

# The Anáhuac Journal

Business and Economics

The Academic Journal of the Universidad Anáhuac-México Sur

---

Volume 16, Number 1 • First Semester 2016

ISSN 1405-8448

Edited by Antonio García de la Parra Motta



LIDeditorial  
.com

# The Anáhuac Journal

Business and Economics



*The Anáhuac Journal: Business and Economics* es una revista académica y se publica en los meses de enero y julio, en forma conjunta por la Universidad Anáhuac-México Sur y LID Editorial Mexicana. Incluye artículos producto de investigación y estudios con resultados originales que tratan problemas de economía y negocios, así como temas vinculados a ellos; asimismo, reseña tesis doctorales y notas críticas. El Consejo Editorial, con el apoyo de una amplia cartera de árbitros nacionales e internacionales, especializados en los temas que se publican, dictamina anónimamente los trabajos recibidos para evaluar su publicación y el resultado es inapelable. El contenido de los artículos y reseñas que aparecen en cada número es responsabilidad de los autores y no compromete la opinión de los editores. Los trabajos que se presenten para su publicación deberán ser de carácter académico y ajustarse a los lineamientos que se incluyen al final de la revista.

Universidad Anáhuac-México Sur  
Av. de las Torres núm. 131, Col. Olivar de los Padres  
C.P. 01780, México, D.F., tel. +52 55 5628 8800

## The Anáhuac Journal: Business and Economics

Editor: Antonio García de la Parra Motta

Universidad Anáhuac-México Sur

www.uas.mx

Editorial Council/Consejo Editorial

**Abraham Nosnik Ostrowiak**, Universidad Anáhuac, México

**Armando Román Zozaya**, Universidad Anáhuac, México

**Charles Mayer**, Head of Marketing, Central European University, Budapest, Hungría

**F. J. Fiz Pérez**, Catedrático de Bioética Social y de Psicología del Desarrollo, Universidad Europea de Roma

**José Cruz Ramos Báez**, Universidad Panamericana, México

**José Sámano Castillo**, Universidad Nacional Autónoma de México

**Leonardo Alfonso Verduzco Dávila**, Universidad Anáhuac Mayab

**María del Rocío de la Torre Aguilar**, Universidad Anáhuac-México Sur

**Miguel Ángel Axtle**, Universidad Anáhuac-México Sur

**Mónica Febles Álvarez-Icaza**, Universidad Anáhuac Mayab

**Nieves Carmona G.**, Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, España

**Paul Roosens**, Universidad de Amberes, Bélgica

**Rafael Guillermo Ricardo Bray**, Universidad de la Sabana, Colombia

**Coordinador de la distribución electrónica:** Agustín Moya López

**Coordinador de la distribución impresa:** Samanta Pérez Cervantes

The Anáhuac Journal está indexado por Latindex, CLASE y EBSCO Host.

Derechos reservados © 2016

respecto a esta edición

por Universidad Anáhuac del Sur, S.C.

México, D.F.

Print: 500 copies

Tiraje: 500 ejemplares

# THE ANÁHUAC JOURNAL

## Business and Economics

The Academic Journal of the Universidad Anáhuac-México Sur  
Volume 16, Number 1 • First Semester 2016

Edited by Antonio García de la Parra Motta

### Contents / Contenido

<b>Responsabilidad social, tendencia hacia el éxito</b>	
Lara Cepa Serrano, Joaquín Pacheco, Julio César Puche	11
<b>Estudio de indicadores de bienestar por entidad federativa en México usando análisis de componentes principales</b>	
Iñigo Aranzábal Martín, Carlos Carredano Riega, Hugo Alexer Pérez Vicente	25
<b>Los métodos de decisión multicriterio discretos. Un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones</b>	
Rodrigo Palacios Saldaña y Joaquín Pacheco Bonrostro	47
<b>Factores del éxito competitivo en pymes (empresas no corporativas) del sector infraestructura en un entorno dinámico</b>	
David Yáñez Santillán	79

# Carta del editor

Estimados lectores y comunidad académica:

Como nuevo editor tengo el honor de presentarles el más reciente número de nuestra publicación, con la que deseamos seguir siendo una puerta abierta al diálogo e intercambio de ideas entre los diferentes miembros de nuestra comunidad científica.

En esta edición encontrarán cuatro artículos originales y de primer nivel sobre diversas problemáticas relacionadas con el área de negocios.

En esta nueva etapa que emprendemos es muy importante contar con la colaboración de autores que estén a la vanguardia en la reflexión sobre estos temas; por eso los invito a que nos hagan llegar los resultados de sus investigaciones para difundirlos a través de estas páginas.

Reitero nuestro compromiso con la investigación de calidad, la búsqueda de altos estándares académicos y la consecución de un equilibrio satisfactorio entre el rigor y la relevancia necesarios para lograr un avance significativo del conocimiento en nuestra área de estudio.

Por último, aprovecho para reconocer el trabajo realizado por nuestros árbitros. El tiempo y dedicación brindados a la revisión de los diferentes artículos son los garantes del rigor académico y de la calidad teórica de nuestra publicación.

Agradezco a todos la confianza depositada en esta nueva etapa que iniciamos.

Atentamente,

**Dr. Antonio García de la Parra Motta**

Editor

*The Anáhuac Journal*

Artículos



# Responsabilidad social, tendencia hacia el éxito

Lara Cepa Serrano, Joaquín Pacheco, Julio César Puche

## Resumen

*La responsabilidad social está de moda; durante los últimos años no hay periódico, revista o publicación que no incluya artículo o información sobre responsabilidad social empresarial o corporativa.<sup>1</sup> Se plantea si es una moda pasajera o una tendencia cada vez más coherente y consolidada que genera valor para la sociedad, las partes interesadas y la propia empresa u organismo.*

*Este artículo comienza con los antecedentes históricos de la responsabilidad social para analizar su concepto. A continuación, se describe la situación de la responsabilidad social en España, para finalizar con una serie de iniciativas de organismos nacionales.*

**Palabras clave:** responsabilidad social, sostenibilidad.

**Clasificación JEL:** A13, M14, Q01, G18.

---

<sup>1</sup> Existen dos formas para denominar la responsabilidad social en las empresas: «responsabilidad social en la empresa» y «responsabilidad social corporativa». Dichos términos se utilizan indistintamente para reflejar la misma realidad; la diferencia entre ambos conceptos es la forma jurídica y dimensión de la organización.

## Abstract

*Social Responsibility is fashionable; in recent years all newspapers, magazines or publications include an article or information on corporate social responsibility. It has been asked whether it is a fad or a more coherent and increasingly consolidated trend that creates value for the society, the stakeholders and the company and/or organization itself.*

*This paper starts with the historical background of social responsibility to analyze the concept itself. Later, it will discuss the situation of social responsibility in Spain to conclude with a series of national initiatives.*

**Keywords:** *Social Responsibility, Sustainability.*

**JEL Classification:** *A13, M14, Q01, G18.*

## 1. Antecedentes históricos y concepto de la responsabilidad social en las organizaciones

Aunque el concepto de responsabilidad social no aparece de forma explícita hasta mediados del siglo XX, se puede decir que en términos éticos y morales ha estado presente desde el principio de la historia de la humanidad a través de normativas y de restricciones filosóficas o religiosas. Y es que la responsabilidad social refleja las expectativas de la sociedad en un momento dado y son susceptibles de cambio. Es decir, a medida que cambian las necesidades de la sociedad, sus expectativas en relación con las organizaciones también cambian para reflejar esas inquietudes. Por ejemplo, una primera aproximación de la responsabilidad social se centraba en las actividades filantrópicas, como por ejemplo, hacer obras de caridad. En el siglo pasado, al ir surgiendo materias tales como las prácticas laborales justas, y otras materias como los derechos humanos, el medio ambiente, la protección al consumidor, la lucha contra el fraude y la corrupción, se han ido sumando, a medida que se les ha ido concediendo mayor atención.

A lo largo de los años se ha intentado buscar una definición compartida, tarea difícil si se tiene en cuenta que la responsabilidad social es una construcción social. A falta de un concepto único, (Wilenius, 2005; Dahlsrud, 2008) se han ido elaborando muchas definiciones en las que, afortunadamente, en casi todas ellas aparecen componentes comunes que ayudarán a definir qué es la responsabilidad social: una referencia a tres ámbitos de responsabilidad (económico, social y medioambiental (Elkington, 1998); una alusión a los interlocutores (*stakeholders*), ante los que la empresa se presenta como responsable; la identificación de esas responsabilidades como voluntarias (sin olvidar las obligatorias, como las que hacen referencia al marco legal y normativo) o alguna referencia a la necesidad de que esté integrada en la estrategia, en las políticas y las operaciones de la organización. Al final, se trata de una definición compleja y aglutinadora en una época en la que la sociedad exige cambios y transformaciones de calado en materia de responsabilidad social. A continuación, se mencionan distintas definiciones de responsabilidad social, especialmente procedentes de organismos españoles:

- **Pacto Mundial-Global Compact**<sup>2</sup> (ONU, 2000): «Acción voluntaria que busca contribuir a alcanzar mercados globales más sostenibles e inclusivos mediante su inclusión en valores compartidos con el deseo de incentivar relaciones más benéficas entre empresas y sociedades, prestando especial atención a las personas más pobres del mundo».

<sup>2</sup> Ver <https://www.unglobalcompact.org/>

- **ISO 26000** (Asociación Española de Normalización, 2012): «Responsabilidad de una organización ante los impactos que sus decisiones y actividades ocasionan en la sociedad y en el medio ambiente, mediante un comportamiento ético y transparente que:
  - contribuya al desarrollo sostenible, incluida la salud y el bienestar de la sociedad;
  - tome en consideración las expectativas de sus partes interesadas;
  - cumpla con la legislación aplicable y sea coherente con la normativa internacional de comportamiento;
  - esté integrada en toda la organización y se lleve a la práctica en sus relaciones».
- **Libro verde** (Comisión Europea, 2001): «Integración voluntaria, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y en sus relaciones con sus interlocutores».
- **Libro blanco de la RSE<sup>3</sup> en España** (Congreso de los Diputados, 2006): «La integración voluntaria en su gobierno y su gestión, en su estrategia política y procedimientos, de las preocupaciones sociales, laborales, medio ambientales y de respeto de los derechos humanos que surgen de la relación y el diálogo transparentes con sus grupos de interés, responsabilizándose así de las consecuencias y los impactos que se derivan de sus acciones».
- **Forética** (Foro para la Gestión de la Ética y Responsabilidad Social, 1999): «Fenómeno voluntario por el que se busca conciliar el crecimiento y la competitividad, integrando al mismo tiempo el compromiso con el desarrollo social y la mejora del medioambiente».
- **Marco Conceptual de la Responsabilidad Social Corporativa** (AECA, 2004): «Compromiso voluntario de las empresas con el desarrollo de la sociedad y la prevención del medio ambiente, desde su composición social y un comportamiento responsable hacia las personas y grupos sociales con quienes interactúa».

Por tanto, tras el análisis del concepto por distintas organizaciones se puede concluir que al abordar una organización de responsabilidad social se debe tener en cuenta la manera en que sus decisiones y actividades afectan a la sociedad y al medio ambiente, así como a los distintos grupos de interés. Además, deberá considerar las expectativas que tiene la sociedad en lo que concierne a esos impactos que, a su vez, pueden diferenciarse con respecto a los intereses particulares de las partes interesadas, como se representa en la figura 1.

<sup>3</sup> RSE: responsabilidad social de la empresa.

**Figura 1.** Relación de la organización, la sociedad y las partes interesadas



Fuente: elaboración propia.

## 2. La responsabilidad social en España

El Foro Económico Mundial ha demostrado la existencia de una alta correlación entre la posición competitiva y el grado de adopción de políticas de sostenibilidad de un país (Marca España-Forética, 2014). El tejido económico de España cuenta con un conjunto de sectores que pueden desarrollar plenamente la responsabilidad social de cara a futuro, y así convertirse en una fuente innata de competitividad a largo plazo.

España parte de una posición aventajada que le puede permitir convertirse en uno de los referentes mundiales en sostenibilidad a mediano y largo plazo.

- Desde el punto de vista económico, España es un país cuya economía se encuentra en una fase de ajuste profundo como consecuencia de grandes desequilibrios en su cuadro macroeconómico desarrollados durante los últimos años. Esta fase correctiva genera fricción, dado que exige en muchos casos la reestructuración de un buen número de industrias y sectores, y tiene consecuencias negativas como un alto nivel de paro y un redimensionamiento de algunos servicios públicos. Sin embargo, esta situación no debe eclipsar el potencial del país en materia de sostenibilidad ni su competitividad a largo plazo.

- Desde el punto de vista social, España es un país con una gran diversidad cultural y lingüística, así como un valioso patrimonio histórico. La sociedad española cuenta con uno de los sistemas de salud más eficientes del mundo y posee estadísticas privilegiadas de esperanza de vida.
- Y desde el punto de vista medioambiental, España es uno de los 50 países de mayor extensión en el planeta, y el segundo más grande de la Unión Europea, con una superficie de más de cincuenta millones de hectáreas. Debido a su ubicación geográfica y variedad climática y topográfica es una zona de excepcional riqueza ambiental. La propia Constitución Española (1978), en su artículo 45, reconoce el «derecho de todos los ciudadanos a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona así como el deber de todos de conservarlo», con lo que sienta las bases de un compromiso nacional de cuidado y respeto del medio ambiente.

Por otra parte, las empresas españolas han sido proactivas en la adopción de la responsabilidad social, así como de sus estándares y principios internacionales; existe un marco institucional favorable para su desarrollo. Una Estrategia Nacional de Responsabilidad Social Empresarial (Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España, 2014), la creación de consejos y órganos de coordinación y consultivos a nivel nacional y regional, así como un desarrollo normativo, contribuyen a potenciar su implantación en España.

Adherirse a los principios del Pacto Mundial apoyado por las Naciones Unidas puede crear beneficios a la organización (Thérien y Pouliot, 2006; Arevalo, Aravind et al., 2013). Y cada vez son más las empresas españolas con respecto a otros países que informan sobre los estándares internacionales de transparencia y reporte. Cabe destacar que en 2002, siete organizaciones españolas hicieron uso del marco del Global Reporting Initiative (GRI) para la elaboración de informes anuales de responsabilidad social, cifra que en 2012 había ascendido a 180. Asimismo, grandes empresas españolas están ocupando destacados puestos en las clasificaciones de los índices que valoran el desempeño en materia de sostenibilidad, como son el Dow Jones Sustainability (DJSI) y el FTSE4Good Index. Además, las pymes<sup>4</sup> españolas también han apostado por profundizar en relación a la responsabilidad social, fruto del trabajo realizado, en buena parte, por las Cámaras de Comercio. Igualmente, se han constituido departamentos de promoción de responsabilidad social en organizaciones sindicales, ONG, medios de

---

<sup>4</sup> Pequeñas y medianas empresas.

comunicación, administraciones públicas y universidades que han contribuido, más si cabe, a su promoción y desarrollo.

A pesar de todo, se muestran debilidades; existe una confusión generalizada en la opinión pública entre la responsabilidad social empresarial y la acción social o el *marketing* social, fruto del desconocimiento de la gestión y medición de los aspectos relacionados con la responsabilidad social empresarial.

### 3. Iniciativas de responsabilidad social en España

Este apartado describe, por orden de relevancia e importancia, el marco regulatorio (con base en el Consejo Estatal y en la Ley de Economía Sostenible) a partir del Libro blanco y de las distintas fundaciones, clubes y observatorios especializados.

En el año 2011, con la aprobación de la Ley de Economía Sostenible (2011a) y la actualización de la Ley de modernización y desarrollo del sistema de Seguridad Social (2011b), se inicia un proceso de cambio en la Administración Pública y otras instituciones relacionadas. La Comisión Nacional de Mercados de Valores (CNMV), por su parte, aprobó por Acuerdo del Consejo el Código de buen gobierno de las sociedades cotizadas (Comisión Nacional del Mercado de Valores, 2015) y ha colaborado en el proyecto de modificación a la Ley de Sociedades de Capital (Real Decreto Legislativo 1, 2010) que se basa en la transparencia de la información, y posteriormente a la Ley de Sociedades de Capital para la mejora del gobierno corporativo (Ley 31, 2014).

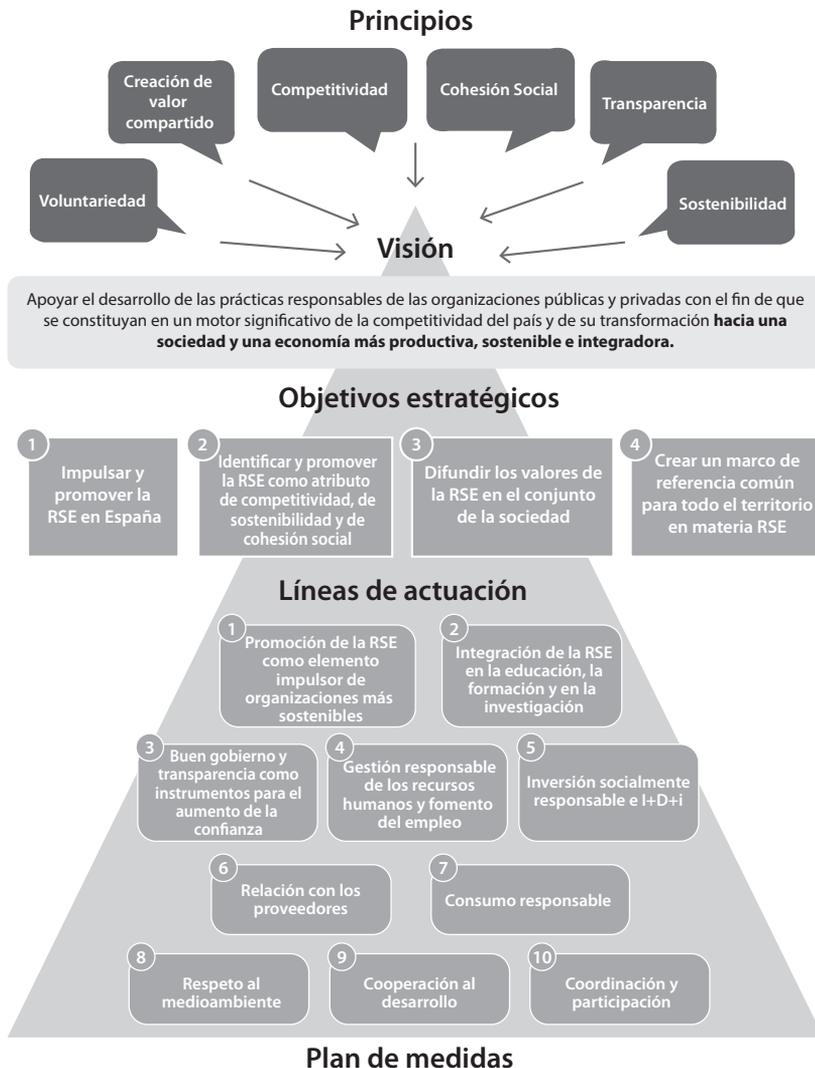
Sin embargo, dentro del marco normativo español que regula la responsabilidad social empresarial en España, se pueden considerar como elementos vertebradores el Consejo Estatal de la Responsabilidad Social de las Empresas y la Ley de Economía Sostenible (2011a).

- Consejo Estatal de la Responsabilidad Social de las Empresas (CERSE).

El CERSE (Real Decreto 221, 2008) es un órgano asesor y consultivo del Gobierno (no ejecutivo), adscrito al Ministerio de Trabajo e Inmigración, que identifica y promociona mejores prácticas y propone las políticas de responsabilidad social. Podemos destacar que en julio de 2014 fue aprobada la Estrategia española de responsabilidad social de las empresas 2014-2020 (Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España, 2014), para empresas, administraciones públicas y el resto de las organizaciones hacia una sociedad y una economía más competitiva, productiva, sostenible e integradora. La

estrategia, como muestra la figura 2, se vertebra en torno a cuatro objetivos estratégicos y propone un total de diez líneas de actuación que parten de seis principios: competitividad, cohesión social, creación de valor compartido, sostenibilidad, transparencia y voluntariedad.

**Figura 2.** Estructura de la estrategia española de responsabilidad social de las empresas



Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España (2014).

- Ley de Economía Sostenible:

La Ley de Economía Sostenible (2011a) define el concepto de economía sostenible y los principios resultantes de actuación de los poderes públicos, y un conjunto de reformas de impulso de la sostenibilidad de la economía española, que se refieren a:

- La mejora del entorno económico
- El impulso de la competitividad del modelo económico español, que actúa específicamente sobre tres ejes de mejora de la competitividad de las empresas españolas: el desarrollo de la sociedad de la información, un nuevo marco de relación con el sistema de I+D+i y una importante reforma del sistema de formación profesional.
- La sostenibilidad medioambiental, en aquellos aspectos que inciden en los ámbitos centrales del modelo económico: la sostenibilidad del modelo energético, la reducción de emisiones, el transporte y movilidad sostenible, y el impulso del sector de la vivienda desde la perspectiva de la rehabilitación.
- Los instrumentos para la aplicación y evaluación de la Ley de Economía Sostenible.

- Libro blanco<sup>5</sup> de la RSE

El Libro blanco de la RSE (Congreso de los Diputados, 2006) en España es un informe elaborado con el objetivo de potenciar la responsabilidad social en el país. Recomienda que la política pública de desarrollo de la responsabilidad social de las empresas esté constituida por normas que fomenten iniciativas voluntarias de prácticas empresariales responsables, y por acuerdos y medidas legislativas que contribuyan a favorecer las conductas responsables de los actores económicos.

- Clubes, observatorios especializados y fundaciones

A continuación se mencionan las entidades especializadas y profesionalizadas en la promoción y desarrollo de la responsabilidad social de

<sup>5</sup> Los Libros blancos son documentos que contienen propuestas de acción comunitaria en un ámbito específico. A veces son la continuación de un Libro verde, publicado con el fin de iniciar un proceso de consulta en el ámbito europeo. Mientras que los Libros verdes exponen un abanico de ideas con fines de debate público, los Libros blancos contienen un conjunto oficial de propuestas en materia política específica, y constituyen la guía para llevarlas a cabo.

la empresa. Todas sus actividades se centran en la investigación, promoción y difusión de la misma. Su campo de acción se circunscribe a todos los aspectos que actualmente se entienden como elementos de la gestión sostenible, ética y responsabilidad de las organizaciones.

- **Club de excelencia en sostenibilidad:** constituido en 2002, es una asociación empresarial compuesta por un grupo de empresas que apuestan por el crecimiento sostenible desde el punto de vista económico, social y medioambiental. Busca convertirse en un foro de diálogo con todos los grupos de interés, en una plataforma de evaluación comparativa (*benchmarking*) en desarrollo sostenible, en difundir y transmitir conocimiento de valor y en evaluar sistemáticamente el estado de la responsabilidad corporativa en España.
- **Forética:** creada en 1999, es una asociación de empresas y profesionales de la responsabilidad social empresarial. Su misión es fomentar la cultura de la gestión ética y la responsabilidad social, al dotar a las organizaciones del conocimiento y herramientas necesarias para desarrollar un modelo de negocio competitivo y sostenible. Se destaca por la elaboración de un estándar certificable llamado SGE21 (Sistema de gestión ética y socialmente responsable), ser socio de CSR Europe y por la difusión de la responsabilidad social empresarial.
- **Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES):** es una organización independiente sin fines de lucro, fundada en 1992 para desarrollar, gestionar y promover proyectos de desarrollo sostenible y de responsabilidad social empresarial en España y en América Latina. Su trabajo se centra en el análisis del comportamiento de las principales empresas que operan en bolsa en su responsabilidad social (es el órgano evaluador de EIRIS/FTSE4Good en España). Ofrece información y herramientas a las empresas y otros organismos para hacer frente al reto del cambio climático, maximizar el uso eficiente del agua y sensibilizar y ayudar a los usuarios en el consumo responsable.

#### 4. Conclusiones

Aunque la responsabilidad social parece estar de moda, se está produciendo un cambio y se está convirtiendo en una tendencia cada vez más consolidada, fruto de todos los esfuerzos, programas, estrategias, iniciativas

y experiencias concretas que algunas organizaciones a nivel nacional e internacional están implantando y fomentando.

La responsabilidad social va más allá del mero cumplimiento legislativo y normativo y, poco a poco, las organizaciones la han incorporado a sus estrategias; ya no solo se centran en generar valor para sí mismas sino que tienen en cuenta el medio ambiente, la sociedad y las partes interesadas, para participar de manera activa en los problemas de la sociedad.

En España, como resultado del fomento de la responsabilidad social, son numerosos los organismos que están impulsando iniciativas de diversa índole. También las empresas han unido sus esfuerzos en dicha materia formando, entre otros, asociaciones, clubes y observatorios.

Aun así queda un largo recorrido que realizar para ampliar el conocimiento de las acciones emprendidas y extender la cultura de la responsabilidad social, generar valor añadido a largo plazo para que prime el crecimiento económico sostenido.

---

#### **Agradecimientos:**

Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de la Junta de Castilla y León (a través del proyecto de referencia BU329U14) y del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER (a través del proyecto de referencia ECO2013-47129-C4-3-R). A estas instituciones les mostramos nuestro agradecimiento.

