

Estudio Comparativo de Métodos Multicriterio para el análisis de la Localización Sustentable de Parques Industriales Regionales

Marcelo A. Tavella^{1,3}, Ariel Miropolsky^{2,3} y Roxana M. Manera³

¹*Cátedra Ingeniería de las Reacciones Químicas, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina*

²*Cátedra Gestión Institucional II, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina*

³*CIED Centro de Investigación en Estrategias para el Desarrollo, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Córdoba. Argentina*

Fecha de recepción del manuscrito: 23/12/2013

Fecha de aceptación del manuscrito: 12/02/2014

Fecha de publicación: 28/03/2014

Resumen— El presente trabajo se propone realizar un estudio comparativo de dos métodos de análisis multicriterio utilizados para identificar la localización sustentable de cuatro parques industriales ubicados en la provincia de Córdoba, para orientar a quienes elaboren este tipo de estudio. El primero de los métodos estudiados es el del Scoring Normalizado, con el cual se puede identificar sencilla y rápidamente la mejor alternativa en un problema de decisión multicriterio. El segundo de los métodos evaluados corresponde al Proceso Jerárquico Analítico (AHP, Analytic Hierarchy Process), que permite combinar la percepción humana, el interés y la experiencia para priorizar opciones en situaciones complejas; como las presentadas en los cuatro parques industriales estudiados, en las que se empleó el software Expert Choice V11. Como conclusión del análisis comparativo de ambos métodos, se puede apreciar sus ventajas y limitaciones y realizar recomendaciones para aquellos que los apliquen en el proceso de decisión de la localización de un Parque Industrial, que permita una planificación del desarrollo industrial y urbano sustentable en el tiempo.

Palabras clave—Parques industriales, método multicriterio, localización sustentable.

Abstract— This paper proposes a comparative study of two methods of multi-criteria analysis used to identify the sustainable location of four industrial parks in the province of Córdoba, to guide those who develop this type of study. The first of the methods studied is the normalized Scoring, which you can easily and quickly identify the best alternative in multicriteria decision problem. The second method evaluated corresponds to Analytic Hierarchy Process (AHP, Analytic Hierarchy Process) which combines human perception, interest and experience to prioritize choices in complex situations such as the cases presented in the four industrial parks studied, using V11 the Expert Choice software. Concluding the comparative analysis of the two methods could appreciate its advantages and limitations and make recommendations for those who applied in the decision process of locating an Industrial Park which allows for planning of sustainable industrial and urban development in time.

Keywords— Industrial parks, multicriteria method, sustainable location.

INTRODUCCIÓN

Un parque industrial es un conjunto de industrias que se agrupan con el fin de obtener las ventajas de disponer de servicios comunes. Sin embargo, los resultados dependen de un conjunto de factores internos y externos que determinan el desenvolvimiento de dichos desarrollos, por lo que es de esperar que cuando algunos de éstos no

están disponibles en las condiciones necesarias, los logros serán mínimos frente a los altos niveles de inversión realizados, (Iglesias Piña, 2012). Se hace entonces indispensable analizar cada variable a la hora de plantearse la radicación de un parque industrial en una determinada ubicación, teniendo como objetivo el desarrollo sustentable del mismo.

La correcta localización de un Parque Industrial, constituye indudablemente uno de los aspectos fundamentales para alcanzar el éxito o producir su fracaso. Su importancia radica en las características de decisión a largo plazo con carácter permanente de difícil y costosa alteración (Tavella et al, 2008). La selección del

Dirección de contacto:

Marcelo A. Tavella, Av. Vélez Sarsfield 1611, CP 5016 Ciudad Universitaria. Tel.: 0351 – 5986020, marceloandrestavella@gmail.com.

emplazamiento más adecuado desde el punto de vista de la sustentabilidad, es un problema de decisión complejo, el cual debe considerar diferentes factores que ayuden a tal fin. Se deben tener en cuenta “no solo las disponibilidades de los servicios básicos e infraestructura, imprescindibles para las actividades del parque, sino también la accesibilidad del lote, las restricciones normativas en el uso del suelo y consideraciones urbanísticas, ambientales y estéticas del entorno” (Tavella et al, 2011). Estos factores ayudan a lograr una planificación integrada de los recursos y la minimización de los impactos negativos generados por una zona industrial.

En las siguientes secciones se realizará una breve descripción de los cuatro parques industriales ubicados en el interior de la Provincia de Córdoba y se analizarán los factores de localización considerados como los más pertinentes para el estudio de localización sustentable, mediante el uso de dos métodos de decisión multicriterio, ambos basados en lógica difusa con el fin de evaluar sus ventajas y desventajas. El primero de ellos es el de Ponderación Lineal o Scoring (en nuestro caso usaremos el Scoring Normalizado), que permite abordar situaciones de incertidumbre. Es un método intuitivo y sencillo de utilizar y, por ello, ampliamente difundido. El segundo de los métodos es el Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), que se fundamenta en la estructuración de un modelo jerárquico que identifica metas, factores y alternativas, y cuyo funcionamiento matemático se basa en la asignación de pesos o valores obtenidos mediante comparaciones pareadas. El mismo será abordado mediante el uso del software Expert Choice V11, el cual utiliza la lógica del Análisis Jerárquico de Procesos (AHP).

