



# El Proceso Analítico Jerárquico para la valoración de la sostenibilidad de las infraestructuras.

## Using the Analytic Hierarchy Process for valuation of the sustainability of infrastructure.

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Leonardo Sierra<sup>1</sup>

#### Historial del artículo:

Recibido  
11-09-2016  
Aceptado  
16-12-2016  
Publicado  
16-12-2016

#### Palabras Clave:

Familias  
Vulnerables  
Política  
Habitacional  
Empresas  
Constructoras

#### Article history:

Received  
11-09-2016  
Accepted  
16-12-2016  
Available  
16-12-2016

#### Keywords:

Vulnerable  
families  
Housing Policy  
Construction  
Companies

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España. leosieva@doctor.upv.es, teléfono: +56-45-592812.

### Resumen

En la actualidad los programas de formación de postgrado son eficientes en las áreas específicas de su disciplina, no obstante una gran parte de ellos carece de la complementariedad de la sostenibilidad analizada de una manera integral (social, ambiental y económica). Esta investigación propone una metodología para identificar la valoración de la sostenibilidad de infraestructuras para la toma de decisiones por parte de profesionales del área de la construcción. El estudio fue aplicado, sobre un grupo de profesionales del área de construcción en España. El modelo se focaliza sobre un compendio de 12 criterios de sostenibilidad e integradas bajo un proceso analítico jerárquico para determinar el grado de apreciación por parte de los profesionales de cada atributo consultado. Lo anterior, se complementa con un análisis de conglomerados para identificar los perfiles que influirán sobre la toma de decisiones. En esta ocasión el método permite identificar cuatro perfiles de pensamiento frente a la sostenibilidad de las infraestructuras, cuyas diferencias, implican variaciones consecuentes con la toma de decisiones respecto a los tipos de proyectos seleccionados. Este estudio, puede servir como un modelo de aprendizaje y capacitación para ser usado por consultores de tal manera de trabajar con las valoraciones de personas, respectos a diferentes criterios y sus repercusiones en la toma de decisiones.

### Abstract

Currently vocational training programs are effective in specific areas of their discipline, however much of them lacks the complementarity of sustainability analyzed in an integrated manner (social, environmental and economic). This research proposes a methodology to identify the assessment of the sustainability of infrastructure for decision-making by professionals in the field of construction. The study was applied on a group of professionals in the construction area in Spain. The model focuses on a compendium of 12 criteria of sustainability and integrated under a hierarchical analytical process to determine the degree of appreciation by professionals consulted each attribute. This is complemented by cluster analysis to identify profiles that will influence decision making. This time the method allow to identify four profiles of thought facing the sustainability of infrastructure, whose differences involve variations consistent with decisions regarding the types of projects selected. This study can serve as a model of learning and training for use by consultants such valuations working with people, respects different criteria and its impact on decision making.

## 1. Introducción.

A pesar de los esfuerzos de los programas de formación profesional, el desarrollo sostenible es todavía una idea innovadora en la mayor cantidad de las instituciones de educación y no ha permeado eficientemente en todas las disciplinas, escuelas y currículos de formación [23] [24].

En la última década en que ha habido un creciente interés en el concepto de la integración del desarrollo sostenible en los planes de estudios en todos los niveles, así como los métodos para lograr esto en la práctica [5] [39], particularmente en términos de los individuos que obtienen una comprensión de cómo sus decisiones y acciones afectan el medio ambiente y la sociedad. [23] [22]

En este contexto, las iniciativas emprendidas y catalogadas en estudios realizados, evidencian en general cuatro enfoques principales que se pueden encontrar para la incorporación del desarrollo sostenible en los planes de estudio de educación superior [25]:

- Algunos cubren determinados temas y/o materiales ambientales y / o sociales en un curso existente [34];
- Un curso específico de desarrollo sostenible se añade al currículo [1] [34] [38];
- Desarrollo sostenible entrelazado como un concepto dentro de los cursos orientados a disciplinas ya existentes, con los problemas del desarrollo sostenible pertinentes adaptados a la naturaleza de cada curso específico [1] [5] [28] [29];
- El desarrollo sostenible se ofrece como una especialización en el marco de las facultades o escuelas particulares dentro de una institución. [17]

Estudios indican que mientras algunas escuelas podrían ser catalogadas como innovadoras al respecto, ellas no necesariamente caen en esta categoría cuando se considera la contribución general al desarrollo sostenible (es decir las interconexiones y sinergias entre los tópicos ambiental, económico, social y aspectos transversales) [23].

Por su parte, mientras que los expertos hacen hincapié en el papel sociológico de la sostenibilidad en términos de cómo las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad afectan a los seres humanos, la mayoría de profesionales después de tomar un curso asociado al Desarrollo Sostenible, se centran en los aspectos tecnológicos de la sostenibilidad, en cuanto a cómo

la tecnología ofrece una solución a los problemas ambientales. Este desajuste revela que los cursos de desarrollo sostenible requieren más énfasis en los aspectos sociales / institucionales de la sostenibilidad. [31]

En este sentido, hay resultados que revelan que la sostenibilidad no ha sido una prioridad para todos los participantes de las instituciones y en algunos casos aun no es considerada en el contexto de la educación superior y en aquellas en que se considera, la conceptualización del desarrollo sostenible se centran principalmente en la sostenibilidad del medio ambiente, en concreto la energía, gestión de recursos y la reducción de residuos. Estos pensamientos se hacen eco de las ideas de quienes están involucrados con la institución quienes consideran popularmente una universidad sostenible como aquella que mantiene una sostenibilidad del medio ambiente [40]

En consideración a lo anterior, es trascendente tener en cuenta una estructura conceptual clara, resultado de una revisión sistemática de reglamentaciones internacionales y enfoques de diversos autores, asociados a las sostenibilidad, con objeto de garantizar la integralidad de los aspectos social, económico y ambiental [19] [20] que pudiese ser usada como punto de partida de iniciativas formativas integrales en materias de sostenibilidad.

La necesidad del conocimiento detectada en este artículo, enfatiza en la aportación de metodologías que contribuyan a una sostenibilidad integral [23], que a su vez integren y se preocupen del aspecto social tanto como los aspectos ambientales y económicos. [31] [40]

En este contexto, esta investigación ha tomado como puntos de partidas el lineamiento de los (1) trabajos aportados por Lozano [23] respecto al estudio de métodos que orientan la concientización del individuo frente a su toma de decisiones y la repercusión de sus efectos y (2) estudios que establecen la estructura conceptual integral de la sostenibilidad aportados por Labuschagne y Brent [20], que jerarquiza a los atributos que se debiesen considerar en forma general en las iniciativas operacionales de negocios/proyectos que contribuyen al desarrollo sostenible.

En base a los antecedentes expuestos, el propósito de este trabajo apunta a proponer una metodología, que permita identificar el nivel de valoración sobre los atributos de la sostenibilidad total, y en base a ello concientizar respecto a la toma de decisiones en el desarrollo de infraestructuras de los profesionales encargados de su formulación y desarrollo.

## 2. La sostenibilidad en el desarrollo de infraestructuras.

El desarrollo sustentable considera la interdependencia y balance entre los pilares económicos, ecológicos y sociales. [8] [10] [35]

Durante la evolución de los últimos 30 años del siglo XX la discusión sobre el desarrollo sustentable colocó el acento en la necesidad de legar una mejor naturaleza para las generaciones futuras, mientras que a finales de siglo, la comunidad internacional comenzó a incluir y comprender que el objetivo debe ser aumentar las capacidades humanas [13] [2]. De esta forma, ya desde fines de la década de los 90, se habían formulado principios sociales que debería abordar una construcción sostenible, muchos de ellos con el propósito de superar condiciones pobreza, pero que en nuestros tiempos se reconocen como vulnerabilidad social. [16]