## Los autores

Lara Cepa Serrano es doctora por la Universidad de Burgos (2016) del programa de doctorado Técnicas modernas para la toma de decisiones. Fundamentos y aplicaciones. El título de su tesis doctoral fue *Selección de carteras socialmente responsables mediante técnicas metaheurísticas: enfoque multiobjetivo*. Su formación académica cuenta con la diplomatura de Ciencias Empresariales, por la Universidad de Burgos (2003), y la licenciatura en Economía General por la Universidad de Valladolid (2005), donde comenzó sus estudios de doctorado. En 2007 obtuvo el diploma de Estudios Avanzados en el área de Economía Aplicada, con énfasis en la Productividad total de los factores como motor de crecimiento económico en Castilla y León». Comenzó su carrera profesional en el área financiera de Caja Círculo y posteriormente Caja 3, donde formaba parte del Departamento de Gestión de Activos, que administra el portfolio de la entidad. Tras la integración de Caja 3 a Ibercaja, fue gerente de Banca personal, donde manejó una cartera de aproximadamente 200 clientes. También ha llevado a cabo su carrera docente como profesora asociada en los departamentos de Economía Aplicada y Economía y Administración de Empresas en la Universidad de Burgos.

lcepa@ubu.es

Joaquín Pacheco Bonrosto es catedrático de la Universidad de Burgos desde 2009. Desde 1987 imparte diferentes asignaturas de Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Doctor en Matemáticas por la Universidad Complutense de Madrid en 1994. Coordina el grupo de investigación sobre Técnicas metaheurísticas y su aplicación a problemas reales, de la Universidad de Burgos. Asimismo, es director de la Unidad Consolidada de Investigación UIC70 de la Junta de Castilla y León. Ha publicado más de cincuenta trabajos, entre los que destacan más de treinta artículos en revistas incluidas en el JCR del ISI así como capítulos de libros en editoriales como Springer. Ha dirigido trece tesis doctorales sobre las líneas de investigación mencionadas antes, además de otras en proceso. Es autor de cinco sistemas informáticos con propiedad intelectual registrada a favor de la Universidad de Burgos.

jpacheco@ubu.es

Julio César Puche Regaliza cuenta con los títulos de doctor (*Cum Laude*), ingeniero industrial, ingeniero informático e ingeniero técnico en Informática de Gestión en la Universidad de Valladolid. Actualmente forma parte del Departamento de Economía Aplicada (Área de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa) de la Universidad de Burgos. Las principales líneas de investigación están centradas en Cibernética Organizacional y Sistemas de Información. En estas áreas, ha publicado un destacado número de artículos de investigación en revistas indexadas, ha presentado varias comunicaciones en conferencias nacionales e internacionales y ha participado en diferentes proyectos de investigación (europeos, nacionales y regionales).

[jcpuche@ubu.es](mailto:jcpuche@ubu.es)

## Referencias

- AECA (2004). *Marco conceptual de la responsabilidad social corporativa*. Serie Responsabilidad Social Corporativa, Documento (1).
- Arevalo, J.A., Aravind, D., Ayuso, S. y Roca, M. (2013). The Global Compact: An Analysis of the Motivations of Adoption in the Spanish Context. *Business Ethics: A European Review*, 22(1), 1-15.
- Asociación Española de Normalización (2012). UNE-ISO 26000: 2012. *Guía de responsabilidad social*, Madrid: AENOR.
- Comisión Europea (2001). *Libro verde: fomentar un marco europeo para la responsabilidad social de las empresas*. Bruselas: CCE.
- Comisión Nacional del Mercado de Valores (2015). *Código de buen gobierno de las sociedades cotizadas*. Barcelona: CNMV.
- Congreso de los Diputados (2006). Libro blanco de la RSE. *Boletín oficial de las Cortes Generales*. Comisión de trabajo y asuntos sociales. Madrid: Congreso de los Diputados.
- Constitución Española (1978). *Boletín Oficial del Estado*, 29, 29313-29424.
- Dahlsrud, A. (2008). How Corporate Social Responsibility is Defined: An Analysis of 37 Definitions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15(1), 1-13.
- Elkington, J. (1998). Partnerships from Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21<sup>st</sup> Century Business. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37-51.
- Ley 2 (2011a), 4 de marzo, de Economía Sostenible. *Boletín Oficial del Estado*, (55).
- Ley 27 (2011b), 1 de agosto, de modernización y desarrollo del sistema de seguridad social. *Boletín Oficial del Estado*, (184).
- Ley 31 (2014), 3 de diciembre, por la que se modifica la Ley de Sociedades de Capital para la mejora del gobierno corporativo. *Boletín Oficial del Estado*, (293), 99793-99826.
- Marca España-Forética (2014). *RSE y Marca España: Empresas sostenibles, país competitivo*. Madrid: Marca España-Forética.
- Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España (2014). *Estrategia 2014-2020 sobre responsabilidad social para empresas, administraciones públicas y demás organizaciones para avanzar hacia una sociedad y una economía más competitiva, productiva, sostenible e integradora*.
- Real Decreto 221 (2008), 15 de febrero, por el que se crea y regula el Consejo Estatal de Responsabilidad Social de las Empresas. *Boletín Oficial del Estado*, (52), 12373-12376.
- Real Decreto Legislativo 1 (2010), 2 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Sociedades de Capital. *Boletín Oficial del Estado*, (161).
- Thérien, J.P. y Pouliot, V. (2006). The Global Compact: Shifting the Politics of International Development? *Global Governance: A Review of Multilateralism and International Organizations*, 12(1), 55-75.
- Wilenius, M. (2005). Towards the Age of Corporate Responsibility? Emerging Challenges for the Business World. *Futures*, 37(2), 133-150.

# Estudio de indicadores de bienestar por entidad federativa en México usando análisis de componentes principales

Iñigo Aranzábal Martín, Carlos Carredano Riega, Hugo Alexer Pérez Vicente

## Resumen

*La calidad de vida en un país es discutible y su estudio ha sido controversial dadas las diferentes perspectivas de medición planteadas a lo largo del tiempo. En este trabajo se propone un estudio acerca de los indicadores de la calidad de vida de las entidades federativas en México. La importancia recae en el interés de proponer una metodología que apunte al adecuado establecimiento de estrategias para mejorar el bienestar de vida de las personas. Para ello se ha planteado usar la técnica de análisis de componentes principales para describir el patrón en las variables consideradas y que están directamente relacionadas a la calidad de vida en cierto estado. Los resultados preliminares y las conclusiones nos darán a conocer cuáles y a qué nivel estas características están relacionadas.*

**Palabras clave:** análisis de componentes principales (PCA), calidad de vida, correlación lineal, prueba de normalidad.

**Clasificación JEL:** C02, C81, H10 y J17.

## Abstract

*The quality of life in a country is debatable, and controversial study has been given the different perspectives of measurement for many years. In this paper a study on living standards by state in Mexico is presented. The importance lies in the interest of proposing a methodology that points to the proper establishment of strategies to improve the welfare of people's lives. For it has been raised using the technique of principal component analysis to describe the pattern in the variables considered and that are directly related to the quality of life in a certain State in Mexico. The preliminary results and conclusions will let us know what and at what level these characteristics are related.*

**Keywords:** *Principal Component Analysis (PCA), Quality of Life, Linear Correlation, Normality Test.*

**JEL Classification:** *C02, C81, H10 and J17.*

## 1. Introducción

Los métodos actuales para dar una medición de bienestar en México indican que se han logrado grandes avances en los niveles de calidad de vida durante las últimas décadas. Según se menciona en García Vega y Sales Heredia (2011), se han registrado mejores resultados en los niveles de pobreza, niveles de educación, tasas de mortalidad infantil y esperanza de vida, entre otros. En este mismo estudio se argumenta que los indicadores son comparables con los usados para medir el bienestar en América Latina y Asia, y muestran que, aunque con diferentes patrones, estos se mueven según los casos específicos de cada país (crisis económicas y factores internos); México presenta niveles muy similares a los promedios de estas regiones.

Para estudiar los avances en los niveles de bienestar se utilizan los distintos índices que generan, a partir de datos de indicadores macroeconómicos y encuestas de percepción hechas a la población de forma directa para su elaboración. Algunos de estos índices, como el Índice Nacional de Calidad de Vida (INCAV), se usan como indicadores del avance social que planean y modifican las políticas sociales del país o de ciertas regiones (Gabinete de Comunicación Estratégica, 2015). En particular, el INCAV considera que una región tiene rezago social o que alguna otra tiene mejores niveles de bienestar. Una de las finalidades de los indicadores como este último, es resumir grandes cantidades de información en un solo número, para que sea comparable entre regiones o a través de los años en una misma región.

En este trabajo se usa el análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) –técnica de análisis multivariado– con la intención de encontrar tendencias y patrones en un conjunto de datos indicadores de bienestar sin tener que resumir la información en algún índice general. Se pretenden lograr conclusiones específicas sobre las relaciones entre un indicador y otro, o también entre una región y otra, a partir de los datos originales recabados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Esta forma de analizar las cifras nos podría proporcionar una herramienta diferente y crucial para comprender los datos disponibles y usarlos en forma útil y contundente.

## 2. Antecedentes

En la actualidad, existen muchas formas diferentes de medir y estudiar el bienestar de las personas, estas han evolucionado a lo largo del tiempo y se han vuelto cada vez más complejas. Además, persiste la polémica que

cuestiona si los métodos usados son los adecuados a lo que se encuentra en la literatura como diferentes propuestas de mejora. Durante la década de los sesenta en el siglo XX se utilizaban solamente variables macroeconómicas para determinar el bienestar relativo de una población. No fue hasta 1974 que Drewnowski, pionero de la medición de la calidad de vida, comenzó a destacar la importancia de medir más variables (Drewnowski, 1974). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1976) publicó el reporte sobre el desarrollo de indicadores de bienestar, y Morris (1979) construyó el Índice de Calidad Física de Vida de su clase, con el cual buscaba medir y relacionar diferentes variables de bienestar para calcular índices de pobreza, desigualdad y educación, entre otros, como se comenta en Berumen (2004). Hoy en día, diferentes instituciones y estudiosos proponen alternativas a la medición del bienestar que difieren entre ellas, como se menciona en García Vega y Sales Heredia (2011).

Tradicionalmente, en México el INCAV, propuesto por la Universidad de Monterrey, se utiliza para medir la calidad de vida. Este considera la percepción ciudadana en los rubros de suficiencia y precios de vivienda, suficiencia de escuelas, de espacios de esparcimiento y diversión, de espacios culturales y bellezas naturales, movilidad y aire limpio, que después de un tratamiento estadístico da como resultado un valor entre 0 y 100 comparable con el resultado de la misma región en años anteriores o con el resultado de otras regiones en ese mismo año (Gabinete de Comunicación Estratégica, 2015). Muchos autores presentan alternativas a esta medición y proponen métodos para encontrar resultados más realistas y acertados. Por ejemplo, el estudio *Bienestar y calidad de vida en México*, editado por la Universidad de Monterrey y el Centro de Estudios Sociales de Opinión Pública de la Cámara, presenta cinco textos en los que los autores critican las fallas que tienen los métodos usados y en algunos casos proponen mejoras. Cada autor tiene su propia crítica, pero todos ellos tienen una tendencia común: la búsqueda de un índice que represente mejor la calidad de vida de una población.

Lo crucial que se presenta en los estudios realizados en el campo de los Índices de Calidad de Vida está precisamente en la definición de calidad de vida y la subjetividad que conlleva (García Vega, 2011). Es así que sigue siendo un reto para los analistas saber qué medir, ya que hay una infinidad de factores que se podrían considerar y cada persona los ponderaría de forma diferente de acuerdo a su importancia. Por otro lado, se tienen cantidades inmensas de información sobre calidad de vida y bienestar, por lo que el reto también radica en saber qué hacer con ella. La motivación del presente trabajo se centra en ese intento por extraer un conocimiento que ayude a comprender la calidad de vida desde una perspectiva diferente y, en la medida de lo posible, con las herramientas que se tengan al alcance.

### 3. Descripción del estudio

Para la elección de variables, en este estudio se optó por considerar ciertos criterios particulares. Sin ser exhaustivo y para los fines de este trabajo, se eligió un grupo de variables con miras a que existiera alguna relación entre los indicadores de bienestar en México. Los datos se obtuvieron del INEGI<sup>1</sup> porque: 1) dan confiabilidad al estudio, 2) están basados en información real, 3) tuvieron la característica de no tener datos faltantes y 4) es posible su repetitividad para estudios posteriores.

Las ocho variables consideradas fueron: accesos a servicios de salud de 2014, niveles de educación de 2010, GINI del ingreso disponible de hogares per cápita de 2014, contaminación del aire de 2012, tasa de pobreza de 2014, esperanza de vida al nacer de 2015, tasa de homicidios de 2013 y participación electoral de 2012; todos ellos fueron obtenidos para cada entidad federativa; es decir, 31 estados de la República Mexicana y el Distrito Federal (ahora Ciudad de México). Es cuestionable la incompatibilidad en el tiempo de observación de cada variable; no obstante, se espera que los resultados, lejos de arrojar conclusiones similares, no pierdan objetividad en el presente estudio. A continuación, en la tabla 1 se muestra la descripción de las variables analizadas:

**Tabla 1.** Descripción de las variables de estudio

Dimensión	Escala de medición	Unidad
Servicios de salud	R	%
Niveles de educación	R	%
GINI del ingreso	R	coef.
Contaminación aire	R	µg*m <sup>3</sup>
Tasa pobreza	R	%
Esp. de vida al nacer	I	año
Tasa de homicidios	I	persona
Participación electoral	R	%

Nota: Se evidencia que todas las variables de estudio son variables continuas. En particular, refiriéndose a la tabla 1, se tiene que para Escala de Medición (I = Intervalo, R= Razón); Unidad (% = porcentaje, coef. = coeficiente entre 0 y 1, µg\*m = microgramos por metro cúbico, año = años de vida, persona = homicidios por cada 100,000 habitantes).

Fuente: elaboración propia.

<sup>1</sup> Fuente de datos disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/app/bienestar/>.

### *Materiales y métodos*

El procedimiento de análisis inicia con la exploración de las variables para revisar posibles relaciones lineales entre pares de ellas. Esto precisó la realización e interpretación de las matrices de correlación y covarianza, respectivamente. Posteriormente, se procedió a la aplicación de la técnica PCA (*Principal Component Analysis*) que sirve para analizar la varianza total de un conjunto de datos (Hair, JF., Anderson, E., Tatham, L., y Black, C., 1999). El análisis PCA es una técnica multivariante que busca combinaciones lineales entre las variables. Su objetivo es describir la variación en un conjunto de variables correlacionadas, en términos de un nuevo conjunto de variables no correlacionadas (Everitt, B. y Hothorn, T., 2011). La idea general es que los primeros pocos componentes cuenten con una proporción sustancial de la variación observada en las variables originales, esto también como un método para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos (De la Garza, J., Morales, B.N. y González, B.A., 2013). Intuitivamente, la técnica sirve para hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por importancia (Winston, 2014). El análisis PCA sirve para los fines de este estudio, ya que puede indicar qué relaciones de bienestar están relacionadas con cuáles. Además, se pretende encontrar relaciones que no sean triviales a simple vista y así concluir que, para mejorar algún tipo de factor, se necesita trabajar en alguno, o que dos factores no están relacionados entre sí. Por tanto, se lograría entender de manera más detallada lo que estos factores o indicadores significan, lo cual es el objetivo del presente trabajo. Para la realización del estudio se utilizó el programa estadístico Minitab 17 y el programa comercial MS Excel.

El tratamiento de los datos empieza con su exploración; su naturaleza define qué se va a usar: puede ser la matriz de covarianza (si los datos están en las mismas unidades) o la matriz de correlación (si los datos están en distintas unidades). De este mismo modo, para nuestro análisis ocuparemos diagramas de cajas y bigotes para detectar datos atípicos, diagramas de dispersión para visualizar relación lineal entre variables y las pruebas de normalidad (univariada y multivariada).

Después de la etapa exploratoria se procede a realizar el PCA, considerando la elección del número de componentes a utilizar. Como se menciona en Everitt, B. y Hothorn, T. (2011), el método más popular consiste en revisar el eigenvalor, que implica retener aquellos componentes principales cuyo eigenvalor sea mayor o igual a uno. Esta elección también se puede basar en la varianza acumulada o en un diagrama de sedimentación. Finalmente se debe analizar cada diagrama o gráfica, así como las pruebas pertinentes, para obtener conclusiones y poder interpretar de manera adecuada los resultados.

En este tipo de estudios es muy importante comprender los pasos de lo que se va a hacer, como también conocer las variables y sus connotaciones para poder hacer una predicción de lo que es más posible que ocurra. En el PCA, la interpretación se realiza por componente y se estudian principalmente los tipos de relación entre las variables dentro de cada «grupo» formado. Por lo tanto, es factible y no imposible suponer de alguna forma los resultados antes de llevar a cabo la metodología.

Es muy probable que los servicios de salud estén directamente relacionados con los de educación. Así como el GINI del ingreso con la tasa de pobreza. Por otro lado, se podría suponer que la tasa de homicidios está fuertemente relacionada con la esperanza de vida. Estas aseveraciones se hacen de acuerdo a lo que cualquier persona podría sugerir o inferir. No son más que simples opiniones o predicciones de lo que el analista cree que el estudio mostrará.

#### *Análisis previo de los datos*

La tabla 2 muestra los valores de covarianza de cada una de las variables con respecto a todas las otras y a sí misma. Cabe señalar que el primer renglón corresponde a la primera variable descrita y así sucesivamente. La covarianza es un concepto muy parecido al de varianza, es por eso que estos datos no son comparables entre sí, ya que las unidades en las que se encuentran influyen en el resultado (Everitt, B. y Hothorn, T., 2011). Por definición, los datos en la diagonal representan las varianzas de las variables.

**Tabla 2.** Matriz de covarianza

$$\begin{pmatrix} 10.756 & 7.303 & -0.014 & -4.607 & \mathbf{-22.413} & 1.285 & 0.618 & 1.734 \\ 7.303 & 43.320 & -0.033 & -2.012 & \mathbf{-72.473} & 4.124 & -0.466 & 0.488 \\ -0.014 & -0.0335 & 0.0009 & -0.010 & 0.136 & -0.005 & -0.077 & 0.060 \\ -4.607 & -2.012 & -0.010 & 22.140 & 14.081 & 0.478 & 0.840 & 2.505 \\ \mathbf{-22.413} & \mathbf{-72.473} & 0.137 & 14.081 & 180.967 & -8.300 & -6.164 & 16.366 \\ 1.286 & 4.124 & -0.006 & 0.478 & -8.300 & 0.951 & -4.761 & 0.609 \\ 0.619 & -0.466 & -0.078 & 0.840 & -6.164 & -4.761 & 214.665 & \mathbf{-34.001} \\ 1.734 & 0.488 & 0.061 & 2.505 & 16.366 & 0.609 & \mathbf{-34.001} & 26.221 \end{pmatrix}$$

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2 los valores más altos a consideración del analista, y sin seguir ninguna regla específica, están marcados en negritas, con excepción de las varianzas que se encuentran en la relación de cada variable con ella misma. Las relaciones marcadas son:

- Tasa de pobreza con acceso a servicios de salud
- Tasa de pobreza con niveles de educación
- Participación electoral con tasa de homicidios

La tabla 3 muestra los coeficientes de correlación de Pearson ( $\rho$ ) de cada una de las variables con respecto al resto de las variables, suponiendo que existe algún tipo de correlación lineal aparente. Estos datos son comparables entre sí ya que se realizan a partir de datos estandarizados (con media cero y varianza uno).

**Tabla 3.** Matriz de correlación

1	0.388	-0.141	-0.299	-0.508	0.402	0.013	0.103
0.338	1	-0.169	-0.065	-0.819	0.642	-0.005	0.014
-0.141	-0.169	1	-0.074	0.337	-0.191	-0.175	0.391
-0.299	-0.065	-0.074	1	0.222	0.104	0.012	0.104
<b>-0.508</b>	<b>-0.819</b>	0.337	0.222	1	-0.633	-0.031	0.238
<b>0.402</b>	<b>0.642</b>	-0.191	0.104	<b>-0.633</b>	1	-0.333	0.122
0.013	-0.005	-0.175	0.012	-0.031	-0.333	1	-0.453
0.103	0.014	0.391	0.104	0.238	0.122	<b>-0.453</b>	1

Fuente: elaboración propia.

Considerando  $\rho > |0.5|$  como alta (marcados en negritas de la tabla 3) se encontraron las siguientes correlaciones:

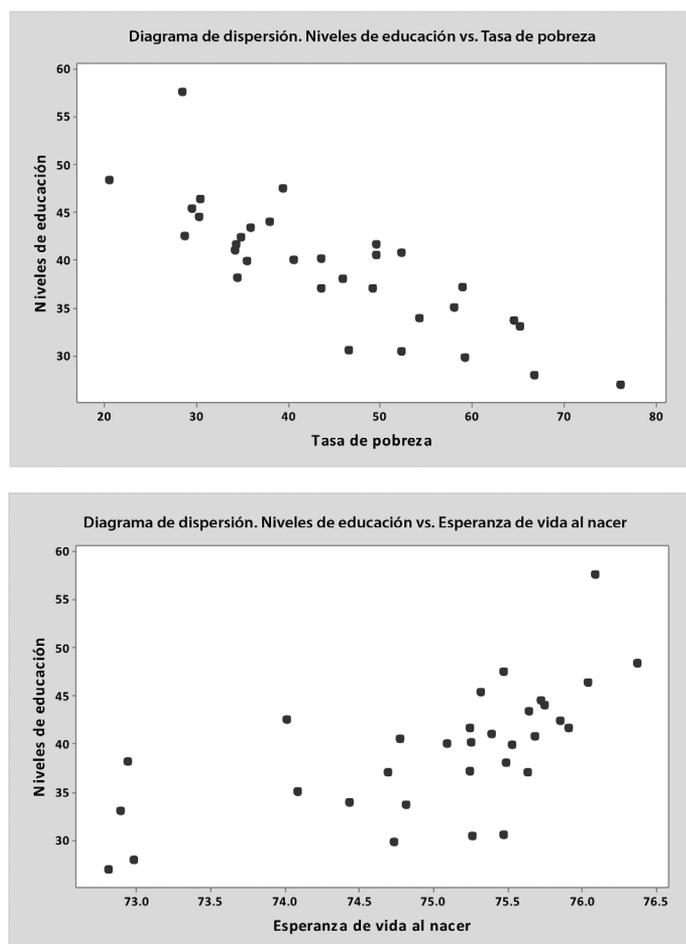
- Tasa de pobreza con acceso a servicios de salud
- Tasa de pobreza con niveles de educación
- Esperanza de vida al nacer con acceso a servicios de salud
- Esperanza de vida al nacer con niveles de educación
- Esperanza de vida al nacer con tasa de pobreza
- Participación electoral con tasa de homicidios

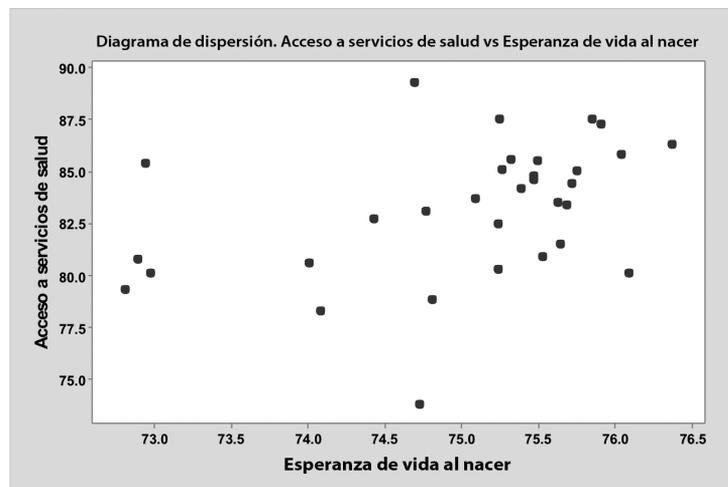
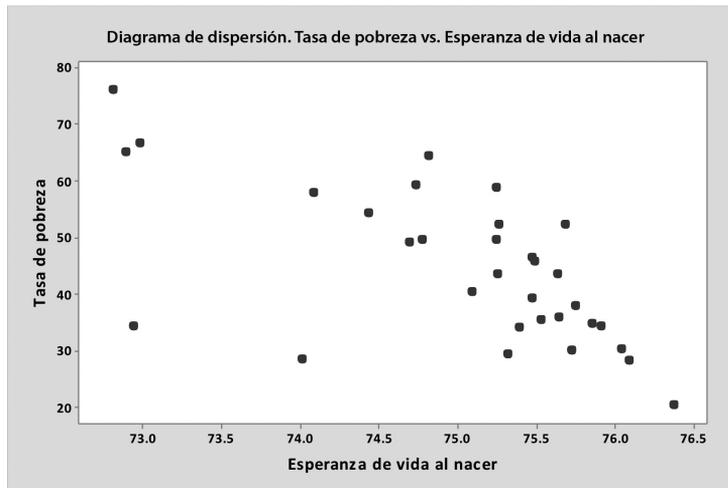
Estas relaciones serán analizadas más adelante por medio de la técnica PCA; sin ser contundentes a nivel de par de variables, la idea es intentar generalizar o extraer conclusiones en conjunto.

Los diagramas de dispersión muestran de forma visual la relación entre dos variables. Estos grafican puntos que para nuestro caso representan los diferentes estados con el valor de una variable en el eje  $x$  y el de otra en el eje  $y$  en un plano cartesiano. Se realizaron todos los diagramas de dispersión

posibles para cada par de relaciones, pero solo se muestran los tres diagramas de las relaciones más notorias y uno que no tiene relación aparente (ver figura 1). Dos de estas relaciones parecen ser lineales inversas (niveles de educación y tasa de pobreza; tasa de pobreza y esperanza de vida al nacer) y una parece ser lineal (niveles de educación y esperanza de vida al nacer). El cuarto diagrama (acceso a servicios de salud contra esperanza de vida al nacer) no parece tener ninguna relación lineal y forma dos grupos de datos, uno más pequeño que otro. Estos resultados sugieren lo que típicamente una persona pensaría con simple sentido común.

