



## LOS ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS MODELOS DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

*Mtro. Leonardo Vergara Nava<sup>1</sup>*

### **Resumen**

Se presenta una introducción a la investigación de operaciones y su relación con otras disciplinas del conocimiento, aclarando que los modelos matemáticos no sustituyen las decisiones que toman los directores y gerentes, sino que únicamente las apoyan para tomarlas.

A continuación se comentan los orígenes de los modelos y la evolución que han tenido hasta la época actual. Con esta información se explica ¿Qué es la Investigación de Operaciones y su metodología? Desde la identificación y definición del problema que se desea resolver, la formulación del modelo correspondiente y las soluciones que se proponen a partir de las pruebas del modelo y su aplicación en la realidad, la validación, los ajustes que deban hacerse al modelo y el monitoreo de los resultados, así como los controles que se requieren establecer sobre la solución. También se discuten los alcances y las limitaciones de los modelos de investigación de operaciones a través de las aplicaciones que se hicieron en empresas específicas en la última década del siglo XX. La teoría de Colas o Líneas de Espera en varios bancos de la Ciudad de México. La Problemática del Transporte de Carga que se resolvió en Aeromexico y la aplicación del Modelo de transporte en la asignación de las camionetas, que la empresa utilizaba para proporcionar el servicio de reparto de carga a domicilio la Ciudad de México y la Zona Metropolitana.

---

<sup>1</sup> [lvergara@uvmnet.edu](mailto:lvergara@uvmnet.edu) . Académico de Tiempo Completo en la Universidad del Valle de México, campus San Ángel.

## **Introducción**

La investigación de Operaciones esta relacionada con las herramientas administrativas tales como el Estudio del Trabajo, Ingeniería Industrial, Administración General y Administración de Operaciones y otras muchas. Sin embargo, es necesario hacer la distinción entre estas herramientas administrativas y la investigación de operaciones. Esta barrera debe ser salvada para los estudiantes y aspirantes a ser expertos en las técnicas de investigación de operaciones. Se hace referencia al límite entre el criterio y la precisión, entre la discreción y la medición, entre la elección y el control. Elliott Jaques ha hecho notar que a los gerentes y directores se les paga un sueldo para tomar decisiones, no para trabajar durante largas jornadas y para controlar muchos hombres, sino para elegir entre cursos de acción y para hacer la elección correcta.

Este pago para emplear la discreción, para usar el juicio y para ejercitar la imaginación, no siempre se realiza en forma explícita; la prueba son los argumentos sobre los pagos diferenciados con respecto a las personas que realizan personas operativas en diferentes instituciones. Cabe aclarar que no se hace en sentido de discriminación, ya que toda actividad realizada por un ser humano es valiosa y debe ser reconocida. Sin embargo se realiza implícitamente y cualquier intrusión en la discreción en la discreción que pueda ejercer una persona se resiente.

Es precisamente esta instrucción lo que se cree haga la Investigación de Operaciones y las demás disciplinas. Se ha llegado a pensar que retiran al criterio y lo sustituyen por una formula matemática. Los modelos no sustituyen las habilidades de un almacenista, un bibliotecario o un funcionario de control de la producción, y que en su lugar implantan una rutina que puede ser ajustada a voluntad del director. También se cree que las técnicas que se aplican son inoperantes debido a que se refieren a situaciones normales, y que en las instituciones donde uno trabaja siempre se presentan situaciones de emergencia. Un momento de reflexión que se tenga revelará que no existe en el mundo entero un aparato más poderoso que el cerebro humano para tomar decisiones.

Entonces, ¿por qué abrumarlo con decisiones que pueden ser hechas por un conjunto de fórmulas? ¿Cuántos directores o gerentes de nivel medio tienen tiempo para pensar? Los gerentes llevan un registro de varios días sobre la forma en que emplean su tiempo, encontrará que invierte gran parte de su tiempo estudiando las decisiones que tomo que hace días y tomando decisiones que nuevamente surgirán.

