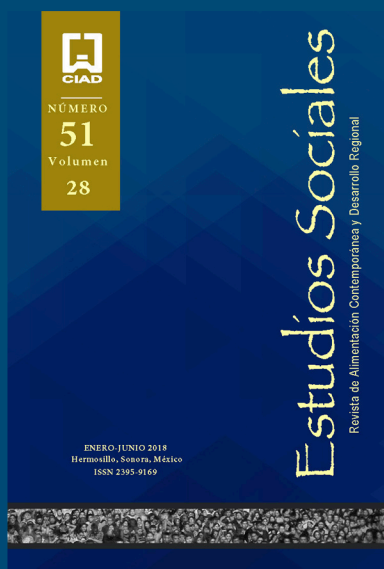


Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo regional

Número 51, volumen 28. Enero - Junio 2018

Revista electrónica. ISSN: 2395-9169



**Modelo de toma de decisiones
para la construcción sustentable
de obra pública**

**Decision making model
for the sustainable construction
of public works**

DOI: <http://dx.doi.org/10.24836/es.v28i51.567>

Enrique Gutiérrez López*
Juan Martín Preciado Rodríguez**
Jesús Martín Robles Parra**

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2017.
Fecha de envío a evaluación: 21 de noviembre de 2017.
Fecha de aceptación: 13 de diciembre de 2017.

*Estudiante del Doctorado en Desarrollo Regional.
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. **
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.
Autor para correspondencia: Juan Martín Preciado
Rodríguez.
Dirección: mpreciado@ciad.mx
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo
Área de Desarrollo Regional
Km. 0.6, Carretera al Ejido La Victoria
Hermosillo, Sonora, México 83304
Te. (662)2800485

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México

Resumen / Abstract

Objetivo: desarrollar un modelo del proceso de toma de decisiones para la construcción sustentable de obra pública. **Metodología:** aplicación de entrevistas a decisores, seleccionados a través de una muestra de expertos. Seguidamente se identificaron las variables o códigos, mismos que se incorporaron a un sistema de análisis de datos cualitativos para obtener las ponderaciones de las variables con el fin de desarrollar un modelo de decisiones sustentables y generar escenarios con diferentes alternativas. **Resultados:** el modelo de toma de decisiones obtenido se integró a partir de la transformación de los datos cualitativos codificados a través de una escala para establecer los valores cuantitativos correspondientes. Se obtuvo la matriz general de vectores de donde se selecciona la alternativa de acuerdo a los criterios de sustentabilidad y de toma de decisiones con racionalidad sustentable. **Limitaciones:** durante la investigación surgieron dificultades logísticas para la elección de los decisores que ocasionó la modificación de la muestra. **Conclusiones:** con la aplicación del modelo de racionalidad sustentable del proceso de toma de decisiones para la construcción de obra pública, será factible cambiar la racionalidad limitada o a las expectativas racionales al seleccionar una alternativa de entre varias, a una racionalidad sustentable que permitan apoyar en la definición de políticas públicas.

Palabras clave: desarrollo regional; proceso de toma de decisiones; racionalidad sustentable; racionalidad limitada; elección racional; dimensiones de la sustentabilidad;

Objective: Develop a model of the decision making process for the sustainable construction of public works. **Methodology:** Procedure consisted in the application of interviews to decision makers, selected through a sample of experts. Next, the variables or codes were identified, which were incorporated into a qualitative data analysis system to obtain the weights of the variables in order to develop a sustainable decision model and generate scenarios with different alternatives. **Results:** The decision-making model obtained was integrated from the transformation of the qualitative data coded through a scale to establish the corresponding quantitative values. The general matrix of vectors was obtained, from which the alternative is selected according to the criteria of sustainability and decision making with sustainable rationality. **Limitations:** During the investigation, logistical difficulties arose in the choice of decision makers that led



to the modification of the sample. Conclusions: The conclusions of the research is that, with the application of the model of sustainable rationality of the decision-making process for the construction of public works, it will be feasible to change the limited rationality or rational expectations by selecting an alternative from several, to a sustainable rationality that allow to support in the definition of public policies.

Key words: regional development; the process of decision-making and sustainable rationality; limited rationality; rational choice; dimensions of sustainability;



Introducción

Para abordar la problemática de la racionalidad del proceso de toma de decisiones es importante revisar y discutir las principales teorías de racionalidad para identificar las formas en las que un decisor analiza las alternativas disponibles y selecciona una de ellas. Aunado a lo anterior es necesario entender esa conducta cuando están presentes varios factores como los ambientes de incertidumbre y las aspiraciones futuras del entorno. Esta revisión permitirá dar respuesta a la pregunta ¿Cómo se explica la forma en la que un decisor efectúa un proceso de toma de decisiones cuando se requiere aplicar las dimensiones económica, social y ambiental para un desarrollo sustentable del entorno futuro? La pregunta es pertinente en el campo de la construcción de obra pública debido a que las decisiones se toman en un ambiente de incertidumbre. Los decisores configuran sus decisiones en función de las estructuras de costos, calidad y diseño, pero sin considerar las dimensiones económica, social y ambiental que permitan, en forma equilibrada, un desarrollo regional sustentable de las ciudades. Es pertinente, primero, analizar cómo se aborda la relación entre la racionalidad de las dimensiones económica, social y ambiental de la sustentabilidad con el proceso de toma de decisiones y cómo surge el concepto de racionalidad sustentable. Según la Real Academia Española el significado de decisión tiene que ver con determinación, resolución que se toma o se da en una cosa dudosa; toma de decisiones es un proceso por el cual se selecciona la mejor opción de entre muchas otras.