**Figura 1.** Diagramas de dispersión de la relación entre algunas de las variables



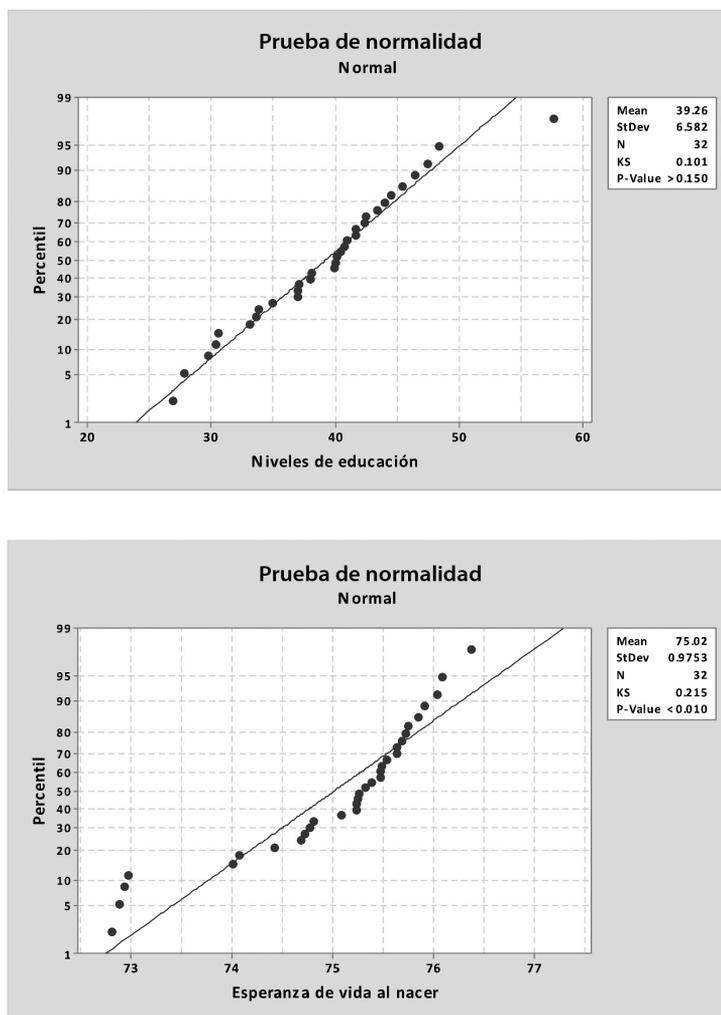


Fuente: elaboración propia.

Pese a que una de las bondades del PCA es que no supone alguna distribución específica en los datos debido a que es un análisis del tipo no-paramétrico, se realizó una prueba de normalidad a cada una de las variables, usando la prueba Kolmogorov-Smirnov (KS). El programa usado nos muestra el gráfico P-P, el estadístico KS y su correspondiente valor-p. Si los puntos se asemejan a la línea recta del gráfico y mayor sea el valor-p dado cierto

nivel de significancia –usualmente un valor de 0.05– no podría rechazarse la hipótesis de normalidad en los datos. En la figura 2 se muestran dos gráficos P-P, y a continuación los resultados de los valores-p en la tabla 4.

**Figura 2.** Gráficos P-P para la variable nivel de educación (arriba) y esperanza de vida al nacer (abajo)



Fuente: elaboración propia.

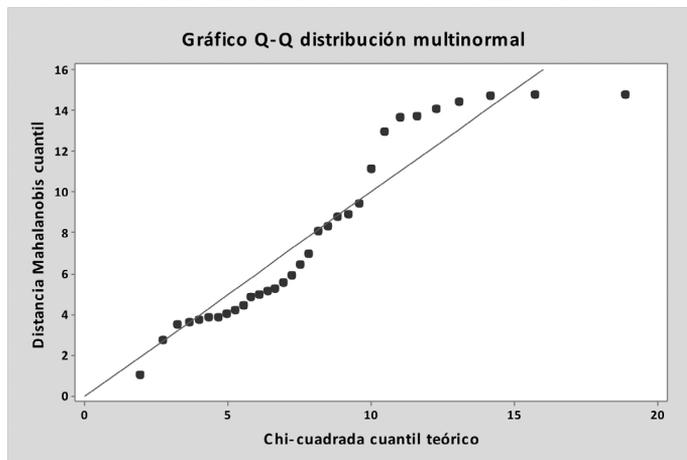
**Tabla 4.** Resultados de la prueba de normalidad KS

Variable	Valor-p	¿Sigue una distribución normal?
Servicios de salud	>0.150	SÍ
Niveles de educación	>0.150	SÍ
GINI del ingreso	>0.150	SÍ
Contaminación aire	>0.094	SÍ
Tasa pobreza	>0.150	SÍ
Esp. de vida al nacer	>0.100	NO
Tasa de homicidios	0.480	NO
Participación electoral	>0.150	SÍ

Fuente: elaboración propia.

La prueba de la normalidad multivariada se realizó con ayuda del gráfico Q-Q. Como se sugiere (Everitt, B. y Hothorn, T., 2011), se observa si la Distancia Mahalanobis (MD) sigue una distribución Chi-cuadrada con grados de libertad igual al número de variables. Entre más se acerquen las distancias Mahalanobis a la distribución Chi-cuadrada, se aproximarían a una distribución normal multivariada en una equivalencia 1:1. Es por eso que en los casos en los que la distribución es multinormal, el gráfico Q-Q se aproximará a una línea recta (ver figura 3).

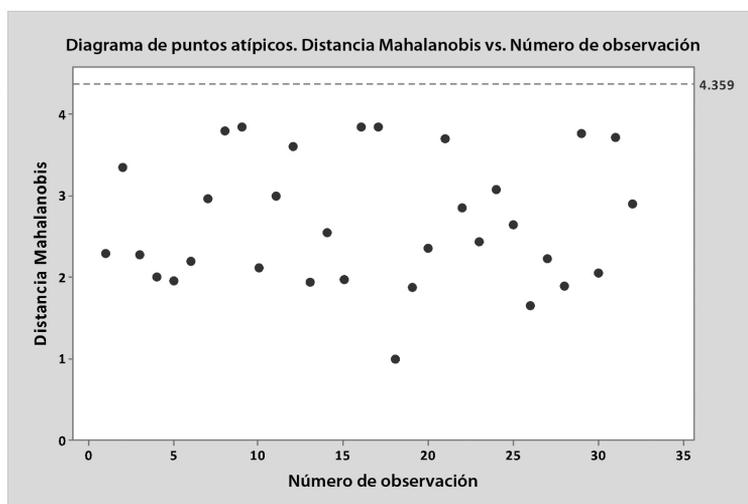
**Figura 3.** Gráfico Q-Q usado para detectar una distribución multinormal



Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se muestra la dispersión de las MD, y con el punto de corte que calcula Minitab basado en la distribución F, no podría observarse ningún punto atípico multivariado. Adicionalmente, se calculó un punto de corte por medio de la distribución Chi-cuadrada sin cambiar las conclusiones obtenidas.

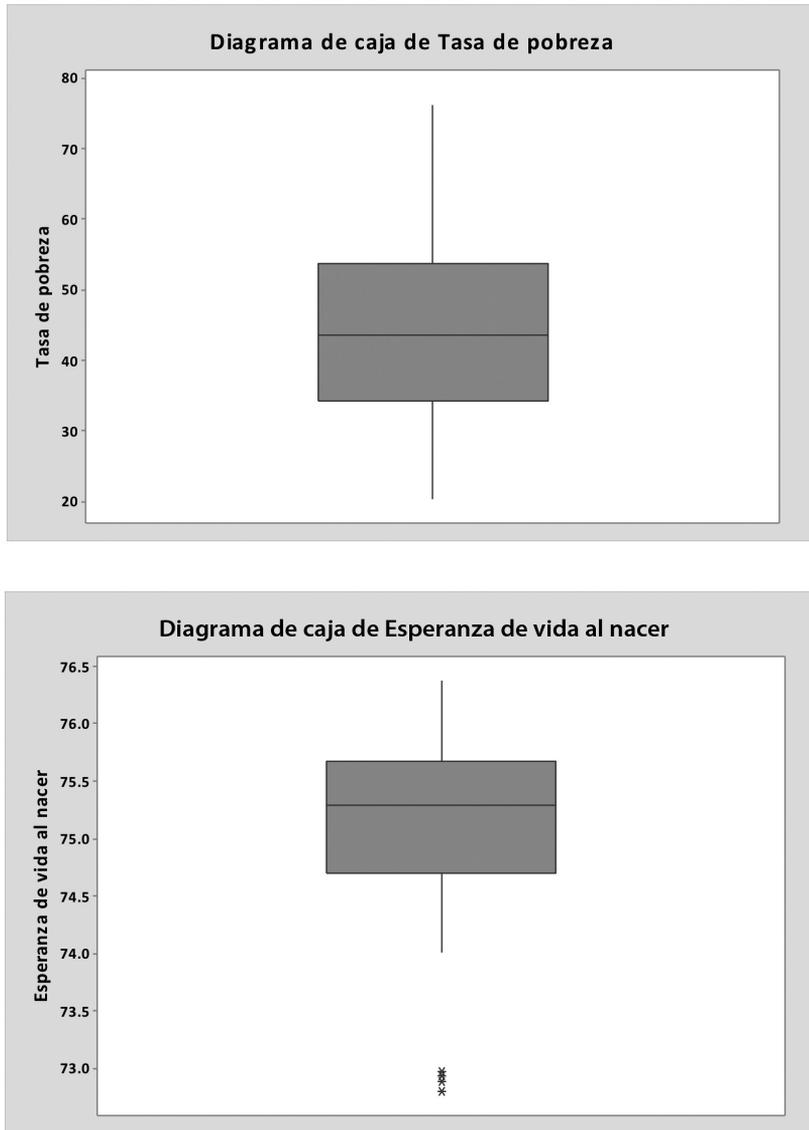
**Figura 4.** Diagrama de dispersión de las MD respecto al número de observación



Fuente: elaboración propia.

Para encontrar los valores atípicos por variable se aplicaron dos métodos: 1) el rango intercuartil (IQR, por sus siglas en inglés) mostrado en un diagrama de cajas y bigotes y el 2) el z-score. En los gráficos de la figura 5 se muestran dos diagramas de cajas y bigotes, uno sin puntos atípicos y otro con puntos atípicos, respectivamente. En la tabla 5 se muestran los datos atípicos encontrados en los diagramas.

Figura 5. Diagramas de caja de algunas de las variables



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Datos atípicos de diagramas de caja

Variable	Punto atípico	Valor
Esperanza de vida al nacer	Oaxaca	72.98
Esperanza de vida al nacer	Chihuahua	72.94
Esperanza de vida al nacer	Guerrero	72.89
Esperanza de vida al nacer	Chiapas	79.30
Participación electoral	Yucatán	77.40
Tasa de homicidios	Chihuahua	58.80
Tasa de homicidios	Guerrero	64.80
Contaminación del aire	Morelos	26.20
GINI del ingreso disponible	Puebla	0.572
Educación	Distrito Federal	57.60

Fuente: elaboración propia.

Usando el segundo método que se basa términos de desviaciones estándar, se definieron como datos atípicos aquellos valores que sobrepasan  $\pm 3\sigma$ , con los siguientes resultados:

**Tabla 6.** Datos atípicos por método z-score

Variable	Punto atípico	Valor
Tasa de homicidios	Guerrero	3.1315
Contaminación del aire	Morelos	3.5020
Ingresos de hogares p/c	Puebla	3.0959

Fuente: elaboración propia.

### *Aplicación de la técnica PCA*

Una vez realizada la parte exploratoria, se procedió a aplicar la técnica multivariada. El análisis de los resultados sugiere determinar el número de

componentes principales a considerar. En este caso, aplicando el criterio del eigenvalor, se considerarán tres componentes. Debido a la presencia de valores atípicos se optó por dividir el análisis en dos casos: I) en el que se usa la información completa y II) en el que se quitaron los valores atípicos detectados con el método 2. En la tabla 7 se muestran los resultados del análisis, incluidos los puntos atípicos.

**Tabla 7.** Resultados del PCA: caso I

	PC1	PC2	PC3	PC4
Eigenvalor	2.8412	1.7715	1.2003	0.7548
Proporción	0.355	0.221	0.150	0.094
Acumulado	0.355	0.577	0.727	0.821

Fuente: elaboración propia.

Únicamente se tomaron los tres primeros componentes principales (PC1, PC2 y PC3), ya que a partir del cuarto el eigenvalor es menor que 1. También se obtuvieron los valores de dichos componentes principales, que se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Carga de cada componente para las variables de estudio: caso I

Dimensión	PC1	PC2	PC3	Com. (%)
Servicios de salud	-0.381	-0.066	-0.381	29.5
Niveles de educación	-0.505	-0.056	0.098	26.8
GINI del ingreso	0.230	-0.405	-0.324	32.2
Contaminación aire	0.114	-0.072	0.812	67.7
Tasa pobreza	0.554	-0.103	0.034	31.9
Esp. de vida al nacer	-0.470	-0.259	0.271	36.1
Tasa de homicidios	0.038	0.581	-0.071	34.4
Participación electoral	0.061	-0.639	-0.035	41.3

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran los valores de cada componente principal en las primeras tres columnas y en la última la comunalidad (Com.) de cada variable, se llega a la conclusión de que la variable con mayor peso en la medición del bienestar de la población es la contaminación del aire.

Posterior a la obtención de los resultados, se decidió expandir el análisis y se realizó, como se mencionó anteriormente, el PCA sin incluir las observaciones que contienen datos atípicos. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados del PCA: caso II

	PC1	PC2	PC3	PC4
Eigenvalor	2.7648	1.8417	1.3847	0.7352
Proporción	0.346	0.230	0.173	0.092
Acumulado	0.346	0.576	0.749	0.841

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, se volvieron a obtener los mismos resultados que con los datos con valores atípicos. Nuevamente, se obtuvieron los valores de los tres componentes a analizar, ahora sin valores atípicos univariados. Esto se muestra en la tabla 10:

**Tabla 10.** Carga de cada componente para las variables de estudio: caso II

Dimensión	PC1	PC2	PC3	Com. (%)
Servicios de salud	0.353	0.188	0.373	29.9
Niveles de educación	0.509	0.148	-0.089	28.9
GINI del ingreso	-0.186	0.420	0.403	37.3
Contaminación aire	-0.115	0.010	-0.725	53.9
Tasa pobreza	-0.567	0.027	0.015	32.2
Esp. de vida al nacer	0.453	0.274	-0.280	35.9
Tasa de homicidios	0.148	-0.537	0.294	39.7
Participación electoral	-0.143	0.634	0.023	42.3

Fuente: elaboración propia.

La tabla 10 muestra los valores de cada componente principal en las primeras tres columnas y en la última, la comunalidad. Al comparar con la tabla 8 vemos que los valores y comunalidades son muy similares para cada componente principal y para cada variable. Como se observa en la tabla 10, la contaminación del aire sigue siendo el factor que más afecta el bienestar de la población.

#### 4. Discusión y conclusiones

En el presente trabajo se estudian variables relacionadas con la calidad de vida en México, con el uso de la técnica PCA. La interpretación de los componentes principales muestra relaciones interesantes que podrían utilizarse para definir estrategias de carácter público. Los resultados indican la posibilidad de ser estudiados usando una técnica multivariada descriptiva disponible en cualquier programa informático de uso libre o comercial.

La discusión de los resultados se basará en la interpretación de los valores de los componentes principales de la tabla 8. En términos generales, se podría sustentar que: en PC1 las variables de nivel de educación y tasa de pobreza están inversamente relacionadas, lo que podría significar que a mayor educación se tendría menor tasa de pobreza. Asimismo, considerando la esperanza de vida al nacer se observa que también está relacionada con estas dos variables. Para el caso de PC2, las variables tasa de homicidios y participación electoral están inversamente relacionadas, dando a entender que a menor participación electoral de la población, los homicidios en la comunidad aumentan. Finalmente, en PC3 la variable de contaminación de aire tiene una relación fuerte con el nivel de bienestar de la población, inherente a lo que dicta el sentido común.

De acuerdo a la interpretación de los resultados del análisis PCA, el presente trabajo acusa lo siguiente:

- En cuanto al primer componente, el nivel de educación de un estado y su tasa de pobreza estarán relacionadas de forma inversa; es decir, cuando uno sea alto, el otro será bajo. La esperanza de vida al nacer está relacionada con menor fuerza a estas variables, en el mismo sentido que el nivel de educación. Además, estas variables tendrán un peso elevado en los indicadores de bienestar. Esta conclusión es bastante trivial y el análisis no hace más que reafirmar con sustento matemático que al reducir o aumentar una de estas variables la otra se afectará de forma inversa. Se podría decir entonces que para disminuir la pobreza, se tendría que aumentar el nivel de educación en el estado o que para mejorar la educación y alargar la esperanza de vida al nacer, se tendrían que tomar medidas para reducir la pobreza.

- Del componente dos puede verse una relación un poco menos trivial y que sin un análisis adecuado es más difícil detectar. La tasa de homicidios en una región está inversamente relacionada con la participación electoral de la población en esa región. Esto sugiere que los estados en los que vota más porcentaje de gente son aquellos en los que menos homicidios por habitante suceden y viceversa. Es una relación que, desde nuestro punto de vista, resulta interesante y que no se sospechaba antes de hacer este análisis. Pareciera que existe un factor cívico y ético que provoca que estas dos medidas de bienestar estén fuertemente relacionadas.
- Del tercer componente puede deducirse que la calidad del aire tiene mucha influencia en el bienestar de las personas. Aunque no se haya relacionado con ninguna otra variable analizada, esta registró un peso notablemente alto. Este resultado es más difícil de conceptualizar pues significa que aunque no se registran patrones que relacionen esta variable con el resto, la variable tuvo una fuerte influencia en el bienestar general de las entidades que se representan por medio de estos datos.

Este tipo de análisis pretende dar bases para estudiar a un nivel más detallado respecto de las medidas que los diferentes estados de la República Mexicana deben tomar para generar mejores condiciones de bienestar de las personas. En este sentido, el diseño de políticas públicas resulta un tema crucial en el estudio de la calidad de vida en México. No obstante, esta tarea seguirá siendo importante para los organismos de gobierno como la Secretaría de Desarrollo Social o de Desarrollo Económico de las entidades federativas, así como en foros mundiales de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Los resultados preliminares de este estudio sugieren enfocarse en generar una mayor participación electoral y una cultura de la no violencia o la reducción del homicidio. Adicionalmente, se evidencia la importancia del fortalecimiento de la educación, por estar relacionada con los niveles de pobreza en México.

Como trabajo a futuro, se pretende repetir el análisis con un mayor número de variables con características sugeridas por un grupo de especialistas de diversas áreas de la Economía y la Sociología, apuntando a la realización de un análisis comparativo con otras investigaciones y dar sentido a las variables elegidas en este trabajo. Además, resulta de vital importancia proponer alguna estrategia de análisis para estudiar variables que provienen de diferentes periodos de tiempo con la finalidad de dar una mejor consistencia a las conclusiones obtenidas.

## Los autores

Iñigo Aranzábal Martín es alumno de noveno semestre de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Anáhuac Norte. Ha sido distinguido con beca de excelencia por alto desempeño a lo largo de sus estudios de licenciatura. En 2015 realizó un intercambio académico en la Universidad Católica de Lyon, en Francia. Sus líneas de interés son Optimización y Minería de Datos. Actualmente está colaborando en un proyecto de investigación para dicha Facultad de Ingeniería que será presentado en el Congreso Internacional PATAT 2016.

[inigoaran@hotmail.com](mailto:inigoaran@hotmail.com)

Carlos Carredano Riega es alumno de noveno semestre de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Anáhuac Norte. Ha sido distinguido con beca de excelencia por alto desempeño. Sus líneas de interés son Optimización y Minería de Datos.

[carrecar93@hotmail.com](mailto:carrecar93@hotmail.com)

Hugo Alexer Pérez Vicente es maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) e ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Ha expuesto en congresos nacionales e internacionales como el MICAI, CLAIO-SMIO y SIMMAC. Además, ha publicado artículos en revistas indexadas y *proceedings* en *IIE Annual Conference* y *CIINDET*. Es profesor en la Universidad Anáhuac Norte donde estudia el Doctorado en Ingeniería Industrial. Sus líneas de especialidad son Minería de Datos, Cadena de Suministro y Estadística Aplicada.

[hugo.perez@anahuac.mx](mailto:hugo.perez@anahuac.mx)

### Referencias

- Berumen, Sergio A. (2004). Construcción y análisis del índice de la calidad de vida en Guatemala (PQLI). *Estudios Económicos de Desarrollo Internacional*. 4(2), 73-92.
- De la Garza, J., Morales, B.N. y González, B.A. (2013). *Análisis estadístico multivariante*. México: Mc Graw Hill.
- Drewnowski, J. (1974). *On Measuring and Planning the Quality of Life*. La Haya: Mouton.
- Everitt, B. y Hothorn, T. (2011). *An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R*. Nueva York: Springer.
- Gabinete de Comunicación Estratégica. (2015). *Las ciudades más habitables de México 2015*. México: GCE.
- García Vega, J.J. y Sales Heredia, F.J. (Eds.) (2011). *Bienestar y calidad de vida en México*. México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública y Universidad de Monterrey.
- García Vega, J.J. (2011). Hacia un nuevo sistema de indicadores de bienestar. *Revista internacional de Estadística y Geografía*, 2(1), 78-95.
- Hair, J.F., Anderson, E., Tatham, L. y Black, C. (1999). *Análisis multivariante*. Madrid: Prentice Hall International, Inc.
- Morris, M. D. (1979). *Measuring the Condition of the World's Poor: The Physical Quality of Life Index*. Nueva York: Pergamon Press.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. (1976). *Measuring Social Well-Being: A Progress Report on the Development of Social Indicators*. París: OCDE.
- Winston, W. (2014). *Marketing Analytics: Data-Driven Techniques with Microsoft Excel*. Indianápolis: John Wiley&Sons.

# Los métodos de decisión multicriterio discretos. Un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones

Rodrigo Palacios Saldaña y Joaquín Pacheco Bonrostro

## Resumen

*Este artículo busca contribuir a la aplicación de los métodos de decisión multicriterio (MCDM) a problemas reales. Para ello se van a detallar los conceptos básicos de la decisión multicriterio, los diferentes métodos existentes y su aplicación en el planeación energética. La decisión multicriterio en sus diversas acepciones es un conjunto de herramientas multidisciplinares con un gran potencial y altamente empleadas para el análisis de problemas complejos. Estos métodos han sido desarrollados desde diferentes ámbitos de la investigación y con distintas bases matemáticas, lo que dificulta la iniciación en este campo.*

*La aplicación de MCDM en la planeación energética es destacable y extrapolable a otros campos; y durante su evolución ha pasado de requerir para su análisis métodos simples como el costo-beneficio, a requerir herramientas capaces de recoger una realidad multicriterio. En la planeación ha sido necesario englobar aspectos medioambientales, sociales y técnicos; especialmente tras la irrupción de nuevas fuentes de energía, principalmente las renovables, el aumento de la relevancia de la emisión de GEI y la dependencia que se genera con respecto a los países de los cuales se importa la energía primaria.*

**Palabras clave:** MCDM, decisión multicriterio discretos, energía, modelos de planeación, toma de decisión.

**Clasificación JEL:** O210, Q4.

## Abstract

*This paper implements multi-criteria decision methods (MCDM) into real problems. In order to do so, the details of the basics of multi-criteria decision and the different methods and their application in energy planning will be stated.*

*The multi-criteria decision, in its multiple meanings, is a multidisciplinary set of tools with great potential, highly used for the analysis of complex problems. These methods have been developed from different fields of research and different mathematical bases, making it difficult to start in this field.*

*The application of MCDM in energy planning is remarkable and can be extrapolated to other fields that have evolved from using simple methods such as cost-benefit have been required for their analysis to require tools able to collect a multi-criteria reality. In energy planning, it has been necessary to encompass environmental, social and technical aspects especially after the arrival of mainly renewable new source of energy increasing the relevance of GHG emissions and dependence generated to the countries of which the primary energy is imported.*

**Keywords:** MCDM, Multi-Criteria, Decision-Making, Energy, Planning Models, Energy Planning.

**JEL Classification:** O210, Q4.

## 1. Introducción

Los métodos multicriterio ayudan a llevar a el proceso de toma de decisión desde una perspectiva racional, haciendo el proceso más reflexivo, consciente y deliberativo. Esta expresión se popularizó a través de la obra de Zeleny (1973).

Es una metodología normativa que sirve de guía en el proceso y facilita la obtención de una decisión consecuente con los objetivos establecidos de acuerdo con las preferencias, gracias al análisis sistemático de las alternativas a través de sus atributos tanto cualitativos como cuantitativos, y mediante un proceso estructurado que mejora el flujo de información entre el analista y el tomador de decisiones (Løken, E., 2007).

Estas características son propicias para la aplicación de MCDM como ayuda en la toma de decisiones, así como en procesos de jerarquización de alternativas o simplemente para estructurar el proceso. Esto hace de estas técnicas unas buenas, aunque no únicas, herramientas para el estudio y desarrollo de la toma de decisiones.