Pero cuando otra persona, se ofrece a pensar por usted ¿lo recibe con beneplácito? ¿O el reto que representa tomar una decisión, y es un reto que a los seres humanos nos agrada? ¿O tiene temor de no encontrar una respuesta que sea suficiente para proponerla a un nivel superior?

Estas preguntas necesitan ser contestadas por alguien que domine las herramientas de investigación de operaciones o técnicas similares para la administración. Si las herramientas se toman como acciones alternativas para liberar a las personas hacia altos niveles de discreción, como métodos para reemplazar decisiones poco analizadas para conflictos múltiples mediante políticas establecidas, con mucho tiempo para considerarlas y estudiarlas, por parte de los administradores para lograr en ultimo término más comodidad y un nivel de vida más elevado para todos, todas ellas pueden tener éxito.

### **Descripción del problema**

Los primeros modelos de investigación de operaciones se remontan a mediados del siglo XVIII, cuando el economista Quesnay empieza a utilizar modelos primitivos de investigación. Tiempo después el economista Walras, utilizó técnicas similares en la segunda mitad del siglo XIX. Los precursores de los modelos lineales de Investigación de Operaciones son Jordán, Minkowsky y Farkas en 1903. Los modelos dinámicos probabilísticas como las Cadenas de Markov tienen su origen a fines del siglo XIX. Sin embargo fue hasta 1939 con el estallido de la Segunda Guerra Mundial que las técnicas se empezaron a utilizar con más frecuencia, primero en la Teoría de Juegos, que se utiliza para vencer al enemigo y más tarde en los sectores público y privado, tanto en países desarrollados como países en desarrollo.

## **Marco Teórico**

### **¿Qué es la Investigación de Operaciones?**

Definición de Investigación de operaciones de Churchman, Ackoff y Arnoff:.

La investigación de operaciones es la aplicación por grupos interdisciplinarios del método científico a problemas relacionados por el control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina) a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización. De lo anterior resaltan los siguientes conceptos:

- ✓ Organización
- ✓ Sistema
- ✓ Grupos interdisciplinarios
- ✓ Objetivo
- ✓ Metodología científica

Una organización se puede interpretar como un sistema. Todo sistema tiene componentes e integraciones entre las mismas, algunas integraciones son controlables mientras que otras no lo son. En un sistema, el comportamiento de cualquiera de sus partes o componentes tiene efectos directos e indirectos con el resto.

Es muy necesario que exista un procedimiento sistemático que logre por un lado identificar aquellas interacciones de un sistema que tengan efectos de importancia, y por lo tanto logre identificar las componentes controlables asociadas. Uno de esos procedimientos sistemáticos es la investigación de operaciones, mientras que otros pueden ser por ejemplos las técnicas clásicas de la ingeniería industrial, la estadística, el análisis de sistemas, el análisis de decisiones.

Todo sistema es una estructura que funciona. Así por ejemplo, un hombre vivo es un sistema, mientras que ese mismo hombre pero muerto no es un sistema sino una estructura. La información es el elemento que convierte a una estructura en un sistema, es decir la información dinamiza a las estructuras. Se puede concluir que todo sistema es un sistema de información.

En toda estructura existen canales y componentes que comunican a estas. A través de los canales de información fluye la información, al fluir la información, los componentes interaccionan de una forma determinada. Si se ha convenido entonces en la ventaja de representar a una organización por un sistema el cual tiene componentes canales e información que fluye por estos, se tiene gráficamente lo siguiente: Dentro de la estructura de los sistemas se encuentran los siguientes elementos: recursos humanos, materiales y financieros.

Dentro de los recursos humanos se generan interacciones derivadas de la selección y entrenamiento del personal, del rendimiento del trabajo del personal y por último de la motivación del mismo. Las interacciones emanadas de los recursos materiales se asocian al diseño, construcción y mantenimiento de máquinas y edificios; primero como entes aislados y después como subsistemas hombre-máquina.

