MODELOS
INVESTIGACIÓN OPERACIONES

Un problema correctamente planteado, está parcialmente resuelto, a mayor exactitud corresponden más posibilidades de obtener una solución satisfactoria.
Russell L. Ackoff

INTRODUCCIÓN

El trabajo aborda aspectos relacionados con métodos y técnicas utilizados en la actividad investigadora de Gestión de Operaciones. En esta área existe una necesidad creciente de ampliar el conjunto de metodologías disponibles para enfrentarse a retos y problemas de decisión que surgen en el ámbito de la producción y distribución de bienes y servicios.

En el área de Gestión de Operaciones, excepción hecha de aquellos autores más próximos a la filosofía de la ciencia, como C. West Churchman, Russel L. Ackoff o Herbert A. Simon., tradicionalmente no se ha prestado gran atención a las cuestiones metodológicas.

El paradigma tradicional de investigación en el área, basado en los modelos cuantitativos, no necesita de grandes refuerzos desde el punto de vista metodológico dado que, gracias su propia naturaleza formal, los modelos cuantitativos pueden enmarcarse sin problemas en los que se ha conocido típicamente como conocimiento científico. Sin embargo, desde su nacimiento a principios del siglo pasado, la disciplina ha ido ampliando su "foco", inicialmente centrado en la organización de los sistemas productivos, para incluir poco a poco temas como el estudio del factor humano en los sistemas sociotécnicos, el desarrollo de nuevos productos (ingeniería concurrente), la gestión global de sistemas logísticos, el cambio organizacional, la estrategia del sistema empresarial o, más recientemente, aspectos éticos y de responsabilidad social.

Esta apertura de enfoque supone la necesidad de incorporar al conjunto de metodologías "más tradicionales" de la disciplina, centradas en el uso de los modelos cuantitativos.

ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Se pretende realizar una revisión de los diferentes métodos de investigación que en la actualidad se consideran habituales en el área de Gestión de Operaciones para, a continuación, proporcionar una guía de decisión que permita al investigador elegir la metodología o la combinación de métodos que mejor se ajusten a una investigación científica en función de las preguntas planteadas.

El estudio se ha considerado interesante por la importancia creciente de los aspectos metodológicos en la actividad investigadora, que hacen que se considere interesante en este contexto hacer una revisión de las metodologías que hoy en día tiene a su disposición un investigador de esta área.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- Identificar y revisar las metodologías de investigación más usuales de Gestión de Operaciones.
- Realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos con el fin de establecer los factores que aconsejan el empleo de una u otra metodología.
- Elaborar un marco de referencia o guía de selección que permita seleccionar la(s) metodología(s) más adecuada(s) en función del problema investigador planteado.

MODELOS CUANTITATIVOS

Los modelos cuantitativos constituyen la metodología de investigación de más larga tradición en el área de Gestión de Operaciones. Este enfoque se identifica con la disciplina conocida en nuestro ámbito como "Investigación de Operaciones" o "Investigación Operativa", y que se conoce en el ámbito estadounidense como "Operations Research" o "Management Science" (OR/MS) y en el ámbito europeo (británico) bajo el término "Operational Research" (OR).

La Operational Research Society, con sede en Birmingham, define la investigación operativa del siguiente modo (OR Society, 2007): *Operational Research (OR), also known as Operations Research or Management Science (OR/MS), looks at an organisation's questions and uses mathematical or computer models or other analytical approaches to find better ways of doing them.*

La otra organización relevante en el ámbito académico de los modelos cuantitativos es el INFORMS, The Institute of Operations Research and Management Science, sociedad que resultó de la fusión en 1995 de la Operations Research Society of America (ORSA) and The Institute for Management Science (TIMS). Tiene su sede en el estado de Maryland (EEUU) y una sucursal en Rhode Island. El INFORMS define la investigación de operaciones del siguiente modo (INFORMS, 2007): *In a nutshell, Operations Research (OR) is the discipline of applying advanced analytical modelsto help make better decisions.*

Ambas definiciones señalan el uso de enfoques o modelos analíticos como una de las características de este tipo de investigación, así como la aplicabilidad de estos enfoques a la resolución de aquellos problemas relacionados con la toma de decisiones y la gestión en los diferentes ámbitos de una organización.