En este documento se realiza una revisión de los métodos más empleados en problemas reales, así como casos de aplicación en el ámbito energético. De manera que sirva tanto a novales como a expertos en el campo, con la finalidad de conocer el alto potencial de estas herramientas y sus posibilidades de aplicación.

La planeación en el sector eléctrico es una tarea compleja, ya que comprende objetivos dispares, y en algunos casos contrapuestos. Además, su análisis engloba elementos con diferentes grados de incertidumbre y pertenecientes a ámbitos relativamente distintos.

La aplicación de métodos multicriterio discretos en el campo de la planeación energética se remonta a los años ochenta (Saaty, T.L., 1978), cuando los métodos existentes empezaron a probarse en esta área. Posteriormente se desarrollaron nuevas versiones, así como nuevos métodos, que actualmente continúan evolucionando, adaptándose a las nuevas necesidades, desarrollando hibridaciones y ampliando su aplicación en escenarios difusos (Chen, C.T., 200; Fenton, N. y Wang, W., 2006; Jiang, Q. y Chen, C.H., 2005)

Además de la planeación energética, estos métodos también se han empleado en otras decisiones del sector. La comparación de los procesos de producción de película fina en paneles solares fotovoltaicos (Cavallaro, F., 2010), la elección de paneles de concentración solar (Cavallaro, F., 2009), la investigación operativa para la explotación de energía geotérmica (Goumas, M.G., Lygerou, V.A. y Papayannakis, L.E., 1999), la localización de instalaciones de gas natural (Massara, V.M. y Udaeta, M.E.M., 2011) o el estudio

del desarrollo industrial de una región en la que las alternativas de desarrollo están directamente relacionadas con la elección de fuentes de energía primaria (Solnes, J., 2003), entre otros. Incluso se utilizan en ámbitos transversales como el estudio de los subsidios a percibir por parte de los diferentes productores y usuarios de la red eléctrica (Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010) o en el análisis de los agentes colectivos que surgen en torno a la instauración de un nuevo plan energético (Moragues-Faus, A.M. y Ortiz-Miranda, D., 2010). Este éxito se debe a que tienen capacidad para considerar el estado de desarrollo de las tecnologías, la sostenibilidad y en especial la incertidumbre.

## 2. Planteamiento del problema

### *Conceptos básicos*

Dentro del campo de la toma de decisiones hay una serie de conceptos que serán utilizados asiduamente. Para evitar confusiones, se definen a continuación (Ríos Insua, S., Bielza, C. y Mateos, A, 2002).

**Tomador de decisiones:** persona que plantea el problema y debe de tomar la decisión.

**Analista:** persona que ayuda al tomador de decisiones durante el proceso.

**Alternativas:** cada una de las posibles decisiones que puede seleccionar el tomador de decisiones. Son un número finito y generalmente pequeño de posibilidades determinadas, que se puede definir como  $A = \{A1, A2, \dots, Am\}$ .

**Criterios:** son puntos de vista o parámetros relevantes que se van a tener en cuenta para seleccionar la alternativa. Pueden ser cuantitativos o cualitativos y se pueden definir como  $C = \{C1, C2, \dots, Cn\}$ .

**Atributo:** es el valor de cada alternativa con respecto a cada criterio; es decir, las características que definen a las alternativas. Deben ser objetivos y poder expresarse mediante un valor o función, y se pueden definir como  $Xmn$ , valoración de la alternativa  $Am$  para el criterio  $Cn$ .

**Pesos:** es la medida de la relevancia de los criterios, ya sea individual o relativa entre ellos.

**Matriz de decisión:** es uno de los elementos principales de la toma de decisiones multicriterio. Recoge la valoración de cada alternativa para cada uno de los criterios, es decir, los atributos. Esta matriz expresa todos los atributos de las diferentes alternativas de acuerdo con cada uno de los criterios establecidos. En ella, cada fila recoge la valoración de una alternativa respecto a los  $n$  criterios establecidos. Mientras que cada columna expresa los valores de cada una de las  $m$  alternativas respecto a un criterio. Como se puede ver en la tabla 1.

**Tabla 1.** Matriz de decisión

	C1	C2	C3	.....	Cn
A1	X11	X12	X13	.....	X1n
A2	X21	X22	X23	.....	X2n
A3	X31	X32	X33	.....	X3n
.....	.....	.....	.....	.....	.....
Am	Xm1	Xm2	Xm3	.....	Xmn

Fuente: elaboración propia.

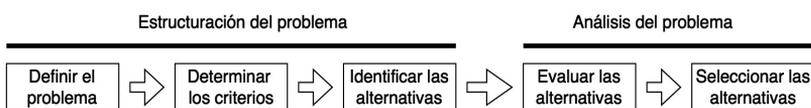
### Estructura

Los MCDM son una serie de métodos matemáticos de diversa complejidad cuya principal función es ayudar al tomador de decisiones a desempeñar su trabajo con la mayor eficiencia posible. Actualmente, la toma de decisiones en muchos ámbitos tiene una serie de interrelaciones muy complejas para poder ser comprendidas y analizadas mentalmente como un solo proceso.

Para facilitar la toma de decisiones es común dividir el proceso en dos etapas, como se muestra en la figura 1: la estructuración del problema y su análisis (Barba-Romero, S., 1987). Es importante realizar los pasos de forma independiente, aunque su interrelación es lo que nos permitirá desarrollar todo el proceso. Intentar solapar las diferentes fases condicionará las conclusiones y difuminará los aportes de estos métodos.

La etapa de estructuración del problema se compone de tres partes. En primer lugar, y pieza clave, es definir la situación. Es necesario que este proceso nos presente un problema concreto a solucionar. La segunda fase consiste en definir el o los criterios de decisión, en este caso trataremos de problemas con criterios múltiples y consideraremos los mono-objetivo como una simplificación. Y la tercera fase es la identificación de los atributos de las alternativas que puedan dar solución al problema planteado, así como la valoración de cada una de ellas en los criterios previamente establecidos.

La segunda etapa, el análisis del problema, la desarrollaremos más adelante, puesto que es aquí donde difieren los métodos, ya que emplean diferentes estrategias para evaluar y seleccionar las alternativas, de acuerdo con sus principios metodológicos.

**Figura 1.** Etapas del proceso de decisión

Fuente: elaboración propia.

No hay que olvidar que los MCDM son técnicas, no herramientas, de decisión en sí mismas. Su función es ayudar en el proceso, ya sea como base del proceso o en alguna de las diferentes fases, jerarquizar los criterios, estructurar el problema, definir el objetivo y organizar o sintetizar el gran conjunto de variables. Por ello, para su correcto uso es necesario conocer los errores típicos, así como su robustez y eficacia (Stewart, T.J., 1992). También es frecuente que el tomador de decisiones prescindiera del analista en favor del software especializado. Sin ser consciente de que la computadora solo es un soporte y que si el problema no se modeliza correctamente, se limitará a trabajar con un modelo predefinido, no adaptado al problema que intenta solucionar. En este, para muchos, nuevo camino es recomendable seguir directrices para elegir el método a utilizar (Guitouni, A. y Martel, J.M., 1998).

### 3. Principales métodos empleados

En este apartado se detallan los seis métodos más empleados en la literatura para este tipo de problema. Como se recoge en la figura 2, se agrupan en tres familias: métodos de sobreclasificación o superioridad, métodos de medición de valor o *ranking* y métodos de nivel de preferencias o distancias. En los siguientes apartados se presentan la definición y las características de estos métodos, su aplicación y, por último, se muestra una tabla que resume las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

**Figura 2.** Clasificación MCDM



Fuente: elaboración propia.

#### *Métodos de sobreclasificación o superioridad*

Esta familia se caracteriza por establecer relaciones de sobreclasificación entre las diferentes alternativas. El concepto de sobreclasificación y su desarrollo se caracteriza por ser menos sólido teóricamente pero más sencillo de implementar en situaciones reales. Su base son los conceptos de concordancia y discordancia.

La alternativa *A1* sobreclasifica a *A2*, tan buena o preferible; cuando *A1* es igual o superior a *A2* en la mayoría de los criterios (concordancia) y cuando en el resto de criterios la diferencia no es relevante (discordancia).

Las relaciones de sobreclasificación se caracterizan por no ser compensatorias. Al no estar permitido el intercambio de logros entre atributos (Flament, M., 1999) y que su análisis intradimensional genera situaciones con alternativas incomparables y la búsqueda de información es de eliminación por aspectos (Hogarth, R.M., 1987).

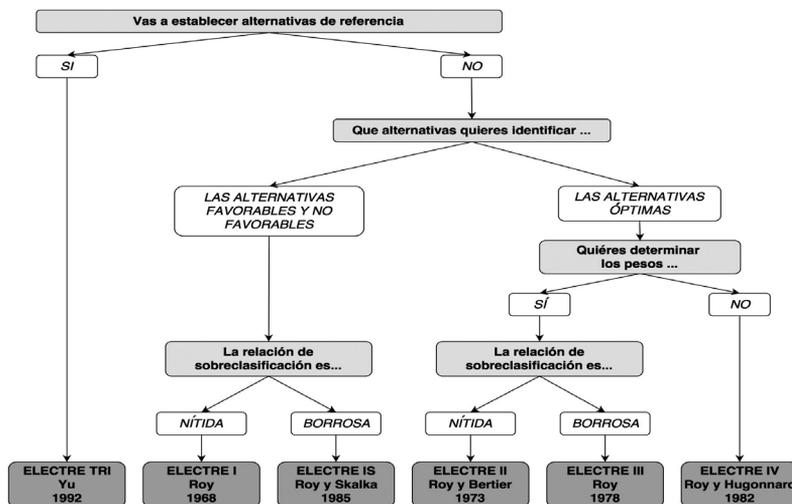
La mayor deficiencia de los métodos de sobreclasificación es la falta de criterios axiomáticos, que en el caso de la familia ELECTRE son nulos y en PROMETHEE aún son un problema abierto.

*ELECTRE: ELimination Et Choix Traduisant la REalité*  
(Eliminación y elección que traducen la realidad)

La familia de métodos ELECTRE tiene su origen en los años sesenta, como aproximación y complemento de la teoría de utilidad multiatributo. El método ELECTRE fue desarrollado en su origen por Bernard Roy (1968) en el LAMSADE de la Universidad Paris-Dauphine.

La familia de métodos ELECTRE es de las más desarrolladas y se utiliza con múltiples variantes de acuerdo con el tipo de problema al que nos enfrentemos, los resultados que queramos obtener, así como la información previa y los datos de entrada. Tal como se detalla en la figura 3.

**Figura 3.** Familia de métodos ELECTRE



Fuente: Maystre, L.Y., Pictet, J. y Simos, J. (1994).

Todos ellos se caracterizan por reducir el tamaño del conjunto de alternativas eficientes. Este proceso se desarrolla mediante la partición del conjunto de alternativas en subconjuntos más óptimos de acuerdo con los criterios del tomador de decisiones ELECTRE-I (Roy, B., 1975), al aumentar su utilidad e incluir los pesos de los criterios ELECTRE-II (Roy, B. y Bertier, P., 1973). Ambos métodos han incorporado un mayor espacio de incertidumbre o fuzzy a través de ELECTRE-IS (Roy, B. y Skalka, J.M., 1984) y ELECTRE-III (Roy, B., 1981). Mientras que para otro tipo de problemas se ha ampliado la familia de métodos con ELECTRE-TRI (Yu, W., 1992), para la clasificación de alternativas de acuerdo con categorías o parámetros predefinidos por el tomador de decisiones ELECTRE-IV (Roy, B. y Hugonnard, J.C., 1982).

Es importante destacar que ELECTRE-I y ELECTRE-II utilizan lógica de sobreclasificación nítida; mientras que el resto utiliza lógica de clasificación borrosa, al emplear cuasi-criterios o pre-criterios. Por estas características el método más utilizado y que mejor permite ayudar en el proceso de toma de decisiones referentes a la planeación energética es ELECTRE III (Barda, O.H., Dupuis, J. y Lencioni, P., 1990; Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E., 2011; Løken, E., 2007; Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A., 2008), ya que este método define dos ordenamientos de las alternativas, uno ascendente, desde la peor hasta la mejor alternativa, y otro descendente, a partir de la mejor alternativa; lo que ofrece al tomador de decisiones dos clasificaciones complementarias.

Además, la introducción de umbrales permite mayor flexibilidad en las relaciones de sobreclasificación. El umbral de preferencia  $P$  establece en qué medida la valoración de una alternativa será mejor respecto de otra, para que esta sea preferida. El umbral de indiferencia  $Q$  establece la magnitud para que la preferencia entre dos alternativas sea considerada indiferente. Y el umbral de veto  $V$  establece cuánto mayor debe ser una alternativa respecto de otra, para no preferir la segunda.

Una de las primeras aplicaciones en este campo se realizó para la selección de un proyecto de una compañía eléctrica en Nueva Zelanda (Buchanan, J.T., Sheppard, P.J. y Vanderpooten, D., 1999). En el campo energético su aplicación mayoritaria ha sido en el desarrollo de la planeación energética (Beccali, M., Cellura, M. y Ardente, D., 1998; Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S. y Lalas, D.P., 2003; Mróz, T.M., 2008), lo que permitió desarrollar análisis que engloban la gestión y el transporte (Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A., 2008), la profundización en la estimación de la demanda (Mourmouris, J.C. y Potolias, C., 2013), el desarrollo de clasificaciones teóricas que facilitan al tomador de decisiones priorizar entre diferentes alternativas de generación de energía eléctrica (Beccali, M., Cellura, M. y Mistretta, M., 2003; Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E., 2011; Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L., 1997; Siskos, J. y

Hubert, P., 1983) y, en particular, la comparación del potencial de las energías renovables frente a las convencionales (Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L., 1997; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010). También ha sido empleado para la localización y selección de proyectos, así como el emplazamiento de plantas de energía térmica (Barda, O.H., Dupuis, J. y Lencioni, P., 1990).

Haralambopoulos y Polatidis (2003) han elaborado un marco de referencia para el análisis de los proyectos de energía renovable, y de forma similar se ha aplicado a la eficiencia energética, lo que permitió clasificar las diferentes acciones posibles (Haydt, G., Leal, V. y Dias, L.C., 2014; Neves, L.P., Martins, A.G., Antunes, C.H. y Dias, L.C., 2008).

Como muestra de su implantación, valga el ejemplo de su extensión a otros campos como la eficiencia energética en edificación (Roulet, C.A., Flourentzou, F., Labben, H.H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E. y Richalet, V., 2002), en el proceso de producción de paneles fotovoltaicos de película fina (Cavallaro, F., 2010) o en la gestión de residuos sólidos (Hokkanen, J. y Salminen, P., 1997).

*PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (Método para enriquecer la evaluación ordenando las preferencias).*

La familia de métodos PROMETHEE (Mareschal, B., Brans, J.P. y Vincke, P., 1984) tiene su origen en la década de los ochenta, como continuación del trabajo de Roy. Su discípulo, Jean Pierre Brans, desarrolló las bases del método (Brans, J.P., 1986). Esto provoca que a veces se refieran a estos dos métodos como de la escuela franco-belga o europea.

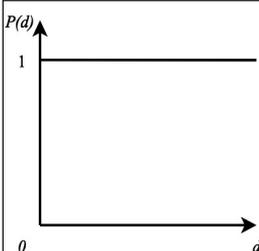
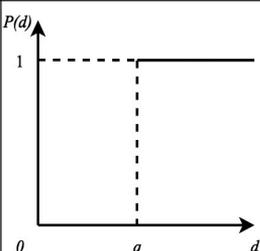
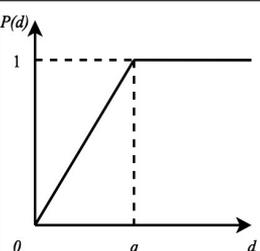
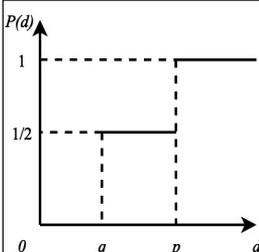
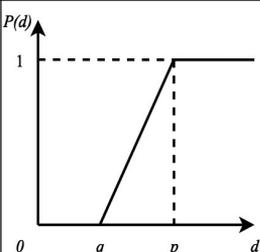
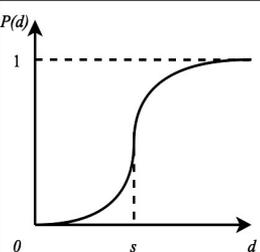
El MCDM se puede considerar más intuitivo y comprensible por el tomador de decisiones, lo que junto con el desarrollo del software PROMCALC (PROMethee CALCulations) (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1994) que desarrollaron los mismos autores, hizo posible su aplicación en numerosos problemas de localización y selección de proyectos.

Este método parte de la matriz de decisión que se mencionó anteriormente y de los pesos establecidos por el tomador de decisiones. A partir de estos datos se realizarán comparaciones biunívocas; es decir, cada uno de los atributos de las alternativas se corresponderá y comparará con uno y solo uno de los atributos de las otras alternativas, de acuerdo con los criterios. Esta comparación se realizará conforme a una función de preferencias para cada criterio, con el fin de establecer el grado de preferencia asociado a cada alternativa.

Para facilitar la elección de estas funciones se establecen seis tipos de funciones básicas, aunque se pueden utilizar funciones más complejas

(Barberis, G.M.F. y Ródenas, M.D., 2006). Estas seis funciones básicas establecen los criterios de preferencia generalizados. Como se muestra en la tabla 2, se consideran suficientes para la mayoría de casos prácticos, ya que es el tomador de decisiones quien debe elegir la función a utilizar. Las funciones son de criterio usual, de cuasi-criterio de criterio con preferencia lineal, de criterio de nivel, de preferencia lineal con indiferencia y de tipo gaussiano, cada una de ellas con sus respectivos umbrales de preferencia estricta  $P$ , área de indiferencia  $Q$  y  $S$  y valor intermedio entre  $P$  y  $Q$ .

**Tabla 2.** Criterios de preferencia generalizados. Función de preferencia  $P(d)$

Criterio usual	Quasi criterio	Criterio con preferencia lineal
 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } d > 0; & 1 \end{cases}$	 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } d > q; & 1 \end{cases}$	 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } 0 \leq d \leq q; & \frac{d}{q} \\ \text{si } d > q; & 1 \end{cases}$
Criterio de nivel	Preferencia lineal con indiferencia	Criterio gaussiano
 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } q < d \leq p; & \frac{1}{2} \\ \text{si } d > p; & 1 \end{cases}$	 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq q; & 0 \\ \text{si } q < d \leq p; & \frac{d-q}{p-q} \\ \text{si } d > p; & 1 \end{cases}$	 $P(d) = \begin{cases} \text{si } d \leq 0; & 0 \\ \text{si } d > 0; & 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} \end{cases}$

Fuente: Brans, J.P., Vincke, P. y Mareschal, B. (1986).

Los métodos PROMETHEE también forman una amplia familia en constate evolución. Según su desarrollo, el primero es el PROMETHEE-I que ofrece un *ranking* parcial de las alternativas del que se obtienen los flujos positivos y negativos de sobreclasificación; es un método prudente que deja en manos del tomador de decisiones la responsabilidad cuando ambos flujos no coinciden. PROMETHEE-II aporta un *ranking* completo y elimina el problema de la discordancia entre flujos, a través de un flujo neto de sobreclasificación; elimina las incompatibilidades pero pierde robustez, ya que solo considera las diferencias entre flujos. Al ser procesos similares, se recomienda utilizar ambos simultáneamente, así como complementar el análisis con el módulo de interacción visual GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) (Mareschal, B., Brans, J.P., 1988), que ofrece una descripción gráfica que mejora las deficiencias de percepción del método PROMETHEE.

Para problemas en los que debe seleccionarse un grupo de alternativas de acuerdo con un conjunto de restricciones, existe el método PROMETHEE-V (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1992), que también se puede considerar una extensión de lo anteriormente comentado. La primera fase consiste en aplicar el método PROMETHEE-GAIA, para posteriormente añadir las restricciones adicionales mediante programación lineal.

El PROMETHEE VI (Brans, J.P. y Mareschal, B., 1995) se puede considerar otro complemento del método PROMETHEE-GAIA, que ofrece al tomador de decisiones información sobre su punto de vista del problema, y además permite observar la influencia de los pesos de los criterios en la decisión final, clasificando el problema como problema multicriterio *soft* (indiferencia de resultados respecto a pesos) o problema multicriterio *hard* (dependencia de los resultados respecto a los pesos).

PROMETHEE se ha utilizado tanto en problemas de selección como en los de clasificación. Se ha requerido a este método en la planificación de recursos ambientales, por ejemplo, el agua. En el campo energético su aplicación mayoritaria ha sido en el desarrollo de la planeación energética tanto a nivel nacional (Diakoulaki, D. y Karangelis, F., 2007; Gwo-Hshiong, T., Tzay-an, S. y Chien-Yuan, L., 1992; Haralambopoulos, D.A. y Polatidis, H., 2003; Özelkan, E. C. y Duckstein, L., 1996; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010) como a nivel regional (Mourmouris, J.C. y Potolias, C., 2013; Terrados, J., Almonacid, G. y Perez-Higueras, P., 2009; Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. y Kiosses, I., 2009), así como la nueva concepción de la planeación energética en instalaciones de generación a menor escala y de localización más dispersa (Georgopoulou, E., Sarafidis, Y. y Diakoulaki, D., 1998). También es

reseñable su aplicación para seleccionar el emplazamiento de plantas minihidráulicas (Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P. y Mareschal, B., 1987) y en la evaluación y comparación entre diferentes proyectos de generación de energía eléctrica (Greening, L.A. y Bernow, S., 2004; Haralambopoulos, D.A. y Polatidis, H., 2003), lo que dio como resultado escenarios difusos (Goumas, M. y Lygerou, V., 2000).

#### 4. Métodos de medición de valor o *ranking*

La característica principal de los métodos de medición de valor o *ranking* es la asignación *a priori* de los pesos de cada criterio. De manera que a cada atributo se le asigna un peso que representa su contribución parcial al problema, y permite asignar a cada alternativa un valor numérico para poder determinar el orden de preferencia.

##### *AHP - Analytic Hierarchy Process (Proceso analítico jerárquico)*

El proceso analítico jerárquico desarrollado por el doctor en Matemáticas Thomas L. Saaty en la década de los setenta y propuesto en 1980 (Saaty, T.L., 1988) parte de la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados; ya que para el tomador de decisiones es más fácil sopesar la relevancia de cada criterio dentro de un nivel en el que estén agrupados criterios similares.

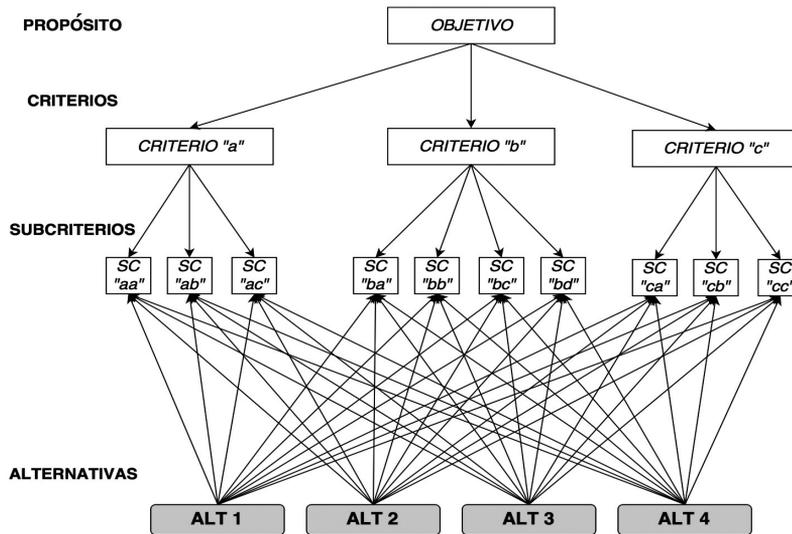
Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes. Estos últimos, también conocidos como variables, se ordenan en una estructura jerárquica de donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad (Saaty, T.L., 1990).

Según detalla Saaty (1988), este ordenamiento jerárquico tiene tres ventajas: en primer lugar, los cambios en niveles superiores se aplican automáticamente a los niveles inferiores. Además, permite una visión panorámica del problema en que influye y cuál o cómo es su funcionamiento; y por último, permite que el proceso evolucione, modificando alternativas, criterios o sub-criterios, sin descomponer la estructura.

Se caracteriza por ser un método compensatorio, ya que permite el intercambio de logros (Flament, M., 1999) donde la búsqueda de información es variable y el procesamiento interdimensional (Hogarth, R.M., 1987). El método AHP posee tres principios fundamentales:

1. Construcción de jerarquías. Como se puede ver en la figura 4, donde el primer nivel corresponde al propósito general u objetivo; el siguiente a los criterios, subcriterios, subsubcriterios; y el último a los atributos de cada una de las alternativas de acuerdo con el nivel de criterios inferior. El árbol se puede construir de manera descendente o ascendente, siendo el segundo más complejo para el analista pero más recomendable para el tomador de decisiones. Ya que es más complicado seleccionar todos los subcriterios de bajo nivel y agruparlos de tal forma que en los siguientes niveles jerárquicos no se produzcan relaciones de dependencia entre ellos. Uno de los fundamentos, y a la postre debilidades del método AHP, es que tanto los criterios como los subcriterios deben ser independientes entre sí.
2. Establecimiento de prioridades. A través de juicios de valor por comparaciones pareadas de los criterios y subcriterios, generalmente se utiliza la escala AHP, o de comparación por pares; también desarrollada por Saaty (1990), que a través de estudios experimentales demostró que la escala de nueve elementos es razonable y refleja con mínimos desvíos la preferencia de cada elemento entre un conjunto dado, eliminando así la distorsión que provocan los elementos próximos a uno o infinito. Esta escala se recoge en la tabla 3, y también se puede utilizar para realizar comparaciones pareadas de preferencia, comparar las alternativas –incluso análisis prospectivos– de búsqueda de lo más probable comparando la probabilidad de los resultados con criterios o alternativas.
3. Consistencia lógica. Implica transitividad y proporcionalidad, es decir que se respete el orden de preferencia entre las alternativas y la transitividad, y que las proporciones en el orden de alternativa se cumplan (proporcionalidad). Si estos dos factores se cumplen exactamente estaríamos hablando de un 100% de consistencia, algo únicamente teórico. En la práctica, la transitividad tiene que mantenerse pero la proporcionalidad tiene determinados umbrales que se miden a través de la proporción de consistencia obtenida del índice de consistencia y el índice aleatorio.