Los productos terminados, productos de las relaciones hombre-máquina generan interacciones de control de calidad, distribución y venta. Los recursos financieros generan interacciones de adquisición, retención y financiamiento. Los objetivos de la organización (sistema) se refieren a la eficiencia y efectividad con la que diferentes componentes del mismo pueden controlarse y/o modificarse. Se refiere también a la forma en que los diversos componentes reaccionan ante un estímulo que se presenta ante el sistema.

**“La investigación de operaciones es un método que permite encontrar las relaciones óptimas que mejor operen un sistema, dado un objetivo específico”**

El control es un mecanismo de autoaprendizaje (auto corrección y autocontrol) del sistema. El control permite evaluar los resultados asociados a los objetivos que se establecen y a las acciones requeridas para iniciar y/o modificar los patrones de comportamiento, de los diferentes componentes controlables del sistema a medida que estos se requieran. Los problemas que presentan las organizaciones no encajan en una sola disciplina, sino que por lo contrario son

multidisciplinarios, por lo tanto el análisis y solución de dichos problemas requiere de grupos compuestos de diferentes especialistas. Estos grupos interdisciplinarios requieren necesariamente de una cierta coordinación y comunicación. Esta coordinación y comunicación se logra a través de un lenguaje común. La facultad real se debe en muchos casos, precisamente en la ausencia de estos lenguajes.

La investigación de operaciones es la operación de la metodología científica a través de modelos, primero para representar al problema real que se requiere resolver en un sistema y segundo resolverlo. Los modelos que utiliza la investigación de operaciones son matemáticos y toman la forma de ecuaciones. Los modelos matemáticos de decisión permiten calcular los valores exactos o aproximados de las componentes controlables del sistema para que pueda comportarse mejor de acuerdo a ciertos criterios establecidos. Estos cálculos se realizan bajo el supuesto de que se conoce la información asociada al estado de aquellas componentes del sistema que no se pueden controlar.

**Al acto de calcular el valor apropiado de estos componentes controlables se le conoce como derivar una solución** al problema en cuestión utilizando un modelo. La forma de lograr esta derivación de soluciones es muy variada y no existen reglas generales. Se puede generar por simulación o bien por un riguroso análisis matemático (algoritmo).

### **Diseño de la investigación Identificación del Problema**

Se define claramente el problema que se desea resolver, en forma clara, completa y concisa, El investigador debe tener una idea bien definida del problema que desea resolver. Es decir, ¿Cuál es el objetivo? ¿Cuáles son las estrategias y las acciones a tomar y cuales son las alternativas? ¿Cómo se medirán los resultados?

### **Definir el problema**

Se determinan los objetivos apropiados, las restricciones sobre lo que se puede hacer, que es lo que se puede medir y que no se puede medir a través de un

modelo de investigación de operaciones, las interrelaciones del área de estudio, los diferentes cursos de acción, los límites de tiempo para tomar la decisión. El proceso de la definición es muy importante ya que afecta en forma significativa las conclusiones del estudio. También se debe contemplar la parte de si los beneficios que se esperan obtener a través de la aplicación son más altos que los costos. Esta consideración debe tenerse en cuenta, para no querer solucionar un problema que es sencillo y fácil de comprender, a través de un modelo matemático que requiere de mucho tiempo y esfuerzo para poder plantearlo, y por tanto resulta costoso. Planteamiento del problema y del modelo apropiado que represente al sistema. En Investigación de Operaciones, un modelo, es una representación simplificada de una realidad.

Los modelos pueden ser determinísticos, como los de programación lineal y el Modelo de Transporte; y probabilísticas como las Líneas de Espera, Cadenas de Markov y la Teoría de Decisiones, entre otros.

### **Formulación del Modelo Matemático**

- Es el conjunto de ecuaciones que definen un problema o la parte del sistema que se desea resolver y tienen muchas ventajas sobre la descripción verbal del problema en forma más concreta, de esta forma se puede manejar y resolver con un modelo matemático.

### **Propuesta de solución y Discusión de resultados**

En este caso se espera que la solución del problema real sea teórica. En algunas ocasiones no es posible obtener soluciones exactas del problema original, entonces se aceptan soluciones aproximadas o bien soluciones alternas en la construcción del modelo. Es posible detectar varias soluciones alternas.