MÉTODOS Y MATERIALES

En esta sección se realizará una descripción de los casos en estudio, de los factores de localización implicados y de los dos métodos utilizados.

Como se ha especificado anteriormente, el material utilizado fueron planillas de cálculo estándar, el software Expert Choice V11 (empleado para ejecutar las operaciones y mostrar los resultados arrojados mediante el método AHP) y los distintos informes, relevamientos y trabajos realizados por los autores mediante convenios específicos con los municipios involucrados.

Descripción de los casos de estudio

El presente trabajo evaluó la factibilidad de localización sustentable de cuatro parques industriales, ubicados en el interior de la provincia de Córdoba, en las localidades de Villa María, Las Varillas, Ordóñez y Monte Buey, aplicando los métodos de Ponderación Lineal Normalizado o Scoring Normalizado (Landa, 2009), y de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP). Este estudio está basado en relevamientos y preevaluaciones realizados entre los años 2005 a 2010, en forma conjunta con los equipos técnicos de los municipios de las localidades mencionadas y los autores del presente trabajo, de donde surgieron los factores de localización más relevantes a tener en cuenta en la localización de parques industriales, así como también la determinación de las posibles zonas de localización. De tal manera se definieron diez factores de localización, a saber:

accesos y vías de comunicación, aspectos urbanísticos, dimensiones y disponibilidad del inmueble, zonificación y uso del suelo, niveles y desagües pluviales, gas natural, agua potable y de uso general, energía eléctrica, telefonía y por último red cloacal.

A continuación se realizará una breve descripción de cada uno de los casos estudiados, identificando las posibles zonas de localización:

Villa María. – Características y zonas de localización: Villa María es una ciudad del centro de la Provincia de Córdoba, Argentina, cabecera del Departamento General San Martín. Es la tercera en importancia de la provincia, luego de la Capital y la ciudad de Río Cuarto. Cuenta con una población de 79.946 habitantes en el municipio de Villa María según el registro del Censo Provincial de Población 2010 (Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba, 2010). Su localización se encuentra en plena Pampa Húmeda, ubicada a los 63° 16' O y a los 32° 25' S, a orillas del Río Tercero o Ctlamochita y a 146 km al sudeste de la ciudad de Córdoba. Tiene su núcleo original en la ribera izquierda (norte) del mencionado Río Tercero aunque en el transcurso del siglo XX se ha integrado con la ciudad de Villa Nueva ubicada en la ribera sur.

La temperatura media anual es de 16.5 °C y resulta característica de la zona central de la pradera pampeana con una amplitud térmica aproximada del mes más cálido, enero, y el más frío, julio, de 14.5 °C.

Villa María se halla dentro de la llanura pampeana donde no existen plegamientos y, por lo tanto, no se registran accidentes orográficos. Su altura con respecto al nivel del mar es de 196 m y el suelo registra una suave pendiente con declive hacia el sudeste.

En cuanto a su actividad económica y su estructura productiva, Villa María al encontrarse en un área de agricultura y ganadería intensivas, con importante producción de cereales, frutales y oleaginosas (soja, trigo, maíz, girasol, avena, cebada, centeno), ha devenido en un importante centro económico subregional en el cual se han desarrollado industrias y servicios relacionados con las actividades agropecuarias, ya que la ciudad es el centro de una de las principales cuencas lecheras de Argentina, así como industrias de apoyo a la actividad agraria (agromecánica, agroquímicos). Aún así, la industria en esta ciudad se ha diversificado a partir de la segunda mitad del siglo XX, sumándose las industrias alimentarias, metalmeccánicas livianas, textiles, del vidrio, cementeras y químicas no específicamente ligadas al agro.

En la actualidad, según el Registro Industrial de la Provincia, (Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba, 2013), funcionan 245 industrias en la ciudad de Villa María. Los sectores económicos más relevantes son el comercio minorista, el cual aporta el 63% de la actividad económica, los servicios con un 24% y la industria con un 10%. De acuerdo a información brindada por el municipio, en los últimos 5 años los sectores que más han crecido son la industria, la construcción y el comercio.

Por otro lado cabe aclarar, que en cuanto a la promoción de actividades productivas, la ciudad de Villa María participa del Régimen de Promoción Industrial de la Provincia de Córdoba y se encuentra incluida en la “Zona

B” del Régimen de Promoción y Desarrollo Turístico de la Provincia de Córdoba; además cuenta con promoción de exportaciones a través de la Agencia Pro Córdoba. En cuanto al Régimen Municipal de Promoción Industrial quedan eximidos total o parcialmente del pago de diversos tributos, los establecimientos industriales, comerciales (exceptuando supermercados e hipermercados) y/o de servicios que proyecten el inicio de una actividad o bien la construcción de nuevas instalaciones, o ampliaciones de las existentes en una superficie que exceda los 400 m² y que generen y ocupen como mínimo 10 nuevos puestos de trabajo.

En el presente trabajo, para el estudio de localización del Parque Industrial Villa María se consideraron tres zonas de la Ciudad: Hacia el Norte sobre la Ruta Provincial N° 158, Al Este entre la Ruta Nacional N° 9, Ruta Provincial N° 2 y la Av. Gral. Savio. Al Oeste sobre la Ruta Nacional N° 9. En ellas, se determinaron siete localizaciones factibles, identificadas como 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2 y 3, que fueron evaluadas respecto a los diez factores de localización anteriormente citados.