De la misma forma, la Real Academia Española describe que el significado de racionalidad es una virtud presente en todos los seres vivos y es aquella que los seres humanos tienen al utilizar su razón o instinto para determinar en una situación, que es lo mejor, que es lo más lógico o qué es lo que más se adapta a sus necesidades. Se le atribuye, comúnmente, la racionalidad a los seres humanos



porque somos la especie más desarrollada, capaz de construir, idear y edificar cualquier estructura solo con la lógica, que lo diferencia con respecto a los demás animales.

Un concepto básico para este artículo es el de sustentabilidad (o sostenibilidad), término que se puede utilizar en diferentes contextos, pero, en general, se refiere a la cualidad de poderse mantener por sí mismo, sin ayuda exterior y sin agotar los recursos disponibles (Boisier, 1997). En el contexto económico y social, la sustentabilidad se define como la habilidad de las actuales generaciones para satisfacer sus necesidades sin perjudicar a las futuras generaciones (WCED, 1987), principio que conduce el presente trabajo.

Sobre el concepto de racionalidad limitada, Herbert A. Simon (1987), hace una caracterización pormenorizada de la idea de racionalidad limitada o acotada consistente en que las elecciones llevadas a cabo por las personas están definidas no sólo por un propósito general que sea congruente y por las características del mundo externo, sino también por el conocimiento del entorno del mundo que tienen los decisores de su habilidad que tienen para utilizar ese conocimiento en el momento que sea importante, de conocer cómo obtener las consecuencias de sus acciones de tener en cuenta las diferentes posibilidades de actuación, de la capacidad de hacer frente a la incertidumbre, incluida la que se presente de acuerdo a las respuestas de otros actores, y de conseguir la armonía entre sus variados deseos en competencia.

En el mismo sentido, Simon (1987), comenta que la racionalidad es acotada porque las habilidades de los decisores están fuertemente acotadas y en consecuencia, el comportamiento racional en el mundo real está tan definidas por el entorno interno de los decisores (los contenidos de memoria y sus procesos) como por el entorno externo del mundo en el que se desenvuelven.

Simon (1987) observa dos características principales en el proceso real de toma de decisiones que definen la llamada racionalidad limitada o acotada: la restricción en el acceso a la información o conocimiento del mundo (no es posible conocer todas las alternativas y sus consecuencias) y la limitada capacidad cognitiva (capacidad de cálculo) que tiene el ser humano; es decir, Simon afirma que *el ser humano concreto tiene capacidades muy limitadas para conocer y calcular*, lo cual, obviamente, influye en sus capacidades para decidir (Estrada, 2007).

De ello se desprende que el individuo no alcance la maximización de la utilidad esperada, sino solamente un *nivel de satisfacción*, lo bastante bueno. Además, se trata de una racionalidad que hace énfasis en el proceso de decisión, es decir, es una racionalidad procesual, a diferencia de la estándar (que es sustantiva o



instrumental) de la economía neoclásica. En palabras de Simon (1987), su objetivo principal era entender la racionalidad humana; contrariado por la inaplicabilidad de la teoría clásica de optimización a las realidades de la decisión pública, se orientó hacia una teoría de la decisión basada en la tesis de la racionalidad humana acotada debido a limitaciones en sus conocimientos y a la capacidad de procesamiento de la información, el ser humano busca niveles de conformidad en vez de maximizar utilidades.

En una línea similar, Kahneman y Tversky (1981) desarrollaron en 1979 la teoría de las expectativas, la cual distingue dos fases en el proceso de elección: una primera etapa, de edición, y una segunda de evaluación. La primera etapa tiene que ver con el análisis preliminar de las alternativas, la segunda con la evaluación propiamente dicha. La función de la primera fase consiste en la organización y reformulación de las opciones, para simplificar el subsiguiente proceso de evaluación y elección.

Rabin (1993), por su parte, señala que, luego de analizar la función de valor, Kahneman y Tversky plantearon una actitud del ser humano frente al riesgo, basada en cuatro actitudes: aversión al riesgo por las ganancias, y búsqueda de riesgos de alta probabilidad; búsqueda de riesgos para las ganancias y aversión al riesgo para las pérdidas de baja probabilidad.

Elster (2003), en su teoría de la Elección racional, afirma que ésta se guía por la acción y, por lo tanto, es instrumental. Las acciones son evaluadas y elegidas no por sí mismas, sino como un medio, más o menos eficiente, para otro fin, pero hay un modo por el cual se pueden asimilar esas acciones a la acción instrumental: preguntándole a un individuo y observando su conducta se puede descubrir cómo categorizar las opciones.

Una lista de esas comparaciones apareadas se denomina ordenamiento de preferencia de la persona. Mediante procedimientos matemáticos se puede convertir el ordenamiento de preferencia en una función de utilidad, que es un modo de asignar números a opciones de modo que las opciones más preferidas reciban números más altos. Entonces podemos decir que la persona actúa de manera que se maximiza la utilidad en tanto tengamos presente que ese no es más que un modo conveniente de decir que la persona hace lo que prefiere.

Construcción sustentable

La construcción sustentable puede definirse como la que contiene aquellas



prácticas constructivas que logran una óptima calidad integral (incluyendo el desempeño económico, el social/cultural y el medioambiental) de una manera muy amplia (Pope et al, 2004). Así, el uso racional de recursos naturales y el manejo apropiado de la infraestructura e instalaciones del edificio contribuirán a la conservación de energía y a mejorar la calidad medioambiental.