Tal como señalan Ackoff y Sasieni (1968), los modelos son representaciones o idealizaciones de la realidad que nos permiten predecir y explicar los fenómenos con un alto nivel de precisión, pero comportándose de un modo menos complejo y difícil de controlar que la realidad.
Si el modelo fuera tan complejo y difícil de controlar como la realidad, su uso no presentaría ninguna ventaja. Afortunadamente podemos construir modelos que son mucho más simples que la realidad pero que conservan la posibilidad de usarlos para predecir y explicar los fenómenos con un alto nivel de precisión.

La razón es que, a pesar de que para predecir un fenómeno con precisión exacta se necesitan un gran número de variables, sólo un pequeño grupo de estas variables es responsable de gran parte del fenómeno. La clave, por supuesto, consiste en encontrar esas variables y la correcta relación que se establece entre ellas.

ANTECEDENTES DE LOS MODELOS CUANTITATIVOS

Los Principios de Administración Científica (Taylor, 1911) pueden considerarse los precursores del desarrollo de los modelos cuantitativos en el área de Gestión de Operaciones, estableciendo la base para la creación de una nueva profesión en el Estados Unidos del período de entreguerras: el consultor de gestión o asesor de empresas (*management consultant*).

En paralelo, se introdujeron cursos de gestión industrial en las principales escuelas de ingeniería industrial de los Estados Unidos. Con el fin de enseñar las técnicas y métodos que utilizaban los profesionales de la consultoría de gestión, en estas escuelas se desarrollaron lo que Bertrand y Fransoo (2002) llaman "problemas idealizados", que son modelos en los que la abstracción de la realidad se ha llevado al límite, de modo que los *trade-offs* importantes se ponen de manifiesto de manera muy explícita y las funciones se hacen uni o bidimensionales, diferenciables, etc. con el fin de hacer el modelo abordable desde el punto de vista matemático, aún a costa de imponer hipótesis muy restrictivas.

Algunos ejemplos de estos modelos o problemas idealizados son los problemas de gestión de inventarios (modelo EOQ y fórmula de Wilson), problemas de programación y secuenciación, problemas de rutas o los problemas de control estadístico de la calidad (Shewart, 1931).

Aunque antes de la Segunda Guerra Mundial ya se habían llevado a cabo algunos desarrollos interesantes, como la introducción de los modelos de programación lineal en la obra del matemático, profesor de ingeniería y premio Nobel de Economía Kantorovich (1939), *Modelos matemáticos para la organización y la planificación de la producción*, se considera que el nacimiento de la Investigación Operativa ocurre entre 1940 y 1941 durante el enfrentamiento armado entre alemanes y británicos.

Con el fin de maximizar la efectividad del sistema de defensa aérea basado en radar, el gobierno británico estimuló la formación de equipos científicos multidisciplinares (formados por matemáticos, físicos, fisiólogos, astrofísicos, oficiales del ejército, etc.) para que *investigaran* sobre las *operaciones* militares. Al poco tiempo, con la entrada de Estados Unidos en la contienda, se crean también equipos similares al otro lado del Atlántico.

Una vez finalizada la guerra, las técnicas que se habían mostrado tan eficaces en el contexto bélico, empezaron también a extenderse al ámbito civil y a aplicarse intensivamente en la industria. Inicialmente, los equipos mantuvieron su carácter multidisciplinar inicial y trabajaban en la resolución de problemas reales de Gestión de Operaciones, en estrecha colaboración con el propietario del problema.

A partir de los años 60 surge en Estados Unidos una fuerte línea de investigación académica en investigación de operaciones, más centrada en la generación de conocimiento científico que en la resolución de problemas reales.

Se trabaja sobre problemas mucho más idealizados pero a cambio se pierden en cierto modo las raíces empíricas de la disciplina, el carácter multidisciplinar de los equipos y el interés de los gestores (*managers*) en la aplicación de los modelos cuantitativos a la resolución de los problemas de gestión. (Ackoff, 1979; Corbett y van Wassenhove, 1993; Hax, 2007).

Sin embargo, esto no significa que el conocimiento generado por la investigación de operaciones no tenga validez alguna para poder predecir o explicar el comportamiento de un sistema o para capturar en parte los problemas de decisión a los que se enfrenta la organización.