Por su parte en la última década Labuschagne [20], propone una estructura conceptual de la sostenibilidad para iniciativas operacionales de la industria, la cual es contrastada con normativas y reglamentaciones internacionales como así también diversos autores relevantes en el desarrollo de la temática, resultando ser un modelo integrador y totalizador del concepto de sostenibilidad. El modelo propuesto ha sido considerado por diferentes autores en estudios del área de proyectos operacionales. [9] [7] [18] [12]

En el proceso de revisión bibliográfica se detecta que gran parte de los aspectos formulados por distintos autores desde la década de los 90 han sido contemplados en estudios más integrales desarrollados por Labuschagne [6] [19] [21], en el contexto de la evaluación de iniciativas operacionales con contribución a la sostenibilidad, proponiendo una estructura conceptual de que se ocupa de los impactos de la empresa sobre los sistemas sociales y ambientales en los que opera. La propuesta considera la revisión de estructuras de sostenibilidad integradas del Global Reporting Initiative, la estructura de desarrollo sostenible de las comisión de las Naciones Unidas y los Wuppertal Sustainability Indicator y el contraste de los criterios con más de 31 reglamentaciones internaciones y fuentes de literatura con el fin de lograr una estructura conceptual integral que permita establecer criterios de evaluación de la sostenibilidad (Figura 1) [21].

En este estudio se ha utilizado como base inicial esta estructura, en función de su nivel pertinencia al desarrollo de una infraestructura civil de uso público e integralidad y exhaustivo nivel de revisión, contrastada con reglamentaciones y trabajos de autores que han estudiado esta temática en los últimos 20 años.

En el método se introducen conceptos preliminares asociados a la sostenibilidad respecto de las tres dimensiones: social, medio ambiente y económico, desglosado en los atributos ilustrados en la Figura 1.



Figura 1 Estructura de Sostenibilidad (Adaptado de Labuschagne C, 2005)

## 3. Propuesta metodológica para la concientización de la sostenibilidad de las infraestructuras.

La estructura conceptual de Labuschagne [20] integra los tres aspectos de la sostenibilidad, donde cada dimensión está estructurada hasta un tercer nivel de atributos, alcanzando en total 12 criterios de evaluación (Figura 1), que debiesen estar considerados en una iniciativa de desarrollo de una infraestructura.

El método fue aplicado sobre un grupo de 36 profesionales del área de la construcción y matriculados en postgrados de la Universidad Politécnica de Valencia. El enfoque específico de los procesos pedagógicos diseñados, se estructuraron de acuerdo a las siguientes finalidades:

- Explicar la conceptualización de los atributos que involucra la sostenibilidad en la formulación de un proyecto de infraestructura.
- Identificar las diferentes valoraciones humanas respecto a las dimensiones de la sostenibilidad y la repercusión en la toma de decisiones.
- Concientizar al profesional respecto a su toma de decisiones orientadas en función de la valorización de los aspectos de la sostenibilidad, en consideración a los resultados de la priorización de proyectos de infraestructura.

**Tabla 1** Escala de valoración de Saaty (Saaty T, 1990)

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda

La valorización de los criterios de sostenibilidad se realiza sobre 12 criterios conocidos e integrados bajo un proceso analítico jerárquico (AHP) para determinar el grado de apreciación por parte de los profesionales, cuyas posturas son capturadas a través de encuestas individuales de comparación por pares de atributos.