**Figura 4.** Construcción de jerarquías, método AHP



Fuente: Saaty, T.L. (1988).

**Tabla 3.** Interpretación de la escala verbal para AHP

Escala numérica	Escala verbal	Interpretación
1	IGUAL importancia de ambos criterios	Los dos criterios contribuyen de la misma forma al objetivo
3	MODERADA importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es levemente favorecido
5	FUERTE importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente favorecido
7	MUY FUERTE importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente dominante
9	EXTREMA importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
2 / 4 / 6 / 8	Valores intermedios	Para juicios intermedios

Fuente: Saaty, T.L. (1978).

En resumen, según Saaty (1979), el método AHP es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto. Y es especialmente útil pues está basado en la interrelación directa del tomador de decisiones con el analista, de manera que la experiencia y el conocimiento del primero es tan importante como los valores utilizados en el proceso (Forman, E.H., 1990).

Es el método más extendido en la planeación energética, tanto en su aplicación única como en la combinación con otros métodos. Su uso más extendido es en el desarrollo de planes estratégicos de energía (Gwo-Hshiung, T. y Chien-Yuan, L., 1992; Heo, E., Kim, J. y Boo, K.J., 2010; Pusnik, M., Sucic, B., Urbancic, A. y Merse, S., 2012; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010; Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E., 2011), campo en el que sus propiedades han permitido incluir en el análisis nuevos aspectos, como la estimación de demanda (Massara, V.M. y Udaeta M.E.M., 2011; Zongxin, W. y Zhihong, W., 1997), el transporte y la gestión de la red eléctrica (Ramanathan, R. Y Ganesh, L.S., 1995; Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002), la localización y selección de futuras instalaciones (Greening, L. A. y Bernow, S., 2004; Supriyasilp, T., Pongput, K. y Boonyasirikul, T., 2009), la incorporación del sistema de información geográfica, GIS (Higgs, G., Berry, R., Kidner, D. y Langford, M., 2008) o su integración en sistemas de planeación a largo plazo (Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y., 2009; Phdungsilp, A., 2010).

También es destacado su uso en la evaluación de alternativas, especialmente para comparar fuentes de energía renovables con sistemas convencionales. Su empleo empezó en los años noventa con la introducción de fuentes de energía renovables (Mohsen, M.S. y Akash, B.A., 1997; Ramanathan, R. y Ganesh, L.S., 1995a, 1995b; Zongxin, W. y Zhihong, W., 1997), posteriormente aumentó el número de alternativas significativamente (Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A., 2009; Kaya, T. y Kahraman, C., 2011; Stein, E.W., 2013), y en la última década se empiezan a estudiar solo fuentes de energía renovable (Charabi, Y. y Gastli, A., 2011; Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y., 2009; Mamlook, R., Akash, B.A. y Nijmeh, S., 2001; San Cristóbal, J.R., 2011; Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E., 2011). Por último, cabe destacar algunas aplicaciones del método AHP en problemas transversales a la planeación energética, como la gestión de recursos hídricos (Dong, L., Fanxiang, J. y Qiang, F., 2009), la asignación de recursos (Ramanathan, R. y Ganesh, L.S., 1995a, 1995b) o la planeación de la energía en el transporte (Yedla, S. Y Shreshtha, R., 2003).

En cuanto a la aplicación de AHP en otros campos podemos mencionar tres trabajos. En orden cronológico, el primero es una revisión bibliográfica

del año 2006 que recoge las 150 aplicaciones más destacadas en los últimos años (Vaidya, O. y Kumar, S., 2006). En segundo, el trabajo de Ho (2008) que habla de 66 casos de aplicación de AHP combinado con otros métodos. Y por último la revisión de Harrar (2010), que considera y amplía las publicaciones anteriormente citadas.

#### *MAUT - Multiple Attribute Utility Theory (Teoría de utilidad multiatributo)*

Como su nombre indica, se basa en el desarrollo de una función de utilidad de acuerdo con las preferencias del tomador de decisiones. Para ello, se mide la utilidad de cada criterio y las funciones de utilidad parciales, para incorporarlas a una función de utilidad global por adición. También se pueden plantear modelos de agregación por multiplicación, pero su alta complejidad les resta aplicabilidad. Asimismo, es posible clasificarla dentro de las técnicas de información *a priori* y establecer su base desde el principio de racionalidad. Tiene su origen en el trabajo de Ralph L. Keeney y Howard Raiffa (1976), que el mismo autor implementó en un problema de recursos energéticos hídricos, primero en 1977 con E.F. Wood y posteriormente en 1992 con T.L. McDaniels.

Se caracteriza porque evita la incompatibilidad entre alternativas, al ser un proceso interdimensional y la búsqueda de información variable (Hogarth, R.M., 1987); y por la transitividad de las preferencias, debido a que es un método compensatorio en el que los intercambios de logros están permitidos. Es uno de los pocos métodos diseñados y adaptados para el tratamiento del riesgo y la incertidumbre (Løken, E., 2007).

Se basa en el supuesto de que los atributos son independientes y que la alternativa óptima se obtiene de los distintos atributos de forma aditiva. Estos principios limitan la robustez del modelo final y se establece con base en tres axiomas:

1. Maximización de la función de utilidad, el tomador de decisiones busca maximizar una función que agregue todos los criterios relevantes para alcanzar el objetivo óptimo.
2. Tricotomía, todo par de alternativas *Alt 1* y *Alt 2* son comparables entre sí, existiendo una clasificación bien definida de acuerdo con el orden de preferencia, es decir:  
 $Alt 1 > Alt 2$ , *Alt 1* es preferida a *Alt 2*  
 $Alt 1 - Alt 2$ , *Alt 1* es indiferentes respecto de *Alt 2*
3. Transitividad en el orden de preferencias, es decir si *Alt 1* es preferida a *Alt 2* y *Alt 2* a *Alt 3*; se debe preferir *Alt 1* a *Alt 3*

Y se desarrolla a través de cuatro fases: en primer lugar la identificación de la forma funcional apropiada; en segundo, la construcción de las funciones de utilidad unidimensionales; tercero, el establecimiento de los parámetros de la función de utilidad multiatributo y, por último, la comprobación de la consistencia de la función construida.

En el campo de la planeación energética se ha utilizado principalmente para la selección de alternativas en la expansión del sistema eléctrico, en el que se aplicó de manera independiente (Heinrich, G., Basson, L., Cohen, B., Howells, M. y Petrie, J., 2007) o en combinación con diferentes métodos (Huang, J.P., Poh, K.L. y Ang, B.W., 1995; Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S., 2010; Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002), así como para estudios transversales, para desarrollar un índice de evaluación del impacto ambiental de las empresas eléctricas canadienses (McDaniels, T.L., 1996).

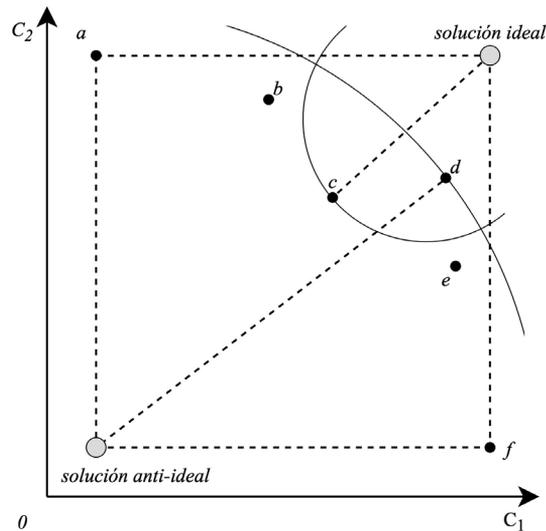
## 5. Métodos de nivel de preferencias o distancias

Tiene su origen en los métodos de la distancia a la alternativa ideal, donde alternativa ideal se entiende como aquella que supera al resto en todos los criterios. En la aplicación real hay que conformarse con la que esté más próxima. Coombs (1958) y Geoffrion (1965) plantearon la noción de solución ideal y su utilidad en la decisión multicriterio, respectivamente, que germinó en el concepto de solución por compromiso, definido por Zeleny (1973).

### *TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (Técnica para la preferencia del orden por similitud a la solución ideal)*

Este método fue desarrollado por Hwang y Yoon (2012); parte de la premisa de que la solución ideal es inalcanzable y, para buscar una solución de compromiso, ahonda en el trabajo de Zeleny (1973) que considera la solución de compromiso como la más próxima a la ideal. El método TOPSIS es eminentemente operativo, afronta el problema de trabajar con la solución ideal y con la anti-ideal; considerando que la solución de compromiso no debe limitarse a estar lo más cerca de la ideal, sino que también debe de ser la más alejada de la anti-ideal, lo que podemos apreciar en la figura 5 y que puede constituir un gran dilema. Cabe destacar que una solución ideal se define como una colección de niveles modelo en todos los atributos considerados; aunque dicha solución normalmente sea inalcanzable o irrealizable. Esta noción se basa en la idea de que el logro de tal meta se encuentra en la racionalidad de la elección humana.

**Figura 5.** Solución ideal y anti-ideal, método TOPSIS



Fuente: elaboración propia.

Suele ocurrir que una alternativa seleccionada desde el punto de vista de su distancia más corta respecto de la solución ideal positiva, deba competir con otra alternativa que se encuentra lo más alejada de la solución ideal negativa. Por ello, para definir la solución ideal, el método TOPSIS define un índice de similitud que se construye combinando la proximidad ideal positiva y la distancia respecto al ideal negativo.

El proceso del método TOPSIS es intuitivo; parte de la matriz de decisión, y normaliza los criterios para construir la matriz de decisión normalizada ponderada. Posteriormente determina la solución ideal positiva y la solución ideal negativa o anti-ideal; calcula las distancias a cada una de ellas, de cada alternativa, y finalmente calcula la proximidad relativa o similitud al ideal para realizar la ordenación de las alternativas. El trabajo de Yoon y Hwang (1985) nos puede servir de guía para su utilización.

Este proceso tiene dos problemas: en primer lugar, los efectos de la normalización que no deberían influir en el resultado final, pero esto ocurre y abre la puerta para utilizar otras formas de normalización (Milani, A.S., Shanian, A., Madoliat, R. y Nemes, J.A., 2005) diferentes a la original de los autores. Y en segundo, la inversión de orden; es decir, en el caso de que durante el proceso o *a posteriori* se plantee una nueva alternativa, hay que volver a realizar todo el proceso y este puede aportar resultados diferentes a los iniciales.

En el campo de la planeación energética se ha aplicado de manera única como apoyo a la toma de decisiones (Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitienė, I. y Balezentis, A., 2012) debido a su facilidad de comprensión, especialmente con elementos difusos o como método de evaluación en situaciones parciales como la selección entre diferentes elementos de soporte para turbina *off-shore* (Lozano-Minguez, E., Kolios, A.J. y Brennan, F.P., 2011). Asimismo, sus posibilidades de combinación con otros métodos son amplias, la más extendida es la utilización de AHP-fuzzy para determinar los pesos de los criterios cualitativos y cuantitativos, adaptada para modelar la imprecisión lingüística, la ambigüedad y el conocimiento incompleto (Choudhary, D. y Shankar, R., 2012; Kaya, T. y Kahraman, C., 2011).

*VIKOR - ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Solución por compromiso para optimización multicriterio).*

Fue desarrollado por Serafim Opricovic en 1998 para la optimización multicriterio de problemas discretos complejos con criterios en conflicto, donde se determina una lista ordenada de las alternativas en función de la distancia a la solución ideal, la solución compromiso y los intervalos de estabilidad de acuerdo con los pesos establecidos.

El método VIKOR no suele ser empleado de manera independiente, en general se usa junto con métodos como AHP, ELECTRE o PROMETHEE, que desarrollan y trabajan las alternativas, los criterios y sus pesos, para finalmente aplicar VIKOR en la fase final.

Es destacable que el propio autor del método haya desarrollado y adaptado su modelo a escenarios fuzzy, TOPSIS-FUZZY (Opricovic, S., 2007); además de estudiar los resultados de su aplicación en comparación con los métodos hasta ahora descritos, TOPSIS, PROMETHEE y ELECTRE (Opricovic, S. y Tzeng, G.H., 2007).

VIKOR ha sido ampliamente utilizado en problemas MCDM de diversos campos tales como la reconstrucción sostenible después de un terremoto (Opricovic, S. y Tzeng, G., 2002); el desarrollo de políticas ambientales asociadas a la calidad del aire y su formulación (Tzeng, G., Tsaur, S., Lai, Y. y Opricovic, S., 2002); y la comparación de los análisis desarrollados con diferentes métodos (Opricovic, S. y Tzeng, G., 2008).

Otras áreas en las que se ha aplicado VIKOR son el diseño de experimentos (Tong, L., Chen, C. y Wang, C., 2007) en la planificación de recursos hídricos (Opricovic, S., 2009); la selección de un servicio Web (Khezrian, M., Wan, W., Ibrahim, S. y Kalantari, A., 2011); y la selección de un distribuidor de materias primas bajo un ambiente difuso (Amiri, M., Ayasi, S., Olfat, L. y Moradi, J., 2011).

En el campo de la planeación energética se suele combinar con el método AHP; este último para ponderar los criterios y VIKOR para establecer las prioridades. También en la selección de proyectos de energías renovables (Voropai, N.I. e Ivanova, E.Y., 2002) que permite la integración de lógica difusa con gran éxito (Løken, E., 2007). Otra abanico de posibilidades de aplicación se abre integrando el método VIKOR sobre una plataforma de simulación integrada (Zeleny, M., 1973), en este caso MODERGIS.

## 6. Comparación de los métodos. Ventajas y desventajas.

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas de los métodos de sobreclasificación

Métodos	Ventajas	Desventajas
<b>ELECTRE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La relación de sobreclasificación evita la transitividad de logros.</li> <li>- Es capaz de manejar criterios cuantitativos y cualitativos. Y de proveer una completa ordenación de las alternativas.</li> <li>- El tomador de decisiones puede expresar su estricta preferencia, indiferencia o ausencia de preferencia cuando se compara una alternativa con otra para cada criterio.</li> <li>- Reconocimiento de la relación de superioridad como debilitamiento de la preferencia estricta.</li> <li>- En ELECTRE III se obtiene una relación de dominancia para cada par de alternativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La subjetividad en la elección de los umbrales de concordancia y discordancia.</li> <li>- Necesidad de un análisis de sensibilidad para despejar dudas sobre los umbrales de concordancia y discordancia.</li> <li>- El papel que juegan los pesos en el índice de concordancia.</li> <li>- No considera la intensidad de las preferencias.</li> <li>- Es un método menos sólido teóricamente.</li> </ul>
<b>PROMETHEE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PROMETHEE es fácilmente comprensible por el tomador de decisiones; es en realidad uno de los más intuitivos de la teoría de decisión multicriterio de tipo discreto.</li> <li>- Facilita al tomador de decisiones expresar su nivel de preferencia.</li> <li>- Permite obtener una ordenación total o parcial de las alternativas no dominadas.</li> <li>- Es fácil de aplicar a problemas reales.</li> <li>- Incorpora conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física, la cual es de fácil comprensión para el tomador de decisiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El método está sujeto a subjetividades, especialmente en lo que se refiere a la definición de los parámetros de los seudocriterios.</li> <li>- Ciertas limitaciones para su aplicación en la selección de carteras de proyectos.</li> <li>- Este es un método menos sólido teóricamente.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de los métodos de medición de valor

Métodos	Ventajas	Desventajas
<b>AHP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AHP es una de las técnicas más sólidas teóricamente; y a su vez permite tratar problemas complejos.</li> <li>- Es un método no probabilístico que usa una estructura jerárquica y un modelo de preferencias aditivo.</li> <li>- Utiliza una escala que cuantifica verbalmente las descripciones expresadas, lo que facilita el uso de criterios cualitativos y cuantitativos.</li> <li>- Es más fácil de aplicar a problemas reales.</li> <li>- El AHP posee un software de apoyo y su aplicación comprende una variada gama de experiencias prácticas en campos muy diversos en diferentes países del mundo.</li> <li>- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso.</li> <li>- Herramienta de fácil utilización y permite que una solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.</li> <li>- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene diferentes escalas de evaluación para la determinación de los pesos de los criterios.</li> <li>- Este método no satisface un sistema axiomático consistente y atractivo.</li> <li>- Esta falta de base axiomática hace que las clasificaciones de alternativas proporcionadas por diferentes métodos resulten cuestionables, cuando no arbitrarias.</li> <li>- Demanda un tipo de información que generalmente resulta difícil de conseguir.</li> <li>- La introducción de una nueva alternativa puede hacer variar la estructura de preferencias del tomador de decisiones, o poner de manifiesto alguna inconsistencia en los juicios.</li> <li>- El método AHP consume mucho tiempo de cálculo cuando el número de alternativas o criterios es elevado.</li> </ul>
<b>MAUT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MAUT permite al tomador de decisiones considerar sus preferencias en la forma de una función de utilidad.</li> <li>- Esta función refleja el valor o la utilidad que cada alternativa tiene para el tomador de decisiones.</li> <li>- Provee un fuerte fundamento axiomático para la toma de decisiones racional bajo múltiples objetivos.</li> <li>- Este método va a preferir la solución que siempre maximiza su bienestar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su aplicación práctica requiere la aceptación de dos supuestos, la existencia de funciones de utilidad asociadas a cada atributo y la independencia de preferencias entre atributos.</li> <li>- Los atributos tienen que ser mutuamente independientes, lo cual significa que los resultados de un atributo no dependen del comportamiento del otro.</li> <li>- Gran complejidad de cálculo y elevada interacción con el tomador de decisiones para la construcción y agregación de las funciones de utilidad.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.** Ventajas y desventajas de los métodos de distancias

Métodos	Ventajas	Desventajas
<b>TOPSIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El método TOPSIS introduce dos puntos de referencia: ideal positiva e ideal negativa.</li> <li>- Capacidad para una rápida identificación de la mejor alternativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TOPSIS no considera la importancia relativa de esas distancias.</li> <li>- Los valores normalizados en el método TOPSIS dependen de la unidad de evaluación de la función del criterio.</li> </ul>
<b>VIKOR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VIKOR es una herramienta útil para facilitar la toma de decisiones en un ambiente de múltiples objetivos para obtener unos resultados científicos y razonables para los tomadores de decisiones.</li> <li>- VIKOR es una poderosa herramienta en situaciones donde el tomador de decisiones no es capaz de o no sabe cómo expresar sus preferencias al comienzo del diseño del problema.</li> <li>- Los tomadores de decisiones tienen amplia disponibilidad para aprobar las soluciones, ya que las mismas están en el punto más cercano a la solución ideal.</li> <li>- Existe una relación lineal entre cada función-criterio y su utilidad.</li> <li>- VIKOR permite tratar criterios que son conflictivos y con unidades diferentes.</li> <li>- Un análisis de estabilidad determina la ponderación o peso de los intervalos de estabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los resultados de VIKOR dependen de la solución ideal. Al respecto, la inclusión o exclusión de una alternativa podría afectar el <i>ranking</i> de un nuevo conjunto de alternativas.</li> <li>- VIKOR tiene un problema bastante crítico en la derivación de la preferencia de las alternativas. Visto esto, ya han surgido varias propuestas para mejorar la obtención del <i>ranking</i> de preferencia</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## 7. Conclusiones

Al analizar los diferentes MCDM, se puede observar que en su aplicación no existe una opción mejor de forma general, todos ellos tienen sus ventajas, desventajas y limitaciones. Hay métodos que se pueden considerar más

óptimos de acuerdo con la información de la que disponga, a la implicación del tomador de decisiones en su desarrollo o a las características específicas de cada problema concreto. Esto provoca que los diferentes métodos se puedan aplicar de manera complementaria para tratar un mismo problema, ya sea analizándolo a través de varios de ellos o en combinación de dos o más. Esta diversidad de métodos, por una parte, es probable que sea consecuencia de la carencia de una base axiomática sólida. Pero desde otra perspectiva, son el resultado del increíble interés práctico que han proporcionado.

De cara a su aplicación es importante elegir un método que, en la medida de lo posible, el tomador de decisiones pueda comprender, ya que de su entendimiento dependerá en gran medida la confianza en los resultados, así como la aplicación de los mismos. Para esta elección es importante seleccionar un método que pueda medir el verdadero objetivo del problema, así como que sea compatible con los datos disponibles.

De la misma forma, la existencia de software especializado no suprime la necesidad de un analista experto, puesto que es necesaria una aplicación cuidadosa de estas técnicas para que las decisiones o soluciones que se propongan para un determinado proyecto sean razonablemente aceptables. Es decir, además de presentar unas valoraciones de calidad, estas soluciones deben estar convenientemente justificadas y explicadas.

También hay que destacar que estos métodos han adquirido una madurez importante al momento de analizar problemas que van desde unas pocas alternativas hasta cientos de ellas, y han demostrado su idoneidad en multitud de campos, a la vez que se continúa con su desarrollo y evolución, altamente impulsado por su implementación como herramientas informáticas.

Como tendencia en el campo se puede destacar que el método AHP es el más utilizado, principalmente por su facilidad de comprensión y su adaptabilidad a trabajar combinado con otros métodos, ya que AHP involucra todos los aspectos de toma de decisiones y es capaz de desarrollar completamente el proceso. Sin embargo, de la misma forma también se muestra como una poderosa herramienta que puede ser usada para la descomposición de problemas más complejos en un modelo o nodo jerárquico (Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A., 2009).

---

#### **Agradecimientos:**

Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de la Junta de Castilla y León (a través del proyecto de referencia BU329U14) y del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER (a través del proyecto de referencia ECO2013-47129-C4-3-R). A estas instituciones les mostramos nuestro agradecimiento.

## Los autores

Rodrigo Palacios es arquitecto técnico por la Universidad de Salamanca. Tiene un máster en Energías Renovables, con especialidad en planificación y análisis de viabilidad, por la Universidad CEU San Pablo. Máster en Prevención de Riesgos Laborales, especialidad en Auditoría, por la Universidad Camilo José Cela. Es aspirante al grado de doctor en Ingeniería Civil y Tecnologías Industriales en la Universidad de Burgos.

Ha presentado los resultados de sus estudios en congresos nacionales e internacionales. También ha publicado capítulos de libros. Es cofundador de dos empresas reconocidas con diferentes premios a nivel nacional.

Sus áreas de interés en investigación son la toma de decisiones, la optimización y el emprendimiento.

rpsaldana@ubu.es

Joaquín Pacheco es catedrático de la Universidad de Burgos desde 2009. Desde 1987 imparte diferentes asignaturas de Matemáticas, Estadística e Investigación Operativa en la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Doctor en Matemáticas por la Universidad Complutense de Madrid en 1994. Coordina el grupo de investigación sobre Técnicas metaheurísticas y su aplicación a problemas reales, de la Universidad de Burgos. Asimismo, es director de la Unidad Consolidada de Investigación UIC70 de la Junta de Castilla y León. Ha publicado más de cincuenta trabajos, entre los que destacan más de treinta artículos en revistas incluidas en el JCR del ISI así como capítulos de libros en editoriales como Springer. Ha dirigido trece tesis doctorales sobre las líneas de investigación mencionadas antes, además de otras en proceso. Es autor de cinco sistemas informáticos con propiedad intelectual registrada a favor de la Universidad de Burgos.

jpacheco@ubu.es

### Bibliografía

- Amiri, M., Ayasi, S., Olfat, L. y Moradi, J. (2011). Group Decision Making Process for Supplier Selection with VIKOR under Fuzzy Circumstance Case Study: An Iranian Car Parts Supplier. *International Bulletin of Business Administration* 10(6), 66-75.
- Ávila, R. (2000). El AHP y su aplicación para determinar los usos de la tierra – El caso de Brasil. *Proyecto regional “Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible” – FAO, Santiago de Chile-Chile.*
- Barba-Romero, S. (1987). Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones Económicas*, 11(2), 279-308.
- Barberis, G.M.F. y Ródenas, M.D.C.E. (2006). Nuevos criterios generalizados para modelar las preferencias del decisor en los métodos de relaciones de superación. *Rect@: Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, (7), 95-117. Recuperado en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2387768>
- Barda, O. H., Dupuis, J. y Lencioni, P. (1990). Multicriteria Location of Thermal Power Plants. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), 332-346.
- Beccali, M., Cellura, M. y Ardente, D. (1998). Decision Making in Energy Planning: the ELECTRE Multicriteria Analysis Approach Compared to a Fuzzy-sets Methodology. *Energy Conversion and Management*, 39(16), 1869-1881.
- Beccali, M., Cellura, M. y Mistretta, M. (2003). Decision-Making in Energy Planning. Application of the Electre Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology. *Renewable Energy*, 28(13), 2063-2087.
- Brans, J.P. (1986). L'élaboration d'instruments d'aide à la décision, en *L'aide à la décision*. Nadeau, Raymond et Maurice Landry (Recops.). Quebec: Les presses de l'Université Laval, 183-213.
- Brans, J.P. y Mareschal, B. (1992). PROMETHEE V: MCDM Problems with Segmentation Constraints. *Infor*, 30(2), 85.
- Brans, J. P. y Mareschal, B. (1994). The PROMCALC and GAIA Decision Support System for Multicriteria Decision Aid. *Decision support systems*, 12(4-5), 297-310.
- Brans, J.P. y Mareschal, B. (1995). The PROMETHEE VI procedure: How to Differentiate Hard from Soft Multicriteria Problems. *Journal of Decision Systems*, 4(3), 213-223.
- Brans, J.P., Vincke, Ph. y Mareschal, B. (1986). How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- Buchanan, J.T., Sheppard, P.J. y Vanderpooten, D. (1999). *Project Ranking Using ELECTRE III*. Nueva Zelanda: Departamento de Sistemas de Gestión, Universidad de Waikato.

