

## Apéndice 1

### Lecturas

- **Historia de la Investigación de Operaciones**
  - **Definiciones de Investigación de Operaciones**
  - **Bibliografía de George Bernard Dantzig**
  - **El analista de Investigación de Operaciones**
  - **La Investigación de Operaciones en la práctica**
  - **Modelos de Investigación de Operaciones**
- 

#### Historia de la Investigación de Operaciones

"Desde el advenimiento de la Revolución Industrial, el mundo ha sido testigo de un crecimiento sin precedentes en el tamaño y la complejidad de las organizaciones. Los pequeños talleres artesanales se convirtieron en las actuales corporaciones de miles de millones de dólares. Una parte integral de este cambio revolucionario fue el gran aumento de la división del trabajo y en la separación de las responsabilidades administrativas en estas organizaciones. Los resultados han sido espectaculares. Sin embargo, junto con los beneficios, el aumento en el grado de especialización creó nuevos problemas que ocurren hasta la fecha en muchas empresas. Uno de estos problemas es la tendencia de muchos de los componentes de la organización a convertirse en imperios relativamente autónomos, con sus propias metas y sistemas de valores, perdiendo con esto la visión de cómo sus actividades y objetivos encajan con los de toda la organización. Lo que es mejor para un componente, puede ir en detrimento de otro, de manera que pueden terminar trabajando con objetivos opuestos. Un problema relacionado con esto es que, conforme la complejidad y la especialización crecen, se vuelve más difícil asignar los recursos disponibles a las diferentes actividades de la manera más eficaz para la organización como un todo. Este tipo de problemas, y la necesidad de encontrar la mejor forma de resolverlos, proporcionaron el ambiente adecuado para el surgimiento de la investigación de operaciones.

Las raíces de la investigación de operaciones se remontan a muchas décadas, cuando se hicieron los primeros intentos para emplear el enfoque científico en la administración de una empresa. Sin embargo, el inicio de la actividad llamada *investigación de operaciones*, casi siempre se atribuye a los servicios militares prestados a principios de la Segunda Guerra Mundial. Debido a los esfuerzos bélicos, existía una necesidad urgente de asignar recursos escasos a las distintas operaciones militares y a las actividades dentro de cada

---

operación, en la forma más efectiva. Por todo esto, las administraciones militares americana e inglesa hicieron un llamado a un gran número de científicos para que aplicaran el enfoque científico a éste y a otros problemas de estrategia y táctica. De hecho, se les pidió que hicieran investigación sobre operaciones militares. Estos equipos de científicos fueron los primeros equipos de investigación de operaciones. Sus esfuerzos contribuyeron de una manera definitiva al triunfo del combate aéreo inglés en la isla de Campaña en el Pacífico, de la batalla del Atlántico Norte y de muchas otras.

Estimulados por el evidente éxito de la investigación de operaciones en lo militar, los industriales comenzaron a interesarse en este nuevo campo. Como la explosión industrial seguía su curso al terminar la guerra, los problemas causados por el aumento de la complejidad y especialización dentro de las organizaciones pasaron a primer plano. Comenzó a ser evidente para un gran número de personas, incluyendo a los consultores industriales que habían trabajado con o para los equipos de investigación de operaciones durante la guerra, que estos problemas eran básicamente los mismos que los enfrentados por la milicia, pero en un contexto diferente. De esta forma, la investigación de operaciones comenzó a introducirse en la industria, los negocios y el gobierno. Para 1951, ya se había introducido por completo en Gran Bretaña y estaba Estados Unidos en proceso de hacerlo.

Se pueden identificar por lo menos otros dos factores que jugaron un papel importante en el desarrollo de la investigación de operaciones durante este periodo. Uno es el gran progreso que ya se había hecho en el mejoramiento de las técnicas disponibles en esta área. Después de la guerra, muchos científicos que habían participado en los equipos de investigación de operaciones o que tenían información sobre este trabajo, se encontraban motivados a buscar resultados sustanciales en este campo; de esto resultaron avances importantes. Un ejemplo sobresaliente es el método simplex para resolver problemas de programación lineal, desarrollado en 1947 por George Dantzig. Muchas de las herramientas características de la investigación de operaciones, como programación lineal, programación dinámica, líneas de espera y teoría de inventarios, fueron desarrolladas casi por completo antes del término de la década de 1950. Además del rápido desarrollo teórico, el segundo factor que dio un gran ímpetu a la investigación de operaciones fue el advenimiento de las computadoras. Para manejar de una manera efectiva los complejos problemas inherentes a esta disciplina, por lo general se requiere un gran número de cálculos; llevarlos a cabo a mano puede resultar casi imposible. Entonces el desarrollo de la computadora electrónica digital, con su capacidad para realizar cálculos aritméticos, miles o tal vez millones de veces más rápido que los seres humanos, fue una gran ayuda para la investigación de operaciones. "

Hillier F.S., Lieberman G. J., *Introducción a la Investigación de Operaciones*, M<sup>c</sup> Graw Hill, Quinta Edición.