El edificio sustentable involucra el tomar en cuenta el ciclo de vida entero de los edificios, atendiendo a su calidad medioambiental, su calidad funcional y su valor de uso futuro. En el pasado, se ha enfocado la atención, principalmente, en el valor económico como bien raíz. Las cuestiones cualitativas no han jugado el papel que merecen en el mercado de bienes raíces, sin embargo, en términos cuantitativos estrictos, el mercado se encuentra saturado, en la mayoría de los países, por lo que la exigencia de calidad está creciendo en importancia (Pope et al, 2004).

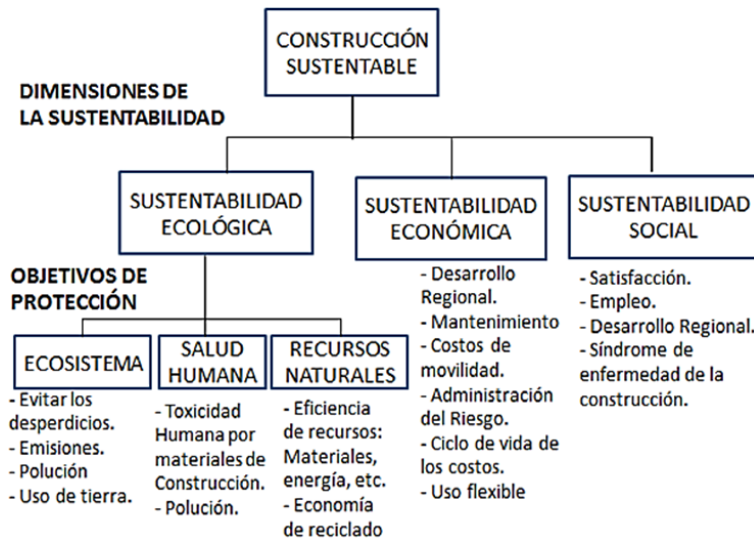
El-Mikawi (2007), comenta que deben llevarse a cabo políticas públicas que contribuyan a establecer prácticas de sustentabilidad en la construcción, reconociendo la importancia de las condiciones existentes del mercado. Ambas, las iniciativas medioambientales del sector de la construcción y las demandas de los usuarios, son los factores clave en el mercado. Los gobiernos podrán dar un impulso considerable al diseño y construcción de edificios sustentables promoviendo estos desarrollos.

De acuerdo con dicho autor, podemos identificar cinco objetivos para los edificios sustentables, de la manera siguiente:

- Uso eficiente de los recursos.
- Uso eficiente de energía (incluyendo la reducción de emisiones de gases invernadero).
- Prevención de contaminación (incluyendo mejorar la calidad del aire interior y disminuir el ruido).
- Armonía con el ambiente (incluyendo la valoración medioambiental).
- Enfoques integrados y sistémicos (incluyendo un programa de manejo medioambiental).



Figura 1 Construcción Sustentable



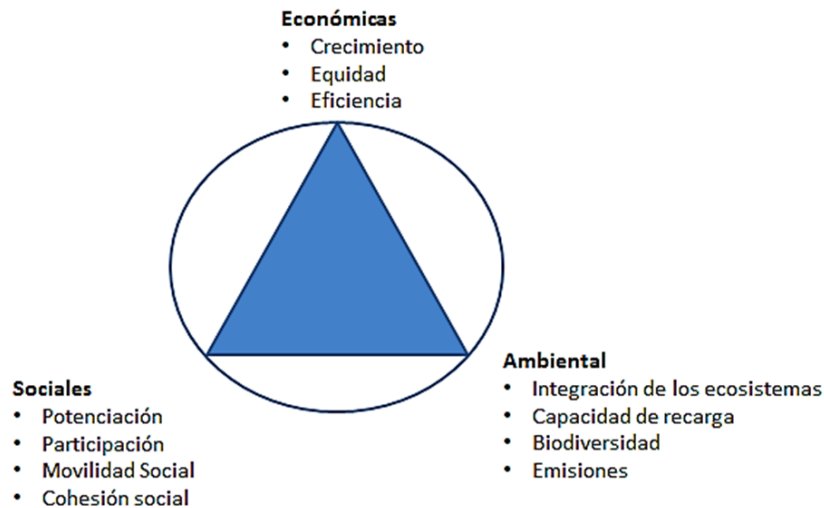
Fuente: El-Mikawi (2007).

Provencio (1997), puntualiza que para transitar hacia un desarrollo sustentable (Figura 2), el propósito central es contener las tendencias de deterioro ambiental, el cual se rige por cinco grandes lineamientos estratégicos que orientan las acciones de gobierno en materia de medio ambiente y recursos naturales:

- Combinar en forma sinérgica la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales.
- Desplegar acciones de uso de recursos que favorezcan la equidad y la superación de la pobreza.
- Privilegiar el desarrollo de la regulación ambiental.
- Fomentar la corresponsabilidad para la gestión plural y participativa.
- Articular una participación activa del país en foros y acuerdos internacionales.



Figura 2 Integración de objetivos para un desarrollo sustentable



Fuente: Provencio (1997).

Para poder operacionalizar la información que exige el interiorizar la sustentabilidad en el proceso de toma de decisiones es importante apoyarse de herramientas útiles que coadyuven a dicha interiorización, como lo es el proceso analítico jerárquico.