Las Varillas. – Características y zonas de localización: Las Varillas es una ciudad del este de la provincia de Córdoba, Argentina, en el departamento San Justo, ubicada en la pedanía de Sacanta. Dista 602 km de la Capital Federal; 320 km del puerto fluvial de Rosario, 165 km de la ciudad de Córdoba y 83 km del puerto seco de Villa María (Córdoba). La ciudad es atravesada por dos rutas: a) la Ruta Nacional 158, que la vincula con países limítrofes: al oeste, con Chile y al este, con Brasil y Uruguay, y b) la Ruta Provincial Nro. 13, que la vincula con la capital de la provincia y con la ciudad de Rosario.

Las coordenadas son 31°52’S y 62°43’O. Se ubica a 136 m sobre el nivel del mar y se apoya en un suave declive que se orienta hacia el Río Paraná

Según el Censo Provincial del año 2010, (Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba, 2010), la ciudad de Las Varillas tiene una población de 16.316 habitantes en su mayoría descendientes de inmigrantes europeos.

En cuanto a su estructura productiva y en función a los datos obtenidos en el Registro Industrial de la Provincia, (Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba, 2013), en Las Varillas se registran un total de 79 industrias, donde la principal actividad productiva es aquella relacionada a las maquinarias agrícolas, más del 30% de las industrias realizan este tipo de actividad. La construcción y el comercio son las actividades económicas que le siguen en orden de prioridad.

La promoción de actividades productivas es una política efectiva en la localidad. Se desarrollan permanentes programas de capacitación local de mano de obra según las necesidades de las industrias, beneficiándose de ello todas las empresas de la localidad.

La ciudad de Las Varillas participa del Régimen de Promoción Industrial de la Provincia de Córdoba.

Para el estudio de localización del Parque Industrial Las Varillas se consideraron tres zonas de la Ciudad: Hacia el Norte entre la Ruta Provincial N° 13 (al Arañado) y Ruta Provincial N° 3, al Este entre la Ruta Nacional N° 158 (hacia San Francisco) y la Ruta Provincial N° 13 (hacia

Alicia), al Sur entre la Ruta Nacional N° 158 (hacia Villa María) y Ruta Provincial N° 13 (hacia Alicia). En este caso se determinaron ocho localizaciones factibles, identificadas como A, B, C, D, E, F, G y H, las cuales fueron evaluadas respecto a los factores antes mencionados.

Monte Buey. – Características y zonas de localización: Monte Buey es un pueblo que se encuentra ubicado sobre la Ruta Provincial RP 6 en el Departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba, Argentina y en la intersección del paralelo 32° 25’ S y 62° 27’ O. Es la Capital Nacional de la Siembra Directa.

Está asentado sobre la llanura pampeana a una altura de 110 m sobre el nivel del mar. Tiene 65.000 ha y en su baricentro se encuentra la zona urbanizada que cubre 300 ha.

Según el Censo Provincial del año 2010, (Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba, 2010), la ciudad de Monte Buey cuenta con una población de 6.285 habitantes.

En función a los datos obtenidos en el Registro Industrial de la Provincia, (Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba, 2013), en Monte Buey se registran un total de 20 industrias, donde se ven una diversidad muy grande de rubros. Los mayores porcentajes se los llevan la fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal, con un 15%, la fabricación de productos metálicos para uso estructural, con 15%, y la elaboración de aceites y grasas vegetales sin refinar, aceite virgen y subproductos, 10%. El resto del porcentaje lo completan las empresas minoristas de rubros panadería, impresión, fabricación de helados, entre otros.

En el estudio de localización del Parque Industrial Monte Buey, para la preevaluación realizada se tuvo en cuenta la Ordenanza N° 31/84 (Código de Urbanización) y la Ley N° 9625 (Radio Municipal de Monte Buey). Para el análisis se consideraron cuatro zonas de la localidad y en ellas, se determinaron cinco localizaciones factibles, identificadas como 1, 2, 3A, 3B y 4, que se analizaron en función de los factores mencionados.

Ordóñez. – Características y zonas de localización: Ordóñez es una localidad situada en el departamento Unión, provincia de Córdoba, Argentina. Se encuentra situada a aproximadamente 260 km de la ciudad de Córdoba, sobre la Ruta provincial N° 6 a 32°50S y 62°52’O. Según el Censo Provincial del año 2010, (Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba, 2010), la población de Ordoñez es de 2.613 habitantes.

El clima de la localidad es templado con estación seca, registrándose unas precipitaciones anuales de 950 mm, aunque en los últimos años este número ha aumentado, provocando numerosas inundaciones nocivas para la agricultura.

La localidad surgió con la construcción del ferrocarril y se vio seriamente afectada tanto económica como socialmente cuando éste dejó de pasar. Cuenta con varias empresas industriales que son el motor de desarrollo de la localidad pasando de ser una comunidad agrícola a ser una comunidad industrial.

En función a los datos obtenidos en el Registro Industrial de la Provincia, (Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba, 2013), en Ordoñez se registran un total de 20

industrias, las principales actividades económicas de la localidad son la agricultura (soja, maíz y trigo) y la industria estrechamente relacionada con el campo, sobre todo se destaca el rubro de elaboración aceites y grasas vegetales sin refinar, aceite virgen y subproductos, 28,57% del total de industrias, y elaboración de alimentos preparados para animales, igual porcentaje al anterior.

