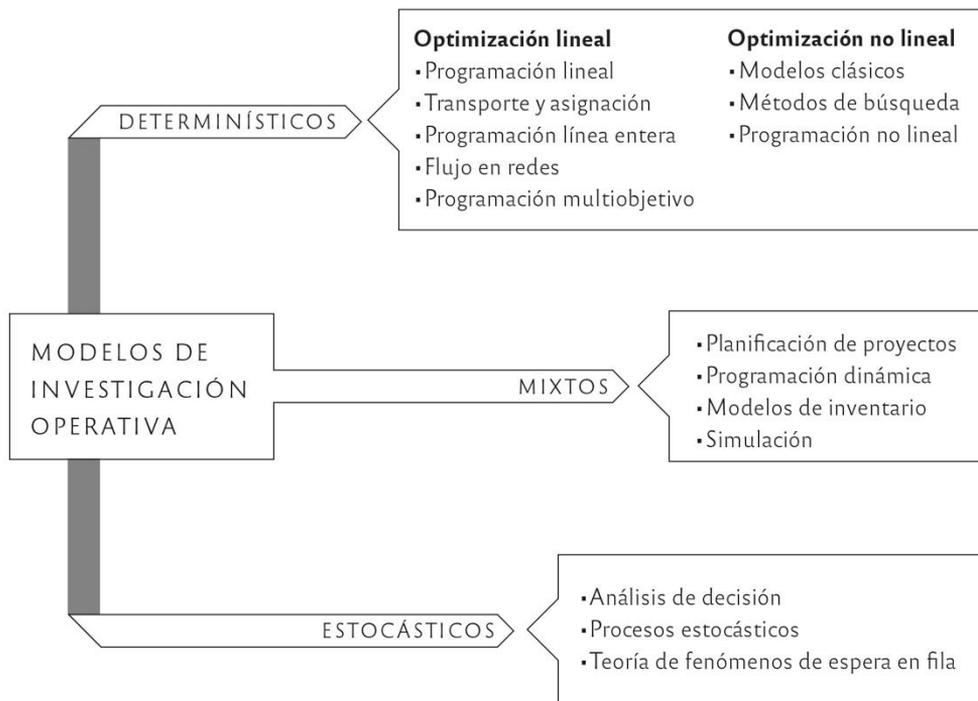
En el primer grupo, se incluyen la mayoría de los modelos tratados en este libro. En general, los métodos *hard* estructuran los problemas a partir de hechos medibles y cuantificables y recurren a un modelo matemático para resolver el problema. También se caracterizan estos métodos como de decisiones individuales.

La IO *soft* se relaciona con la fase de estructuración de problemas, incluye tanto información cualitativa como cuantitativa, los modelos no se apoyan en formulaciones matemáticas y el “objetivo central es facilitar las búsquedas de acuerdos entre los miembros del grupo de decisores”. En esta línea de trabajo, se pueden mencionar distintas aproximaciones como los mapas cognitivos y, en particular, el Strategic Option Development and Analysis (SODA), de Eden (2004), y la Soft System Methodology propuesta por Checkland (2000) y reformulada por Georgiou (2006, 2008).