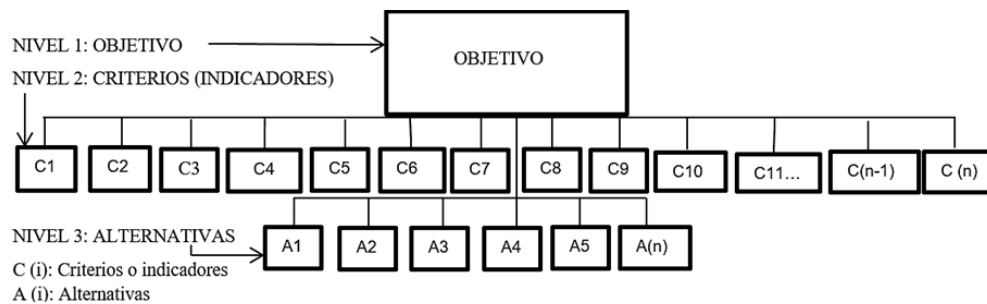
Proceso analítico jerárquico

Una herramienta complementaria útil para la seleccionar la alternativa es el AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Zulueta-Torres et al. (2013), desarrollaron una herramienta de análisis de la sustentabilidad de la industria minera, que permite aplicar el proceso analítico jerárquico para la evaluación de proyectos mineros, tomando como base datos experimentales ofrecidos por especialistas de la industria extractiva, donde los resultados muestran que el método empleado permite un análisis multidimensional más adecuado de las decisiones encaminadas a lograr la sustentabilidad empresarial de la minería. En el mismo sentido, Cheng y Li (2001) utilizan el AHP para hacer una aproximación para determinar el



desarrollo de negocios. Asimismo, Vera (2014) realizó una aplicación y comparación de la metodología multicriterio en la selección de tecnología poscosecha para pequeños productores. De acuerdo con Satty (1988), para realizar el proceso de elección racional se utilizan las matrices multicriterio de decisiones, utilizando el Proceso Analítico Jerárquico, herramienta empleada para la toma de decisiones con base en factores cualitativos no homogéneos que intervienen en un suceso. En una primera etapa, el AHP se construye una jerarquía básica, la cual está conformada en un nivel superior por el objetivo principal, en un nivel intermedio se encuentran los factores o criterios del proceso de toma de decisiones y, finalmente, las alternativas de solución al objetivo.

Figura 3 Estructura del método multicriterio Proceso Analítico Jerárquico (AHP)



Fuente: Saaty (1988).

Tabla 1 Escala fundamental para establecer los valores (juicios) correspondientes a las comparaciones considerando un rango de valores del 1 al 9 de Saaty (1988)

Escala numérica	Escala Verbal	Explicación
1.0	Ambos elementos son de igual forma.	Ambos elementos contribuyen en igual importancia.
3.0	Moderada importancia de un elemento por sobre el otro.	La experiencia y el juicio favorecen a un elemento sobre otro.



5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre el otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios
0	No hay relación.	Un elemento no contribuyó al objetivo.

Fuente: Saaty (1988).

Procedimiento Metodológico

El procedimiento metodológico que fundamenta el cumplimiento del objetivo planteado, parte de la definición de la unidad de análisis. Se consideró a los tomadores de decisión, o decisores, como sujetos clave para recabar información donde el criterio de elección fue su posición como decisor de la construcción de los distribuidores viales. Bajo este criterio se definieron los secretarios y subsecretarios de Infraestructura del Gobierno del Estado de Sonora, Directores del Consejo Estatal de Consertación de la Obra Pública (CECOP), Expresidentes de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción Delegación Sonora entre los más importantes como informates estratégicos.

El proceso de selección se realizó mediante una muestra de expertos y eso es debido a que el tipo de persona a entrevistar es muy específico dada su experiencia en la época en la que se construyeron los distribuidores viales en la ciudad. A estos sujetos se les aplicó una entrevista no estructurada, mediante preguntas guía, integrada en dos dimensiones: la construcción sustentable de obra pública y el proceso de toma de decisiones que los llevó a la elección de un distribuidor vial de acuerdo a las expectativas o percepción del estado futuro del entorno después de construido un distribuidor vial.

El cuestionario guía se fundamentó en las teorías y conceptos de racionalidad limitada o acotada de Simón (1987) y de las expectativas racionales de Khaneman y Tversky (1981), además del enfoque de la sustentabilidad del proceso de toma de decisiones para la construcción de obra pública. Las preguntas relacionadas con la construcción sustentable se apoyan en los conceptos de El-Mikawi (2007).



Las entrevistas se grabaron para después transcribirlas; seguidamente se generaron los códigos a partir de las variables o indicadores presentes en la construcción sustentable de obra pública y del proceso de toma de decisiones. Se generaron alternativas a las que se aplican una racionalidad limitada o se definen las expectativas racionales previas a la elección racional de la obra pública en este caso, los distribuidores viales.

Resultados y discusión

Una vez codificadas las variables o indicadores, además de los archivos de las entrevistas capturadas en procesador de textos, sirvieron de base para un sistema de análisis cualitativo que permite a través de señalar directamente de los escritos de cada una las entrevistas, los indicadores o variables de la construcción sustentable y del proceso para la toma de decisiones sustentables previamente codificadas. El sistema comienza a generar frecuencias (Tabla 2) y relaciones entre cada una de las variables, así como las principales estadísticas descriptivas como la media, moda, desviación estándar, correlación de Spearman y el Alfa de Cronbach para medir la fiabilidad y consistencia interna de las variables o constructos. El uso de dicho sistema permitió parametrizar las variables de los indicadores de la construcción sustentable, asignando pesos a las variables que se utilizaron para construir un modelo de matriz multicriterio para la toma de decisiones, que facilitó la selección de la construcción de la obra pública en función de los pesos que se asignan a las variables de acuerdo a la forma de que un decisor efectúa su proceso de toma de decisiones con un mayor o menor grado de sustentabilidad.

