

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

**EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO EN LA LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL<sup>1</sup>**  
**THE HIERARCHICAL ANALYTICAL PROCESS IN INDUSTRIAL LOCATION**

**Héctor Rubén Tarcaya<sup>2</sup>, Héctor Darío Pistán<sup>3</sup>, Horacio Dib Ashur<sup>4</sup>, Sonia Ester Yasinski<sup>5</sup>, Sebastián Federico Kolodziej<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Proyecto de investigación "Gestión de riesgos en organizaciones". Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta (UNSa). Argentina

<sup>2</sup> Director de Proyecto. Profesor investigador. IIDISA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

<sup>3</sup> Integrante de Proyecto. Profesor investigador. IIDISA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

<sup>4</sup> Integrante de Proyecto. Profesor investigador. IIDISA. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

<sup>5</sup> Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. Argentina

<sup>6</sup> Profesor Investigador. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones. Argentina

## **RESUMEN**

La elección del lugar de emplazamiento de una industria es una decisión importante en un proyecto, porque tendrá influencia en los costos futuros de producción, en la organización de la empresa y en las relaciones con la sociedad por los impactos que pudiere ocasionar. Es por ello que al momento de tomar una decisión sobre una localización, es conveniente analizar las distintas alternativas jerarquizando los beneficios en cada una de ellas. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), es un sistema flexible de metodología de análisis multicriterio para ayudar a la toma de decisiones, formulando el problema de decisión de un modo lógico y racional. El presente trabajo tiene por objetivo optimizar la localización de un proyecto industrial mediante AHP, utilizando como herramienta informática el programa Expert Choice. Dicho proceso también incluye un análisis de sensibilidad.

**PALABRAS CLAVES:** localización, optimización, AHP, riesgos, toma de decisión.

**KEYWORDS:** location, optimization, AHP, risks, decision making.

## **INTRODUCCIÓN**

En la formulación de los proyectos industriales, una de las problemáticas que se presenta en el aspecto técnico es el de decidir específicamente, a nivel macro y micro, la localización. Ello

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

significa determinar el lugar exacto para la ubicación y emplazamiento, en las condiciones más óptimas y de mejor rendimiento para el proyecto. Para este propósito se hace necesario el análisis de factores relevantes y la aplicación de algunas técnicas que permitan cumplir con los objetivos de optimizar esta localización (Terrazas Pastor, 2012). O sea, se tiene que decidir, previo análisis de los riesgos identificados (Tarcaya et al, 2019). Entre los factores se pueden citar los siguientes: tipo de producto, mercado, medios de transporte, disponibilidad de servicios, entorno ambiental y comunidad, entre otros.

En lo que respecta a comunidad se analiza la actitud de la población hacia el proyecto, tratando de ver aspectos sociales, culturales, religiosos y políticos que puedan afectar de manera directa y/o indirecta la realización del proyecto (Benedetti, 1991). La participación de la ciudadanía en la planificación constituye un tema de gran interés y complejidad y se refiere al conjunto de teorías, métodos y prácticas que introducen de forma interactiva la comunidad en los procesos de toma de decisión. La comunidad desempeña un papel importante en relación con el Estado y el mercado. Además, su participación activa y directa en los procesos de decisión puede interferir en la supuesta autonomía técnico-científica de los planificadores, poniendo en discusión el papel del experto en el proceso de planificación y gestión de un territorio; por lo tanto su participación en la toma de decisión puede considerarse, dependiendo del contexto, como un elemento dinamizador o amenazador de las normales prácticas urbanísticas o de ordenamiento territorial (Fracasso, 2000). Es por ello que en los últimos 20 años, hubo cambios en los criterios y prioridades para decidir, ya que el impacto ambiental y social tomaron mayor relevancia en la localización de proyectos.

La búsqueda de una optimización contribuye a la exploración de metodologías de apoyo para la toma de decisiones en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección, tal como lo es en los casos de localización. Entre los diversos métodos de decisión multicriterio, el método de Proceso Analítico Jerárquico, conocido como AHP por sus iniciales en inglés, muestra fuertes potencialidades en el interés de identificar y priorizar los problemas y las subsecuentes acciones, cuyos resultados serán los procesos de diseño, implementación, validación, control y evaluación enfrentados cotidianamente por las empresas, los sectores industriales y las regiones en el actual entorno regido por la globalización de la economía (Berumen, 2007).