---

"Los inicios de lo que hoy se conoce como Investigación de Operaciones se remontan a los años 1759 cuando el economista Quesnay empieza a utilizar modelos primitivos de programación matemática. Más tarde, otro economista de nombre Walras, hace uso, en 1874, de técnicas similares. Los modelos lineales de la Investigación de Operaciones tienen como precursores a Jordan en 1873, Minkowsky en 1896 y a Farkas en 1903. Los modelos dinámicos probabilísticos tienen su origen con Markov a fines del siglo pasado. El desarrollo de los modelos de inventarios, así como el de tiempos y movimientos, se lleva a cabo por los años veinte de este siglo, mientras que los modelos de línea de espera se originan con los estudios de Erlang, a principios del siglo XX. Los problemas de asignación se estudian con métodos matemáticos por los húngaros Konig y Egervary en la segunda y tercera décadas de este siglo. Los problemas de distribución se estudian por el ruso Kantorovich en 1939. Von Neuman cimienta en 1937 lo que años más tarde culminara como la Teoría de Juegos y la Teoría de Preferencias (esta última desarrollada en conjunto con Morgenstern). Hay que hacer notar que los modelos matemáticos de la Investigación de Operaciones que utilizaron estos precursores, estaban basados en el Cálculo Diferencial e Integral (Newton, Lagrange, Laplace, Lebesgue, Leibnitz, Reimman, Stieltjes, por mencionar algunos), la Probabilidad y la Estadística (Bernoulli, Poisson, Gauss, Bayes, Gosset, Snedecor, etc.).

No fue sino hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando la Investigación de Operaciones empezó a tomar auge. Primero se le utilizó en la logística estratégica para vencer al enemigo (Teoría de Juegos) y, más tarde al finalizar la guerra, en la logística de distribución de todos los recursos militares de los aliados dispersos por todo el mundo. Fue debido precisamente a este último problema, que la fuerza aérea norteamericana, a través de su centro de investigación Rand Corporation, comisionó a un grupo de matemáticos para que resolviera este problema que estaba consumiendo tantos recursos humanos, financieros y materiales. Fue el doctor George Dantzig, el que en 1947, resumiendo el trabajo de muchos de sus precursores, inventara el método Simplex, con lo cual dio inicio a la Programación Lineal. Con el avance de las computadoras digitales se empezó a extender la Investigación de Operaciones, durante la decena de los cincuenta en las áreas de Programación Dinámica (Bellman), Programación No Lineal (Kuhn y Tucker), Programación Entera (Gomory), Redes de Optimización (Ford y Fulkerson), Simulación (Markowitz), Inventarios (Arrow, Karlin, Scarf, Whitin), Análisis de Decisiones (Raiffa) y Procesos Markovianos de Decisión (Howard). La generalización de la Investigación de Operaciones ha tratado de darla Churchman, Ackoff y Arnoff. "

Prawda Juan, *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*, Ed. Limusa

---

---

### Algunas Definiciones De Investigación De Operaciones

" La Investigación de Operaciones es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda organización."  
Ackoff, R. L. y Sasieni M. W. *Fundamentals of Operations Research*, John Wiley & Sons, 1968

"¿Qué es la investigación de operaciones? Una manera de tratar de responder a esta pregunta es dar una definición. Por ejemplo, la investigación de operaciones puede describirse como un enfoque científico de la toma de decisiones que requiere la operación de sistemas organizacionales. Sin embargo, esta descripción, al igual que los intentos anteriores de dar una definición, es tan general que se puede aplicar a muchos otros campos. Por lo tanto, tal vez la mejor forma de entender la naturaleza única de la investigación de operaciones sea examinar sus características sobresalientes.

Como su nombre lo dice, la investigación de operaciones significa "hacer investigación sobre las operaciones". Esto dice algo tanto del enfoque como del área de aplicación. Entonces, la investigación de operaciones se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de operaciones o actividades dentro de una organización. La naturaleza de la organización es esencialmente inmaterial y, de hecho, la investigación de operaciones se ha aplicado en los negocios, la industria, la milicia, el gobierno, los hospitales, etc. Así, la gama de aplicaciones es extraordinariamente amplia. El enfoque de la investigación de operaciones es el mismo 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 (por lo general matemático) 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 las conclusiones (soluciones) obtenidas sean válidas también para el problema real. Esta hipótesis se verifica y modifica mediante las pruebas adecuadas. Entonces, en cierto modo, la investigación de operaciones incluye la investigación científica creativa de las propiedades fundamentales de las operaciones. Sin embargo, existe más que esto. En particular, la investigación de operaciones se ocupa también 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.

Una característica más de la investigación de operaciones es su amplio punto de vista. Como quedó implícito en la sección anterior, la investigación de operaciones adopta un punto de vista organizacional. Puede decirse que intenta resolver los conflictos de intereses entre los componentes de la organización de forma que el resultado sea el mejor para la organización completa. Esto no significa que el estudio de cada problema deba considerar en forma explícita todos los aspectos de la organización sino que los objetivos que se buscan

deben ser consistentes con los de toda ella. Una característica adicional, que se mencionó incidentalmente, es que la investigación de operaciones intenta encontrar la mejor solución, o la solución óptima, al problema bajo consideración. En lugar de contentarse con sólo mejorar el estado de las cosas, la meta es identificar el mejor curso de acción posible. Aun cuando debe interpretarse con todo cuidado, esta "búsqueda de la optimalidad" es un aspecto muy importante dentro de la investigación de operaciones.

Todas estas características llevan de una manera casi natural a otra. Es evidente que no puede esperarse que un solo individuo sea un experto en todos los múltiples aspectos del trabajo de investigación de operaciones o de los problemas que se estudian; se requiere un grupo de individuos con diversos antecedentes y habilidades. Entonces, cuando se va a realizar un estudio de investigación de operaciones completo de un nuevo problema, por lo general es necesario organizar un equipo. Éste debe incluir individuos con antecedentes firmes en matemáticas, estadística y teoría de probabilidades, al igual que en economía, administración de empresas, computación electrónica, ingeniería, ciencias físicas y del comportamiento y, por supuesto, en las técnicas especiales de investigación de operaciones. El equipo también necesita tener la experiencia y las habilidades necesarias para permitir la consideración adecuada de todas las ramificaciones del problema a través de la organización y para ejecutar eficientemente todas las fases del estudio.