Para el estudio de localización del Parque Industrial Ordóñez se consideraron cuatro fracciones de terreno localizadas hacia el Este a ambos lados de la Ruta Provincial N° 6, identificadas como A, B, C y D.

Descripción de los factores de localización

Con el fin de aportar mayor claridad a la importancia dada a los diez factores considerados en este estudio, se realizará una breve descripción de cada uno, así como también se hará mención de la situación considerada como ideal en cada caso para el establecimiento de un parque industrial. En función de ello, entenderemos por *accesos y vías de comunicación* a la facilidad para acceder al predio del futuro parque industrial. Depende fundamentalmente de las rutas o caminos que rodean el lugar. Se considera como ideal la posibilidad de acceso mediante dos rutas diferentes, que permitan el correcto ingreso y egreso al futuro parque, tanto de los camiones de carga como del personal.

Aspectos urbanísticos hace referencia a la preponderancia de vientos que eviten que los efluentes gaseosos lleguen y perjudiquen la ciudad donde se instala el parque. Se considera como ideal que los vientos dominantes no lleven los posibles efluentes gaseosos contaminantes a la ciudad.

Dimensiones y disponibilidad del inmueble se refiere al tamaño del predio donde se instalará el futuro parque y además a la facilidad para adquirir el mismo por parte del organismo que vaya a desarrollar las obras. Se considera que para el establecimiento de un parque industrial, lo ideal es un terreno de 65 Ha, que pertenezcan al Estado.

Zonificación y uso del suelo es considerada como la variable más importante en la radicación de un parque industrial, ya que de existir restricciones en el uso del suelo podrían pasar varios años antes de poder levantarlas. Hay que tener en cuenta que aquí, se radicarán muchas empresas de diferentes rubros, por lo tanto lo que se busca es colocar al mismo en una zona en donde se desarrollen actividades industriales, preferentemente dentro del ejido urbano. Lo ideal es que el predio se encuentre en una Zona Industrial, dentro del ejido urbano.

Niveles y desagües pluviales hace referencia a la capacidad del predio y de los accesos al mismo para desagotar el agua proveniente de las lluvias. Revertir este factor desfavorable implicaría altos niveles de inversión en movimientos de tierra e infraestructura, y por ello se consideran ideales aquellos predios que se encuentren en zonas que no posean problemas de inundabilidad.

Gas natural se refiere a la disponibilidad de gas natural, a través de un ramal de gas. Si bien es un aspecto importante, la no existencia de este en la cercanía no impediría directamente la radicación del parque. Se considera ideal la presencia de un ramal de gas natural cercano que posea un mínimo de 4" de diámetro y una presión de 25 Kg/cm².

Agua potable y de uso general se refiere a la disponibilidad y acceso del predio al agua potable y agua para uso general. Lo ideal sería que el predio disponga de capacidad de provisión de agua potable a través de la red pública o en todo caso, por disponibilidad de agua.

Energía eléctrica es la disponibilidad y acceso a una red de energía eléctrica. Lo óptimo sería que el lugar se encuentre cercano a una red de media tensión (13,2 Kv), para proveer a las futuras empresas del parque.

Telefonía se refiere a la capacidad de acceso a un sistema de telefonía fija e Internet. Si bien es un aspecto importante, actualmente se pueden acceder a servicios de telefonía e Internet en forma inalámbrica. La situación ideal sería aquella donde pase por los alrededores del predio una línea de telefonía fija y red de fibra óptica.

Red cloacal hace referencia a la cercanía de una red cloacal que pueda ser utilizada por el futuro parque industrial. No constituye un aspecto que no fuera salvable mediante futuras obras. La situación ideal es aquella donde en los alrededores del predio evaluado se encuentre una red cloacal que pueda conectarse directamente al sistema del futuro Parque Industrial.

Descripción del Método de Ponderación Lineal Normalizado o Scoring Normalizado (SN)

Es un método con una fundamentación teórica ortodoxa y directa, es decir, según la teoría de la utilidad y la teoría del valor, permite que un individuo pueda elegir entre un conjunto de alternativas disponibles de forma que maximice su satisfacción. Ello implica que conoce cada una de las alternativas y es capaz de evaluarlas, definiendo una función de valor (determinística) o una función de utilidad (probabilística) que represente sus preferencias. Además, supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad. Es completamente compensatorio, y puede resultar dependiente de la asignación de pesos a los factores o de la escala de medida de las evaluaciones (Serrano Barquín et al, 2011).

En el presente trabajo se tratará de elegir la alternativa idónea al objetivo planteado de una forma justificada. Para ello se realizará un análisis multicriterio, teniendo en cuenta los factores expuestos y alternativas anteriormente descriptas. Dichos factores se valorarán para cada alternativa expuesta mediante apreciaciones cualitativas traducidas en cifras numéricas entre 1 y 10, contemplando el número 1 la situación más baja o más desfavorable y el número 10 la situación más alta o favorable y encontrándose el número 5 con la expresión de una situación intermedia, para cada uno de los efectos. Como se menciono anteriormente, para este trabajo consideramos conveniente utilizar método de SN (Tavella et al, 2008), cuya ecuación polinómica es:

$$C_i = \frac{10 \sum_{i=1}^n v_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (1)$$

Donde $1 \leq C_i \leq 100$ es la calificación alcanzada por cada localización propuesta, $1 \leq v_i \leq 10$ corresponde a las

valoraciones de las alternativas y $1 \leq p_i \leq 10$ es el coeficiente de ponderación de cada uno de los factores de localización analizados. De esta forma, las puntuaciones obtenidas en la calificación, corresponden a un porcentaje de la localización ideal (100%).