El objetivo principal del trabajo que se expone es, determinar sobre la base de diferentes criterios, cuál es la alternativa óptima, es decir, la localización más adecuada para el caso de estudio de un proyecto industrial, de manera que se maximice el beneficio y al mismo tiempo se minimice el impacto negativo sobre el medio ambiente y el medio social, para lo cual se aplica la metodología AHP utilizando la herramienta Expert Choice.

## **METODOLOGÍA**

El AHP es un sistema flexible de metodología de análisis de decisión multicriterio para ayudar a la

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

toma de decisiones complejas, formulando el problema de decisión de un modo lógico y racional, pudiendo ser aplicado a diferentes campos. Estos métodos persiguen eliminar las conjeturas improvisadas, el pensamiento no explicado, injustificado e intuitivo que en ocasiones acompaña a la mayoría de las decisiones que se toman con respecto a problemas complejos, permitiendo considerar tanto criterios cuantitativos monetarios y cuantitativos no monetarios como criterios cualitativos (Martínez Rodríguez, 2007). Esta metodología de trabajo lógica y estructurada, se basa en la descomposición del problema en una estructura jerárquica que a su vez permita realizar el análisis de sensibilidad, para observar y estudiar otras posibles soluciones al hacer cambios en la importancia de los elementos que definen el problema de decisión.

Entre los softwares de apoyo para su aplicación, en este caso se utiliza el Expert Choice, que es de fácil uso y sirve como mecanismo de derivación de consensos participativos. Expert Choice es un sistema para el análisis, síntesis y justificación de decisiones y evaluaciones complejas. Hace posible mirar los elementos de un problema en forma aislada: un elemento se compara contra otro con respecto a un criterio. El proceso de decisión se reduce a términos más sencillos: comparaciones apareadas. De este modo, permite estructurar un problema, ordenarlo, sintetizarlo y combinar todos los juicios de modo de priorizar claramente las alternativas de mejor a peor.

En una primera etapa, se comienza a definir el objetivo, teniendo presente que debe representar las necesidades e intereses generales de la unidad de decisión. En el caso que se presenta el objetivo está perfectamente identificado: conseguir la mejor ubicación para un establecimiento industrial. El siguiente paso es identificar los criterios, es decir las dimensiones relevantes que afectan significativamente a los objetivos y que deben expresar las preferencias de los implicados en la toma de decisión. Se deben incluir aspectos vitales cuantitativos y cualitativos a tener en cuenta en la toma de decisión. En esta tarea la experiencia de quien toma la decisión juega un papel importante. Para el caso de estudio las mayores preocupaciones son: la cercanía al mercado consumidor, la disponibilidad de terrenos amplios, la disponibilidad de mano de obra y servicios, el impacto ambiental y el impacto social, criterios que identificamos con C1, C2, C3, C4 y C5 respectivamente.

La siguiente tarea consiste en identificar las alternativas, correspondiendo a propuestas factibles, mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo general. En el presente caso de estudio, se parte de una decisión de ubicación macro, y de un trabajo preliminar de análisis y recogida de información micro. Ello ha permitido eliminar alternativas que no cumplieran con sus expectativas, quedando tres ubicaciones disponibles: en la propia ciudad, en cercanías de la ciudad y en una zona alejada de la ciudad, alternativas que identificamos con localizaciones A, B y C respectivamente, lo que se presenta en la Tabla 1.

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

**Tabla 1.** Alternativas de localización del proyecto de estudio

ID	Alternativas
A	En la propia ciudad
B	Cerca de la ciudad
C	Zona alejada de la ciudad

Luego queda por evaluar las alternativas y también asignar un grado de priorización a los criterios, lo que identificamos como peso del criterio. Con todos estos elementos perfectamente identificados, el decisor puede construir un modelo de jerarquías, que aparece en la Tabla 2. Esta tabla permita visualizar el problema de decisión planteado de forma clara y sencilla y cargar dichos datos para hacer correr el programa Expert Choice.