En resumen, la investigación de operaciones se ocupa de la toma de decisiones óptima y del modelado de sistemas determinísticos y probabilísticos que se origina en la vida real. Estas aplicaciones, que ocurren en el gobierno, en los negocios, en la industria, en ingeniería, en economía y en las ciencias naturales y sociales, se caracterizan, en gran parte, por la necesidad de asignar recursos escasos. En estas situaciones, se puede obtener un conocimiento profundo del problema a partir del análisis científico que proporciona la investigación de operaciones. La contribución del enfoque de investigación de operaciones proviene principalmente de:

- 1.- La estructuración de una situación de la vida real como un modelo matemático, con lo que se logra una abstracción de los elementos esenciales para que pueda buscarse una solución que concuerde con los objetivos del tomador de decisiones. Esto implica tomar en cuenta el problema dentro del contexto del sistema completo.
- 2.- El análisis de la estructura de tales soluciones y el desarrollo de procedimientos sistemáticos para obtenerlas.
- 3.-El desarrollo de una solución, incluyendo la teoría matemática, si es necesario, que lleve al valor óptimo de la medida de lo que se espera del sistema (o quizá que compare los cursos de acción alternativos evaluando esta medida para cada uno). "

Hillier, F. S. y Lieberman G J. *Introducción a la Investigación de Operaciones*, M<sup>c</sup> Graw Hill, 1994

---

"El ramo de la investigación operacional desciende - bajo ciertos aspectos- de la administración científica, incrementada por métodos más refinados (principalmente matemáticos): la tecnología computacional y de una orientación rumbo a los problemas más amplios. La Investigación de Operaciones adopta el método científico como estructura para la solución de los problemas, dando mayor énfasis al juicio objetivo que al juicio subjetivo. Los autores de la escuela matemática, provienen la mayoría de la matemática, de la estadística, de la ingeniería y de la economía y poseen una orientación nítidamente técnico-económica y estrictamente racional y lógica.

Las definiciones de I.O. (Investigación de Operaciones) varían desde técnicas matemáticas específicas hasta el método científico en sí. Muchas de las definiciones incluyen tres aspectos básicos al enfoque de I. O. Para la toma de decisiones administrativas:

- 1.- Una visión sistemática del problema a ser resuelto.
- 2.- Una concordancia en cuanto al uso de método científico en la resolución de problemas.
- 3.- La utilización de técnicas específicas de estadística, probabilidad y modelos matemáticos para ayudar a quien toma las decisiones a resolver el problema.

La I.O. es considerada simplemente una "teoría de la decisión aplicada" : "la investigación operacional utiliza cualquier método científico, matemático o lógico, para hacer frente a los problemas que se presentan cuando el ejecutivo busca un raciocinio eficaz para enfrentar sus problemas de decisión". En su sentido más amplio, la I.O. puede ser caracterizada como la aplicación de métodos científicos, técnicas científicas e instrumentos científicos a problemas que involucran operaciones de sistemas, de modo que provean a los ejecutivos responsables de las operaciones, soluciones óptimas para los problemas".

El enfoque de I.O. incorpora el enfoque sistemático al reconocer que las variables internas en los problemas decisoriales son interdependientes e interrelacionadas.

La investigación operacional es "la aplicación de métodos, técnicas e instrumentos científicos a los problemas que envuelven las operaciones de un sistema, de modo que proporcione, a los que controlan el sistema, soluciones óptimas para el problema observado". Esta se "ocupa generalmente de operaciones de un sistema existente...", esto es, "materiales, energías, personas y máquinas ya existentes". "El objetivo de la investigación operacional es capacitar la administración para resolver problemas y tomar decisiones".

Los principales campos de aplicación de la I.O. son:

- a. *Relativa a personas:*
  - 1.- Organización y gerencia.
  - 2.- Ausentismo y relaciones de trabajo.
  - 3.- Economía.
  - 4.- Decisiones individuales.
  - 5.- Investigaciones de mercado.

- 
- b. *Relativa a personas y máquinas:*
    - 1.- Eficiencia y productividad.
    - 2.- Organización de flujos en fábricas.
    - 3.- Métodos de control de calidad, inspección y muestreo.
    - 4.- Prevención de accidentes.
    - 5.- Organización de cambios tecnológicos.
  - c. *Relativa a movimientos:*
    - 1.- Transporte.
    - 2.- Almacenamiento, distribución y manipulación.
    - 3.- Comunicaciones.

Chiavenato Idalberto, *Introducción a la Teoría General de Administración*, M<sup>c</sup>. Graw Hill, 1989

---

### **George Dantzig: Fundador de la Programación Lineal**

SIAM News, Noviembre de 1994

A pesar de los grandes adelantos en la optimización computacional ocurridos durante los últimos 20 años (por ejemplo, los avances en los métodos de punto interior), el método Simplex inventado por George B. Dantzig en 1947 es aún la herramienta principal en casi todas las aplicaciones de la programación lineal.

Dantzig es considerado como uno de los tres fundadores de la programación lineal, compartiendo dicho honor con Von Neumann y Kantorovich. A través de su investigación en teoría matemática, computación, análisis económico y aplicaciones de problemas industriales ha logrado contribuir más que cualquier otro investigador al desarrollo de la programación lineal.