La metodología AHP, es un método de evaluación multicriterio discreto que se ha utilizado ampliamente en el ámbito de la construcción y otras áreas [26] [37] [41] para identificar las priorización de distintos atributos que intervienen en la evaluación de alternativas, entre ellas algunos ejemplos son la evaluación de contratistas [27] [33], evaluación de la seguridad y salud [33], evaluación de políticas para el desarrollo de proyectos [11], selección de la mejor localización de un proyectos de construcción [32], entre otras varias aplicaciones. El AHP valora el nivel de importancia de un aspecto frente a otro, a través de la escala de Saaty (**Tabla 1**). Dicha comparación se realiza en un primer bloque entre atributos/criterios de la sostenibilidad y en un segundo bloque entre alternativas de inversión (proyectos). Esto otorga al estudiante la posibilidad de contrastar su juicio técnico, ético y personal, respecto a los aspectos de la sostenibilidad y reforzando la comprensión del impacto del desarrollo de diferentes infraestructuras sobre la sociedad en forma holística.

Complementariamente, se usó un análisis de conglomerados jerárquico, para identificar y agrupar las valorizaciones de un primer bloque y caracterizar los perfiles obtenidos. En un segundo bloque un análisis de caso permitió concretar las decisiones de los profesionales en base a la comparación entre proyectos de acuerdo a la dinámica del sistema AHP.

El desarrollo específico del proceso es explicado en forma pormenorizada en los siguientes apartados.

#### 4. Desarrollo del proceso.

La experiencia se desarrolló en 9 horas, compuesto en un primer bloque teórico presencial, entrega de las instrucciones de la dinámica de trabajo y aplicación de encuestas.

En un segundo bloque, se establecieron grupos colaborativos para la resolución de un análisis de caso, consistente en la selección de un proyecto de infraestructura de transporte entre tres diferentes alternativas otorgadas.

A continuación se presentan la descripción de las actividades claves contempladas en el proceso ilustrado en la **Figura 2**:

- **Desarrollo Conceptual y Metodológico:** En esta instancia, el instructor fue el facilitador principal del conocimiento. Las actividades asociadas a esta etapa involucraron el análisis de los conceptos asociados al desarrollo sostenible, particularizando los atributos y sub-atributos de las dimensiones sociales, ambientales y económicas. La dinámica de trabajo implicó:
  - Introducción e interiorización realizada por el instructor, donde se explicó el concepto general e interrelación de los atributos involucrados.
  - Análisis general de los estudiantes, sobre una guía de desarrollo, la cual ponía en antecedente breves situaciones simuladas de la vida real asociadas a la construcción, donde se debían identificar los aspectos de la sostenibilidad involucrados y su impacto positivo o negativo en base a una breve justificación por parte del estudiante. El instructor actúa como moderador de la actividad dentro del grupo curso.
  - En una segunda instancia, el instructor explica el proceso metodológico en base al sistema AHP y su aplicación en diversos ámbitos del sector de la construcción. La dinámica de trabajo implicó:
    - Introducción de los sistemas de evaluación multicriterios y presentación de los fundamentos metodológicos del AHP en base al desarrollo de un ejemplo y uso de Microsoft Excel.
    - Aplicación de un ejercicio formativo de menor escala, desarrollado por los profesionales, con uso de Microsoft Excel.

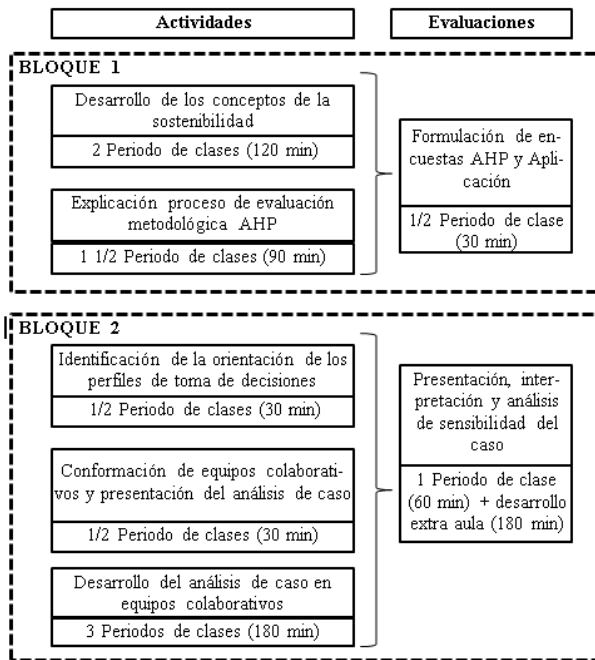


Figura 2 Esquema del desarrollo del proceso.