Destacan dos grandes contribuciones en el ámbito de la generación de modelos predictivos. Por un lado, el desarrollo de técnicas de previsión a corto plazo, basadas en el análisis estadístico de datos históricos. En este enfoque, no se busca comprender las relaciones causales que permiten explicar el comportamiento pasado y hacer predicciones sobre el comportamiento futuro del sistema, sino que el proceso estudiado se considera una caja negra. Los resultados obtenidos en esta área quedaron consolidados en el trabajo de Box y Jenkins (1976).

Por otro lado, destacan también los logros obtenidos en el área de control de inventarios, donde se estudiaron y resolvieron multitud de problemas "idealizados" relacionados con la gestión de stocks, destacando la obra de Silver et al. (1998) como el documento que consolida todo el trabajo anterior.

También se realizan grandes aportaciones desarrollando modelos que predicen el comportamiento futuro de un sistema en función de su estructura y configuración.
Destacan en este punto la contribución de la dinámica de sistemas (Forrester, 1961) y de la teoría de colas. Los modelos de dinámica de sistemas captan la estructura subyacente del sistema y mediante técnicas de simulación dinámica permiten predecir su comportamiento futuro, incluso en régimen transitorio.

En la actualidad, existen paquetes como VENSIM® que utilizan las técnicas de dinámica de sistemas para realizar este tipo de simulaciones con el ordenador. De forma análoga, los modelos de teoría de colas tratan de representar la estructura del sistema mediante expresiones analíticas para predecir el comportamiento que tendrá el sistema una vez alcance el estado estacionario en función de los recursos disponibles y el modo en que evoluciona la demanda sobre los mismos.

Betrand y Fransoo (2002) añaden también como hito importante los esfuerzos que se realizaron a principios de los ochenta para modelizar la llamada “"curva de experiencia" (Yelle, 1979).

En cualquier caso, es importante destacar el impacto que tuvo y tiene la investigación operativa en el diseño y control de los procesos más operacionales.

Como destaca Hax (2007), las técnicas de la investigación operativa se prestan especialmente bien en el ámbito de las decisiones "programables", es decir, aquéllas en las que el problema presenta un alto grado de estructuración y la influencia del factor humano es despreciable, como la planificación y control de la producción o la asignación de recursos.

CONTRIBUCIÓN A LA INVESTIGACIÓN OPERACIONES

1759 Quesnay (ecónomo) - Programación Matemática
1874 Walras
1873 Jordan - Precursor de modelos lineales
1896 Minkowsky - Precursor de modelos lineales
1903 Farkas - Precursor de modelos lineales
189~ Markov - Precursor modelos dinámicos probabilísticos
191~ Erlang - Primeros estudios de líneas de espera
1920-30 Koning y Egervary - Métodos de asignación (analíticos)
1937 Von Neuman - Teoría de juegos y de preferencias
1939 Kantorovich - Problemas de distribución
II Guerra Mundial - Logística estratégica para vencer al enemigo
1945 Finales II Guerra - Logística de distribución de recursos de los aliados (Rand Corporation - - Fuerza aérea norteamericana).
1947 Dantzig, George - Método simplex, basándose en el trabajo de precursores, inicio a la Programación Lineal.
1950-60 Bellman - Programación Dinámica.
Kuhn y Tucker - Programación No Lineal.
Gomory - Programación Entera.
Ford y Fulkerson - Redes de optimización.
Markowitz - Simulación.
Arrow, Karloin, Scarf, Whitin - Inventarios.
Rafia - Análisis de Decisiones.
Howard - Procesos Markovianos de Decisión.
Churchman, Ackoff, Arnoff - Orientación a sistemas, generalización I.O.
1970 y parte década 80 - Receso en el uso de la Investigación de Operaciones.
1985 en delante - Reflorecimiento de la disciplina con el devenir del control automático industrial, las microcomputadoras y las nuevas interfaces gráficas que impulsan el desarrollo de los Sistemas Automatizados de Apoyo a la Toma de Decisiones, donde la Investigación Operativa juega un papel preponderante.

Actualmente IO se aplica al sector privado y público, a la industria, los sistemas de comercialización, financieros, de transportes, de salud etc., en los países desarrollados, "en vías de" y en los del tercer mundo.