El trabajo de Dantzig ha sido reconocido con numerosos honores, de entre los cuales sobresalen: La Medalla Nacional de la Ciencia (1975), el Premio John Von Neumann de la Sociedad Americana de Investigación de Operaciones y el Instituto de Ciencias Administrativas (1974), la membresía en la Academia Nacional de Ciencias, la Academia Nacional de Ingeniería y la Academia Americana de Ciencia y Arte.

La programación lineal y sus derivados (tales como la optimización no lineal con restricciones y la programación entera) han sido capaces de pasar la prueba del tiempo sin debilitarse, y en nuestros días afectan las prácticas económicas de las organizaciones y sus administraciones. El científico computacional Laszolo Lovasz dijo en 1980, "Si se tomaran estadísticas acerca de cuál problema matemático usa la mayoría del tiempo computacional en el mundo (sin incluir problemas de manejo de bases de datos, como la búsqueda y ordenamiento), seguramente la respuesta sería la programación lineal." En ese mismo año Eugene Lawler de Berkeley dijo lo siguiente: "La programación lineal se usa para asignar recursos, planear la producción, planear el horario de trabajadores, planear la cartera de inversión y formular estrategias de mercado (y militares). La versatilidad e impacto

---

económico de la programación lineal en el mundo industrial actual es realmente impresionantes."

En palabras del propio Dantzig: "El tremendo poder del método Simplex me sorprende constantemente". Citando el simple ejemplo del problema de asignación (70 personas para 70 tareas) y el enorme poder computacional que se requeriría para analizar todas las permutaciones y seleccionar la solución óptima, observó lo siguiente: "sólo toma un momento encontrar la solución óptima usando una computadora personal y un paquete que maneje el método simplex estándar".

Dantzig escribió en 1991: "es interesante notar que el problema original que ocasionó mi investigación está todavía pendiente, es decir, el problema de la planeación dinámica a través del tiempo, particularmente bajo condiciones de incertidumbre. Si este tipo de problemas pudieran resolverse satisfactoriamente, se podría contribuir (tras una buena planeación) al mejoramiento de este mundo y del ser humano."

La contribución de Dantzig, según sus explicaciones, nació de su experiencia en el Pentágono durante la Segunda Guerra Mundial, en donde se convirtió en experto en programación (métodos de planeación hechos con calculadoras). En 1946, como consejero matemático de la Fuerza Aérea Norteamericana, tuvo el reto de mecanizar los procesos de planeación. En aquellos tiempos de computadoras pre-electrónicas, mecanizar quería decir usar aparatos analógicos o máquinas de tarjetas perforadas. ("Programar" era un término militar que no se refería a las instrucciones usadas por la computadora para resolver problemas, sino a los planes o calendarizaciones propuestas para el entrenamiento, logística, o despliegue de unidades de combate. El nombre de "programación lineal", que ha confundido a mucha gente, está basado en la definición militar de "programa").

Las contribuciones de Dantzig van desde la programación lineal y el método Simplex hasta la teoría de la descomposición, el análisis de sensibilidad, los métodos de pivote complementarios, la optimización a gran escala, la programación no lineal, y la programación bajo incertidumbre. Sus estudios en la programación lineal han tenido un impacto fundamental en el desarrollo de la investigación de operaciones como una disciplina.



**"Los que mandan generalmente mueven las manos y dicen 'He considerado todas las alternativas'. Pero eso es casi siempre basura. Lo más probable es que no pudiesen estudiar todas las combinaciones."**

George Bernard Dantzig nació el 8 de Noviembre de 1914 en Pórtland, Oregon, USA. Actualmente es profesor emérito en el departamento de Investigación de Operaciones de la Universidad de Stanford. Se recomienda consultar la siguiente dirección en internet [www.stanford.edu/dept/eesor/people/faculty/dantzig/](http://www.stanford.edu/dept/eesor/people/faculty/dantzig/)

George B. Dantzig , el creador de la programación lineal, en una entrevista publicada en **The College Mathematical Journal**, Marzo de 1986. Se presenta a continuación, parte de esta entrevista:



---

"Considere el problema de asignar 70 hombres a 70 empleos. Una 'actividad' consiste en asignar el  $i$ -ésimo hombre al  $j$ -ésimo empleo. Las restricciones son dos: en primer lugar hay 70 hombres, cada uno de los cuales debe asignarse a un puesto, y en segundo lugar, cada uno de los 70 puestos existentes debe estar ocupado. El nivel de una actividad puede ser 1, lo cual indica que está siendo usada, o 0, lo cual significa que no. En consecuencia hay  $2 \times 70 = 140$  restricciones y  $70 \times 70 = 4900$  actividades con 4900 variables correspondientes de decisión uno-cero. Por desgracia también hay factorial de 70 permutaciones o formas de hacer las asignaciones. El problema consiste en comparar estas factorial de 70 formas y elegir la que sea la óptima o 'mejor' según algún criterio previamente establecido."