Aplicación de Encuestas: En una segunda etapa el estudiante actuó como experto y valor comparativamente los atributos que componen la sostenibilidad (Figura 1). El proceso de formulación de la encuesta y su operatoria de resolución fue instruido previamente en la descripción de proceso de evaluación metodológica AHP. Esta dinámica fue empleada como una evaluación formativa individual, en donde el estudiante debió resolver la encuesta facilitada por el instructor y contrastar los niveles de importancia de los aspectos de la sostenibilidad analizados previamente. La resolución de la encuesta fue aceptada por el instructor, en tanto esta reunió las siguientes características:

- Todas comparaciones han sido resueltas en base a la correcta aplicación de la estructura de llenado y valoración aplicando la escala de Saaty. [30]
- Las comparaciones entre agrupaciones jerárquicas (Figura 1), debieron ser consistentes según el ratio de consistencia establecido por Saaty (5 -10%). Para mayor detalle de su cálculo y fundamentos teóricos referirse a Saaty [30].

Perfiles de Toma de Decisiones: Las actividades de coordinación asociadas a la obtención de los perfiles de toma de decisiones están centralizadas en el instructor de la actividad. Una vez se han obtenido las 36 encuestas, cada una ha sido procesada conformando matrices entre atributos por cada nivel jerárquico (Figura 1). Para cada matriz se obtiene

los valores propios, que corresponden a los pesos parciales que cada estudiante otorga a los atributos comparados por cada nivel. Los pesos parciales son ponderados de acuerdo a la estructura jerárquica de la Figura 1, obteniéndose los pesos finales de los atributos de último nivel de la jerarquía. Para mayor detalle del proceso AHP dirigirse a Saaty T. [30]

Los pesos resultantes de las encuesta de cada estudiante, indican el orden de importancia que cada uno otorga a los atributos finales de la sostenibilidad. En base a dichos pesos se aplicó un análisis por conglomerado de acuerdo al método de Ward con apoyo del software estadístico SPSS versión 21, con objeto de agrupar e identificar la orientación de los perfiles de toma de decisiones respecto a la valoración de la sostenibilidad de las infraestructuras.

La Figura 3 muestra el dendrograma de Ward que ilustra el nivel de homogeneidad, en donde a una distancia de suma de cuadrados de 5 se conforma cuatro grupos con orientaciones diferenciadas de toma de decisiones. De esta forma, del análisis de las orientaciones de los grupos conformados, se obtiene la Tabla 3 que identifica los perfiles de toma de decisiones obtenido de los 36 profesionales que componen la muestra.

El instructor explico el reporte de resultados y su metodología a los profesionales, identificando el perfil al que pertenece cada uno de acuerdo a su numeración pre asignada