**Tabla 2.** Modelo de jerarquías considerando variables, pesos y alternativas

ID	Criterio	Peso	A	B	C
C1	Cercanía al mercado consumidor	0,16	7	6	5
C2	Disponibilidad de terrenos amplios	0,14	5	7	9
C3	Disponibilidad de mano de obra y servicios	0,24	8	7	6
C4	Impacto ambiental negativo	0,20	4	5	7
C5	Impacto social negativo	0,26	3	5	7

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando el modelo planteado en la Tabla 1, se procede a la carga de datos en el software, formando una matriz con los pesos asignados para cada criterio, tal como se puede ver en la Figura 1.

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

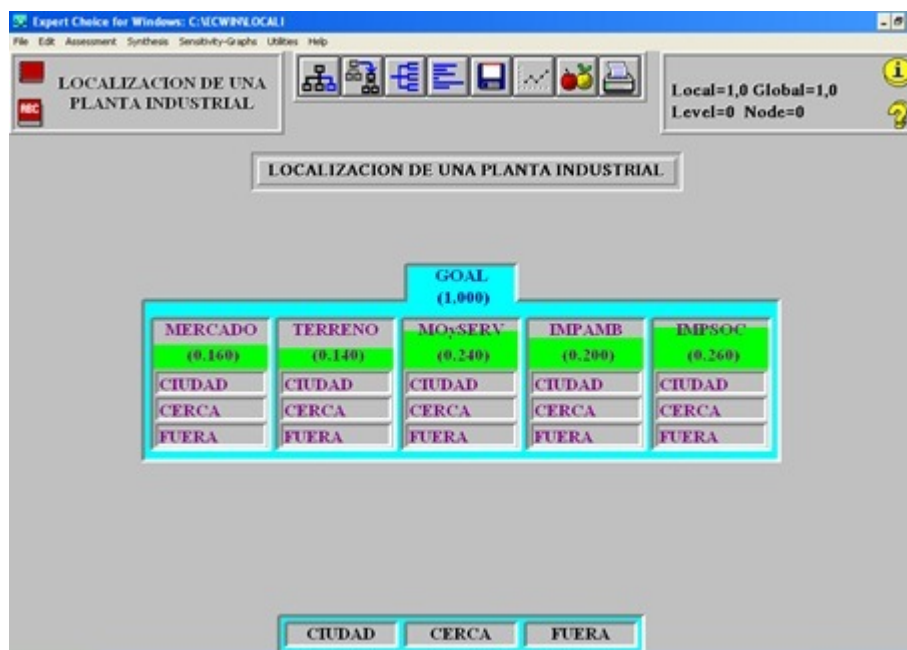


Fig. 1. Apresentação do modelo a otimizar em Expert Choice.

Asociando a los criterios, también se ingresan las alternativas y se hace correr el programa, obteniendo la optimización correspondiente, lo que se muestra en la Figura 2.

Puede verse en la Figura 2 que, de acuerdo a las evaluaciones asignadas, con la combinación de alternativas y criterios, resulta como óptima la alternativa de ubicación C, es decir “fuera de la ciudad”. También puede observarse que para esta alternativa, existe un bajo beneficio en relación a las variables “cercanía al mercado consumidor” y “disponibilidad de mano de obra y servicios”, y por el contrario, existe un mayor beneficio en lo referente a las variables “disponibilidad de terrenos amplios”, “impacto ambiental negativo” e “impacto social negativo”.

En lo referente a las variables “impacto ambiental negativo” e “impacto social negativo”, la interpretación correcta del beneficio es que esta alternativa de localización es la menos perjudicada por los impactos ambientales o dicho de otra manera es la que menos impacta al ambiente o al medio social, lo cual llega a ser determinante por el peso asignado y a su vez es razonable considerando que en los últimos tiempos tiene gran influencia la opinión de la comunidad sobre el impacto ambiental y social que genera un nuevo proyecto.