"En el ejemplo anterior, factorial de 70 es un número muy grande. A fin de tener una idea de qué tan grande es, supóngase que se hubiese tenido una computadora IBM del tipo main-frame en el instante en el que ocurrió el Big Bang hace quince millones de años. ¿Habría podido, entre ese entonces y ahora, examinar todas las soluciones posibles? ¡No! No obstante, supóngase que se hubiese tenido una computadora aun más poderosa, una que pudiese examinar mil millones de asignaciones por segundo. La respuesta seguiría siendo negativa. Aun si la Tierra se llenase con computadoras cuyas rapidezces fueran de nanosegundos, todas ellas trabajando en paralelo, la respuesta aun sería no. Sin embargo, si existiesen diez Tierras, todas llenas con computadoras del tipo mencionado, todas programadas en paralelo desde el instante del Big Bang hasta que el Sol fuese una esfera fría, entonces quizás la respuesta podría ser sí. Lo notable es que el método Simplex, con la ayuda de una computadora moderna, puede resolver este problema en una fracción de segundo".

"Cuando el problema de la planeación fue formulado inicialmente para la Fuerza Aérea, no existía la noción exacta de una función objetivo, la idea de una meta claramente definida. Por supuesto, teníamos sólo un falso respeto hacia el concepto de objetivo. En el discurso de los militares escuché a menudo decir, 'nuestro objetivo es ganar la guerra'. En el mundo de los negocios se escucharía quizás 'nuestro objetivo es obtener ganancias'. Sin embargo, era imposible hallar alguna relación directa entre la meta establecida y las acciones emprendidas para tal fin."

"Si se estudiaba con cuidado el paso siguiente, se podía ver que algún líder había promulgado un montón de reglas básicas que, en su concepto, llevarían a la meta. Esto distaba mucho de lo que sería honestamente estudiar todas las combinaciones alternativas de las acciones a seguir para elegir la mejor combinación. Los que mandan generalmente mueven las manos y dicen 'He considerado todas las alternativas'. Pero eso es casi siempre basura. Lo más probable es que no pudiesen estudiar todas las combinaciones. Antes de 1947 era inconcebible pensar en la existencia de una herramienta como la programación lineal que permitiese examinar millones de combinaciones. No había algoritmo o herramienta computacional que pudiera hacer eso."

"No descubrí el modelo de la programación lineal en un instante, sino que tuvo un proceso de evolución. Se dedicó casi un año completo a la tarea de decidir si mi modelo podría ser

utilizado en la formulación de problemas prácticos de distribución de tiempos. Como usted sabe, la planeación y la distribución de tiempos se llevaron a una escala inmensa durante la guerra. El funcionamiento de la Fuerza Aérea fue equivalente al funcionamiento de la economía de toda una nación. En el proceso intervinieron cientos de miles de personas. La logística tuvo una magnitud difícil de entender para alguien que no haya estado allí. Mi colega Marshall Wood y yo revisamos miles de situaciones tomadas de nuestra experiencia durante la guerra."

"Las reglas básicas empleadas en la planeación se expresaban en un formato completamente distinto del que se emplea en la actualidad para formular un programa lineal. Lo que hicimos fue revisar estas reglas una por una y demostrar que casi todas ellas podían reformularse aceptablemente en un formato de programación lineal. Pero no todas. En algunos casos era necesario tomar en cuenta el carácter discreto de las variables y las no convexidades."

"Cuando formulé por primera vez mi modelo de programación lineal, lo hice sin una función objetivo. Estuve luchando por algún tiempo con la adición de reglas básicas para elegir de entre las soluciones factibles la que en algún sentido fuese 'óptima'. Pero pronto abandoné esta idea y la sustituí por la de una función objetivo a ser maximizada. El modelo que formulé no estaba hecho específicamente para fines militares. Podía aplicarse a toda clase de problemas de planeación; todo lo que tenía que hacerse era cambiar los nombres de las columnas y los renglones, y entonces era aplicable a un problema de planeación económica lo mismo que a un problema de planeación industrial."

### **Bibliografía de George Bernard Dantzig**

George Dantzig studied mathematics at the University of Maryland, receiving his A.B. in 1936. The following year he received an M.A. in mathematics from the University of Michigan.

Dantzig worked as a Junior Statistician in the U.S. Bureau of Labor Statistics from 1937 to 1939, then, from 1941 to 1946, he was head of the Combat Analysis Branch, U.S.A.F. Headquarters Statistical Control. He received his doctorate in mathematics from the University of California, Berkeley in 1946. In that year he was appointed Mathematical Advisor for USAF Headquarters.

In 1947 Dantzig made the contribution to mathematics for which he is most famous, the simplex method of optimization. It grew out of his work with the U.S. Air Force where he became an expert on planning methods solved with desk calculators. In fact this was known as "programming", a military term that, at that time, referred to plans or schedules for training, logistical supply or deployment of men.

Dantzig mechanized the planning process by introducing "linear programming", where "programming" has the military meaning explained above. The importance of linear programming methods was described, in 1980, by Laszlo Lovasz who wrote:-

If one would take statistics about which mathematical problem is using up most of the computer time in the world, then ... the answer would probably be linear programming.

Also in 1980 Eugene Lawler wrote:-

[Linear programming] is used to allocate resources, plan production, schedule workers, plan investment portfolios and formulate marketing (and military) strategies. The versatility and economic impact of linear programming in today's industrial world is truly awesome.

Dantzig however modestly wrote:-

The tremendous power of the simplex method is a constant surprise to me.

Dantzig became a research mathematician with the RAND Corporation in 1952, then in 1960 he was appointed professor at Berkeley and Chairman of the Operations Research Center. While there he wrote Linear programming and extensions (1963). In 1966 he was appointed Professor of Operations Research and Computer Science at Stanford University.

His work in a wide range of topics related to optimization and operations research over the years has been of major importance. However, writing in 1991, Dantzig noted that:-

... it is interesting to note that the original problem that started my research is still outstanding - namely the problem of planning or scheduling dynamically over time, particularly planning dynamically under uncertainty. If such a problem could be successfully solved it could eventually through better planning contribute to the well-being and stability of the world.