Tabla 2 Frecuencias y ponderaciones de las variables o factores de la construcción sustentable y el proceso de toma de decisiones para la construcción de un distribuidor vial

FACTORES	FRECUENCIAS			FRECUENCIA	PONDERACIÓN	CRITERIO	PONDERACIÓN DE DIMENSIONES		
	ALTO	MEDIO	BAJO				AMBIENTAL	ECONÓMICO	SOCIAL
PC	33.3	22.2	11.1	28	0.05	AMBIENTAL.	0.296		
ED	33.3	22.2	11.1	18	0.032	AMBIENTAL			
UT	22.2	11.1	11.1	33	0.059	AMBIENTAL			
CMU	22.2	11.1	11.1	82	0.146	ECONÓMICO	0.468		
R	33.3	22.1	11.1	15	0.027	ECONÓMICO			
CM	33.3	22.1	11.1	28	0.050	ECONÓMICO			
E	33.3	11.1	11.1	17	0.030	SOCIAL	0.236		



S	33.3	22.2	11.1	31	0.055	SOCIAL
C	44.4	33.3	11.1	15	0.027	SOCIAL
EOP	22.2	11.1	11.1	70	0.125	T.DECISIONES
CV	22.2	11.1	11.1	76	0.136	T.DECISIONES
EFE	22.2	11.1	11.1	57	0.102	T.DECISIONES
ADS	33.3	11.1	11.1	90	0.161	T.DECISIONES
TOTAL				560	1.00	

Fuente: elaboración propia con base en información de entrevistas a decisores.

Con el fin de definir los requerimientos de información, se elaboró el modelo de matriz multicriterio de decisiones sustentables (Figura 2). En ella, se muestra, de forma esquemática, la posición de los decisores (Di) cuando toman una decisión y el peso o calificación alta, media o baja que le otorgan a los factores de la construcción sustentable con base en la información obtenida en las entrevistas a decisores que muestran la frecuencia de las variables o criterios de la construcción sustentable de obra pública y cómo están acotados por las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sustentable. La suma de cada una de las filas constituyen vectores que son multiplicados por las ponderaciones o pesos de las columnas que conforman el vector de las dimensiones económicas sociales y ambientales para obtener el factor resultante (Re) de cada una de las alternativas.

Figura 2 Modelo de matriz multicriterio de decisiones sustentable

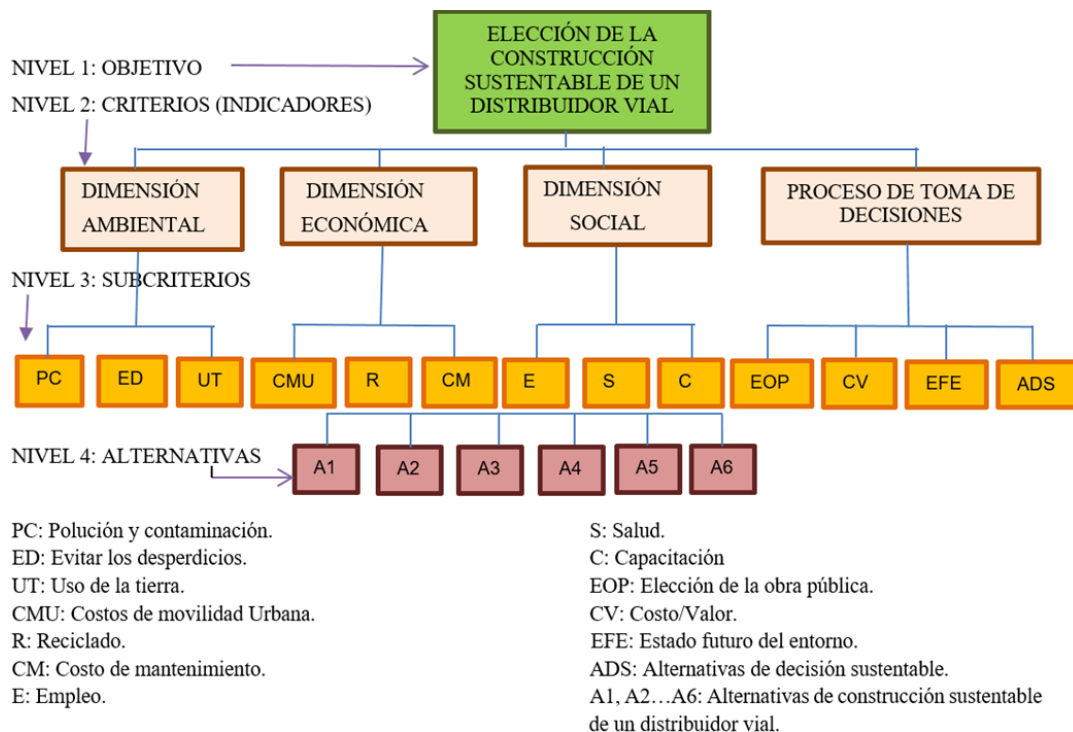




Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento de medición a cada uno de los tomadores de decisión para la construcción sustentable de obra pública. Se atiende, también, qué factores o variables inciden, así como su ponderación mediante la utilización de métodos multicriterio para parametrizar las variables cualitativas. Ello es con el propósito de convertirlas en cuantitativas a fin de manejarlas en un modelo que genere diferentes escenarios para la toma de decisiones y que apoye en la definición de políticas públicas. Todas ellas referentes a la selección de una obra pública determinada y medir el nivel de eficiencia con base a una matriz de utilidad o de costos al tomar una decisión. De acuerdo al modelo multicriterio de decisiones sustentables anterior, se procede a organizar, con la información previamente recabada en las entrevistas no estructuradas efectuadas a los principales decisores de la construcción de los distribuidores viales y los criterios de decisión (Figura 3) que se aplicarán en el método AHP.