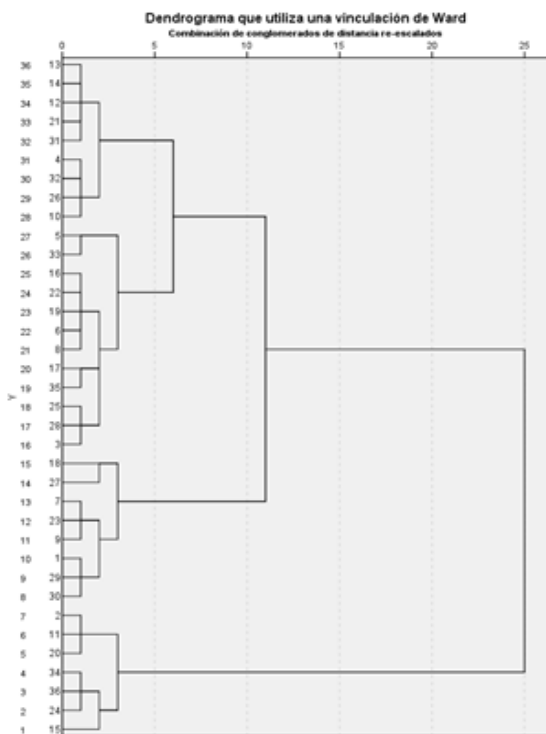
Tabla 2 Extracto de encuesta de comparación de atributos pareados (Formulada en base a Aznar J & Guijarro F (2012))

Contraste de atributos <sup>(1)</sup>	La variable menos importante cuantifica con 1 y la importancia de la otra se cuantifica teniendo en cuenta la escala previamente anunciada		
<sup>(1)</sup> Ver definición de atributos en tabla "Conceptos y Jerarquía". Todas las comparaciones deben ser resueltas.			
Por ejemplo si la Variable A frente a la Variable B, se ha determinado que A es mucho más importante que B (A tiene una importancia muy grande frente a B)	7	/	1
Por ejemplo, si la Variable A frente a la variable C, se ha determinado que C favorece ligeramente a A (C tiene una importancia moderada frente a A)	1	/	3
Variable Sostenibilidad Social frente a la variable Sostenibilidad Ambiental		/	
Variable Sostenibilidad Social frente a la variable Sostenibilidad Económica		/	
Variable Sostenibilidad Ambiental frente a la variable Población local externa		/	

Variable Recursos Humanos Internos frente a la variable Población local externa	/
Comparación del resto de atributos	/

**Tabla 3** Perfiles de toma de decisiones frente a la sostenibilidad.

Conglomerado	Descripción del Perfil
1,00	Alta influencia social con baja consideración ambiental (Socioeconómico – Privilegio lo social). Es de trascendencia su preocupación por las prácticas de seguridad y salud de los recursos humanos internos, la salud del capital humano de la población local externa y las oportunidades de empleo que genera el proyecto.
2,00	Alta influencia económica y sin inclinación preferente entre lo social y lo ambiental (Economistas con consideración a lo socioambiental)
3,00	Alta influencia ambiental con baja consideración económica (Ambientalista social). Dentro de sus preocupaciones ambientales es de trascendencia los cuidados de los recursos agua y Aire. Por su parte socialmente tiene una relativa inclinación hacia las oportunidades de empleo y las prácticas de seguridad y salud.
4,00	Alta influencia ambiental con baja consideración social (Ambientalista económico). No manifiesta una preferencia marcada frente a la protección específica de algún recurso ambiental, todos le parecen relativamente significativos.



**Figura 3** Dendrograma de Ward.

El análisis de caso se enmarcó en el proyecto de construcción para el acondicionamiento y refuerzo del firme del Tramo comprendido entre las localidades de Villalonga-Ador por las vías CV-685 de Villalonga y la vía CV-680 por Villalonga – Potries, en la Comunidad Valenciana, España.

Las opciones propuestas incorporaron 3 diferentes conjuntos de infraestructuras de interconexión (Figura 4 y Figura 5), las cuales surgieron por la necesidad de un acondicionamiento que requiere la carretera, dado el elevado índice de accidentabilidad generado en gran medida por las reducidas características geométricas de las vías y un elevado índice de tráfico de vehículos pesados superior a los 2000 veh/día, que transitaban por el sector urbano.