Dantzig has received many honours including the Von Neumann Theory Prize in Operational Research in 1975. His work is summarized by Stanford University as follows:-

A member of the National Academy of Engineering, the National Academy of Science, the American Academy of Arts and Sciences and recipient of the National Medal of Science, plus eight honorary degrees, Professor Dantzig's seminal work has laid the foundation for much of the field of systems engineering and is widely used in network design and component design in computer, mechanical, and electrical engineering.

**Article by: J J O'Connor and E F Robertson**

---

## El Analista de Investigación de Operaciones

### Naturaleza del Trabajo

Dirigir una organización u operación compleja, tal como una extensa planta manufacturera, una aerolínea, o un despliegue militar requiere coordinación precisa de materiales, máquinas y gente. Los analistas de investigación de operaciones ayudan a las organizaciones a coordinar y operar de la manera más eficiente aplicando métodos científicos y principios matemáticos a los problemas organizacionales. Los administradores pueden evaluar alternativas y escoger el curso de acción óptimo para la organización.

Los analistas de investigación de operaciones, también llamados analistas de las ciencias administrativas, son solucionadores de problemas. Los problemas que atacan están en su mayoría relacionados con las grandes organizaciones de negocios: estrategia, pronósticos, distribución de recursos, disposición de medios, control de inventarios, calendarización de personal, y sistemas de distribución. El método que usan generalmente involucra un modelo matemático (conjunto de ecuaciones) que explica la manera en que ocurren las cosas dentro de la organización. Dicho modelo es una representación simplificada que permite al analista dividir los sistemas en partes, asignar valores numéricos a cada componente, y examinar las relaciones matemáticas entre ellos. Estos valores pueden ser alterados para determinar qué ocurriría bajo diferentes circunstancias. Los principales tipos de modelos son: simulación, optimización lineal, redes, líneas de espera, y teoría de juegos.

Los analistas de investigación de operaciones hacen uso extensivo de los recursos computacionales en su trabajo. Generalmente son expertos en el manejo de bases de datos, programación, y desarrollo de software sofisticado. La mayoría de los modelos realizados por los analistas de investigación de operaciones son tan complicados que sólo una computadora los puede resolver eficientemente.

Los problemas que manipulan varían según la industria. Por ejemplo, un analista para una aerolínea coordinará la calendarización de vuelos y mantenimiento, estimados de nivel de pasajeros, y consumo de combustible para producir un calendario que optimice todos estos factores y así asegure la seguridad y producir la mayor ganancia posible. Por otro lado, un analista empleado en un hospital se concentrará en diferentes problemas, como el control de admisión de pacientes, el manejo del flujo de pacientes, la asignación de turnos, monitoreo de uso de servicios de farmacia y laboratorios, o el pronóstico de la demanda para nuevos servicios del hospital.

El papel del analista de investigación de operaciones varía de acuerdo a la estructura y filosofía administrativa de la compañía. Algunas empresas centralizan la investigación de operaciones en un departamento; otras dispersan el personal de investigación de operaciones a través de todas las divisiones. Algunos analistas de investigación de operaciones se especializan en un tipo de aplicación; otros se generalizan.

El grado de supervisión varía según la estructura y experiencia de la organización. En algunas empresas los analistas tienen un grado muy alto de independencia profesional; en

otras, los analistas son supervisados celosamente. Los analistas de investigación de operaciones tienen una relación muy cercana con los administradores de alto nivel, quienes tienen una gran variedad de requerimientos de soporte. Los analistas deben adaptar su trabajo para cubrir estas necesidades.

Sin considerar la estructura de la organización o la industria, la investigación de operaciones vincula un conjunto similar de procedimientos. Los administradores comienzan el proceso describiendo los síntomas del problema al analista. El analista define entonces el problema, el cual algunas veces es de naturaleza general y otras es específico. Por ejemplo, un analista de una manufacturera automotriz querrá determinar el nivel óptimo de inventario de cada uno de los materiales para un nuevo proceso de producción o, más específicamente, para determinar cuánto acero debe ser almacenado.

Después de que el analista define el problema, aprende todo lo que se puede acerca de él. Investiga el problema, después lo divide en pequeños componentes. Entonces acumula información acerca de cada una de esas partes. Generalmente esto involucra consultar a un gran número de personal. Por ejemplo, para determinar la cantidad óptima de acero a ser almacenado, el analista podría hablar con los ingenieros acerca de los niveles de producción; discutir arreglos de adquisición con los compradores industriales; Y examinar los datos de los costos de almacenamiento provistos por el departamento de contabilidad.

Con esta información, el analista de investigación de operaciones está listo para seleccionar la técnica analítica más apropiada. Puede haber muchísimas técnicas que se adapten al problema, aunque también puede ser que sólo una se ajuste a nuestras necesidades. En algunos casos, el analista debe construir un modelo original para examinar y explicar el sistema. En casi todos los casos, el modelo seleccionado debe de ser modificado para reflejar las circunstancias específicas de la situación.

Un modelo para la calendarización de vuelos de una aerolínea, por ejemplo, puede tomar en cuenta la cantidad de combustible requerido para las rutas de vuelo, varios niveles de demanda de los pasajeros, diferentes precios de los boletos, calendarización de los pilotos, y costos de mantenimiento. El analista selecciona los valores para estas variables, alimenta con ellos a la computadora, la cual ha sido programada para hacer los cálculos requeridos, y corre el programa para producir el calendario óptimo de vuelos.