### **Derivar soluciones a partir del problema**

Cuando el modelo matemático fue planteado se debe obtener una solución a partir de dicho modelo y esto se lleva a cabo determinando la solución óptima de dicho modelo y después aplicándolo al problema real.

Dichas soluciones se pueden dar usando herramientas como la programación lineal, apoyándose utilizando una computadora.

**Validación o bien, pruebas del modelo y contrastar con la realidad.** Se hacen varias pruebas del modelo y de la solución obtenida y haciendo comparaciones con la realidad o con modelos secundarios. Las pruebas del modelo se hacen utilizando información histórica, que se mete al modelo y se observa como son los resultados y se comparan con los resultados reales que se han observado a través del tiempo, posteriormente se hace lo mismo con información del periodo en que se construyo el modelo y se compara con el funcionamiento real del proceso.

### **Validar el problema y la solución**

Después de tener una solución debe probarse con los siguientes pasos:

Usando datos de periodos pasados, haciendo la comparación entre el rendimiento real del sistema y el rendimiento indicado por el modelo. Permitiendo operar el sistema sin cambios con el modelo y la solución puede juzgarse en base a esta comparación.

**Ajustes del modelo y monitoreo de los resultados.** Si el modelo proporciona resultados aceptables, se hace un balance y se determina si es necesario hacer ajustes a los coeficientes y organización de la estructura del modelo para obtener mejores resultados. Se continúan las comparaciones con varias generaciones de resultados para lograr afinar el modelo lo mejor posible, de manera que el modelo pudiera ajustarse

### **Establecer controles sobre la solución**

Debe establecerse un mecanismo para detectar cualquier cambio del sistema tan pronto como sea posible, de manera que el modelo pueda rectificarse en cualquier momento si refleja dichos cambios.

**Implementación de la solución,** se aplica el modelo y sus soluciones, se da la capacitación necesaria las personas que tendrán a su cargo la operación del



modelo, preparando todas las herramientas de cómputo que se elaboren automáticamente los reportes que permitirán a los directores y gerentes tomar las decisiones más convenientes.

### **Implantación**

Cuando ya se ha comprobado que si la utilización del modelo matemático es una solución factible para el problema planteado entonces lo único que queda es ponerlo en práctica.

### **Alcances y Limitaciones**

#### **Líneas de Espera**

Todas las organizaciones, ya sean públicas o privadas tienen el problema de colas. Si muchos usuarios tales como personas, maquinas, automóviles llegan a un lugar requieren de un servicio tienen que esperar para ser atendidos. Muchas fabricas o bancos son diseñadas sobre el principio de tener líneas de espera, de manera que el trabajo sea alimentado continuamente en un departamento en los periodos de tiempo ocioso que podrían presentarse si no existieran las colas. En este caso, la cola es algo bueno, ayuda a la planeación económica del trabajo del departamento. Sin embargo, si la línea de espera resulta demasiado larga se presentan dificultades tales como la desesperación y hasta la perdida de los clientes que buscarían otra entidad que les brindara una mejor atención.

La principal conclusión que se origina de la teoría de colas es que tanto las llegadas sean más fortuitas mayor será el tiempo de espera de los clientes. Esto se debe a que, con las llegadas fortuitas, puede llegar el momento en el cual no haya demandas durante un largo periodo de tiempo. Ese es el tiempo perdido para el sistema y, cuando posteriormente se presenta un gran cúmulo de llegadas, le toma mucho al sistema nivelarse y dispersar la acumulación resultante.