Figura 3 Estructura del método multicriterio Proceso Analítico Jerárquico de Saaty (1988) para la elección de la construcción sustentable de un distribuidor vial





Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3, se definen las prioridades entre los criterios o variables, de acuerdo con la tabla de escalas propuesta por Saaty (1988). Asimismo, se califican las variables en función de su subjetividad para, posteriormente, proceder a su ponderación pareada o bien aplicando un criterio de normalización por la suma.

Tabla 3 Determinación de orden de importancia en función del criterio

CRITERIO	ORDEN DE PRIORIDAD	TIPO DE VARIABLE
PC: Polución y contaminación.	2	CUALITATIVA
ED: Evitar los desperdicios.	3	CUALITATIVA
UT: Uso de la tierra.	3	CUALITATIVA
CMU: Costos de movilidad Urbana.	5	CUANTITATIVA
R: Reciclado.	1	CUALITATIVA
CM: Costo de mantenimiento.	2	CUANTITATIVA
E: Empleo.	1	CUALITATIVA
S: Salud.	2	CUALITATIVA
C: Capacitación.	1	CUALITATIVA
EOP: Elección de la obra pública.	4	CUALITATIVA
CV: Costo/Valor.	5	CUANTITATIVA
EFE: Estado futuro del entorno.	4	CUALITATIVA
ADS: Alternativas de decisión Sustentable	5	CUALITATIVA

Fuente: elaboración propia

Una vez definida la escala de prioridades o jerarquías entre criterios (Tabla 3), permitirá, de una manera fácil, diseñar una tabla de comparación entre pares de criterios, con el fin de definir los vectores propios para cada uno de ellos.

De esta forma se puede estructurar la siguiente la Tabla 4. donde se ubican, los trece criterios de valoración, a través de su normalización por la suma, se obtendrán los vectores característicos de cada uno de los criterios entre ellos mismos.



Tabla 4 Tabla de comparación pareada entre criterios en función de la escala

	PC	ED	UT	CMU	R	CM	E	S	C	EOP	CV	EFE	ADS	SUMA	VECTOR PROPIO	%
PC	1	3	3	5	1	2	1	1	1	4	5	4	5	36	0.1376	13.76
ED	0.333	1	1	1.67	0.33	0.67	0.33	0.33	0.33	1.33	1.67	1.33	1.67	12	0.0459	4.59
UT	0.333	1	1	1.67	0.33	0.67	0.33	0.33	0.33	1.33	2	1.33	1.67	12	0.0459	4.59
CMU	0.200	0.6	0.6	1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	1.00	0.8	1.00	7.2	0.0275	2.75
R	1	3	3	5	1	2	1	1	1	4	5	4	5	36	0.1376	13.76
CM	0.5	1.5	1.5	2.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	2	2.5	2	2.5	18	0.0688	6.88
E	1	3	3	5	1	2	1	1	1	4	5	4	5	36	0.1376	13.76
S	1	3	3	5	1	2	1	1	1	4	5	4	5	36	0.1376	13.76
C	1	3	3	5	1	2	1	1	1	4	5	4	5	36	0.1376	13.76
EOP	0.25	0.75	0.75	1.25	0.25	0.5	0.25	0.25	0.25	1	1.25	1	1.25	9	0.0344	3.44
CV	0.2	0.6	0.6	1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	1	0.8	1	7.2	0.0275	2.75
EFE	0.25	0.75	0.75	1.25	0.25	0.5	0.25	0.25	0.25	1	1.25	1	1.25	9	0.0344	3.44
ADS	0.2	0.6	0.6	1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	1	0.8	1	7.2	0.0275	2.75
SUMA	7.27	21.80	21.80	36.33	7.27	14.53	7.27	7.27	7.27	29.07	36.33	29.07	36.33	261.60	1.0000	100.00

Fuente: elaboración propia.

Ya elaborada la Tabla 4 de comparación pareada entre criterios, se obtienen los vectores propios (Tabla 5), es decir, los valores de ponderación de cada uno de ellos, para calcular el grado o Razón de Consistencia (RC) de la tabla, con el fin de determinar si fueron considerados en forma adecuada los valores de las escalas inscritos en ella.

Tabla 5 Suma de criterios por el vector propio para obtener el producto y calcular la Razón de Consistencia (RC)

	PC	ED	UT	CMU	R	CM	E	S	C	EOP	CV	EFE	ADS
Suma de Criterios	7.27	21.80	21.80	36.33	7.27	14.53	7.27	7.27	7.27	29.07	36.33	29.07	36.33
Vector Propio	0.1376	0.0459	0.0459	0.0275	0.1376	0.0688	0.1376	0.1376	0.1376	0.0344	0.0275	0.0344	0.0275
Producto	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: elaboración propia.