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

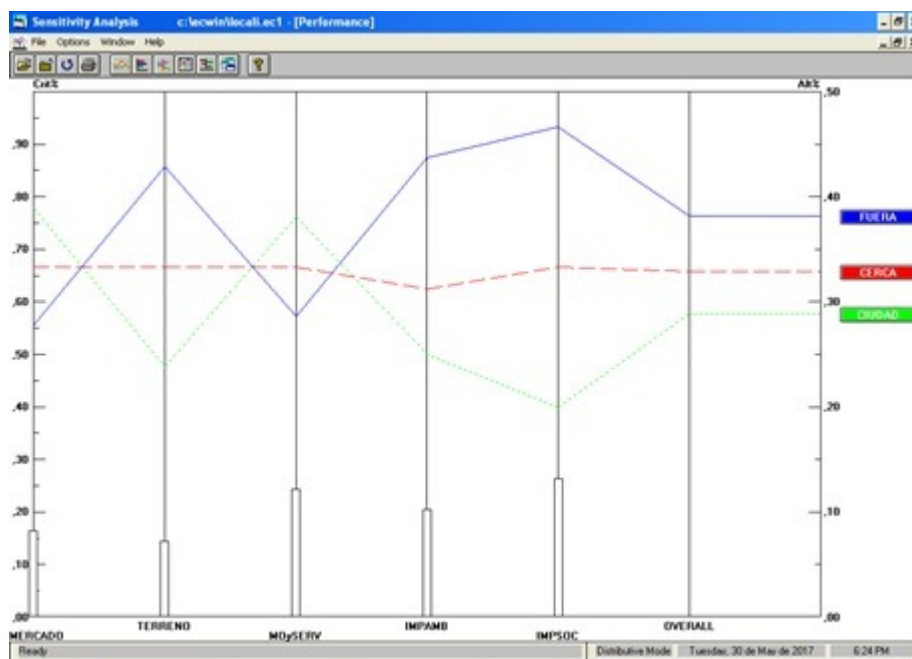


Fig. 2. Resultado de la optimización, considerando alternativas y criterios.

Si bien se ha determinado la localización “zona alejada a la ciudad” como la alternativa más óptima, el proceso se complementa con un análisis de influencia de la importancia asignada a cada variable; es decir un análisis de sensibilidad en función del peso asignado a cada variable. Dicho análisis está contemplado en el software utilizado, lo que se detalla en las figuras siguientes.

En la Figura 3, se muestra la representación del peso asignado a cada variable y el resultado de la optimización, donde puede verse que la alternativa “zona alejada de la ciudad” es la de mayor beneficio respecto a las otras dos.

En la Figura 4 se representa el análisis de sensibilidad considerando el peso asignado a la variable “cercanía al mercado consumidor” que para el caso de estudio es 0,16 y puede verse que por debajo de ese valor no cambia el resultado de la optimización, es decir sigue siendo la localización en “zona alejada a la ciudad” como la alternativa más óptima. A medida que aumenta el peso asignado se observa una leve tendencia de cambio hacia la alternativa de localización en “la propia ciudad”.