Como consecuencia, para asegurarse de que se puede proporcionar un servicio razonablemente rápido, es aconsejable hacer arreglos en el departamento donde se proporciona el servicio, solo soporte como carga

promedio solo el 80% de su capacidad máxima, y que las demandas se hagan tan uniformes como sea posible. Para lograrlo, la mayoría de los administradores no requieren un modelo de teoría de colas que les diga lo anterior. Sin embargo existen muchas situaciones en las cuales se desearía conocer en forma precisa el tiempo de espera de los artículos en una cola para una capacidad dada, para decidir si se proporciona capacidad adicional, a costo adicional, o dejar que los usuarios esperen un poco más y correr el riesgo de las pérdidas que pudieran presentarse por dar un servicio menos satisfactorio. En este caso, el especialista en investigación de operaciones puede construir un modelo matemático del sistema y estudiar sus propiedades y así aprender del posible comportamiento del sistema en la vida real.

### **Los pasos para la construcción de un modelo**

1. Se contrata un analista que toma tiempos de espera en la línea y los tiempos en ser atendidos, durante un período de tiempo que fuese significativo.
2. Para construir el modelo de colas se usa una expresión conocida como intensidad del tráfico. Es la demanda dividida entre la capacidad o, en forma más precisa la media del tiempo de servicio dividirla entre el intervalo medio entre llegadas sucesivas.

Mediante los modelos de colas, un gerente puede evaluar la eficiencia probable de un sistema en términos de su capacidad de servicio o de productividad, calcular los posibles embotellamientos y hacer planes para su eliminación; si las líneas de espera son inevitables calcular su posible longitud, de manera que pueda hacer provisiones para almacenar los artículos mientras esperan su servicio o en ser atendidos.

A continuación se presentan dos casos de aplicaciones prácticas que ocurrieron en la ciudad de México durante la última década del siglo XX.

## **Caso 1**

En los años 90 del siglo XX los bancos tuvieron este problema por tal motivo se pensó en contratar expertos que los apoyaran para resolver esta problemática, que provocaban la ira de los usuarios de los servicios que proporcionaban las instituciones de crédito, al tener que esperar largos períodos de tiempo. Sin embargo, al empezar a tomar tiempos para la construcción los modelos se observó lo siguiente:

Cuando un gerente observaba una larga línea espera o varias líneas de espera, se acercaba a los clientes y les preguntaba si iban a pagar su tarjeta de crédito en efectivo, entonces les pedía que se cambiaran a las cajas de cuenta empresarial o cambio de moneda extranjera. Cuando esto sucedía las estadísticas que se llevaban durante varios días dejaban de tener valor porque se perdía la continuidad en la toma de los datos, que era un requisito necesario para la construcción del modelo. También ocurrió, en otro banco que al observar la desesperación y el enojo de los clientes se tomaron las siguientes decisiones: se coloraron sillas y se pusieron periódicos para los clientes, y en algunos casos hasta había servicio de café, cuándo ocurrió esto, acabaron las reclamaciones. ¿Entonces surge la pregunta si el enojo de los clientes era por esperar o por estar esperando de pie?

Cuando se aplicó esta solución al problema, los gerentes de los bancos decidieron suspender la contratación los especialistas en investigación de operaciones, porque consideraron que la construcción de los modelos iba a ser un gasto innecesario.

## **Caso 2**

La experiencia profesional en algunas instituciones me ha permitido hacer algunas aplicaciones a áreas específicas y tratando de resolver problemas en alguna área de una empresa. A continuación se presenta una aplicación práctica que se llevo a cabo en Aeroméxico. En esta llevo a cabo a través un proyecto que se llamó **“Planeación Estratégica del Servicio de Carga en una Línea Aérea del Gobierno”**

### **Objetivos del estudio.**

Analizar el volumen actual y futuro de la demanda de transportación aérea de carga nacional e internacional, detectando las zonas y productos que potencialmente podrían cubrirse por parte de la empresa.

Diseñar y evaluar alternativas de desarrollo para el sistema de carga de Aeroméxico seleccionando la más adecuada con base en la posición actual de la empresa en el mercado de carga, la situación de la competencia y el mercado.

Formular y evaluar financiera y económicamente las estrategias a seguir por parte de Aeroméxico para posesionarse estratégicamente en el mercado del transporte de carga, estableciendo un plan de acción para cada año contenido en el horizonte de planeación 1985-1992.