- Catalina, T., Virgone, J. y Blanco, E. (2011). Multi-Source Energy Systems Analysis Using a Multi-criteria Decision Aid Methodology. *Renewable Energy*, 36(8), 2245-2252.
- Cavallaro, F. (2009). Multi-criteria Decision Aid to Assess Concentrated Solar Thermal Technologies. *Renewable Energy*, 34(7), 1678-1685.
- Cavallaro, F. (2010). A Comparative Assessment of Thin-film Photovoltaic Production Processes Using the ELECTRE III Method. *Energy Policy*, 38(1), 463-474.
- Charabi, Y. y Gastli, A. (2011). PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-criteria Evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Chatzimouratidis, A.I. y Pilavachi, P.A. (2009). Technological, Economic and Sustainability Evaluation of Power Plants Using the Analytic Hierarchy Process. *Energy policy*, 37(3), 778-787.
- Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.
- Choudhary, D. y Shankar, R. (2012). An STEEP-Fuzzy AHP-TOPSIS Framework for Evaluation and Selection of Thermal Power Plant Location: A Case Study from India. *Energy*, 42(1), 510-521.
- Coombs, C. H. (1958). On the Use of Inconsistency of Preferences in Psychological Measurement. *Journal of Experimental Psychology*, 55(1), 1.
- Diakoulaki, D. y Karangelis, F. (2007). Multi-Criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis of Alternative Scenarios for the Power Generation Sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716-727.
- Dong, L., Fanxiang, M y Qiang F. (2009). Application of Analytic Hierarchy Process in Optimization Election of Groundwater Artificial Recharge Methods in Sanjiang Plain. International Conference on Management and Service Science. IEEE, Beijing.
- Fenton, N. y Wang, W. (2006). Risk and Confidence Analysis for Fuzzy Multicriteria Decision Making. *Knowledge-Based Systems*, 19(6), 430-437.
- Flament, M. (1999). Glosario multicriterio. *España: Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio*. Alberta: Universidad de Edmonton.
- Forman, E.H. (1990). Multi-criteria Decision Making and the Analytic Hierarchy Process. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 295-318.
- Geoffrion, A.M. (1965). *A Parametric Programming Solution to the Vector Maximum Problem, with Applications to Decisions under Uncertainty* (WP-68). California: Universidad de Los Ángeles.
- Georgopoulou, E., Lalas, D. y Papagiannakis, L. (1997). A Multicriteria Decision Aid Approach for Energy Planning Problems: The Case of Renewable Energy Option. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 38-54.
- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y. y Diakoulaki, D. (1998). Design and Implementation of a Group DSS for Sustaining Renewable Energies Exploitation. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 483-500.

- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S. y Lalas, D. P. (2003). A Multiple Criteria Decision-Aid Approach in Defining National Priorities for Greenhouse Gases Emissions Reduction in the Energy Sector. *European Journal of Operational Research*, 146(1), 199-215.
- Goumas, M. y Lygerou, V. (2000). An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 606-613.
- Goumas, M.G., Lygerou, V.A. y Papayannakis, L.E. (1999). Computational Methods for Planning and Evaluating Geothermal Energy Projects. *Energy policy*, 27(3), 147-154.
- Greening, L.A. y Bernow, S. (2004). Design of Coordinated Energy and Environmental Policies: Use of Multi-Criteria Decision-Making. *Energy policy*, 32(6), 721-735.
- Guitouni, A. y Martel, J.M. (1998). Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
- Gwo-Hshiung, T., Tzay-an, S. y Chien-Yuan, L. (1992). Application of Multicriteria Decision Making to the Evaluation of New Energy System Development in Taiwan. *Energy*, 17(10), 983-992.
- Haralambopoulos, D. A. y Polatidis, H. (2003). Renewable Energy Projects: Structuring a Multi-criteria Group Decision-Making Framework. *Renewable energy*, 28(6), 961-973.
- Harrar, A. (2010). Propuesta de aplicación de técnicas de decisión multicriterio en el desarrollo de alimentos funcionales en Venezuela. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Haydt, G., Leal, V. y Dias, L. (2014). A Multi-Objective Approach for Developing National Energy Efficiency Plans. *Energy Policy*, 67, 16-27.
- Heinrich, G., Basson, L., Cohen, B., Howells, M. y Petrie, J. (2007). Ranking and Selection of Power Expansion Alternatives for Multiple Objectives under Uncertainty. *Energy*, 32(12), 2350-2369.
- Heo, E., Kim, J. y Boo, K.J. (2010). Analysis of the Assessment Factors for Renewable Energy Dissemination Program Evaluation using Fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220.
- Higgs, G., Berry, R., Kidner, D. y Langford, M. (2008). Using IT Approaches to Promote Public Participation in Renewable Energy Planning: Prospects and Challenges. *Land Use Policy*, 25(4), 596-607.
- Ho, W. (2008). Integrated Analytic Hierarchy Process and its Applications: a Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 186, 211-228.
- Hogarth, R.M. (1987). *Judgement and Choice: The Psychology of Decision*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Hokkanen, J. y Salminen, P. (1997). Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis. *European Journal of Operational Research*, 98, 19-36.

- Huang, J.P., Poh, K.L. y Ang, B.W. (1995). Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling. *Energy*, 20(9), 843-855.
- Hwang, C.L. y Yoon, K. (2012). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State-of-the-Art Survey*. 186. Berlín, Heidelberg, Nueva York: Springer Science & Business Media.
- Jiang, Q. y Chen, C.H. (2005). A Multi-dimensional Fuzzy Decision Support Strategy. *Decision Support Systems*, 38(4), 591-598.
- Kaya, T. y Kahraman, C. (2010). Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Kaya, T. y Kahraman, C. (2011). Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
- Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keeney, R.L. y McDaniels, T.L. (1992). Value-Focused Thinking about Strategic Decisions at BC Hydro. *Interfaces*, 22(6), 94-109.
- Keeney, R.L. y Wood, E.F. (1977). An Illustrative Example of the Use of Multiattribute Utility Theory for Water Resource Planning. *Water Resources Research*, 13(4), 705-712.
- Khezrian, M., Wan, W., Ibrahim, S. y Kalantari, A. (2011). Service Selection Based on VIKOR Method. *International Journal of Research and Reviews in Computer Science*, 5(2), pp. 1182-1186.
- Lee, A.H., Chen, H.H. y Kang, H.Y. (2009). Multi-Criteria Decision Making on Strategic Selection of Wind Farms. *Renewable Energy*, 34(1), 120-126.
- Løken, E. (2007). Use of Multicriteria Decision Analysis Methods for Energy Planning Problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584-1595.
- Lozano-Minguez, E., Kolios, A. J. y Brennan, F. P. (2011). Multi-Criteria Assessment of Offshore Wind Turbine Support Structures. *Renewable Energy*, 36(11), 2831-2837.
- Mamlook, R., Akash, B. A. y Nijmeh, S. (2001). Fuzzy Sets Programming to Perform Evaluation of Solar Systems in Jordan. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1717-1726.
- Mareschal, B. y Brans, J.P. (1988). Geometrical Representation for MCDM, the GAIA Procedure. *European Journal of Operational Research*, 34: 69-77.
- Mareschal, B., Brans, J.P. y Vincke, P. (1984). *PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis*, Bruselas: Universidad Libre de Bruselas (ULB), 2013/9305.
- Massara, V.M. y Udaeta, M.E.M. (2011). Multi-Criteria Evaluation of the Expansion of Natural Gas Distribution Network by the Urban Dynamics (doi: 10.4090/juee.2010.v4n2.055062). *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*, 4(2).

- Maystre, L.Y., Pictet, J. y Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*. (8). PPUR presses polytechniques.
- McDaniels, T. L. (1996). A Multiattribute Index for Evaluating Environmental Impacts of Electric Utilities. *Journal of Environmental Management*, 46(1), 57-66.
- Milani, A.S., Shanian, A., Madoliat, R. y Nemes, J.A.(2005). The Effect of Normalization Norms in Multiple Attribute Decision Making Models: A Case Study in Material Selection. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 29(4),312-318.
- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P y Mareschal, B. (1987). Multicriteria Ranking of Alternative Locations for Small Scale Hydro Plants. *European Journal of Operational Research*, 31(2), 215-222.
- Mohsen, M.S. y Akash, B.A. (1997). Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process. *Energy Conversion and Management*, 38(18), 1815-1822.
- Moragues-Faus, A.M. y Ortiz-Miranda, D. (2010). Local Mobilisation Against Windfarm Developments in Spanish Rural Areas: New Actors in the Regulation Arena. *Energy Policy*, 38(8), 4232-4240.
- Mourmouris, J.C. y Potolias, C. (2013). A Multi-Criteria Methodology for Energy Planning and Developing Renewable Energy Sources at a Regional Level: A Case Study Thassos, Greece. *Energy Policy*, 52, 522-530.
- Mróz, T.M. (2008). Planning of Community Heating Systems Modernization and Development. *Applied Thermal Engineering*, 28(14), 1844-1852.
- Neves, L.P., Martins, A.G., Antunes, C.H. y Dias, L.C. (2008). A Multi-Criteria Decision Approach to Sorting Actions for Promoting Energy Efficiency. *Energy Policy*, 36(7), 2351-2363.
- Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Belgrado: Facultad de Ingeniería Civil, 2(1), 5-21.
- Opricovic, S. (2007). A Fuzzy Compromise Solution for Multicriteria Problems. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(03), 363-380.
- Opricovic, S. (2009). A Compromise Solution in Water Resources Planning. *Water Resource Management*, 23, 1549-1561.
- Opricovic, S. y Tzeng G. (2002). Multicriteria Planning of Post-Earthquake Sustainable Reconstruction. *The Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 17(3), 211-220.
- Opricovic, S. y Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514-529.
- Opricovic, S. y Tzeng G. (2008). A Comparative Analysis of the DEA-CCR Model and the VIKOR Method. *Yugoslav Journal of Operation Research*, 2(18), 187-203.

- Özelkan, E.C. y Duckstein, L. (1996). Analysing Water Resources Alternatives and Handling Criteria by Multicriterion Decision Techniques. *Journal of Environmental Management*, 48(1), 69-96.
- Papadopoulos, A. y Karagiannidis, A. (2008). Application of the Multi-Criteria Analysis Method Electre III for the Optimisation of Decentralised Energy Systems. *Omega*, 36(5), 766-776.
- Phdungsilp, A. (2010). Integrated Energy and Carbon Modeling with a Decision Support System: Policy Scenarios for Low-Carbon City Development in Bangkok. *Energy Policy*, 38(9), 4808-4817.
- Pusnik, M., Susic, B., Urbancic, A. y Merse, S. (2012). Role of the National Energy System Modelling in the Process of the Policy Development. *Thermal Science*, 16(3), 703-715.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L.S. (1995a). Energy Alternatives for Lighting in Households: An Evaluation Using an Integrated Goal Programming-AHP Model. *Energy*, 20(1), 63-72.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L.S. (1995b). Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria: An Integrated Model Using Goal Programming and AHP. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3), 197-218.
- Roulet, C.A., Flourentzou, F., Labben, H.H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E., y Richalet, V. (2002). ORME: A Multicriteria Rating Methodology for Buildings. *Building and Environment*, 37(6), 579-586.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 2(1), 57-75.
- Roy, B. (1975). Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. *Metra International*, 14, 459-497.
- Roy, B. (1981). The Optimisation Problem Formulation: Criticism and Overstepping. *Journal of the Operational Research Society*, 427-436.
- Roy, B. y Bertier, P. (1972). La méthode ELECTRE II (Une application au média-planning). 6.<sup>a</sup> Conferencia internacional de investigación operativa, Dublín, 21 al 25 de agosto. *Metra Internacional*, París.
- Roy, B. y Hugonnard, J.C. (1982). Ranking of Suburban Line Extension Projects on the Paris Metro System by a Multicriteria Method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312.
- Roy, B. y Skalka, J.M. (1984). ELECTRE IS: Aspects méthodologiques et guide d'utilisation. Document du Lamsade, 30. París: Universidad Paris-Dauphine.
- Ríos Insua, S., Bielza, C. y Mateos, A. (2002). *Fundamentos de los sistemas de ayuda a la decisión*. Madrid: RA-MA.
- Saaty, T.L. (1979). Applications of Analytical Hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 21, 1-20.

- Saaty, T.L. (1978). Modeling Unstructured Decision Problems. The Theory of Analytical Hierarchies. *Mathematics and Computers in Simulation*, 20(3), 147-158.
- Saaty, T.L. (1988). *What is the Analytic Hierarchy Process?* Berlin, Heidelberg: Springer, 109-121
- Saaty T.L. (1998). That is Not the Analytic Hierarchy Process: What the AHP is and What it is Not. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 6(6), 324-335.
- Saaty, T.L. (1990a). How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T.L. (1990b). Physics as a Decision Theory. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 98-104.
- San Cristóbal, J.R. (2011). Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: the Vikor Method. *Renewable Energy*, 36(2), 498-502.
- Singh, A.K. y Parida, S.K. (2013). National Electricity Planner and Use of Distributed Energy Sources in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2, 42-54.
- Siskos, J. y Hubert, P. (1983). Multi-Criteria Analysis of the Impacts of Energy Alternatives: a Survey and a New Comparative Approach. *European Journal of Operational Research*, 13(3), 278-299.
- Solnes, J. (2003). Environmental Quality Indexing of Large Industrial Development Alternatives Using AHP. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(3), 283-303.
- Stein, E. W. (2013). A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 640-654.
- Stewart, T. J. (1992). A Critical Survey on the Status of Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice. *Omega*, 20(5), 569-586.
- Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitienė, I. y Balezentis, A. (2012). Prioritizing Sustainable Electricity Production Technologies: MCDM Approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311.
- Supriyasilp, T., Pongput, K. y Boonyasirikul, T. (2009). Hydropower Development Priority Using MCDM Method. *Energy Policy*, 37(5), 1866-1875.
- Terrados, J., Almonacid, G. y Perez-Higueras, P. (2009). Proposal for a Combined Methodology for Renewable Energy Planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2022-2030.
- Theodorou, S., Florides, G. y Tassou, S. (2010). The Use of Multiple Criteria Decision Making Methodologies for the Promotion of RES through Funding Schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38(12), 7783-7792.
- Tong, L., Chen, C. y Wang, C. (2007). Optimization of Multi-Response Processes Using the VIKOR Method. *International Journal Adv. Manuf. Technol.* 31, 1049-1057.

- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E. y Kiosses, I. (2009). Sustainable Energy Planning by Using Multi-Criteria Analysis Application in the Island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), 1587-1600.
- Tzeng, G., Tsaor, S., Laiw, Y. y Opricovic, S. (2002). Multicriteria Analysis of Environmental Quality in Taipei: Public Preferences and Improvement Strategies. *Journal of Environmental Management*, 65 (2), 109–120.
- Vaidya, O. y Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169, 1-29.
- Voropai, N. I. e Ivanova, E.Y. (2002). Multi-Criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning. *International journal of electrical power & energy systems*, 24(1), 71-78.
- Yedla, S. y Shreshtha, R. (2003). Multicriteria Approach for Selection of Alternative Option for Environmentally Sustainable Transport System in Delhi. *Transportation Research part A*, 37, 717–29.
- Yi, S.K., Sin, H.Y. y Heo, E. (2011). Selecting Sustainable Renewable Energy Source for Energy Assistance to North Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 554-563.
- Yoon, K. y Hwang, C.L. (1985). Manufacturing Plant Location Analysis by Multiple Attribute Decision Making: Part I — Single-Plant Strategy. *International Journal of Production Research*, 23(2), 345-359.
- Yu, W. (1992). *Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri: concepts, méthodes et applications*. (Disertación doctoral). Sorbona París 9, París.
- Zeleny, M. (1973). Compromise Programming. *Multiple criteria Decision Making*, 286.
- Zeleny, M. y Cochrane, J. L. (1973). *Multiple Criteria Decision Making*. Columbia: University of South Carolina Press.
- Zongxin, W. y Zhihong, W. (1997). Mitigation Assessment Results and Priorities for China's Energy Sector. *Applied energy*, 56(3), 237-251.

# Factores del éxito competitivo en pymes (empresas no corporativas) del sector infraestructura en un entorno dinámico

David Yáñez Santillán

## Resumen

*El presente artículo describe la investigación efectuada cuyo objetivo radica en establecer los factores que mayor efecto tienen desde el éxito competitivo hacia la adaptabilidad, para su impulso en empresas nacionales dedicadas al diseño de obras civiles de infraestructura en México, ante las condiciones dinámicas del entorno, especialmente para mantener su competitividad que se ha visto afectada por condiciones económicas y la presencia de nuevos participantes en el mercado. Se realizó un análisis estadístico mediante el método PLS (partial least squares), cuyos resultados y conclusiones llevan a destacar el manejo del capital intelectual y la innovación, y la calidad de los procesos y productos, así como de la toma de decisiones fundamentadas para sustentar una planeación enfocada al futuro de la empresa.*

**Palabras clave:** competitividad empresarial, diseño de obras civiles, factores de éxito, adaptabilidad.

**Clasificación JEL:** M100.

## Abstract

*This paper identifies, via a survey with key players of the industry, the more relevant success factors that help Mexican companies specialized in developing infrastructure in Mexico in order to adapt to the increasing presence of foreign competition in local markets. A PLS (partial least squares) analysis was performed and the most important factors were ranked hierarchically. First, intellectual capital and innovation appeared and secondly, quality and decision making. These factors contribute to support the Mexican firms' adaptability and planning regarding their future.*

**Keywords:** *competitiveness, civil works design, successful factors, adaptability.*

**JEL Classification:** *M100.*

## 1. Introducción

Las empresas tienen que adaptarse a las condiciones del entorno y reaccionar en forma ágil para mantener su participación en el mercado, para lo cual se considera fundamental determinar los factores que influyen en mayor grado para favorecer la adaptabilidad, afrontar las condiciones y emprender acciones que les fortalezcan con el objeto de mantener su permanencia en el mercado. Lo anterior aplica desde luego a las empresas de diseño de obras civiles en México (Yáñez, 2014a).

Es sumamente importante la permanencia en el mercado de estas empresas, pues la ingeniería es fundamental para el desarrollo de un país y además, estas compañías, casi todas del tipo de pequeñas y medianas (pymes), generan fuentes de trabajo favorables en diferentes niveles: económico, individual, empresarial, de sectores y del propio país. Su relevancia se puede reflejar en lo comentado por Alcocer (2016, p. 302): «los países avanzados, con quienes estamos integrados o con quienes competimos, consideran a la ingeniería como un asunto de soberanía nacional».

Los desafíos a los que se enfrenta la ingeniería civil mexicana se caracterizan, en general, por «la premura con la que deben ejecutarse en un entorno cambiante y con una tendencia a minimizar los costos de producción y plazos de ejecución, entre otras premisas impuestas para mantener la competitividad de las empresas» (Yáñez, 2014b, p. 4).

Dentro de esta situación, las empresas nacionales de diseño deben encontrar estrategias que les permitan mejorar su competitividad en corto plazo. A su vez, dentro de todos los factores asociados con la competitividad, los directores o gerentes tienen un problema en cuanto a seleccionar cuáles son los de mayor significancia y relevancia para que, en la medida en que los consideren y desarrollen en sus equipos de trabajo, se logre una ventaja competitiva y se adapten a las condiciones dinámicas del entorno.

Se llevó a cabo una investigación a partir de esta situación y problema de competitividad identificado, con la siguiente pregunta en mente: ¿cuáles son los principales factores del éxito competitivo en las empresas mexicanas dedicadas al diseño de obras civiles que favorecen que estas tengan factores de adaptabilidad en un entorno dinámico?

El objetivo general de la investigación se acota en determinar los factores de éxito de las pymes que favorecen la adaptabilidad de las empresas nacionales dedicadas al diseño de obras de infraestructura, y que puedan ser puestos en práctica para beneficio de las empresas.

La hipótesis de investigación postulada es la siguiente: para las empresas dedicadas al diseño de obras de infraestructura en México, existen algunos factores preferentes del éxito competitivo que favorecen su adaptabilidad en un entorno dinámico.

El alcance de la investigación fue correlacional del tipo transversal, estuvo acotado a las empresas nacionales de diseño de obras civiles, con enfoque a las obras de infraestructura en México, casi todas comprendidas en el rango de pequeñas y medianas empresas. Se excluyeron los casos de ingeniería de instalaciones de la industria petrolera, por tratarse de un mercado completamente diferente.

## 2. Marco teórico

La recopilación de información abarca investigaciones realizadas en modelos asociados a la competitividad de las empresas con el objeto de conocer en cada una cuáles son los factores que han considerado sus autores, los llamados factores explicativos del éxito competitivo.

Se toma como referencia a Rubio y Aragón (2002), quienes realizaron una investigación relativa a los factores del éxito competitivo de pymes, para determinar las variables de gestión o de dirección que favorecen dicho éxito de manera más significativa, sus resultados comprenden la posición tecnológica de la empresa, la innovación, la calidad del producto o servicio y la capacitación del personal (Rubio y Aragón, 2012, p. 52).

En Aragón y Rubio (2005), los mismos autores describen los factores que habían referido previamente para alcanzar el éxito y agregan dos más, el de cooperación y el tamaño de la empresa. En Rubio y Aragón (2006), se describe un estudio realizado para confirmar los resultados del modelo explicativo realizado por ellos previamente respecto a la «competitividad basada en la tecnología, la innovación, los recursos comerciales, la gestión de los recursos humanos, las capacidades directivas, los recursos financieros, la cultura y la calidad del producto o servicio». (Rubio y Aragón, 2006, p. 32).

Por consiguiente, las pymes deberán desarrollar procesos de dirección y gestión de sus recursos humanos, ya que su éxito competitivo depende directamente de la capacidad de sus trabajadores para adaptarse a los cambios, del rigor en la realización de las tareas, del trabajo en equipo y de la satisfacción de sus trabajadores.

Saavedra (2010) postuló un modelo para evaluar la competitividad de cualquier pyme en Latinoamérica. Asimismo, expone una exhaustiva recopilación de definiciones de autores sobre competitividad en general y para el caso particular de competitividad empresarial. Su propuesta considera los siguientes factores:

- Estrategia empresarial
- Proceso productivo

- Demanda externa
- Oferta
- Oportunidades

En cuanto a la adaptabilidad, Frías y Véliz (2013) la consideran como «la agilidad con la que la organización responde a sus clientes externos y su disposición al cambio».

La adaptabilidad aplica tanto a personas como empresas, localidades y países. Bribiesca y Castillo (2013, p. 18) describen que algunas organizaciones llegan a ser realmente poderosas por su «potencial de ajustarse a cambios en su entorno, la velocidad, la forma y la flexibilidad en que pueda asumir los cambios», lo cual implica que la consumación del desarrollo de competencias debe reflejarse en la capacidad de adaptación y, por ende, genera una ventaja competitiva.

Reeves y Deimler (2011) presentan la adaptabilidad como una nueva ventaja competitiva que, como se indicó en la introducción, no es lo mismo que el factor de éxito competitivo, pues los factores generan la competitividad y la ventaja competitiva es la evidencia del manejo o resultado de la aplicación de los factores. El estudio de Reeves y Deimler (2011) está enfocado en los efectos de la globalización y los cambios tecnológicos que han generado una volatilidad en las operaciones empresariales.

En lo que se refiere a la capacidad organizacional para una rápida adaptación, consideran que deben tenerse cuatro habilidades:

- Interpretar las señales del cambio
- Experimentar rápida y frecuentemente, con productos, servicios, modelos de negocios, procesos y estrategias.
- Manejar complejidades y sistemas interconectados de múltiples participantes.
- Motivar a los empleados y asociados.

Frías y Véliz (2013) agrupan todos los componentes que en su opinión influyen en la adaptabilidad, en las siguientes cuatro dimensiones:

- Conceptual
- Humana
- Adecuación a los cambios imprevistos del entorno
- De conocimiento

En resumen, en cuanto a los factores del éxito competitivo se recabaron varias publicaciones de autores que han tratado el tema; entre las cuales destacan Rubio y Aragón (2002), Aragón y Rubio (2005), Savaneviciene, Rutelione y Ciutiene (2014), Ahumada (2012), Saavedra (2010) y Cho (2010). A partir de todos estos trabajos se obtuvo un listado de 46 factores que, por similitud, se simplificaron en 17.