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

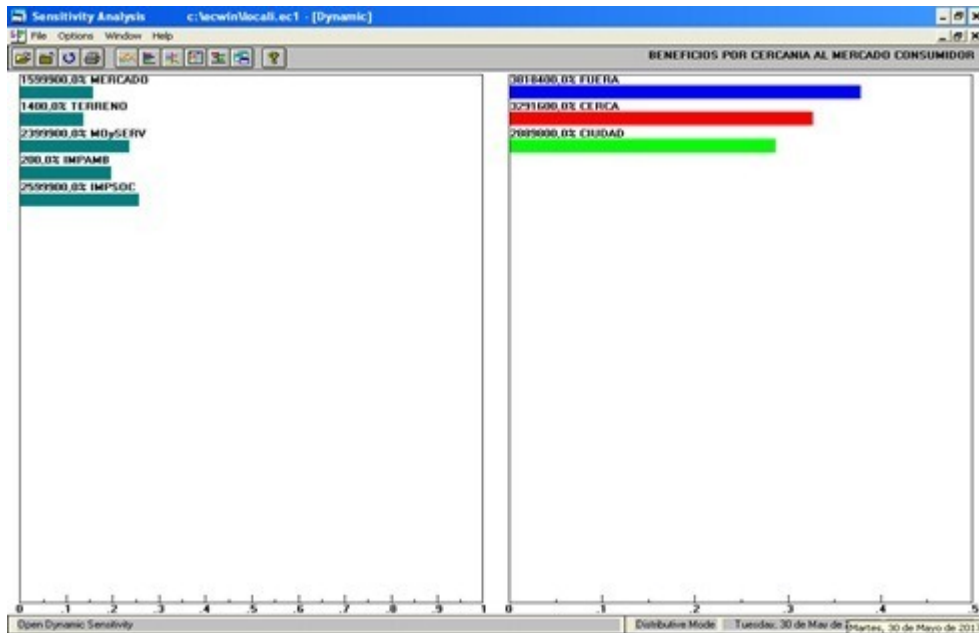


Fig. 3. Análisis de sensibilidad. Peso asignado a cada variable

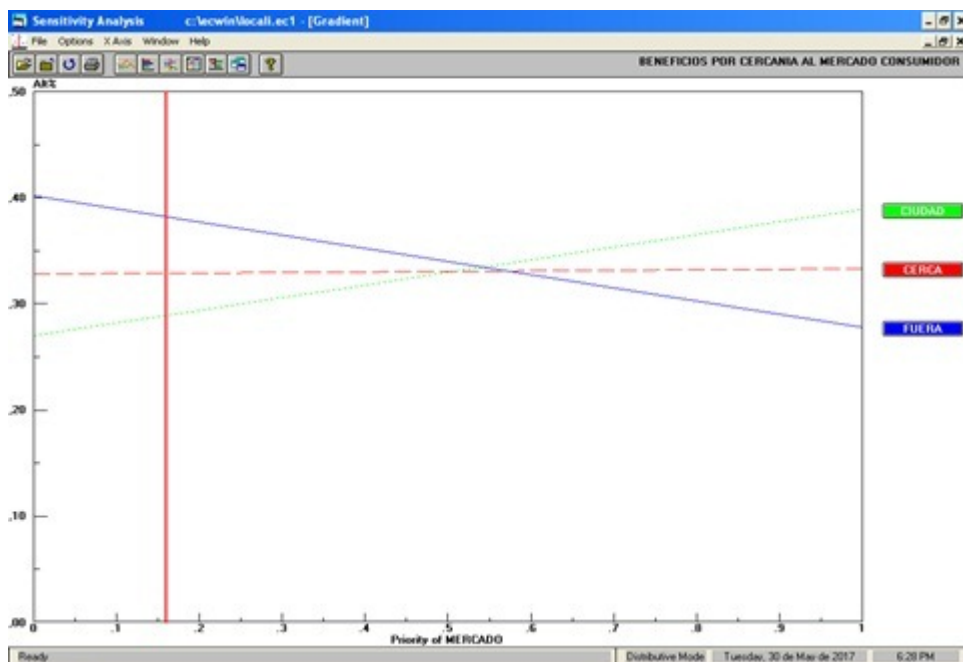


Fig. 4. Sensibilidad según el peso de la variable "cercanía al mercado consumidor"

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

Algo parecido ocurre en el análisis de sensibilidad según el peso asignado a la variable “disponibilidad de mano de obra y servicios” lo que se muestra en la Figura 5.