En este contexto, el caso pretende que los profesionales analicen las alternativas de mejoramiento de la situación propuesta de acuerdo a los atributos de la estructura jerárquica de la sostenibilidad (Figura 1), a objeto de identificar qué proyecto de mejoramiento (Figura 4 y Figura 5) ofrece una mayor contribución a la sostenibilidad. Para lograr este propósito, se procedió de acuerdo a la siguiente operatoria:

a) De acuerdo a los antecedentes entregados a los profesionales respecto de cada alternativa, el equipo de trabajo, analizó el nivel de importancia relativa de las tres alternativas de solución valorizada según las escala de Saaty (Tabla 1), para cada atributo del último nivel de la estructura jerárquica de la Figura 1. El equipo de trabajo presentó un único resultado de sus valoraciones en base a una matriz de comparación por cada atributo de último nivel de la Figura 1.

b) El equipo de profesionales obtuvo en cada una de sus matrices los valores propios que caracterizan el peso relativo que tiene una alternativa de mejoramiento frente a otra para cada uno de los atributos estudiados de la sostenibilidad.

c) El peso de cada una de las alternativas del análisis de caso en cada atributo es ponderado por el peso del atributo obtenido durante el bloque 1. Esto para obtener el peso global de cada alternativa de mejoramiento de la infraestructura de conexión vial que incluye la consideración de todos los atributos de la sostenibilidad, valorados por los profesionales, de acuerdo a los antecedentes técnicos de los proyectos y el juicio de valoración obtenido en el bloque 1.

El proceso de evaluación fue concretado a través de dos instrumentos, los cuales se detallan a continuación:

- La aplicación de una encuesta de valoración de preferencias de atributos (Tabla 2). Esta fue una evaluación formativa, donde el profesional tuvo ilimitadas oportunidades

para su resolución en forma correcta. El propósito de esta evaluación fue generar la instancia en que el propio estudiante se enfrente e integre la conceptualización de los atributos de sostenibilidad y su juicio de valoración sobre los atributos de acuerdo a la comparación por pares de Saaty. Para mayor detalle referirse al apartado 4 de este trabajo

- Por su parte, se diseñó y aplicó una rúbrica para evaluar la resolución del análisis de caso propuesto a los profesionales (Tabla 4). La evaluación resultante es de carácter sumativo y su propósito es identificar el nivel de comprensión del estudiante respecto a las repercusiones de las valorizaciones humanas en la toma de decisiones y en qué grado las diferentes características de las alternativas de proyectos de infraestructura contribuyen en mayor o menor grado a la sostenibilidad



Figura 5 Alternativa 1; Mejora del trazado del último tramo de la CV-685 (eliminación del garrote y ampliación de la anchura del puente) y creación de un nuevo eje de conexión con la CV-680 por fuera de la población

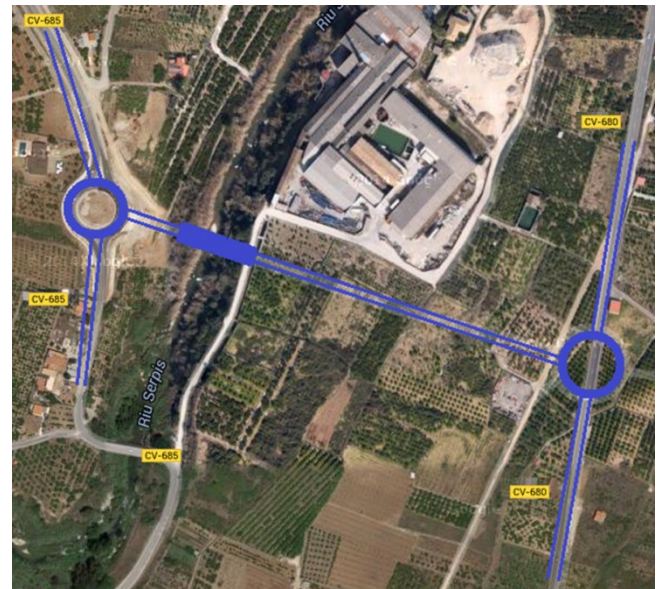


Figura 6 Alternativa 2; Creación de un nuevo vial de conexión entre ambas vías mediante un nuevo puente y sendas glorietas