Para el caso de la adaptabilidad, de igual manera se consultaron varias referencias, entre las cuales se encuentran Reeves y Daimler (2011), Frías y Véliz (2013) y Arana, Alfalla y Machuca (2012), y de donde se identificaron 21 factores que se pueden definir en doce.

Por medio de un juicio de expertos, se determinó cuáles son los factores del éxito competitivo y los de adaptabilidad que mayor relevancia tienen en las empresas objeto del estudio. La definición de dichas variables fue acorde a los postulados de los autores consultados en las referencias y se definen para su operacionalidad como sigue:

*Calidad del producto y proceso productivo.* Comprende insumos, procesos y productos. Se define como la entrega a satisfacción del cliente en procesos y productos. Su dimensión es técnica y sus indicadores pueden ser los certificados de calidad que acreditan su sistema y evaluación de satisfacción del cliente.

*Toma de decisiones.* Comprende responsabilidad, manejo de riesgos y evaluaciones. Se define como la planeación con visión a los requerimientos del futuro, y la evaluación de riesgos. Su dimensión es administrativa y sus indicadores pueden ser planes anuales o de lanzamiento de nueva estrategia efectuados.

*Innovación.* Experimentar, crear y rebasar los límites. Se define como la implementación de nuevas metodologías o desarrollo de productos. Su dimensión es técnica y sus indicadores pueden ser el registro de nuevos procesos, técnicas de diseño, productos o servicios.

*Posición tecnológica y sistemas de información.* Comprende el uso de software, desarrollo interno y aplicaciones de punta. Es de dimensión técnica. Sus indicadores pueden ser la aplicación de nuevo software comercial o desarrollado internamente y su incorporación al diseño de soluciones de punta.

*Capital intelectual.* Comprende recursos intangibles, procesos y capacitación. Se define como la estrategia para contar con personal que tenga un perfil académico alto y el desarrollo del personal por medio de la capacitación. Su dimensión es administrativa y sus indicadores pueden ser el porcentaje de personal contratado con estudios de posgrado o que haya tenido capacitación dirigida y secuencial durante tres años.

*Oferta de valor.* Comprende la capacidad de recursos humanos, certificaciones y aplicación de la tecnología. Se define como la capacidad del personal para generar soluciones que sean mejores a las de la competencia. Su dimensión es técnica y sus indicadores pueden ser casos de optimizaciones logradas en los proyectos para un beneficio tangible de mayor resultado para el cliente.

*Motivar a los empleados y asociados.* Comprende el ambiente de trabajo, relaciones y oportunidades. Se define como la práctica para motivar a los empleados a contribuir a favor de la empresa o mejorar el ambiente interno. Su dimensión es administrativa y sus indicadores pueden ser el registro de estrategias o campañas para lograr una mejora en procesos o resultados en la empresa.

*Operación conceptual.* Comprende la productividad, las tendencias y el recurso de expertos. Se define como las métricas para documentar la productividad del empleado y de la empresa, así como la interpretación y aplicación de tendencias. Su dimensión es administrativa y su indicador puede estar asociado a las horas hombre que se dedican en cada diseño.

*Aspectos de recursos humanos.* Comprende la movilidad horizontal y vertical, la respuesta al cambio y el nivel de colaboración. Se define como la reasignación de personal para ocupar otros puestos en la empresa. Su dimensión es administrativa y su indicador puede ser el porcentaje de personal de la empresa que ha tenido cambio de funciones.

*Manejo del conocimiento.* Comprende nuevas habilidades, el uso de experiencias y el manejo del conocimiento. Se define como la documentación y la aplicación de las lecciones aprendidas. Su dimensión es administrativa y su indicador puede ser la cantidad de lecciones aprendidas usadas en otros proyectos.

*Adecuación a los cambios imprevistos del entorno.* Comprende comportamientos, reorganización y nuevas habilidades. Se define como una reorganización mayor, alianzas estratégicas y modificaciones a los alcances de la empresa. Su dimensión es administrativa y sus indicadores pueden ser los casos de reorganización mayor, firma de alianzas o modificaciones de alcances de la empresa.

*Conocimiento del mercado a mediano y largo plazo.* Comprende aspectos de ámbito internacional, registros de casos, necesidades del cliente. Se define como la participación en estudios, conferencias o actualizaciones respecto a las expectativas del mercado. Su dimensión es administrativa y sus indicadores pueden ser los casos de participación del cuerpo directivo en sesiones de difusión de la expectativa del mercado.

Por lo que respecta a las pymes, se considera a todas las que tienen menos de 100 empleados y no rebasan de 250 millones de pesos en ventas

anuales (Secretaría de Economía, 2014a). Además, «las mipymes en México representan el 99% del total de las empresas, [...] generan 70% del empleo total, [...] y [...] contribuyen con 33% del valor del PIB». (Secretaría de Economía, 2014b).

Por lo que se refiere a la situación de las empresas nacionales de diseño de obras de infraestructura, consideramos lo que indica Rascón (2010, p. 16), en cuya opinión en los últimos treinta años se han dado factores que han debilitado y desarticulado a la ingeniería mexicana, los cuales se mencionan a continuación:

- a) Incursión de empresas extranjeras.
- b) Falta de una estructura de mayor nivel para afrontar la situación.
- c) Falta de integración de ingenieros y debilitamiento del gremio.
- d) Falta de políticas acertadas.
- e) Migración de estudiantes a otras carreras mejor pagadas.

Lo anterior se ha reflejado en el bajo nivel de ingreso de estudiantes a la licenciatura de Ingeniería Civil, dando como resultado un número insuficiente de profesionales en este campo para los requerimientos del país.

Además, se tienen agentes de cambio del entorno en el que operan las pymes dedicadas al diseño de obras de infraestructura en México, algunos de carácter externo, como los siguientes:

- a) Las variaciones cíclicas asociadas a los periodos gubernamentales.
- b) Cambio en la cultura organizacional de las empresas.
- c) La disposición de nuevas tecnologías de informática.
- d) La baja matrícula de alumnos y profesionales de ingeniería nacionales.
- e) La incursión de empresas extranjeras en el mercado nacional.

En lo que se refiere a casos en el extranjero, se recopiló información de Chile y China, cuyos mercados se abrieron a las empresas extranjeras y que son ejemplos de adaptabilidad ante el cambio del entorno.

En Chile, las principales empresas de ingeniería del país fueron adquiridas por empresas extranjeras, de manera que se minimizó la capacidad de hacer proyectos con firmas locales; sin embargo, contar con el respaldo de empresas globales permitió a los ingenieros chilenos participar en proyectos dentro y fuera de su territorio (Rodríguez y Pozo, 2012).

Por su parte, en China desarrollaron un modelo para la industria de la construcción que incluye al gobierno como actor, además de la apertura del

mercado, la mejora de la competitividad, la promoción de los centros de diseño, los cuerpos profesionales, la innovación, la actualización profesional y la multiprocuración, como un conjunto integral enfocado a mejorar en bloque todo lo relacionado con la construcción (Xu et al., 2005).

### 3. Desarrollo del trabajo

La investigación fue del tipo cuantitativa, por aplicar manejo de datos numéricos. Su nivel es correlacional, dado que se busca la asociación de variables; en este caso, la influencia de los factores de éxito competitivo de las empresas en la adaptabilidad para afrontar las condiciones del entorno en México.

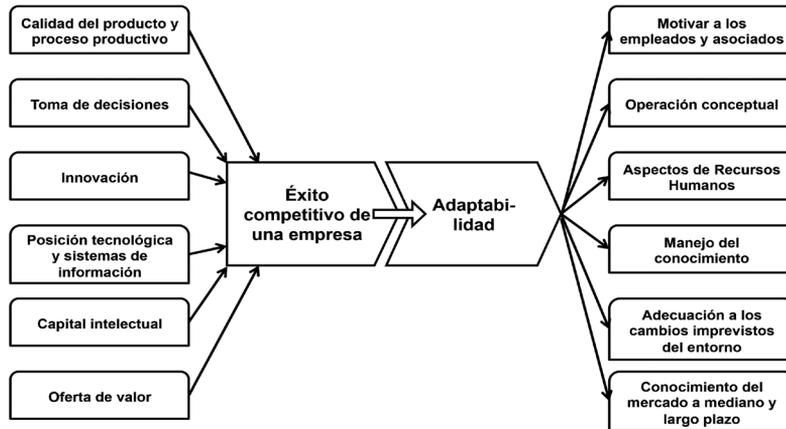
La unidad de análisis para la investigación fue a partir de las empresas mexicanas dedicadas al diseño de obras civiles de infraestructura, con sede dentro del territorio nacional.

La relación causal entre las variables seleccionadas para el modelo usado en la investigación tiene como premisa las siguientes consideraciones: las empresas de diseño tienen factores que impulsan su éxito competitivo, entonces en la medida que estos factores se hagan realidad en la operación de la empresa, puede haber éxito competitivo que se distinga por una ventaja competitiva. A su vez, en la medida en que esos factores son un soporte para la empresa, se puede tener la capacidad para lograr la adaptabilidad que necesita para afrontar las condiciones dinámicas del mercado, y esto tiene que ser manifiesto en variables distintivas de la adaptabilidad.

Bajo esa premisa, los factores del éxito competitivo son las variables independientes o formativas que dan lugar a él, y el primer constructo exógeno o independiente en el modelo. A partir de este constructo se explica otro constructo: la adaptabilidad, que depende del primero y por lo tanto es una variable latente endógena. Finalmente, a esta última variable se vinculan otras variables manifiestas reflectivas en las que se puede medir la adaptabilidad.

Lo descrito en los dos párrafos anteriores se puede representar en un modelo conceptual, con el cual se inicia el desarrollo del análisis en la presente investigación y que aparece en la figura 1. Se muestran las seis variables seleccionadas para representar los factores del éxito competitivo, los dos constructos que se estudian y la relación que existe entre ellos, del éxito competitivo hacia la adaptabilidad, por ser considerada esta última como dependiente y por último, seis variables que reflejan la manifestación de la adaptabilidad.

**Figura 1.** Modelo conceptual de la influencia de los factores del éxito de una empresa con respecto a la adaptabilidad



Fuente: Yáñez (2016, p. 100).

A partir de las seis variables asociadas al éxito competitivo y seis a la adaptabilidad, se elaboró un cuestionario con tres preguntas para cada uno de los factores, se remitió como prueba a veinte ingenieros conocedores del funcionamiento de las empresas en las cuales laboran, y se obtuvo una respuesta de catorce aportaciones. Con los resultados obtenidos se calculó el valor de Alfa de Cronbach para el constructo de adaptabilidad, con un resultado de 0.91, por lo que se consideró satisfactorio para hacer los ajustes pertinentes y dar lugar al instrumento en su versión final.

Se tomaron en cuenta las observaciones recibidas para adicionar tres preguntas más y realizar ajustes en seis de las preguntas ya establecidas, todo ello con el objeto de aclarar y evitar ambigüedades. Así se obtuvo la versión final del cuestionario integrado por 39 preguntas. Se siguió el protocolo sugerido por Hernández et al. (2010, p. 324) en lo que se refiere a la incorporación de una carátula con el título de la encuesta, el motivo de la misma, tiempo estimado para ser contestadas, las instrucciones, los datos del responsable para cualquier enlace que fuera requerido y para hacerle llegar los resultados al término de la encuesta.

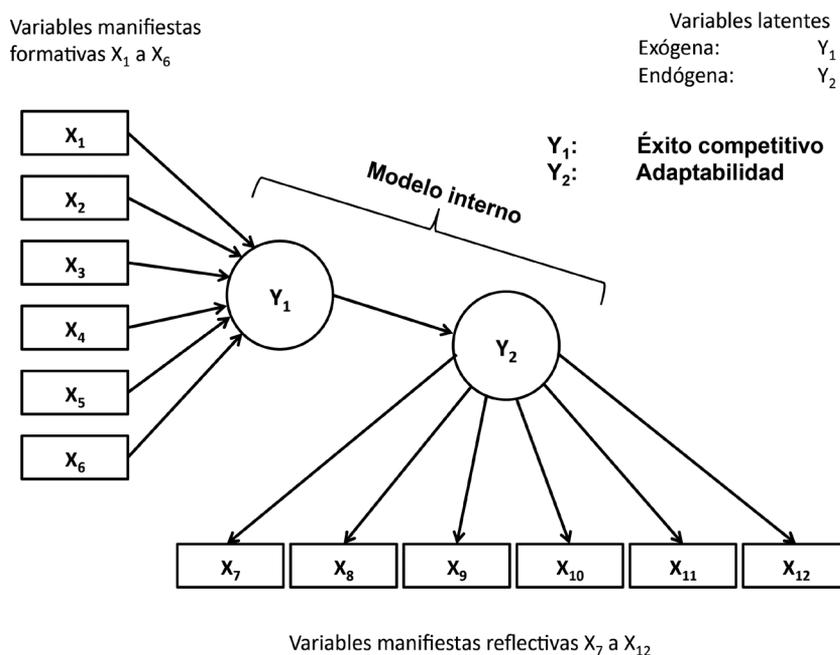
Se manejó una escala de medición única entre 1 y 7 para todas las preguntas.

Una vez integrado el cuestionario, la invitación a participar y contestar el cuestionario se envió por correo electrónico a directivos o gerentes de las empresas que cumplen el perfil definido. Las respuestas fueron recibidas en un espacio en Internet, donde se concentraron los datos recabados.

Después de tres semanas se extendió la convocatoria mediante una campaña telefónica. En total se conformó una base de 94 empresas y se consiguieron treinta cuestionarios debidamente contestados, para un porcentaje de respuesta del 32%, 22 tienen sede en el Distrito Federal y ocho en diferentes ciudades.

Para el análisis estadístico se aplicó la metodología de Mínimos cuadrados parciales (PLS, por sus siglas en inglés), que permite el manejo de muestras pequeñas y busca minimizar la varianza no explicada y, por ende, maximiza el coeficiente de determinación  $R^2$ , según puede ser consultada con detalle en Palacios y Vargas (2009, p. 206-210) y en Hair, Hult, Ringle y Sarstedt (2014). En la figura 2 se presenta el modelo integral que se tendría en un análisis PLS.

**Figura 2.** Modelo conceptual para análisis con método PLS



Fuente: Yáñez (2016, p. 106).

En el modelo anterior, el éxito competitivo de una empresa y los factores de adaptabilidad son variables latentes  $Y_1$  y  $Y_2$ , respectivamente, mientras que  $X_1$  a  $X_{12}$ , son variables manifiestas. El modelo interno está dado por la relación entre las variables latentes, que en este caso es de

los factores del éxito competitivo a los factores de la adaptabilidad. En el modelo externo se define por las relaciones entre las variables latentes y las variables manifiestas.

Los resultados se normalizaron, de manera que con todas las respuestas de cada bloque de preguntas se obtiene la media y se introduce en el archivo de datos para el análisis con la aplicación de cómputo disponible por los autores del libro Hair et al. (2014), llamada SmartPLS 3, misma que puede ser obtenida en versión estudiantil 3.2.1 o comercial en SmartPLS 3 (2015).

Para la identificación de variables en el análisis efectuado y en el escrito se les asoció una palabra que representa en sí el contexto de la variable, como se indica en la tabla 1:

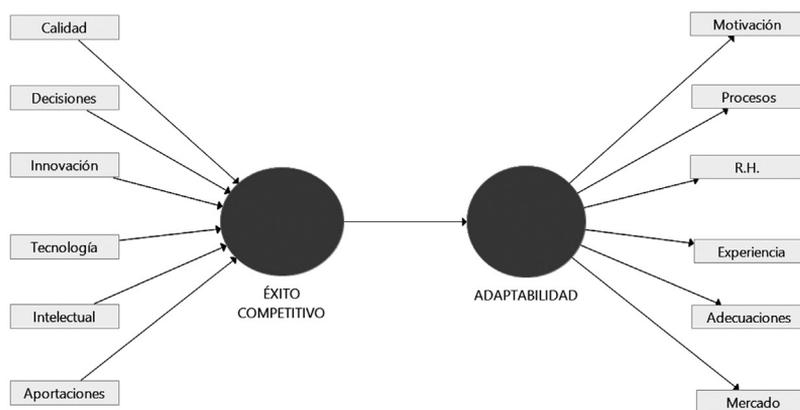
**Tabla 1.** Nomenclatura usada para las variables manifiestas

	<b>Variable</b>	<b>Identificador</b>
X1	Calidad del producto y proceso productivo	Calidad
X2	Toma de decisiones	Decisiones
X3	Innovación	Innovación
X4	Posición tecnológica y sistemas de información	Tecnología
X5	Capital intelectual	Intelectual
X6	Oferta de valor	Aportaciones
X7	Motivar a los empleados y asociados	Motivación
X8	Operación conceptual	Procesos
X9	Aspectos de recursos humanos	R.H.
X10	Manejo del conocimiento	Experiencia
X11	Adecuación a los cambios imprevistos del entorno	Adecuaciones
X12	Conocimiento del mercado a mediano y largo plazo	Mercado

Fuente: Yáñez (2016, p. 109).

El modelo se representa en la figura 3.

**Figura 3.** Modelo base usado en el análisis PLS



Fuente: Yáñez (2016, p.112).

#### 4. Resultados

La secuencia de análisis comprende tres fases, una para las variables reflectivas, otra para las variables formativas y la tercera para el modelo estructural. De las dos primeras se determinó suprimir dos variables manifiestas reflectivas y dos variables manifiestas formativas, por ser poco relevantes o por tener incidencia en la colinealidad.

En la primera fase de verificación se suprimieron dos variables reflectivas, recursos humanos y mercado, dado que los resultados indican que no tienen una componente sustancial respecto al constructo adaptabilidad.

En la segunda fase de verificación se suprimieron dos variables formativas, pues aportaciones y tecnología no cumplieron con la condición de colinealidad, es decir, dentro del modelo coinciden con otras variables que miden la misma contribución.

Finalmente, en la tercera fase, se obtuvo una correlación de buen nivel entre el éxito competitivo y la adaptabilidad, soportada por los valores de confiabilidad compuesta ( $\rho_c$ ) y alfa de Cronbach ( $\alpha$ ), ambos entre 0.80 y 0.90, lo cual permite concluir que el modelo estructural es adecuado y si hay dependencia de la adaptabilidad respecto a los factores del éxito competitivo.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en cada fase.

**Tabla 2.** Resumen de los criterios de verificación y los resultados obtenidos en el análisis estadístico

Revisión	Criterio	Resultado	Conclusión
<i>Medida reflectiva (constructo adaptabilidad)</i>			
Consistencia interna	$\rho_c > 0.60$ $\alpha > 0.60$	0.894 0.841	Cumple
Confiabilidad	Se acepta si $I > 0.70$ Revisar si $0.70 > I > 0.40$ Descartar si $I < 0.40$	Experiencia 0.874 Motivación 0.821 Adecuaciones 0.808 Procesos 0.786	Se suprimen dos variables: R.H. y Mercado
Validez convergente	AVE > 0.50	0.678	Cumple
Validez discriminante	Método de factores cruzados	Se validan las 4 variables	Cumple
<i>Medida formativa (constructo éxito competitivo)</i>			
Validez convergente	$P > 0.80$	0.907	Cumple
Colinealidad	VIF < 5	Calidad 1.539 Decisiones 1.866 Innovación 1.581 Intelectual 1.223	Se suprimieron dos variables: aportaciones y tecnología
Significancia y relevancia	$t_{\text{estad}} > t_{\text{crítico}}$	Intelectual 3.663 Innovación 2.854	Significativo
		Calidad 1.051 Decisiones 0.707	No significativo, pero pueden conservarse
<i>Modelo estructural (relación entre constructos)</i>			
Colinealidad	VIF < 5	No aplica nueva revisión dado que solo hay dos variables latentes	
Significancia y relevancia	$t_{\text{estad}} > t_{\text{crítico}}$	21.960	Cumple
Coefficiente de determinación	$R^2 > 0.75$	0.739	Moderado

Revisión	Criterio	Resultado	Conclusión
Tamaño del efecto	$f^2 > 0.35$	No aplica	No aplica
Relevancia predictiva	$Q^2 > 0.0$	0.454	Existe relevancia predictiva
Heterogeneidad	Solo si hay tendencias	No aplica	No aplica

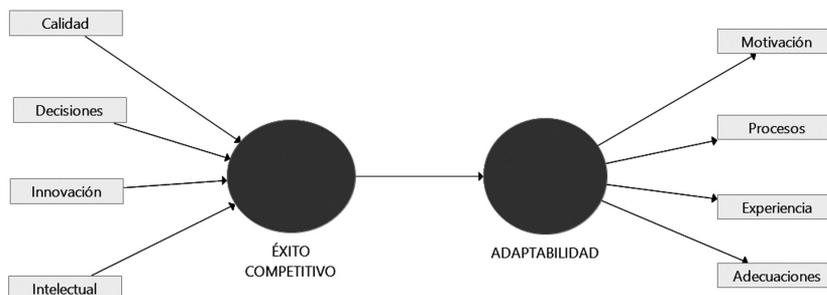
$\rho_c$ : confiabilidad compuesta;  $\alpha$  alfa de Cronbach; I: factor de carga de constructo a variable reflectiva; AVE: promedio de la variación explicada; P: correlación entre constructos; VIF: Factor de influencia de la varianza;  $t_{estad}$  y  $t_{critico}$ : valores de la distribución t de Student;  $R^2$ : coeficiente de determinación;  $f^2$ : tamaño del efecto;  $Q^2$ : relevancia predictiva.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se suprimieron dos variables formativas, el éxito competitivo se definió a partir de cuatro variables independientes. Se procede a revisar que el tamaño de la muestra sea suficiente para que el proceso sea validado. En Hair et al. (2014, p. 20) se dispone de una tabla tomada de Cohen (1992), que establece el tamaño de la muestra en función del número de variables formativas, el coeficiente de determinación y el nivel de significancia. Si se considera el 0.75 y el 10%, respectivamente en estos dos últimos valores, resulta que el número de elementos que debe comprender la muestra es de 27, por lo que los treinta registros son suficientes para efectuar los análisis.

Con base en el análisis, en la figura 4 se muestra el modelo resultante una vez que fueron suprimidas dos variables formativas y dos reflectivas, por no ser significativas ni relevantes.

**Figura 4.** Modelo validado al finalizar los análisis efectuados



Fuente: Yáñez (2016, p. 122).

## 5. Conclusiones

En México las empresas nacionales dedicadas al diseño de obras civiles de infraestructura, cuyo tamaño las ubica en su mayoría como pymes, se han visto inmersas en una situación de varios cambios en el entorno por aspectos de naturaleza económica, tecnológica o por condiciones de competencia, entre muchos otros. Ante esto los directores y gerentes de las empresas deben orientar su planeación y acciones a fin de mantenerse en el mercado y de ser posible, obtener una ventaja competitiva.

Las empresas objeto del presente estudio se caracterizan por ser de matrícula menor a 100 empleados, y si bien el promedio para las que constituyeron la muestra fue de 29, es una realidad que en general son de mucho menos individuos que este valor, si se considera que hubo un caso puntual con 100 elementos. En cuanto a los años de operación de las empresas que constituyeron la muestra, se obtuvo en promedio 18, con únicamente cuatro empresas con cuatro o cinco años, y de las restantes domina una edad entre veinte y treinta años.

La organización de las empresas nacionales de diseño de obras civiles en general está encabezada por su propietario, que hace las veces de director y suele tener un gerente técnico o de ingeniería que coordina a uno o dos jefes de especialidad o de proyecto. Estos últimos son directamente responsables del personal de producción de diseño, ingenieros civiles en su mayoría, con algunos arquitectos o ingenieros topógrafos, entre otras profesiones. Estas empresas se orientan preferentemente a un solo tipo de diseño, ya sea carreteras, manejo del agua, puentes o cualquier otro tipo de estructuras, sin que solo se apliquen para una en particular.

Los entregables de las empresas de diseño comprenden documentos de ingeniería como son los criterios de diseño, las especificaciones, los planos y la cuantificación de los volúmenes de obra por ejecutar, y que en conjunto permiten a una dependencia o propietario estimar los costos de inversión, la planeación de la ejecución de obra y su programación. Al constructor le permiten los mismos documentos, aplicar los recursos humanos, de equipo y materiales para la consecución de la obra hasta su puesta en servicio.

La obtención de contratos para la prestación de servicios de estas empresas suele realizarse por medio de licitaciones públicas federales o de gobiernos locales, dado que es por parte del gobierno que se programa la ejecución de las obras de infraestructura. También pueden requerir servicios de diseño aquellos proyectos de inversión privada que por sí mismos conlleven a estructuras de gran magnitud para el manejo de agua, electricidad o vialidades.

Estas empresas nacionales de diseño en general no tienen documentados sistemas de gestión de calidad o procesos internos, se orientan más hacia el

cliente y al proyecto en función del servicio, que suelen ser diferentes en cada ocasión, y por lo cual no se puede establecer la producción de la ingeniería como un proceso industrial de generación de un producto único repetido en diferentes ocasiones, como ocurre con la industria manufacturera.

El representante de la empresa envía al cliente que haya contratado el servicio los entregables del diseño. Esto genera que la interacción de los elementos que realizan el diseño normalmente no sea directa con el cliente ni con el constructor o el usuario de la infraestructura, lo que genera un cierto anonimato del diseñador dentro del proceso de la cadena de valor que da lugar al desarrollo de la infraestructura.

El estudio efectuado se basa en la percepción de ingenieros expertos con amplio reconocimiento en el medio. Para futuros estudios se deberán corroborar sus percepciones, ordenadas jerárquicamente con estudios objetivos que midan dichas variables como procesos presentes o en su caso, ausentes, en pymes similares en tamaño, posicionamiento, antigüedad en el mercado, especialidad, facturación, etcétera, para confirmar si, efectivamente, la percepción de los líderes entrevistados en esta ocasión corresponde con la realidad de los procesos de gestión de las pymes.