Existen varias asociaciones en todo el mundo, que agrupan a personas (estudiantes, científicos y profesionales) interesados por el estudio y aplicación de la Investigación Operativa.
La más grande de todas es INFORMS, de Estados Unidos de Norteamérica asociación que nace de la unión de la ORSA = Operation Research Society of America, con 8.000 miembros y la
TIMS = Institute of Managment Science con 6.000 miembros.

También existen Asociaciones Canadienses, Europeas, Latinoamericanas y Asiáticas federadas en la IFORS (International Federation of Operation Research Societies).

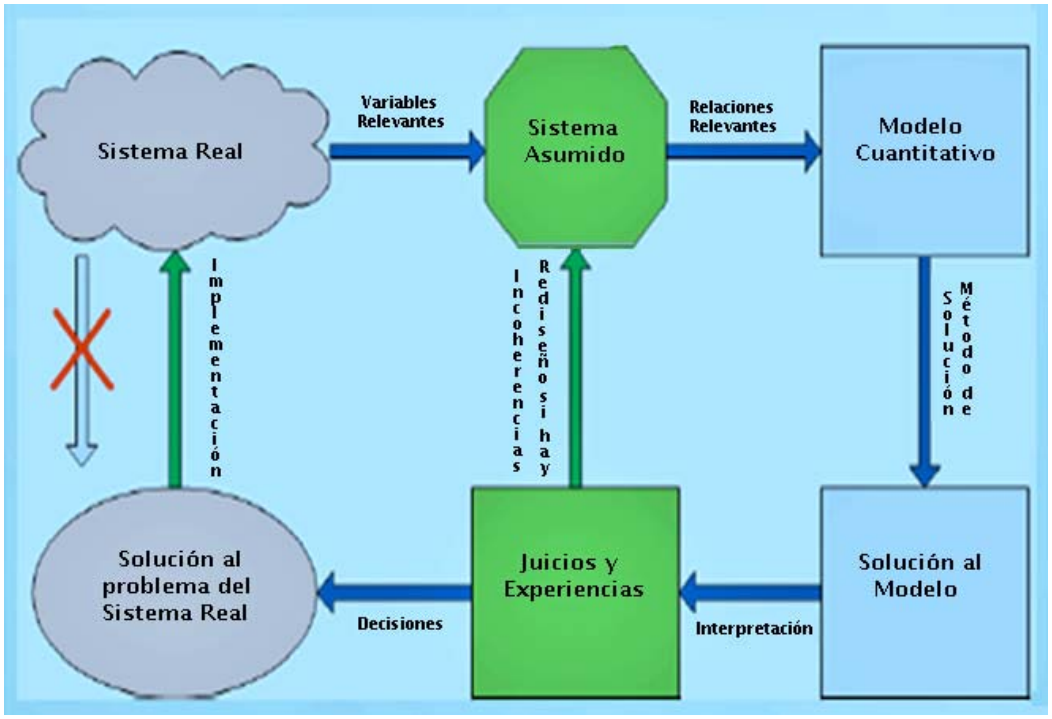
La Asociación Latinoamericana de Investigación de Operaciones (ALIO) conglomera a la mayor parte de las Asociaciones de America Central y Sur.

Se publican decenas de revistas diferentes en todo el mundo. Existen programas de Posgrado (maestría y doctorado) en la especialidad, en América y Europa.

PRESCRIPCIÓN DE UNA SOLUCIÓN

Es la identificación de una solución estratégica y su etapa de implementación. Hay que buscar una solución estratégica utilizando técnicas que tiene la Investigación Operativa (IO).

Todo problema de decisión gerencial tiene varias soluciones, se intenta conseguir la solución satisfactoria. No existe una única solución. Las soluciones dependen del presupuesto, del tiempo y de otras muchas restricciones y condiciones.



El problema de decisión con frecuencia lo establece el decisor en términos no técnicos. La solución estratégica se presenta al decisor en términos que él pueda entender, dando una interpretacion gerencial de la solución estratégica.

El investigador tiene que pensar en el proceso de realimentación y control en el proceso de decisión, sin ignorar que jamás se encuentra una solución inmutable al problema de decisión de negocios.