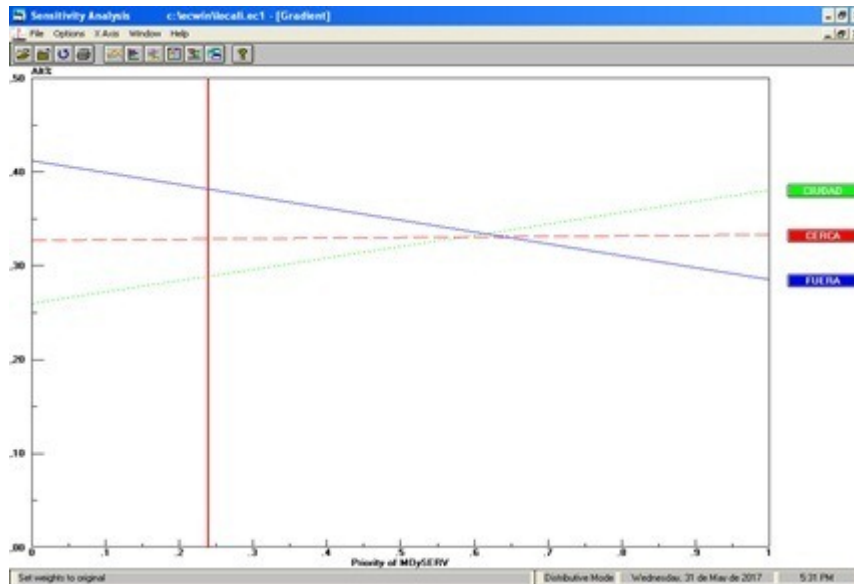


Fig. 5. Sensibilidad según el peso de la variable “disponibilidad de M.Obra y servicios”

Por el contrario, al realizar el análisis de sensibilidad de las otras 3 variables: “disponibilidad de terrenos amplios”, “impacto ambiental negativo” e “impacto social negativo”, al aumentar el peso asignado no hay cambio alguno sobre el resultado de la optimización. En contraposición, solo intensifica con un mayor beneficio a la alternativa de localización en “zona alejada a la ciudad”.

Las Figura 6 muestra el análisis de sensibilidad respecto al peso asignado a la variable “disponibilidad de terrenos amplios”. La Figura 7 hace lo propio con la variable “impacto ambiental negativo” y la Figura 8 con la variable “impacto social negativo”.



**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

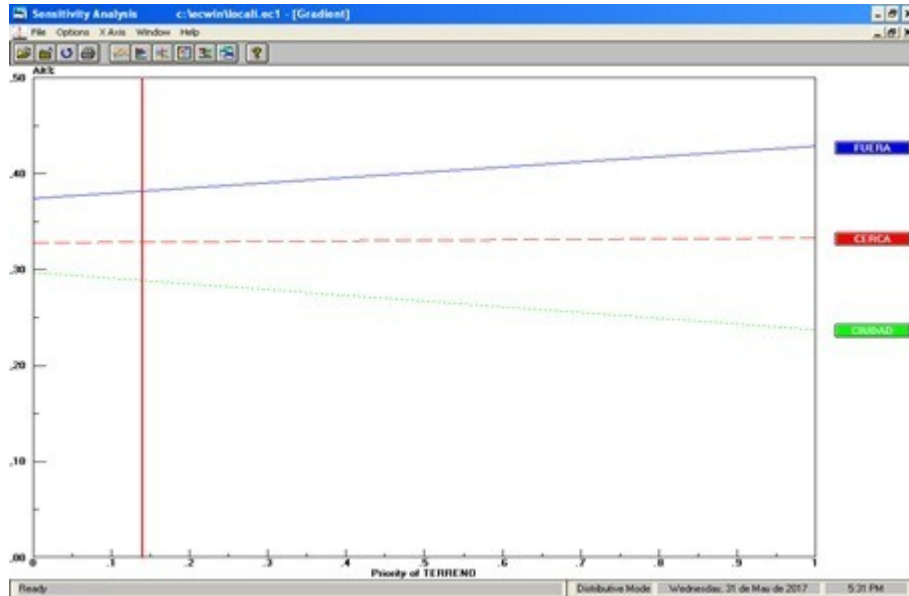


Fig. 6. Sensibilidad según el peso de la variable “disponibilidad de terrenos amplios”