### **Importancia del Problema**

La expansión del área de carga de Aeroméxico representaría una ventaja para los usuarios, la empresa y el país, Los usuarios podrían contar con una oferta fija para el transporte de sus mercancías, ya que en los últimos años el incremento de la flota se ha orientado hacia el servicio de pasajeros, sin que exista una estructura orgánica que permita el desarrollo de una oferta exclusiva para el servicio de carga.

El crecimiento también convendría a Aeroméxico, porque la diversidad de productos que se transportan por avión permitiría tener una demanda suficiente durante todo el año, ya que para los productores y el comercio organizado este medio de transporte representa un incremento en sus ingresos (porque sus productos llegan en menor tiempo y en mejor estado).

Por ultimo representaría ventajas para el país, en virtud de que la carga aérea también tiene un significado general económico, por que ayuda a abrir nuevos mercados colaborando con el incremento su balanza comercial. En el diagnóstico que se llevó a cabo se llegó a la conclusión de que era imposible utilizar un solo algoritmo de investigación de operaciones para resolver toda la

problemática aérea de carga de la empresa. Sin embargo, si aplicó el Modelo de Transporte en la de Asignación de las rutas que deberían asignarse a las camionetas que hacían el servicio de reparto de la carga a domicilio en el Distrito Federal y en la Zona Metropolitana.

El problema que se presentaba en ese momento eran las pérdidas que representaba el problema de proporcionar este servicio a los usuarios, y que nunca se había atendido hasta que llegó una empresa que propuso lo siguiente ¿Por qué me asignan las camionetas y permiten que mi empresa proporcione el servicio? Esta situación provocó la inquietud de por qué si el servicio no era rentable para la empresa, ¿alguien estaba interesado en darlo?. Al final el problema se corrigió aplicando el algoritmo mencionado y logrando que este servicio fuera rentable para Aeroméxico.

### **Conclusiones**

En este artículo pretende aclarar las posiciones antagónicas que se presentan a los estudiantes de licenciatura y de postgrado en cuanto a la aplicación de los métodos de investigación de operaciones. Por un lado, decir que estos métodos son la panacea para resolver cualquier problema práctico y por otro, asegurar que no tienen ninguna utilidad.

El artículo se hizo para ser leído por estudiantes, que en algunos casos ya son o en el futuro serán ejecutivos, administradores y gerentes, quienes dándose cuenta de que los problemas que se les vayan presentando serán cada vez más complejos y que deberán contar con herramientas más sofisticadas para resolverlos y dejar a un lado la improvisación.

### **Recomendaciones**

En una empresa o institución se manejan dos tipos de información: información cuantitativa e información cualitativa. Los problemas que se presentan en las empresas, en la mayoría de los casos son resueltos por grupos interdisciplinarios, y aunque haya pequeñas diferencias entre los integrantes de ese grupo, si es posible llegar a acuerdos en la concepción de variables como

utilidades, costos, niveles de producción y tiempos. Estas variables si son factibles de medir a través de un modelo matemático.

En cambio la información cualitativa como la actitud, la subjetividad entre otras dependen de la forma de ser o de la formación de las personas, ya que para diferentes personas la actitud y la subjetividad tienen diferentes valores. Tomando en cuenta estas características de la información y siguiendo la metodología propuesta es posible la aplicación de los modelos matemáticos a los problemas de la vida real.

### **Bibliografía**

1. Luenberger David E.  
Programación Lineal y no Lineal  
Editorial Addison- Wesley Iberoamérica  
México, 1989
2. Shamblin James E.  
Investigación de Operaciones. Un Enfoque Fundamental  
Editorial McGraw-Hill  
México, 1974
3. Taha Hamdy A.  
Investigación de Operaciones. Una Introducción  
Editorial Pearson, 8ª. Edición  
México, 2000.
4. Juan Prawda  
Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones  
Volúmenes 1 y 2  
Editorial Limusa  
México, 1976
5. Vergara Nava Leonardo  
Planeación Estratégica del Servicio de Carga en una Línea Aérea del  
Gobierno  
Tesis de Maestría  
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
México, 1986