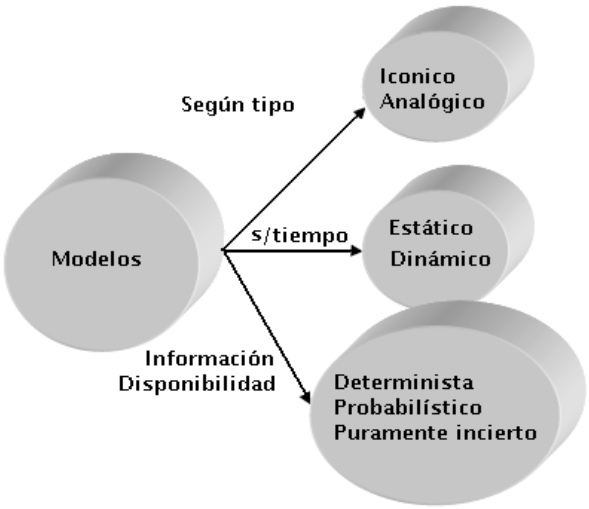
La misma naturaleza del medio donde se toma la decisión es de cambio, y por lo tanto, la realimentación y control son una parte importante del contesto de modelización en IO.

Hay que validar el modelo, es decir, comparar la ejecución del modelo con la realidad.

La verificación del modelo se efectúa con un programa informático, con el objetivo de que el programa sea la implementación correcta del modelo.

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Los modelos pueden clasificarse según sus características, como sus tipos, evolución en el tiempo y disponibilidad de información, como queda ilustrado en la figura.



Los MODELOS ICÓNICOS son estáticos por naturaleza.

Los MODELOS ANALÓGICOS también son físicos. En su mayor parte modelos mécanicos.

En cambio, las actividades de los negocios son PROCESOS DINÁMICOS.

El negocio es un modelo que sigue patrones matemáticos. En consecuencia, puede representarse mediante modelos simbólicos (algebraicos, numéricos, lógicos).

Entre los modelos simbólicos se encuentran los conocidos como modelos matemáticos y de simulación por computadora (computer simulation).

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

MODELOS MECÁNICOS: El modelo mecánico adopta la apariencia físcia del objeto que debe representar. Este tipo de modelo se utiliza para mostrar o probar el diseño de elementos, dese nuevas construcciones hasta nuevos productos. En la industría de la aviación, se construyen modelos a escala de las nuevas aeronaves que se prueban en túneles de viento para registrar la erodinámica del diseño.

Este tipo de modelo ofrece la ventaja de que pueden usarse para experimentar, además de describir el problema o sistema que se está estudiando, resultan útiles para generar alternativas inovadoras de diseño con el objeto de resolver el problema de decisión.

En el ejemplo de la aeronave, los ensayos con un modelo diferente quizás impliquen construir un modelo completamente nuevo.

No obstante, sólo una clase de problemas relativamente pequeño puede resolverse con modelos mecánicos. Algunos ejemplos de problemas que no se pueden analizar con modelos mecánicos son la selección de carteras de inversión, la selección de medios para publicitar un producto, la planificación de producción y otros.

MODELOS MENTALES/VERBALES: El modelo verbal es la traducción del mental. Así, el modelo mental/verbal expesa todas las relaciones funcionales entre las variables.

Por ejemplo, se considera el gerente de publicidad de una compañía que fabrica cereales para el desayuno y que hace la siguiente afirmación en relación con los comerciales de televisión: "Un spot de 20 segundos tiene mucho más impacto en la audiencia que uno de 15 segundos".

Las distintas duraciones del comercial son las alternativas de decisión. El "impacto" que se puede inferir tiene que ver con la propensión de los padres televidentes a comprar el cereal de la compañía y es la variable dependiente.

De ese modo, hay una relación entre las alternativas de decisión y una variable dependiente que está relacionada con los objetivos de la compañía.

Estos modelos se utilizan en el mundo de los negocios y ofrecen la ventaja de ser fáciles de entender. Con frecuencia son el afloramiento de muchos años de experiencia gerencial, resumiendo esa experiencia en lenguaje comprensible.

Presenta una serie de deficiencias, el decisor no puede experimentar con ellos, tampoco indican cómo cambian los resultados o las medidas de su eficacia según la alternativa de decisión que se adopte. No obstante, pueden tener un rol importante en el proceso de decisión. Pueden utilizarse para verbalizar estrategias de decisión logradas con modelos más sofisticados.