DONDE:



LAMDA Max.= \sum PRODUCTOS= 13

$$CI = \frac{L\text{AMDA Max.} - N}{N-1} = \frac{13-13}{13-1} = 0$$

CIA= 1.49

RC= CI/ CIA= 0/1.49= 0

RC= 0 < 10 %

Si RC (Razón de Consistencia) es menor a 10%, la tabla es suficientemente consistente o aceptable.

RC= Razón de consistencia.

CI= Índice de consistencia.

CIA= Índice de consistencia aleatorio

Tabla 6 Valores de Consistencia Aleatoria (CIA) Utilizados para calcular la Razón de Consistencia

Tamaño de la Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia Aleatoria	0	0	0.5	0.9	1.1	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5

Fuente: Saaty (1988).

A continuación, se obtiene la Tabla 7 de los criterios cualitativos con las alternativas de decisión y, en consecuencia, se generan los vectores propios de incidencia del criterio, sobre cada una de las alternativas de decisión.

Tabla 7 Comparación Pareada del Criterio Cualitativo: Polución y Contaminación (PC)

PC	A1	A2	A3	A4	A5	A6	SUMA	VECTOR PROPIO	%
A1	1	2	2	1	5	1	12	0.2381	23.81
A2	0.5	1	1	0.5	2.5	0.5	6	0.11905	11.9



A3	0.5	1	1	0.5	2.5	0.5	6	0.11905	11.9
A4	1	2	2	1	5	1	12	0.2381	23.81
A5	0.2	0.4	0.4	0.2	1	0.2	2.4	0.04762	4.76
A6	1	2	2	1	5	1	12	0.2381	23.81
TOTAL	4.2	8.4	8.4	4.2	21	4.2	50.4	1	100

LAMBDA MAX =6, N=6, LAMBDA MAX - N =0, N-1 = 6, CI=0, CIA (6)=1.25, CR=CI/CIA (6)=0.00%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8 Comparación Pareada del Criterio cualitativo: Evitar los desperdicios (ED)

ED	A1	A2	A3	A4	A5	A6	SUMA	VECTOR PROPIO	%
A1	1	1	1	2	1	1	7	0.1818	18.18
A2	1	1	1	2	1	1	7	0.1818	18.18
A3	1	1	1	2	1	1	7	0.1818	18.18
A4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	3.5	0.0909	9.09
A5	1	1	1	2	1	1	7	0.1818	18.18
A6	1	1	1	2	1	1	7	0.1818	18.18
TOTAL	5.5	5.5	5.5	11	5.5	5.5	38.5	1	100

LAMBDA MAX =6, N=6, LAMBDA MAX - N =0, N-1 = 6, CI=0, CIA (6)=1.25, CR=CI/CIA (6)=0.00%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9 Comparación Pareada del Criterio Cualitativo: Uso de la tierra (UT)

UT	A1	A2	A3	A4	A5	A6	SUMA	VECTOR PROPIO	%
A1	1	3	2	4	2	3	15	0.3429	34.29
A2	0	1	1	1	1	1	5	0.1143	11.43



A3	0.5	1.5	1	2	1	1.5	7.5	0.1714	17.14
A4	0.25	0.75	0.5	1	0.5	0.75	3.75	0.0857	8.57
A5	0.5	1.5	1	2	1	1.5	7.5	0.1714	17.14
A6	0.333	1	0.667	1.3333	0.6667	1	5	0.1143	11.43
TOTAL	2.92	8.75	5.83	11.67	5.83	8.75	43.75	1	100

LAMBDA MAX =6, N=6, LAMBDA MAX - N =0, N-1 = 6, CI=0, CIA (6)=1.25, CR=CI/CIA (6)=0.00%

Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenidos los vectores propios para cada criterio y cada alternativa, se está en condiciones de formar una matriz A, la cual contendrá cada uno de los criterios o variables y cada una de las alternativas. Por otro lado, se generará una matriz B, la cual contendrá los vectores propios de la matriz pareada entre todos los criterios. De la multiplicación de estas matrices, se obtendrá la ponderación respectiva para cada alternativa de decisión. Para obtener la matriz resultante se utilizó: $Ab^i = c$, donde A es la matriz de criterios, b es el vector propio y c es el vector resultante.

De acuerdo con la Tabla 10, se puede observar en la parte circulada que la alternativa A1 es la que tiene la más alta ponderación (24.84%), por lo que se concluye que dicha alternativa es la que cumple con los criterios de construcción sustentable y de toma de decisiones con racionalidad sustentable.

Tabla 10 Matriz general de vectores por criterio- alternativas

CONCEPTO	PC	ED	UT	CMU	R	CM	E	S	C	EOP	CV	ADS
A1	0.24	0.18	0.34	0.43	0.2	0.22	0.2	0.26	0.22	0.41	0.47	0.48
A2	0.12	0.18	0.11	0.09	0.1	0.22	0.2	0.13	0.11	0.14	0.09	0.1
A3	0.12	0.18	0.17	0.14	0.2	0.11	0.2	0.09	0.22	0.1	0.12	0.12
A4	0.24	0.09	0.09	0.14	0.2	0.11	0.2	0.26	0.11	0.1	0.09	0.1
A5	0.05	0.18	0.17	0.11	0.1	0.22	0.1	0.13	0.11	0.14	0.12	0.1
A6	0.24	0.18	0.11	0.09	0.2	0.11	0.1	0.13	0.22	0.1	0.12	0.12
SUMA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VECTOR PROPIO POR CRITERIO	0.1376	0.0459	0.0459	0.0275	0.1376	0.0688	0.1376	0.1376	0.1376	0.0344	0.0275	0.0344
MATRIZ RESULTANTE												
A1	A2	A3	A4	A5	A6							
0.248482	0.132469	0.152559	0.168011	0.113206	0.156686							



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El modelo de toma de decisiones para la construcción sustentable de obra pública permite, con la incorporación de los principios de la sustentabilidad en la construcción de obra, que los decisores analicen alternativas de proyectos de construcción sustentable en diferentes escenarios que coadyuven el desarrollo regional sustentable de las ciudades.