Descripción del Método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP)

El Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) es una herramienta de apoyo al sistema de decisiones para resolver problemas complejos de criterios múltiples, que fue introducido y desarrollado por el Dr. Thomas Saaty, de la Universidad de Pennsylvania, en la década de 1970 convirtiéndose en la última década, en uno de los métodos más utilizados para la solución de problemas multicriterio.

El AHP permite organizar de forma eficiente y gráfica toda la información concerniente a un problema mediante la construcción de un modelo jerárquico, identificando objetivo del problema, factores y alternativas, de manera tal de poder descomponerlo y analizarlo por partes a fin de visualizar los efectos producidos por los cambios en los niveles jerárquicos y sintetizarlos, proporcionando la ventaja de poder incorporar en el análisis aspectos cualitativos que suelen quedarse excluidos debido a su dificultad para ser medidos, y que en algunos casos pueden resultar relevantes (Saaty y Vargas, 2012).

Requiere que quien tome las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los factores de análisis y que luego especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada factor, (Roche y Vejo, 2005).

Una vez construido el modelo jerárquico, el decisor comienza a priorizar los elementos en cada nivel de la jerarquía, realizando la comparación pareada entre los factores de análisis, en término de la meta global, y luego, entre las alternativas involucradas en el problema respecto de cada uno de los factores analizados, con el fin de asignarle un valor (prioridad o "peso") a cada uno de los factores intervinientes, de acuerdo a una escala de preferencia (Tabla 1) que permite incorporar al proceso de toma de decisiones la subjetividad, la experiencia y los conocimientos de forma intuitiva (Toskano Hurtado, 2005).

Como resultado del proceso anterior se obtendrán sendas matrices cuadradas, conteniendo las comparaciones entre cada factor de análisis, en orden de preferencia de acuerdo a la meta global, y luego, por cada factor, una matriz cuadrada representando las comparaciones entre las alternativas, concluido lo cual, comienza lo que se denomina el proceso de sintetización, que consiste en el cálculo de valores y vectores característicos para cada una de las matrices cuadradas, obteniéndose finalmente un vector de prioridades global de cada alternativa que nos indicará el nivel de preferencia de cada una de ellas en función de la subjetividad del decisor.

Cabe aclarar que el decisor, al momento de realizar las comparaciones pareadas y asignar prioridades a los elementos, puede efectuar juicios erróneos o inconsistentes.

Asumiendo que la consistencia perfecta es muy difícil de obtener, ya que se trata de juicios subjetivos, el AHP nos ofrece un método para medir el grado de consistencia entre

las opiniones pareadas que proporciona el decisor, pudiendo saber si ésta es aceptable o si es necesario reconsiderar los juicios antes de continuar con el proceso de decisión.

TABLA 1: ESCALA DE PREFERENCIA. FUENTE: SAATY Y VARGAS, 2012

Planteamiento verbal de la preferencia	Asignación Numérica
Igualmente preferible	1
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Moderadamente preferible	3
Entre moderadamente preferible y fuertemente preferible	4
Fuertemente preferible	5
Entre fuertemente preferible y muy fuertemente preferible	6
Muy fuertemente preferible	7
Entre muy fuertemente preferible y extremadamente preferible	8
Extremadamente preferible	9

Por último, corresponde mencionar el análisis de sensibilidad, que permite visualizar cambios en el ordenamiento de las alternativas respecto a posibles alteraciones en la importancia otorgada a los factores de análisis, es decir, responde con bastante precisión a la pregunta: ¿Qué pasa si...?. Esto resulta de suma utilidad en aquellos casos en los que se requiere volver a aplicar el AHP porque cambió algún factor en la situación problemática analizada, evento que puede ocurrir en el corto o mediano plazo, debido a que el proceso de toma de decisión es un proceso dinámico y requiere ser ajustado y revisado en el tiempo.

RESULTADOS

A continuación abordaremos las siete etapas del método SN mediante su aplicación para la determinación de la localización más sustentable del primero de los parques industriales (Parque Industrial Villa María).

Localización Parque Industrial Villa María con SN

Como primera etapa del método se identifica el objetivo principal del problema, que en nuestro caso será: "determinar la localización más sustentable para el parque industrial Villa María." En la segunda etapa se trata de identificar las alternativas posibles. En este caso son: 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2 y 3. La tercera etapa, consta de determinar los factores de localización a emplear en la toma de decisión. En la etapa número cuatro se asigna la importancia de cada uno de los factores de localización mediante el empleo de una ponderación en una escala de 10 puntos (escala de orden). La asignación de ponderaciones a los factores de localización para el Parque Industrial Villa María se presenta a continuación en la Tabla 2.

La quinta etapa consta de establecer el ranking de satisfacción para cada alternativa empleando nuevamente una escala de 10 puntos.