Para determinar si las doce variables seleccionadas con el juicio de expertos corresponden al modelo previsto en esta investigación, se propuso un instrumento para determinar cuáles son las variables de mayor influencia, debidamente avaladas por la evaluación de validez y confiabilidad. Se formuló un cuestionario sometido a una prueba piloto que permitió llegar a la versión final compuesta por 39 ítems o preguntas, 21 para éxito competitivo y 18 para adaptabilidad.

El análisis estadístico comprendió tres bloques de revisión, para el modelo estructural, para las variables manifiestas formativas y para las variables manifiestas reflectivas. En total se aplicaron trece rutinas de verificación, con las cuales se validan las variables que determinan el modelo propuesto, se evita que exista duplicidad en la medición que podría darse en el caso de que haya colinealidad entre las variables y dos o más estuvieran midiendo lo mismo.

De los resultados obtenidos se descartaron dos variables manifiestas reflectivas, dado que su indicador de carga desde la variable latente adaptabilidad hacia estas no es significativo. Se suprimieron del modelo: aspectos de recursos humanos y conocimiento del mercado a mediano y largo plazo. También fueron suprimidas dos variables formativas por ser sumamente débiles en cuanto a su correlación con el constructo de éxito competitivo. Se retiraron del modelo: posición tecnológica y sistema de información y oferta de valor o aportaciones del proceso. El resto de las variables y el modelo estructural se validaron al término de las pruebas efectuadas.

En cuanto a la significancia de las cuatro variables formativas, se obtuvo que dos de estas son realmente las de mayor peso o significancia: capital

intelectual e innovación. Las otras dos variables manifiestas, calidad del producto, y proceso productivo y toma de decisiones, si bien no tienen una significancia relevante, la revisión efectuada indicó que pueden permanecer en el modelo.

En lo que respecta a las variables reflectivas de la adaptabilidad, las cuatro variables que están en el modelo definitivo fueron consideradas a partir de los trabajos de Arana et al. (2012), Frías y Véliz (2013) y Reeves y Deimler (2011), de las que destaca la segunda por postular en su investigación a tres de las cuatro.

Si bien fueron consultadas varias referencias para el caso del éxito competitivo y otras tantas para la adaptabilidad, cada una expone su postulado en cuanto a los componentes que dan lugar a cada uno de los constructos, sin que ninguna de estas postule el modelo o propuesta conceptual que se ha desarrollado en la presente tesis.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la hipótesis formulada se cumple dado que se obtuvo la relación esperada en cuanto a que existen algunas variables preferentes que dan lugar al éxito competitivo, y que desde este se conduzca a la adaptabilidad y a su vez esta se refleje en variables manifiestas.

Con base en los resultados y conclusiones, se sugiere que el director o gerente general de las empresas objeto del presente estudio tenga presente el manejo de dos aspectos que son fundamentales para conseguir el éxito competitivo:

1. Capital intelectual, dado por una estrategia para contar con personal con perfil académico alto y desarrollo del personal por medio de capacitación, para generar valor en los servicios.
2. Innovación, tangible en la implementación de nuevas metodologías o desarrollo de productos. Se recomienda implementar círculos de experiencia interna, buscar una participación gremial y generar una vinculación academia-gobierno-empresa como factores promotores de una cultura innovadora (Yáñez, 2015).

En menor grado de relevancia, pero que también deberán dominar, existen otros dos factores:

1. calidad del producto y proceso productivo, para lograr la satisfacción del cliente y,
2. toma de decisiones, que implica establecer un sistema de evaluación ágil respecto a las acciones que deberán dictarse para que la planeación considere los requerimientos del futuro y los posibles riesgos en el entorno.

Las empresas deberán saber identificar y medir la adaptabilidad a través del manejo del conocimiento, la motivación de los empleados y asociados, las adecuaciones a los cambios imprevistos del entorno y la mejora en su operación conceptual o procesos.

El contenido de la presente investigación puede servir de referencia para futuras investigaciones con mayor proyección en tiempo, tipo de empresas o factores por analizar, e inclusive al grado de relacionar la adaptabilidad con la evolución de las empresas. También se podrá estudiar si los factores encontrados en esta investigación se adoptan como mejores prácticas en compañías que todavía no las practican y evaluar si, con el tiempo, aumenta su capacidad de adaptación y competitividad frente a firmas extranjeras en sus propios mercados (México).

En opinión del autor del presente escrito, el desarrollo de investigaciones como la presente permite fundamentar estrategias y líneas de acción para las empresas a efecto de que puedan tener elementos para afrontar las condiciones adversas que imperan en el entorno en el que operan. En particular para las empresas de diseño de obras civiles, corresponde a sus directivos y gerentes aplicar estos resultados e impulsar nuevas investigaciones que favorezcan la operación de su fuerza de trabajo y contribuyan a la práctica de la ingeniería mexicana, que es parte esencial para el progreso de la nación.



## **El autor**

David Yáñez Santillán es ingeniero civil con maestría en Ingeniería Mecánica de Suelos por la UNAM, maestría en Administración en el ITESM y doctorado en Administración por la Universidad Anáhuac del Sur. Especialista en Ingeniería Geotécnica y Gerencia de Proyectos de Infraestructura, ha estado a cargo de diversos proyectos de ingeniería en México y Latinoamérica. Actualmente labora en el Grupo-Omega, asignado a la Presa Chicoasén II, Chiapas.

dysyanez@yahoo.com.mx

## Referencias

- Ahumada, E.; Zárate, R.; López, I. y Perusquia, A. (2012). Modelo de competitividad basado en el conocimiento: el caso de pymes del sector de Tecnologías de Información en Baja California, *Revista Internacional Administración y Finanzas (RIAF)*, 5(4), 13-27.
- Alcocer, S. (2016). Prospectiva de la Ingeniería Civil. *70 años del Colegio de Ingenieros Civiles de México*, 300-309.
- Aragón, A. y Rubio, A., (2005). Factores asociados con el éxito competitivo de las pymes industriales en España. *Universia Business Review: Actualidad económica*, cuarto trimestre. Recuperado en: (8), 38-51.
- Arana, I.A.; Alfalla, R. y Machuca, J.D. (2012). Análisis de las variables que proporcionan una competitividad sostenible de la cadena de suministro. *Intangible Capital*, 8(1), 92-122.
- Bribiesca, J.C. y Castillo, R. (2013) *Estrategia Competitiva y Gestión Administrativa*. México: Instituto de Investigación Aplicada a Negocios, S.C.
- Cho, K.; Hyun, C.; Koo, K. y Hong, T. (2010). Partnering Process Model for Public-Sector Fast-Track Design-Build Projects in Korea. *Journal of Management in Engineering*, 26(1), 19-29.
- Frías, J.A. y Véliz, J.A. (2013). La adaptabilidad a los cambios imprevistos del entorno y la creación de capacidades para el autocontrol en la empresa. *CyTA*, 12(1). Recuperado en: <http://www.cyta.com.ar/ta1201/v12n1a2.htm>.
- Hair, J.; Hult, G.; Ringle, Ch. y Sarstedt, M. (2014). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. Thousand Oaks: Sage.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2010), *Metodología de la investigación*. (5.ª edición), México: McGraw-Hill.
- Palacios, J.L. y Vargas, D. (2009). *Medición efectiva de la calidad, innovaciones en México*. México: Trillas.
- Rascón, O.A. (2010). Estado del arte y prospectiva de la Ingeniería en México y en el mundo. Academia de Ingeniería y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mayo, 57 pp. Recuperado en [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/edodelarte/2010/10.prospectiva\\_de\\_la\\_ingenieria\\_en\\_mexico\\_y\\_en\\_el\\_mundo.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/edodelarte/2010/10.prospectiva_de_la_ingenieria_en_mexico_y_en_el_mundo.pdf).
- Reeves, M. y Deimler, M. (2011). Adaptability: The New Competitive Advantage. *Harvard Business Review*, 89(7), 135-141. Recuperado en: <http://library.christian.ac.th/lrc%20on%20emis/html/harvard.htm>.
- Rodríguez, A. y Pozo, A. (2012). El nuevo mapa de la ingeniería en Chile. *Qué pasa Minería*, 5 de junio. Recuperado en: <http://www.quepasamineria.cl/index.php/core-business/item/499-el-nuevo-mapa-de-la>.
- Rubio, A. y Aragón, A. (2002). Factores explicativos del éxito competitivo. Un estudio empírico en la pyme. *Cuadernos de gestión*, 2(1), Instituto de

- Economía Aplicada a la Empresa de la Universidad del País Vasco. Recuperado en: <http://www.ehu.es/cuadernosdegestion/revista/index.php/numeros?a=da&y=2002&v=2&n=1&o=3>.
- Saavedra, M.L. (2010). Hacia una propuesta metodológica para la determinación de la competitividad en la pyme. XII Asamblea General de ALAFEC, Modelos de gestión del conocimiento. Asociación Latinoamericana de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración, 2-24. Recuperado en: <http://www.alafec.unam.mx/mem/lima/emprendedurismo/EMP2.PDF>.
- Savaneviciene, A., Rutelione, A. y Ciutiene, R. (2014). Crucial Transversal Competences in the Changing Environment Case of the European SMES Managers. *Economics & Management*, 19(19), 100-108.
- Secretaría de Economía (2014a). Estratificación. Recuperado en: <http://www.comprasdegobierno.gob.mx/web/guest/calculadora>
- Secretaría de Economía, (2014b). Competitividad y Normatividad. Recuperado en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/competitividad-normatividad>
- SmartPLS 3 (2015). Apply PLS-SEM Method in Minutes. Programa de cómputo para análisis estadístico. Disponible en: <http://www.smartpls.de/>.
- Xu, T., Tiong, R.K., Chew, D.S. y Smith, N. (2005). Development Model for Competitive Construction Industry in the People's Republic of China. *Journal Of Construction Engineering & Management*, 131(7), 844-853.
- Yáñez, D. (2014a), Business Competitiveness of Mexican Civil Engineering Design Firms Due to the Incursion of Foreign Companies in the Field Considering the Factors Explaining the Competitive Success and the Adaptability for a Company. The Clute Institute Academic Conference Munich Proceedings, congreso llevado a cabo en Alemania.
- Yáñez, D. (2014b). Estrategias de competitividad para obras de infraestructura. *Ingeniería Civil, CICM*, 541(64), 4-6.
- Yáñez, D. (2015). Innovación, factor ineludible en el desarrollo sustentable. *Acción local sustentable*, (3), julio-septiembre, p. 13.
- Yáñez, D. (2016). Factores del éxito competitivo y de la adaptabilidad en empresas mexicanas dedicadas al diseño de obras civiles de infraestructura. Tesis doctoral en Administración, Universidad Anáhuac del Sur, México.

## LINEAMIENTOS PARA LOS AUTORES

Los lineamientos editoriales de *The Anáhuac Journal* son los siguientes:

### Acerca del contenido

Cada edición de *The Anáhuac Journal* podrá incluir:

1. **Artículos inéditos** (que no han sido publicados ni se están ofreciendo a otra revista): son el producto de investigaciones y estudios con resultados originales en las siguientes líneas interés:
  - a) Finanzas
  - b) Empresariado
  - c) Gobierno corporativo
  - d) Responsabilidad empresarial
  - d) Toma de decisiones
  - f) Economía
  - g) Innovación
  - h) Emprendimiento
  - i) Hospitalidad
  - j) Impacto de las políticas públicas en el sector privado
  - k) Contabilidad
2. **Reseñas de disertaciones de doctorado:** deben dar cuenta en forma objetiva, clara y simple del contenido de la obra, sin interpretaciones, juicios de valor ni críticas expresadas por el autor, de manera que permita a los lectores comprender el contenido global de la obra. Sus elementos constitutivos son: la formulación del objetivo del trabajo, la motivación, el planteamiento del problema, la descripción del método o procedimiento, la presentación de los resultados obtenidos y la conclusión. Pueden incluirse datos numéricos.
3. **Notas:** comunica resultados de estudios pequeños o conclusiones preliminares de estudios complejos que aporten conocimientos nuevos o hipótesis para futuros estudios. No tiene resumen, el texto no está dividido en secciones con subtítulos y la investigación sobre la que se informa es de menor impacto.

### Sobre el proceso

1. Los trabajos de investigación deben ser enviados como documento adjunto al correo electrónico del editor de la publicación: [antonio.gdelaparra@anahuac.mx](mailto:antonio.gdelaparra@anahuac.mx), quien enviará un acuse de recepción y dará una primera revisión para asegurar que el material cumpla con los requisitos temáticos y formales indicados en estas instrucciones.
2. Luego se pasarán a dos árbitros, quienes determinarán en forma anónima: a) publicarlo sin cambios, b) publicarlo cuando se hayan realizado correcciones menores, c) publicarlo una vez que se haya efectuado una revisión a fondo o d) rechazarlo. En caso de discrepancia entre ambos resultados, el texto se enviará a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos. Los trabajos enviados por académicos serán siempre sometidos a consideración de árbitros externos a su institución.
3. Una vez aceptado el trabajo en su versión final, el autor cede todos los derechos patrimoniales sobre su obra por tiempo indefinido y otorga consentimiento para que *The Anáhuac Journal* lo reproduzca en distintos medios.

4. Los trabajos autorizados por los árbitros se publicarán en la revista y se notificará a sus autores sobre esta decisión en un plazo máximo de cuatro meses a partir de la recepción del documento.
5. La revista se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales que considere pertinentes.

#### **Requisitos y aspectos formales para la presentación de los trabajos**

- Formato WORD (formato.doc) de tipografía Arial de 12 puntos.
- Extensión máxima de 6,000 palabras (artículos y reseñas). En casos especiales se podrán considerar trabajos de mayor extensión. En el caso de las notas, la extensión máxima es de 2,500 palabras.
- Idioma: español o inglés.
- Estructura mínima del trabajo:
  - Resumen de hasta 150 palabras; la clasificación JEL (Journal of Economic Literature), palabras clave y bibliografía.
  - Introducción que refleje con claridad los antecedentes del trabajo, su desarrollo y conclusiones.
  - Las notas de pie de página deberán estar en la hoja correspondiente.
  - Las referencias bibliográficas se harán según las normas de la APA, no deben extenderse de modo innecesario y deberán aparecer completas al final del artículo, ordenadas alfabéticamente y, para cada autor, en orden cronológico, del más antiguo al más reciente.
  - La bibliografía deberá estar en páginas separadas, a doble espacio, al final del trabajo.
  - Información del autor(es): en la última página deberán incluirse los datos generales del autor (es): nombre completo, centro o departamento al que se encuentra(n) adscrito(s) laboralmente, dirección postal institucional, dirección de correo electrónico y un breve resumen de su experiencia académica.
- Las ilustraciones, fotografías, dibujos, tablas y gráficas deben tener sus leyendas correspondientes, títulos, una numeración consecutiva, la fuente de donde se sacó la información (en caso de ser elaboración propia hay que señalarlo de esa manera) y deben estar libres de derechos. En caso de imágenes, ilustraciones o dibujos deben estar en alta resolución (300 dpi); en caso de tablas y gráficas deberá enviarse aparte el archivo original en el que fueron creadas (excel, power point, etc.).
- Las pruebas matemáticas largas y tablas muy detalladas y extensas deberán estar en un apéndice o ser omitidas totalmente. Los autores deberán hacer un esfuerzo por explicar los resultados del significado de las pruebas matemáticas.
- Las ecuaciones deberán presentarse en líneas separadas y centradas. Deberán estar numeradas consecutivamente, en el margen derecho, usando números arábigos entre paréntesis.
- Las referencias bibliográficas se harán según la normas de la APA que establecen, entre otras, las siguientes formas:

- a) Autor (apellido e inicial del nombre). Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro (en cursivas). Edición (entre paréntesis), Lugar de edición (:), Editorial. Si no tiene editorial se escribe [s.n.], del latín *sine nomine*, que significa «sin nombre»:

Castel, R. (1997). *Las metamorfosis de la cuestión social. Una crónica del asalariado*. (1ª ed.). Argentina: Paidós.

- b) Libro con más de un autor: Autor(es) (apellido e inicial del nombre). Año de publicación (entre paréntesis). Título del libro (en cursivas). Edición (entre paréntesis), Lugar de edición (:), Editorial:

De Mattos, C. y Ducci, M.E. (2005). *Santiago en la globalización: ¿una nueva ciudad?* (2ª ed.). Santiago: Lom.

- c) Artículo de revista impresa:

Apellido, inicial del nombre. Año de publicación (entre paréntesis). Título del artículo en redondas. Nombre de la revista (en cursivas), Volumen de la revista (en cursivas) Número de edición (entre paréntesis), Intervalo de páginas en el que se encuentra el artículo:

Oszlak, O. (2009). El Estado transversal. *Encrucijadas UBA, revista de la Universidad de Buenos Aires*, 8 (26), 2-4.

- d) Artículo de revista en Internet:

Apellido, Inicial del Nombre. Año de publicación (entre paréntesis). Título del artículo (en redondas), Nombre de la revista (en cursivas). Volumen de la revista (en cursiva), Número de edición (entre paréntesis), Recuperado en (seguido de dos puntos): Página de Internet.

Gadner, H. (1983). La Teoría de las Inteligencias Múltiples. *Revista Española de Investigación en Educación*, 9 (2). Recuperado en: <http://urlinventada.es>

## GUIDELINES FOR AUTHORS

The publishing guidelines of *The Anáhuac Journal* are the following:

### About the content

Each issue of *The Anáhuac Journal* includes:

- 1. Unpublished articles** (that have not been published nor are being offered to another magazine): they are the original result of research and studies in the following subjects:
  - a) Finance
  - b) Business sector
  - c) Corporate management
  - d) Corporate responsibility
  - d) Decision making
  - f) Economy
  - g) Innovation
  - h) Entrepreneurship
  - i) Hospitality
  - j) Impact of public policies in the private sector
  - k) Accounting
- 2. Doctorate dissertation reviews:** must have an objective, clear and simple content, without the author's interpretation, judgment nor critics, so that it allows the readers to understand the global content of the paper. Its constituent elements are: the purpose, the motivation, the approach, the description of the method or procedure, the presentation of the results obtained and the conclusion. Numeric data can be included.
- 3. Notes:** informs on the results of brief studies or preliminary conclusions of more complex studies that contribute to new knowledge or hypotheses for future research. It does not include summary, the text is not divided into sections or subtitles and the topic of the investigation is of smaller impact.

### About the process

1. The research papers must be sent as an attached document to the publisher's email address: [antonio.gdelaparra@anahuac.mx](mailto:antonio.gdelaparra@anahuac.mx), who will acknowledge receipt and review them to ensure their compliance with the subject and formal requirements established in these guidelines.
2. Afterwards, the works will be handed to two judges, who will anonymously determine: a) to publish it without any changes, b) to publish it with minor corrections, c) to publish it after a thorough revision, or d) to reject it. In case of discrepancy between both results, the text will be sent to a third judge, whose decision will be final. The results will be unquestionable in all cases. The works sent will always be put under consideration of judges who are external to the institution the author belongs to.
3. Once the final version has been accepted, the author yields all his/her patrimonial rights, for an unlimited period, on his/her work and grants consent to *The Anáhuac Journal* to reproduce it in whichever means.
4. The articles authorized by the judges will be published in the journal, and authors will be notified on this decision within four months from the reception of the document.
5. The journal reserves the right to make the editorial amendments that it considers pertinent.

### Formal requirements for the submittal of the works

- WORD format (.doc), Arial font, 12 points.
- Maximum length for articles and reviews: 6000 words. In special cases, works of greater extension could be considered. In the case of notes, the maximum length is 2,500 words.
- Languages: English or Spanish.
- Minimum structure:
  - Abstract of up to 150 words; JEL (Journal of Economic Literature) classification, key words and references.
  - A preface clearly establishing the backgrounds, development and conclusions.
  - Footnotes should be inserted in the corresponding page.
  - References will follow APA guidelines; they shall not be elaborated unnecessarily and will have to be completely referenced at the end of the article, ordered alphabetically and, for each author, chronologically from the oldest to most recent.
  - The bibliography will appear in a separate page, double-spaced, at the end of the article.
  - Information about the author(s): in the last page the general information about the author(s) will have to be included: complete name, assigned center or department, institutional mailing dress, email address and a brief summary of his/her academic experience.
- Illustrations, photographs, drawings, tables and graphs must have their corresponding legend, titles, a consecutive numeration, the source from where the information was taken (in case of being their own, it has to be indicated) and must be free of rights. In the case of images, illustrations or drawings, their must be in high resolution (300 dpi); in case of tables and graphs the original file will have to be sent separately, in the original format in which they were created (excel, power point, etc.).
- Long mathematical equations and very detailed tables will have to be omitted or, in any case, submitted as an appendix. Authors will have to explain the results and meaning of mathematical equations.
- Equations will have to appear in separate lines and entered. They will have to be numbered consecutively, on the right margin, using Arabic numbers in parenthesis.
- Bibliographical references will follow APA guidelines, as follows:
  - a) Author (last name and initials of the name). Year of publication (in parenthesis). Title of the book (in italics). Edition (in parenthesis). Place (followed by colon): Publishing house. If there is no publishing house, [s.n.] must be written, from Latin *sine name*, which means «without name».  

Castel, R. (1997). *Las metamorfosis de la cuestión social. Una crónica del asalariado*. (1.<sup>a</sup> ed.). Argentina: Paidós.
  - b) Book with two or more authors:  

Authors (last name and initials of the name). Year of publication (in parenthesis). Title of the book (in italics). Edition (in parenthesis). Place (followed by colon): Publishing house.

De Mattos, C. y Ducci, M.E. (2005). *Santiago en la globalización: ¿una nueva ciudad?* (2ª ed.). Santiago: Lom.

c) Article in a printed magazine:

Author (last name, initial of the name). Year of publication (in parenthesis). Title of the article. Name of the magazine (in italics), volume of the magazine (in italics), Issue (in parenthesis), pages.

Oszlak, O. (2009). El Estado transversal. *Encrucijadas UBA, revista de la Universidad de Buenos Aires*. 8 (26), 2-4.

d) Article in a digital magazine:

Author (last name, initial of the name). Year of publication (in parenthesis). Title of the article. Name of the magazine (in italics), volume of the magazine (in italics), Number of issue (in parenthesis). Retrieved from: webpage.

Gardner, H. (1983). La Teoría de las Inteligencias Múltiples. *Revista Española de Investigación en Educación*, 9 (2). Retrieved from: <http://urlinventada.es>.



**Anáhuac**  
México Sur

## Maestrías presenciales

- Administración de Riesgos
- Alta Dirección - MBA
- Arquitectura de Interiores
- Derecho de los Negocios
- Dirección Estratégica del Capital Humano
- Filosofía
- Humanidades
- Logística y Negocios Internacionales
- Mercadotecnia Integral
- Moda y Mercadotecnia
- Periodismo
- Psicología Clínica

## Maestrías en línea

- Dirección de Empresas (MBA)
- Derecho de las Empresas
- Dirección del Capital Humano
- Finanzas Corporativas y Bursátiles
- Logística y Comercio Internacional
- Mercadotecnia y Gerencia de Marcas

## Doctorados

- Derecho
- Filosofía
- Filosofía del Derecho
- Ingeniería



**CONTACTO:**  
Mtra. Nabila Hampl / Tel: 56 28 88 00 ext. 114 y 663  
nabila.hampl@anahuac.mx / uams.posgrados@anahuac.mx

[www.uas.mx](http://www.uas.mx)



# GRANDES LÍDERES Y MEJORES PERSONAS

www.uas.mx

## DOCTORADOS

- Derecho
- Filosofía
- Filosofía del Derecho
- Ingeniería

## MAESTRIAS

- Administración de Riesgos
- Alta Dirección MBA
- Arquitectura de Interiores
- Cultura Mexicana, Teología y Pastoral
- Dirección de Empresas de Entretenimiento
- Dirección Estratégica de Capital Humano
- Derecho de los Negocios
- Filosofía
- Humanidades
- Logística y Negocios Internacionales
- Mercadotecnia Integral
- Moda y Mercadotecnia
- Periodismo
- Psicología Clínica

## ESPECIALIDADES

- Arte Sacro y Liturgia
- Dirección y Conservación Patrimonial
- Derecho Civil Eclesiástico
- Teología Dogmática
- Teología Pastoral

## DIPLOMADOS, CURSOS Y TALLERES

### I. Gastronomía

- Cocina Vegetariana
- Muffins y Panqués
- Roles de canela
- Comida Árabe
- Tacos de canasta
- Enología y Maridaje
- Cocina Mexicana
- Cocina para recién casados

### II. Humanidades y Facultad de Filosofía

- Análisis e interpretación de la cinematografía mundial
- Doctrina social de la iglesia
- Freud, una aproximación filosófica

### III. Centro de Investigación en Culturas de la Antigüedad

- Culturas de la Antigüedad: Mediterráneo y Cercano Oriente

### IV. Psicología

- Fundamentos básicos de la Psicología Clínica

#### INFORMES:

Mtra. Nabila Hampf  
Tel. (55) 5628 8800 ext. 114 y 663  
nabila.hampf@anahuac.mx

Mayte Romanos  
Tel. (55) 5628 8800 ext. 663  
posgrados.uams@anahuac.mx

Andrea Vences  
Tel. (55) 5628 8800 ext. 663  
uams.posgrados@anahuac.mx



Anáhuac  
MÉXICO SUR