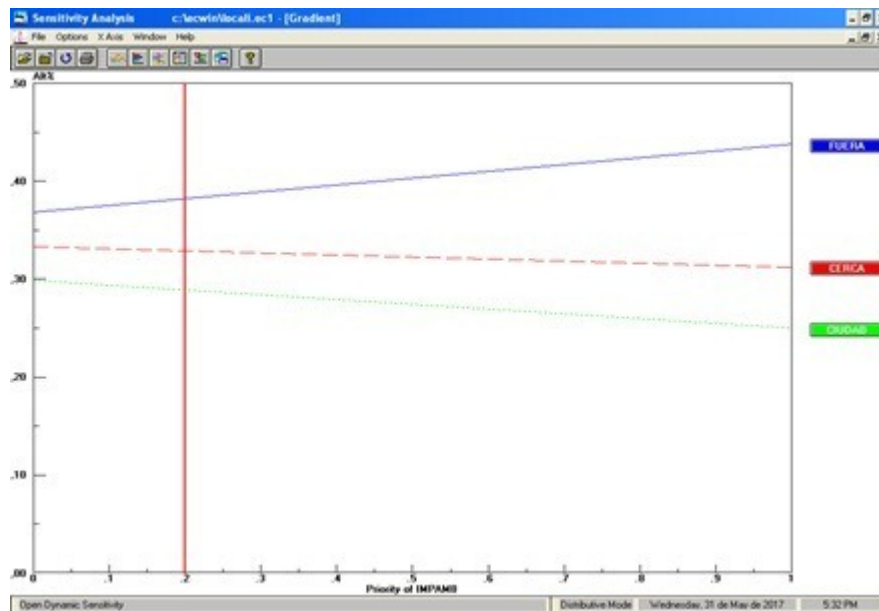


Fig. 7. Sensibilidad según el peso de la variable “impacto ambiental negativo”

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

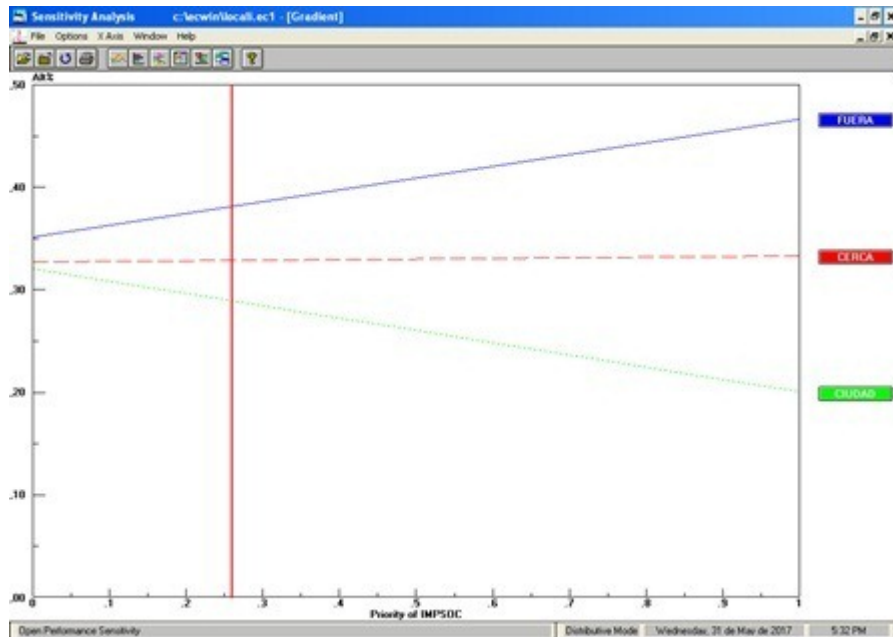
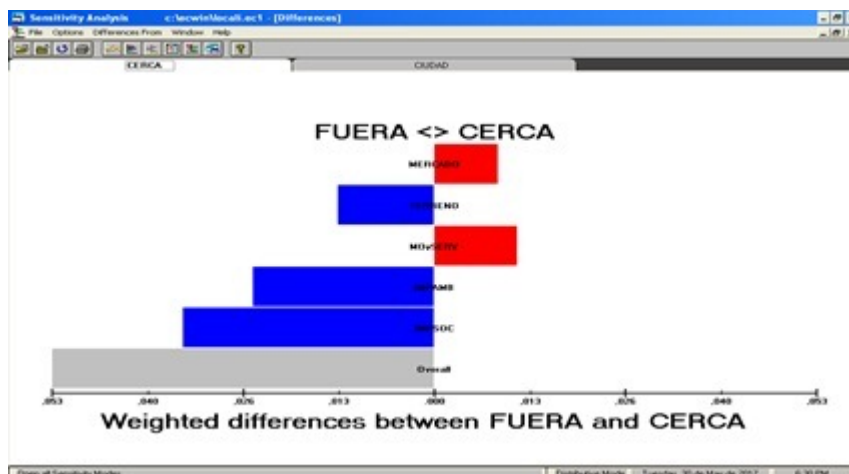