El ranking de satisfacción de cada factor de localización para cada alternativa propuesta se representa a continuación, en la Tabla 3.

TABLA 2: CUADRO DE ASIGNACIÓN DE PONDERACIONES - PARQUE INDUSTRIAL VILLA MARÍA

Variables	Ponderadores (p _i)
Accesos y Vías de Comunicación	9
Aspectos Urbanísticos	9
Dimensiones y Disponibilidad del Inmueble	9
Zonificación y Uso del suelo	10
Niveles y Desagües Pluviales	7
Gas Natural	4
Agua Potable y de Uso General	6
Energía Eléctrica	6
Telefonía	3
Red Cloacal	4

TABLA 3: MATRIZ DE SELECCIÓN – PARQUE INDUSTRIAL VILLA MARÍA

Factores de Localización (p _i)	Localizaciones Propuestas (v _j)						
	1A	1B	1C	1D	1E	2	3
Accesos y Vías de Comunicación	7	10	8	6	9	7	9
Aspectos Urbanísticos	10	10	10	10	10	6	3
Dimensiones y Disponibilidad del Inmueble	3	8	8	6	9	8	7
Zonificación y Uso del suelo	6	10	10	10	3	8	4
Niveles y Desagües Pluviales	10	10	4	10	10	10	10
Gas Natural	10	8	5	5	9	4	8
Agua Potable y de Uso General	6	6	6	6	6	6	6
Energía Eléctrica	10	10	10	7	8	10	3
Telefonía	10	10	6	10	8	8	3
Red Cloacal	3	3	3	3	5	3	3

En la etapa número 6 se calcula el Score Normalizado para cada alternativa utilizando la ec.(1), obteniéndose las calificaciones finales para cada alternativa propuesta, lo que se puede apreciar en la Tabla 4

TABLA 4: CUADRO DE CALIFICACIONES – PARQUE INDUSTRIAL VILLA MARÍA

Localizaciones propuestas (v _j)	Calificación
1 ^a	72,84
1B	88,36
1C	75,82
1D	75,82
1E	77,01
2	72,69
3	62,39

El método finaliza con el ordenamiento de las alternativas en función del Score obtenido. De esta última etapa surge con claridad que de las localizaciones propuestas para el futuro Parque Industrial de Villa María, la identificada como 1B se destaca sobre las demás con una calificación del 88,36% del valor óptimo. Así mismo, se evidencia como menos adecuada la localización denominada 3, pues su calificación alcanza solamente al 62,39%. Por lo cual se recomienda seleccionar al predio 1B para la localización del Parque Industrial.

Localización Parque Industrial Las Varillas con SN

Para la localización del Parque Industrial Las Varillas se siguió el mismo procedimiento que para el Parque

Industrial Villa María. La calificación obtenida mediante el cálculo del SN (ec.(1)), para cada una de las alternativas de localización propuestas, se aprecia en el siguiente cuadro de calificaciones (Tabla 5).

TABLA 5: CUADRO DE CALIFICACIONES – PARQUE INDUSTRIAL LAS VARILLAS

Localizaciones propuestas (v _j)	Calificación
A	63,00
B	53,50
C	73,33
D	69,83
E	63,83
F	77,83
G	64,33
H	64,83

Del análisis del cuadro de calificaciones surge con claridad, que de las localizaciones propuestas para el futuro Parque Industrial de Las Varillas, las identificadas como F y C se destacan sobre las demás con una calificación del 77,83% y 76,33% del valor óptimo, respectivamente.

Así mismo, se evidencia como menos adecuada la localización denominada B, pues su calificación alcanza solamente al 53,50%.

Localización Parque Industrial Monte Buey con SN

Siguiendo el mismo procedimiento, en este caso se analizaron cinco localizaciones factibles, identificadas como predios 1, 2, 3A, 3B y 4. Luego se realizó el cálculo la matriz de selección con el ranking de satisfacción para cada localización propuesta, seguida por el cálculo del SN, el cual se puede observar en la Tabla 6.

TABLA 6: CUADRO DE CALIFICACIONES – PARQUE INDUSTRIAL MONTE BUEY

Localizaciones propuestas (v _j)	Calificación
1	75,00
2	77,94
3A	87,79
3B	80,73
4	74,41

Del análisis del cuadro de calificaciones, surge con claridad, que de las localizaciones propuestas para el futuro Parque Industrial de Monte Buey, la identificada como 3 se destaca sobre las demás, siendo la fracción de terreno denominada como 3A, la más adecuada con una calificación del 87,79 % del valor óptimo. Así mismo, se evidencian como menos adecuadas las localizaciones denominadas 4 y 1, pues sus calificaciones alcanzan solamente el 74,41 % y el 75,00 % respectivamente.

Localización Parque Industrial Ordoñez con SN

Para determinar la localización sustentable del Parque Industrial Ordoñez se consideraron cuatro localizaciones factibles, identificadas como A, B, C y D. Al igual que en los casos anteriores, mediante el cálculo del SN se

determinó la calificación para cada una de las alternativas propuestas, las que están representadas en la Tabla 7.