MODELOS ANALÍTICOS: Son modelos matemáticos destinados a realizar una simplificación y abstracción de sistemas reales, para poder obtener más información y para entender algún aspecto de interés de la realidad.

Estos modelos facilitan la experimentación al estar relacionadas todas las variables dependientes, variables independientes, constantes y parámetros. El decisor puede poner a prueba los efectos de diferentes alternativas de decisión, las constantes y los valores de los parámetros en las variables dependientes con mucha más facilidad que con cualquier otro tipo de modelo.

El procedimiento de selección puede ser de única pasada o iterativa. El procedimiento de solución de pasada única es aquél en el que los valores finales de todas las variables se determinan simultáneamente, de acuerdo con algún procedimiento bien definido.

La técnica de solución iterativa que requiere una serie de pasos para llegar a una solución final, donde en cada paso se obtienen soluciones parciales o completas. Finalmente, la solución óptima es aquélla que puede demostrarse que es por lo menos tan buena como cualquier otra, dadas las presunciones del modelo. Mientras que la solución satisfactoria es la que se considera buena con respecto a los objetivos y las restricciones, pero que sin embargo no se puede demostrar que es la mejor solución.

Cuando en el modelo normativo-estático- determinista las variables de decisión son continuas, las relaciones son lineales y se desea encontrar la solución óptima. La Programación Lineal es la técnica de solución para el modelo.

El grado de abstración que tienen los modelos matemáticos es un impedimento para su aceptación, no es de sorprender que exista resistencia entre gerentes. Utilizan el lenguaje simbólico de la matemática que tiene sus propias limitaciones.

MODELOS DE SIMULACIÓN: Son las duplicaciones computarizadas de los sistemas reales y, de lejos, son mucho más realistas, en especial en la modelización de sistemas dinámicos y/o probabilísticos, como el de un aeropuerto internacional.

Un modelo de decisión es un modelo simbólico en donde algunas variables representan las decisiones que podrían tomarse.

Se trata de formular una representación de la realidad y ver que aspectos son pertinentes.

Un ejemplo de análisis de pertinencia en un modelo real sería plantear:

- ¿Para una empresa las ganancias son una entrada (variable de decisión) o una medida de desempeño?
- ¿El precio del producto es una decisión o un parámetro?
- ¿La cantidad de un producto a vender es una variable de entrada o una variable de salida?
- ¿La moral del empleado es una medida de desempeño (que puede influir) o un parámetro?
- ¿La participación del mercado es una medida de desempeño?. ¿Se debe medir en unidades vendidas o en ingreso?

Tratamiento de Datos
Anova de un Factor con Medidas repetidas.
Análisis de la Varianza con varios factores.
Análisis Multivariable

El Análisis de la varianza con varios factores presenta una media teórica definida por tres términos
Análisis de la Varianza con varios factores

ANÁLISIS VARIANZA

En cualquier experimento se pueden distinguir dos fases. Una primera, que consiste en la observación y análisis de los hechos que acontecen, y otra segunda, que interpreta y obtiene conclusiones.
La Estadística Descriptiva se encarga de dar una descripción numérica, ordenar y simplificar la información recogida en la primera fase.
La Estadística Teórica, con la información obtenida en el muestreo de la primera fase, pretende generalizar o predecir los resultados para toda la población.

AF
ACP
Análisis Multivariante
El Análisis de Componentes Principales es una técnica de reducción de la dimensionalidad.
Actualmente es el método más utilizado en la investigación social y comercial.
El Análisis de Componentes Principales (ACP) tiene como objetivo simplificar la estructura de los datos transformando las variables en análisis en el menor número posible de factores comunes o componentes principales que sean combinaciones lineales de las variables.

El índice de Gini verifica:
Principio del Anonimato
Principio de la Renta Relativa
Principio de Dalton
Principio de la Población
La curva de Lorenz es la representación de la concentración de recursos entre individuos.
Desigualdad
Curva Lorenz
Igualdad
Población
El índice de Gini expresa el grado de concentración de los recursos.
$I_G = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i}$
El cambio de escala no afecta al índice
El cambio de origen afecta al índice

Análisis Multivariante
INVESTIGACIÓN en Cómic
Análisis Factorial
Componentes Principales (ACP)
Análisis Cluster
SPSS