En este punto, el analista presenta el trabajo final a la administración además de ciertas recomendaciones basadas en los resultados de los análisis. Para la toma final de decisiones se requerirán corridas adicionales basadas en diferentes suposiciones. Una vez que se toma una decisión, el analista trabaja para asegurar su instrumentación.

### **Condiciones de trabajo**

Los analistas de investigación de operaciones generalmente trabajan horas regulares en ambiente de oficina. Debido a que trabajan en proyectos que son de interés inmediato para la alta administración, los analistas trabajan constantemente bajo presión y por lo general

más de 40 horas por semana. El trabajo es de naturaleza sedentaria, y se requiere muy poca fuerza física.

### **Empleo**

El campo para los analistas de investigación de operaciones fue de 57,000 empleos en 1990 en Estados Unidos. Se requieren en la mayoría de las industrias. Las empresas que más necesitan los servicios de un analista de investigación de operaciones son las manufactureras de químicos, maquinaria y equipo de transporte; empresas que proveen servicios de transporte y telecomunicaciones; bancos; agencias de seguros; empresas de servicios públicos; y agencias gubernamentales de todos los niveles. Algunos analistas trabajan en agencias de consultoría administrativa que desarrollan aplicaciones de investigación de operaciones para empresas que no tienen personal de este tipo.

La mayoría de los analistas en el gobierno trabajan para las fuerzas armadas. Además, varios analistas que trabajan en la industria privada trabajan también directa o indirectamente para la Defensa Nacional.

### **Perspectivas futuras de trabajo**

Se espera que las oportunidades de trabajo para los analistas de investigación de operaciones crezcan mucho más rápido que el promedio de las ocupaciones hasta el año 2005 debido a la importancia que está cobrando el análisis cuantitativo en la toma de decisiones y la cada vez mayor disponibilidad de recursos computacionales.

Cada vez más organizaciones están usando técnicas de investigación de operaciones para mejorar la productividad y reducir los costos. Además, hoy en día se pueden encontrar computadoras con las capacidades requeridas para correr aplicaciones de investigación de operaciones a muy bajos costos. Esto permite que hasta las empresas pequeñas se interesen por la investigación de operaciones. Esta tendencia estimulará en gran medida la demanda de analistas de investigación de operaciones en los próximos años.

Se espera que el mayor crecimiento de la demanda de trabajo ocurra en los sectores de transporte, manufactura, finanzas y servicios. Las empresas en estos sectores reconocen que el análisis cuantitativo puede ocasionar mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y las utilidades. Cada vez más aerolíneas, por ejemplo, están usando investigación de operaciones para determinar la calendarización óptima de vuelos y mantenimiento, seleccionar las mejores rutas de servicio, analizar las características de los clientes, y controlar el consumo de combustible, entre otras cosas. Las cadenas de moteles están comenzando a utilizar la investigación de operaciones para mejorar su eficiencia. Por ejemplo, analizan los patrones de tráfico de automóviles y las actitudes de los clientes para determinar la localización, tamaño y estilo de los nuevos moteles.

---

## La Investigación De Operaciones en la práctica

En esta sección se presenta un breve panorama de las técnicas de la Investigación de Operaciones. Después se presentan los resultados de algunas investigaciones que muestran cuáles técnicas se han utilizado con mayor frecuencia en la práctica y qué es necesario hacer para permitir al lector utilizar con éxito la Investigación de Operaciones a lo largo de su carrera.

Técnicas de la ciencia de la Investigación de Operaciones

En este texto se describen las siguientes técnicas de la ciencia de la Investigación de Operaciones.

**Programación lineal:** es un método de solución de problemas que se ha desarrollado para situaciones que implican la maximización o la minimización de una función lineal sujeta a restricciones lineales que limitan la medida en la que se puede tender hacia la función objetivo.

**Programación lineal con números enteros:** Es un método que se utiliza para problemas que pueden ser planteados como programas lineales, con el requisito adicional de que algunas o todas las decisiones recomendadas deben asumir valores enteros.

**Modelos de redes:** Es una representación gráfica de un problema que consiste en pequeños círculos, a los que se denomina nodos, interconectados por líneas a las que se denomina arcos. Existen procedimientos de solución especializados para este tipo de problemas que permiten resolver rápidamente muchos problemas gerenciales en áreas como diseño de sistemas de transporte, diseño de sistemas de información y programación de proyectos.

**Administración de proyectos PERT/CPM:** En muchos casos los administradores asumen la responsabilidad de la planeación, la programación y el control de proyectos que constan de numerosas tareas o trabajos que son llevados a cabo por diversos departamentos, personas, etc. PERT y CPM son técnicas que ayudan a los administradores a cumplir con sus responsabilidades en la administración de proyectos.

**Modelos de inventarios:** Estos modelos se utilizan para auxiliar a administradores que enfrentan los problemas duales de mantener suficientes inventarios para satisfacer la demanda de bienes y, al mismo tiempo, de incurrir en los menores costos posibles por el mantenimiento de esos inventarios.

**Modelos de líneas de espera (teoría de colas):** Se han desarrollado los modelos de líneas de espera (colas o filas) para ayudar a los administradores a comprender y a tomar mejores

decisiones con respecto a la operación de sistemas que implican líneas de espera.

**Simulación en computadora:** Esta es una técnica que se utiliza para ensayar modelos de la operación de un sistema en el tiempo. Tal técnica emplea un programa computacional para modelar la operación y realizar cálculos sobre la simulación.