TABLA 7: CUADRO DE CALIFICACIONES – PARQUE INDUSTRIAL ORDÓÑEZ

Localizaciones propuestas (v_i)	Calificación
A	73,19
B	81,01
C	74,93
D	84,49

Del análisis de los resultados obtenidos se evidencia como la más adecuada la localización denominada como D, pues su calificación alcanza al 84,49 % y la menos adecuada, la identificada como A con el 73,19 % del óptimo. No obstante ello, todas las calificaciones son elevadas y no se observa una diferencia muy significativa entre las calificaciones obtenidas por las cuatro localizaciones propuestas, lo que evidencia que las cuatro son factibles para la radicación de un Parque Industrial.

A continuación se analizará la localización de los cuatro parques industriales en estudio, ahora bajo la lógica del AHP, mediante el uso del software Expert Choice V11.

Localización Parque Industrial Villa María con AHP

Siendo la meta global “determinar la localización más sustentable del Parque Industrial Villa María” se utilizaron iguales factores y alternativas que en el método SN, procediéndose a realizar las comparaciones pareadas entre los factores de análisis con el fin de asignar la ponderación correspondiente a cada uno, de lo cual surge la matriz de comparaciones de los factores de localización representada en la Fig. 1.

Cada celda de la matriz visualizada lleva asociada dos criterios, a los cuales mediante su comparación se les fue asignando un valor según se estableció la importancia de uno sobre otro, respecto a la meta fijada.

Por ejemplo, en la comparación de “Accesos y vías de comunicación” con “Niveles de desagües pluviales”, según la escala de preferencia (Tabla 1) descripta anteriormente y ateniéndonos a la subjetividad del decisor, se estableció un valor de 3, es decir que Accesos y vías de comunicación, es “moderadamente más importante” que los “Niveles de desagües pluviales” para lograr la mejor localización del Parque Industrial.

Se observa en ella que aparecen valores en rojo, por ejemplo el valor “3” correspondiente a la comparación de los criterios “Gas natural” y “Agua potable”.

En este caso se interpreta que la importancia asignada a “Gas natural” es inversamente moderada respecto de “Agua potable” para la consecución de la mejor localización del parque industrial, según la escala de preferencia.

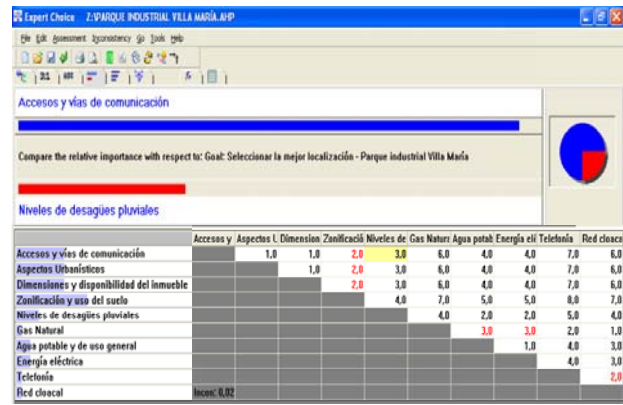


Fig. 1: Matriz de comparación de factores de localización respecto del objetivo

Como resultado final del proceso de sintetización del AHP, se obtuvo un vector de prioridades, el cual contiene las valoraciones finales asignadas a cada factor de localización respecto a la meta global. Posteriormente, se realizó el mismo proceso, pero comparando alternativas respecto de cada factor de localización, del que surge una matriz de comparaciones por cada uno de los factores intervinientes y luego los vectores de prioridades correspondientes a cada matriz. Con estos últimos y con el vector de prioridad obtenido inicialmente, se obtiene el resultado final que se expresa en forma gráfica en la Fig. 2.

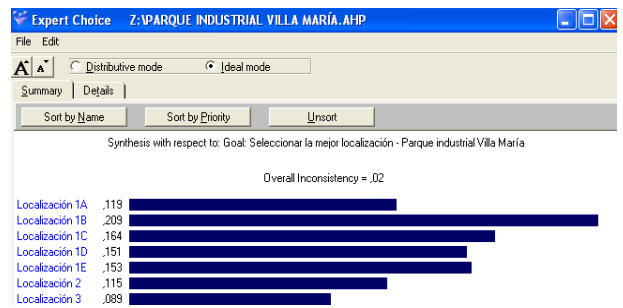


Fig. 2: Resultados del análisis – Parque Industrial Villa María

Los datos numéricos obtenidos del análisis empleando AHP, responden a una totalidad unitaria, es decir la suma de los valores obtenidos del proceso de sintetización para cada alternativa de localización debe ser igual a 1.

Aquí se puede observar claramente que la mejor opción es la localización 1B con un valor de 0,209, en segundo lugar la opción 1C, en tercero la opción 1E, por poca diferencia, le sigue la opción 1D, luego la opción 1A, 2 y 3 en ese orden.

Localización Parque Industrial Las Varillas con AHP

Mediante el uso del software Expert Choice V11 y realizando los mismos pasos efectuados anteriormente se logra establecer que la región mas sustentable para la radicación del Parque Industrial Las Varillas es la localización F (0,168), en tanto que la menos adecuada fue la identificada como localización B (0,008).

Localización Parque Industrial Monte Buey con AHP

Repitiendo los pasos realizados anteriormente se pudo determinar con claridad que la localización más sustentable es la identificada como localización 3A (0,257), en tanto que la menos favorecida es la localización 1 (0,119).