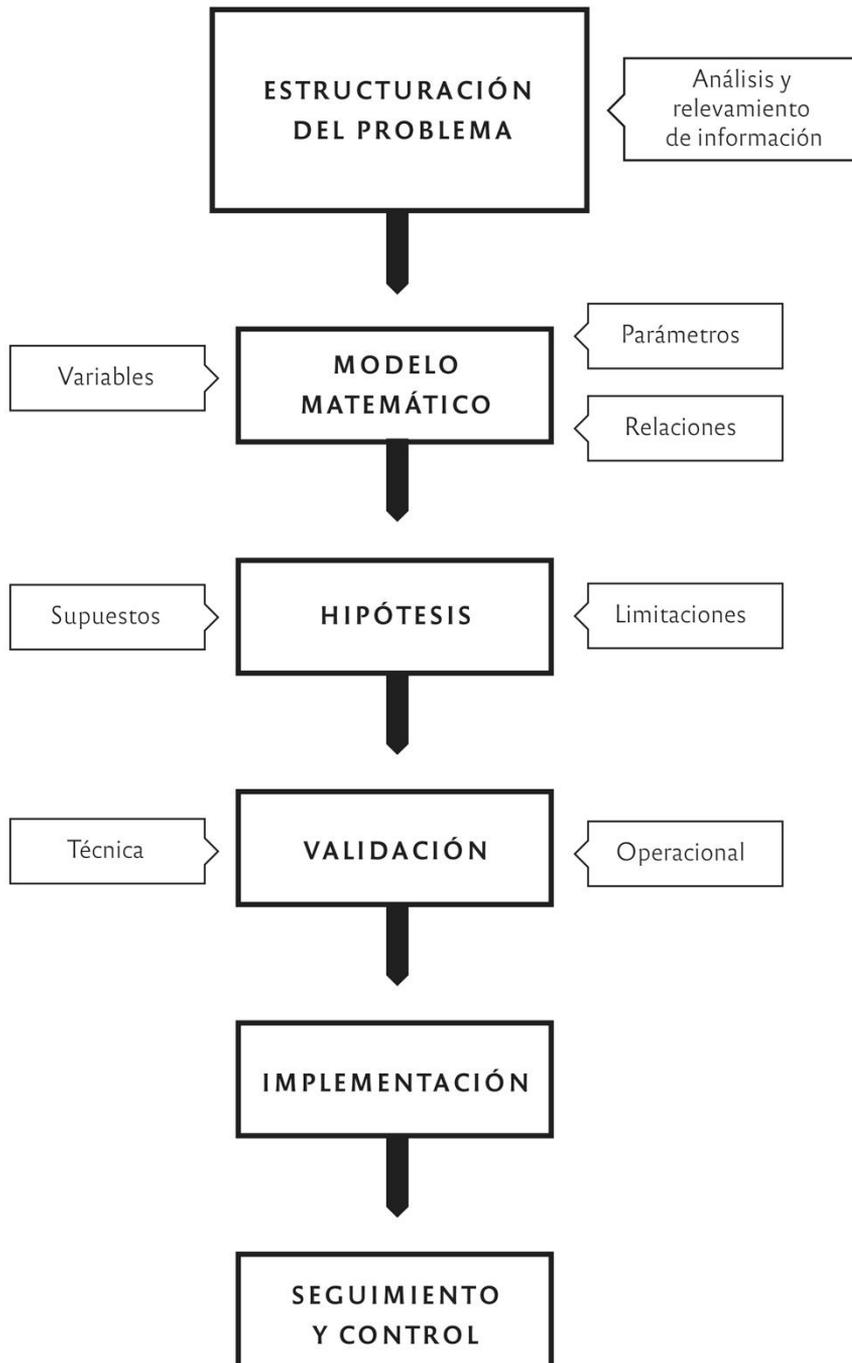
Sin embargo, para analizar problemas complejos, Mingers (2011) recomienda la utilización de combinaciones creativas de ambas metodologías y plantea el concepto de multi-metodología. Por su parte, Franco y Lord (2011) señalan que no existe una “mejor manera” de realizar dicha combinación de métodos,

pero que una intervención multi metodológica debería atender las tres dimensiones claves del problema: personal, social y material.

Es decir que, al analizar un problema, es necesario caracterizar, además de lo estrictamente técnico, a los individuos y a las relaciones entre los mismos. No se debe olvidar que la IO es solo un recurso, que debe ser complementado con las herramientas cualitativas adecuadas y con las habilidades administrativas deseables de todo tomador de decisiones, como son su intuición, su sentido común, su experiencia y su capacidad de negociación. Es, al final de cuentas, todo este mosaico de destrezas lo que permitirá resolver integralmente y de manera óptima los problemas más diversos que enfrentan las organizaciones.



**Gráfico 1**



**Gráfico 2**