Fig. 8. Sensibilidad según el peso de la variable “impacto social negativo”

Luego del análisis de sensibilidad realizado para las 5 variables, se representa en la Figura 9, solo a modo de mostrar el uso del programa Expert Choice, las variables que juegan a favor de la ubicación en “zona alejada a la ciudad” y “cerca de la ciudad”. Ello es solo a los efectos de visualizar las diferencias entre ambas alternativas.



**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

Fig. 9. Diferencias entre las alternativas en “zona alejada a la ciudad” y “cerca de la ciudad”

## CONSIDERACIONES FINALES

En el presente trabajo, se muestra la aplicación del AHP en un caso de estudio de optimización de una localización industrial, considerando las distintas alternativas y planteando un problema de manera lógica y racional, que contempla y jerarquiza los beneficios en cada situación. Este caso de estudio, permite visualizar la practicidad del uso de esta herramienta, como un aporte para el análisis de los riesgos y la toma de decisiones.

Es importante resaltar que los resultados obtenidos son concordantes con los criterios considerados por cada evaluador, ya que los beneficios y pesos asignados son determinantes, independientemente de que utilicemos o no herramienta informática alguna. En el caso planteado, el impacto social negativo tiene una gran influencia en la determinación de la localización alejada de la ciudad como la más óptima, lo cual es razonable cuando hay sociedades sensibles y desconfiadas de los proyectos industriales en la ciudad o en sus cercanías.

No obstante, a pesar de la practicidad del método y de la gran ayuda del Expert Choice, hay que considerar que solo es una técnica de análisis que ayuda a la decisión, y que estará condicionada a la experiencia y criterio del evaluador que asigna los pesos y beneficios. Sin embargo, puede ser de gran aplicación para problemas más complejos, donde en esas situaciones el uso del Expert Choice muestra que es una herramienta informática que facilita significativamente dicha resolución.

## REFERENCIAS

- Benedetti, C. (1991). Introduction à la gestion des opérations. Éditions Études Vivantes. Canadá.
- Berumen S., Llamazares Domingo F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. Cuad. Adm. [online], vol.20, n.34, pp.65-87. [ISSN 0120-3592].
- Fracasso, L. (2000). Planificación comunitaria y participación en los procesos de decisión: categorías de análisis y argumentos. Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona [ISSN 1138-9796]. Nº 216.
- Martínez Rodríguez E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. Anuario Jurídico y Económico Escorialense, XL(2007) 523-542 / [ISSN: 1133-3677].

**Evento:** XXIV Jornada de Pesquisa - Participante ESTRANGEIRO

Tarcaya, H.R., Arenas A.N., Plaza, G. (2019). Evolution and trends in management systems based on international standards. Impactos das tecnologias nas ciências sociais aplicadas 3. [online]. Vol.3 pp. 108-114. [ISBN 978-85-7247-213-5]. DOI 10.22533/at.ed.135192703. Atena Editora. Brasil.

Terrazas Pastor, R. (2012). Aplicación de la programación matemática a la localización de proyectos. Perspectivas, Año 15 - Nº 29 - 1º semestre 2012. pp. 71-94. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". Cochabamba. Bolivia.

Terrazas Pastor, R. (2012). Preparación y Evaluación de Proyectos: un enfoque sistémico e integral. Ed. Etreus. Cochabamba. Bolivia.

Vargas R. (2008). Análisis de valor agregado en proyectos. Brasport; 4ª Ed. Brasil.