Localización Parque Industrial Ordoñez con AHP

Luego de efectuar el proceso de análisis jerárquico se pudo apreciar que las opciones D y B, (0,304 y un 0,321 respectivamente), fueron significativamente mejores para el desarrollo sustentable de un parque industrial, que las opciones C y A, (0,192 y un 0,183 respectivamente).

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Del estudio comparativo de los métodos aplicados a los parques mencionados, se logra apreciar sus ventajas y limitaciones.

Según ambos métodos, para el Parque Industrial Villa María la mejor localización es la 1B, para el Parque Industrial Las Varillas, la localización más sustentable es la opción F, en tanto que para el Parque Industrial Monte Buey, la mejor localización respecto a otras cuatro opciones, corresponde a la región 3A y en el caso del Parque Industrial Ordoñez, la localización más sustentable es la D.

En relación al estudio realizado, se observa que los resultados obtenidos por ambos métodos, si bien numéricamente difieren, concuerdan en cuanto a la mejor decisión a tomar en la elección de la localización más sustentable de los parques industriales. Así mismo, también son coincidentes acerca de cual es la localización menos favorecida para tal radicación. Sin embargo observamos que, cuando los valores de las calificaciones de cada alternativa propuesta están muy próximos, puede haber algunas diferencias en la escala de ordenamiento final, obtenida por uno y otro método. Esto se explica en el grado de subjetividad que ambos métodos presentan.

Con base a lo observado y teniendo en cuenta la cantidad de factores de localización y alternativas considerados en este estudio, la aplicación del AHP resulta compleja debido al importante número de cálculos a realizar, lo que hace imprescindible el uso de un software específico a efectos de evitar el riesgo de alcanzar resultados erróneos. Por lo que para un estudio realizado con una gran cantidad de elementos a evaluar y combinar como el presente, resulta más conveniente el uso del método del SN, que permite arribar a similares resultados de manera muy sencilla, utilizando simplemente una planilla de cálculo estándar.

Cabe aclarar que la afirmación precedente es válida cuando se trata del mismo equipo de evaluadores que utilizan criterios análogos, por lo que el valor de las ponderaciones (p_i) y las alternativas (v_i) en el método de SN resultan razonablemente similares a las obtenidas por las comparaciones pareadas del método AHP.

Esta situación también se ve reflejada a la hora de hacer un análisis de sensibilidad, en caso de que se levante alguna restricción o se modifique alguno de los factores.

Para una gran cantidad de variables como las consideradas en este estudio, el análisis de sensibilidad se puede realizar en forma relativamente sencilla utilizando el método del SN, resultando más dificultoso realizarlo aplicando el método AHP sin la ayuda de un software específico como el utilizado en este estudio.

Cabe acotar sin embargo, que el uso del AHP permite realizar a cada paso el análisis de consistencia, con el fin de corregir el error que se pudiera cometer antes de seguir con el proceso, lo cual constituye una ventaja sobre el método de SN.

Con las consideraciones arriba descritas, ambos métodos demostraron su utilidad, permitiendo llegar a conclusiones válidas de forma sistemática, para la toma de decisiones de localización en situaciones complejas abarcando al paradigma de la sustentabilidad.

REFERENCIAS

- [1] Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba, Dirección de Estadísticas Socio-demográficas, (2010), "Censo provincial de población 2010", tomado de, <http://estadistica.cba.gov.ar/>, (Agosto de 2013).
- [2] Iglesias Piña, D., (2012), "Condiciones de la infraestructura y el equipamiento urbano de los parques industriales en México. Un análisis contemporáneo", tomado de, <http://www.uaemex.mx/feconomia/006c.pdf>, (Mayo de 2013).
- [3] Landa, A., (2009), "La toma de decisiones empresariales con criterios múltiples", tomado de, <http://www.monografias.com/trabajos66/toma-decisiones-empresariales/toma-decisiones-empresariales.shtml>, (Marzo de 2013).
- [4] Roche, H. y Vejo, C., (2005), "Métodos cuantitativos aplicados a la Administración", tomado de, <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>, (Abril de 2013).
- [5] Saaty, T., Vargas, L., (2012), *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*, 2nd ed. Springer, New York, USA.
- [6] Secretaría de Industria de la Provincia de Córdoba, (2013), "Registro Industrial de la Provincia", tomado de, <http://www.cba.gov.ar/reparticion/ministerio-de-industria-comercio-y-mineria/secretaria-de-industria/>, (Agosto de 2013).
- [7] Serrano Barquín, R. et al, (2011): "Región Mazahua Mexiquense: Una visión desde Sistemas Complejos para la evaluación Multicriterio-Multiobjetivo", tomado de, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223322452005>, (Marzo de 2013).
- [8] Tavella, M., Miropolsky, A. y González, G, (2011), "Desarrollo Metodológico Multi-criterio para la Localización Sustentable de Grandes Plantas Industriales", *V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente*, 1a ed, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina..
- [9] Tavella, M., Miropolsky, A. y González, G, (2008). "Los Parques Industriales como estrategia para el desarrollo sustentable en ciudades de la provincia de Córdoba". En: "Municipios y Servicios Públicos: Herramientas para el Desarrollo", Cap. 3, Editorial Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- [10] Toskano Hurtado, G., (2005). *El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas, Lima, Perú.