Con la aplicación del modelo del proceso de toma de decisiones a través del AHP utilizando las dimensiones de la sustentabilidad para la construcción de obra pública es factible cambiar la racionalidad limitada al seleccionar una alternativa de entre varias, a una racionalidad sustentable al incluir las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

Es posible parametrizar y ponderar las dimensiones económica, social y ambiental al efectuar un proceso de toma de decisiones y seleccionar la alternativa más sustentable aplicando el proceso analítico jerárquico (AHP). Rodrigues et al. (2017) en su artículo Priorización de los requisitos de sostenibilidad en incubadoras tecnológicas obtiene resultados similares al aplicar el AHP en el proceso de elección.

La racionalidad sustentable del proceso de toma de decisiones para la construcción sustentable de obra pública es la capacidad para pensar, evaluar, entender y actuar de la mejor manera para alcanzar un objetivo derivado de la aplicación de las dimensiones económica, social y ambiental en forma adicional a la racionalidad limitada y a las expectativas racionales del entorno de la construcción de una obra pública, que toman en cuenta los decisores, al efectuar la elección racional de una obra determinada.

Los resultados anteriores permiten concluir positivamente que la racionalidad sustentable del proceso de toma de decisiones incide en la construcción sustentable de obra pública y en el Desarrollo Regional Sustentable.

- Se aporta una nueva forma de tomar decisiones en función de las dimensiones de la sustentabilidad, adicionalmente a la racionalidad limitada (Simón, 1987),



las expectativas racionales (Khaneman y Tversky, 1981) y la elección racional (Elster, 2003).

- Aún más, si este modelo general se replica en un tema de investigación que contenga la problemática del proceso de toma de decisiones que considere las dimensiones económica, social y ambiental de la sustentabilidad, se obtendrán resultados que apoyen en la definición de políticas públicas.

Bibliografía

- Boisier, S. (1997) “El vuelo de una cometa. Una metáfora para una teoría del desarrollo territorial” en Revista Eure. Núm. 69, P.U.C/I.E.U, Santiago de Chile.
- Cheng, E. and Li, H. (2001) “Analytic hierarchy process: an approach to determine measures for business performance” en Measuring Business Excellence. Vol. 5, pp. 30-37
- El Mikawi, M. A. (2007) “Sustainable developmente in construction. en P. Claisse, Sadeghi-Pouya, Tarum R. Naik, Yoon-mom Chum. (ed.), Proc. Int. Conf.: Sustainable Construction Material and Technologies. 11-13 Jun 2007 Caventry Supplementary Proceeding.Pub. U.W., Milwokee, CBU, pp. 110-121.
- Elster, J. (2003) Teoría de la elección racional. tuercas y tornillos. Barcelona, Editorial Gedisa.
- Estrada, F. (2007) “Herbert A. Simon y la economía organizacional” en Cuadernos de Economía. Vol. XXVI, núm. 46, Bogotá, pp. 169-199.
- Kahneman, D. y A. Tversky (1981) “The framing of decision and the psychology of choice. Sience” en New Series. Vol. 211, núm. 4481.453-458.
- Pope, J., Annandale. D y A. Morrison-Saunders (2004) “Conceptualising sustainability assessment” en Environmental Impact Assessment Review. 24, pp. 595-616.
- Provencio, E. (1997) “Desarrollo sustentable en las ciudades” en Rev. CIUDADES 24, RNIU, México, pp. 48-55.
- Rabin, M. (1993) “Incorporating fairnes in to games theory and economist” en American Econimist Review. 83, 5 de diciembre, pp. 1281-1302.
- Rodrigues, A. et al. (2017) “Priorización de los requisitos de sostenibilidad en incubadoras tecnológicas: un estudio de caso en la región central de Río Grande do Sul, Brasil” en Interciencia. Vol. 42, núm. 2, febrero, 2017, pp. 108-114 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela
- Saaty, T. L. (1988) Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process. Revised and published by the autor. Versión original Publicada por Mac Graw-Hill, New York, 1980.



- Simon, H. A. (1987) "Bounded rationality" en *The new Palgrave A Dictionary of Economist*. Londres, ed. J. Eatwell, McMillan, pp. 266-268.
- Vera, L. (2014) *Aplicación y comparación de metodologías multicriterio (AHP y FUZZY LOGIC) en la selección de tecnología postcosecha para pequeños productores*. España, Universidad Politécnica de Valencia.
- WCED (1987) *World Commssion on Enviroment and Development. The Burtland Report: "Our Common Future"*. World Press Conference, Londres, 27 de april 1987.
- Zulueta-Torres, A. et al. (2013) "Sustentabilidad empresarial de proyectos mineros: el Análisis multicriterio como perspectiva acertada para su evaluación" en *Minería y Geología*. 29(4), 79-94. Recuperado de < Recuperado de <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/877> > [29 de diciembre de 2017]