**Análisis de decisiones:** El análisis de decisiones puede servir para determinar estrategias óptimas en situaciones en las que existen varias alternativas de decisión y un patrón de eventos incierto o llenos de riesgo.

**Programación de metas:** Esta es una técnica que se utiliza para resolver problemas de decisiones con criterios múltiples, por lo general dentro de una estructura de programación lineal. Proceso analítico de jerarquización. Es una técnica de toma de decisiones con criterios múltiples que permite la inclusión de factores subjetivos para llegar a la decisión que se recomienda.

**Pronósticos:** Los métodos de pronóstico se pueden emplear para predecir aspectos futuros de una operación de negocios.

**Modelos de procesos de Markov:** Los modelos de procesos de Markov son útiles para estudiar la evolución de ciertos sistemas después de varias repeticiones. Por ejemplo, se han usado procesos de Markov para describir la probabilidad de que una máquina que está funcionando en un periodo continúe funcionando o se descomponga en otro periodo.

**Programación dinámica:** Esta programación es una técnica que permite descomponer un problema grande de manera que, una vez que se han resuelto los problemas más pequeños obtenidos en la descomposición, se tiene una solución óptima para el problema completo.

#### **Métodos que se usan con mayor frecuencia**

Un estudio realizado por Forgiogne acerca de ejecutivos de empresas indica la frecuencia con la que se utilizan diversas técnicas de la ciencia de la Investigación de Operaciones. Como se muestra en la Tabla siguiente, los métodos que se usan con mayor frecuencia son los métodos estadísticos, la simulación en computadora, PERT/CPM, programación lineal y teoría de colas.



	Frecuencia de uso en % de respuestas		
	Nunca	Moderada	Frecuente
Estadística	1.6	38.7	59.7
Simulación en computadora	12.9	53.2	33.9
PERT/CPM	25.8	53.2	21.0
Programación lineal	25.8	59.7	14.5
Teoría de las colas	40.3	50.0	9.7
Programación no lineal	53.2	38.7	8.1
Programación dinámica	61.3	33.9	4.8
Teoría de los juegos	69.4	27.4	3.2

Estudio de Ledbetter y Cox apoya estas conclusiones al jerarquizar, en orden de uso, regresión (análisis estadístico), programación lineal, simulación, modelos de redes (PERT/CPM), filas o colas, programación dinámica y teoría de juegos.

Una investigación de Thomas y DaCostaS mostraba que el 88% de todas las empresas grandes utilizan los pronósticos y que más de 50% hacen uso de métodos cuantitativos para programación de la producción, control de inventarios, presupuestos de capital y transporte. Un estudio realizado por Gaitheró sobre las aplicaciones de la ciencia de la administración en empresas manufactureras apoya también la elevada frecuencia de utilización del análisis estadístico, la simulación y la programación lineal. Sin embargo, PERT/CPM es el método que se identifica como el más frecuentemente empleado en las empresas manufactureras investigadas. Las empresas manufactureras reportan también una utilización superior al promedio de la teoría de colas, la programación no lineal y la programación según enteros.

Como parte de una investigación sobre practicantes en el gobierno, la industria y la academia, Shannon, Long y Buckles pidieron a administradores en ejercicio que señalaran si estaban familiarizados con los diversos métodos cuantitativos y si habían utilizado o no esos métodos en aplicaciones específicas. Los resultados, que se muestran en la siguiente Tabla, ofrecen apoyo adicional en el sentido de que es probable que las técnicas de la ciencia de la administración que más se conocen y utilizan son programación lineal, simulación, análisis de redes y teoría de colas.

### Implicaciones para el uso de la ciencia de la administración

Recientemente, Morgans revisó 12 investigaciones sobre empresas y 3 investigaciones sobre practicantes que se han realizado en los últimos 30 años, incluyendo todos los estudios mencionados antes.

Método	Rango de conocimiento	Uso (%)
Programación Lineal	1	83,8
Simulación	2	80,3
Análisis de redes	3	58,1
Teoría de las colas	4	54,7
Árboles de decisión	5	54,7
Programación según enteros	6	38,5
Análisis de reposición	7	38,5
Programación dinámica	8	32,5
Procesos de Markov	9	31,6
Programación no lineal	10	30,7
Programación de metas	11	20,5
Teoría de los juegos	12	13,7

Su análisis apoya también el dato de que PERT/CPM, Programación lineal y simulación se encuentran entre los métodos que se utilizan con mayor frecuencia. Sin embargo, y esto es más importante, después de realizar un estudio cuidadoso de los resultados de todas las empresas, concluyó que (1) cualquier empresa que esté empezando a servirse de técnicas de ciencia de la administración debe ubicar a los analistas en las áreas funcionales y no en unidades centralizadas; (2) el uso inicial de la ciencia de la Investigación de Operaciones se debe concentrar en las técnicas que se utilizan con mayor frecuencia y en las más útiles; y (3) la mejor manera de eliminar las barreras que se oponen al uso de la ciencia de la administración es haciendo que los administradores comprendan mejor las técnicas de la ciencia de la administración. Además, para lograr la confianza y el apoyo de los administradores de primer nivel, el analista de CA/IO debe aprender a "vender" sus métodos y soluciones, haciendo especial énfasis en el mejoramiento de la comunicación con los administradores.

*Tomado de: Introducción a los Métodos Cuantitativos para administración, por David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams. Grupo Editorial Iberoamericano.*

Modelos de la Investigación de Operaciones