Figura 4 Alternativa 0, situación sin proyecto (actual)

## 5. Conclusiones.

Los profesionales encargados de la planificación de los proyectos de infraestructuras deben ser capaces de crear soluciones eficientes de manera técnica, económica, ambiental y socialmente sostenibles de una forma integral. Pero para ello el proceso de formación debe evitar la parcialidad en la conceptualización del “desarrollo sostenible”, de tal manera que no pre condicione la toma de decisiones futuras de estos profesionales. El enfoque de enseñanza presentado en esta comunicación, tiene como propósito fomentar la conciencia respecto a los tres pilares

fundamentales de la sostenibilidad, junto con proponer una metodología para valorizar las preferencias de los aspectos que la componen y analizar cómo estas influyen la toma de decisiones.

Los resultados obtenidos a partir del desarrollo de esta metodología y el uso del sistema AHP evidencian que esta propuesta es apropiada para identificar la orientación de toma de decisiones de los profesionales de postgrado, frente a los temas de sostenibilidad. Además la asociación al desarrollo de una análisis de caso, ha permitido recrear la formulación de un análisis crítico, en donde el estudiante ha podido percatarse de cómo sus valorizaciones personales y/o de equipos de trabajos con similitud formativa, que son parte de una sociedad e incluso son y/o serán responsables del diseño, administración y/o ejecución de los proyectos de infraestructuras, influyen en la selección de un proyecto o bien las características que estos llevan asociados.

Nuestra muestra (no necesariamente representativa de un conjunto profesional) se evidenciaron cuatro perfiles de pensamiento frente a la sostenibilidad de las infraestructuras:

Socioeconómico, Económico, Ambiental- Económico y Ambiental-Social. Esto en ningún caso es generalizable a otros profesionales, no obstante el perfil de dichos grupos ha sido consecuente con los resultados de propuestas iniciales seleccionadas por los equipos de trabajo previo a la sensibilización del análisis caso.

Es de consideración que esta propuesta ha sido desarrollada en un contexto de profesionales con un alto nivel de experiencia en el área técnica del desarrollo de infraestructuras y con un enfoque de aprendizaje activo. Futuras investigaciones debiesen estar orientadas a fortalecer la consulta de preferencias, de tal manera de diagnosticar en forma más aproximada y representativa la valoración de los profesionales frente a los aspectos de la sostenibilidad. Esta es una contribución que debiese apuntar a satisfacer las necesidades de formación de los ingenieros y profesionales del área de la construcción, cuyas consideraciones técnicas y económicas en su desarrollo profesional, no son hoy en día suficientes para dimensionar el alcance de sus responsabilidades.

**Tabla 4** Rubrica evaluación de la sostenibilidad con AHP del análisis de caso

<b>PROCEDIMIENTO (20%): Presentación metodológica organizada y reflexiva del trabajo en equipo.</b>			
Presentan y preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. Identifica todos los elementos del caso. (4 pts)	Presentan y preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. No identifica todos los elementos del caso (3 pts)	Presentan y no preparan en forma eficiente, efectiva el estudio de caso. Identifica parcialmente algunos de los elementos del caso (2 pts)	Su presentación esta fuera del esquema formal y muestra deficiencias y poca efectividad en el estudio de caso. No identifica los elementos del caso (1 pto)
<b>INTERPRETACION Y ANALISIS (SENSIBILIDAD) (30%): Identifica las repercusiones de las características de proyectos contribuye a la sostenibilidad.</b>			
Identifica todas las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumentaciones son correctas (4 pts)	Identifica parcialmente las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumenta y las desarrolla correctamente (3 pts)	Identifica parcialmente las características significativas de cada proyecto para un mayor o menor grado de contribución de a la sostenibilidad. Las argumentaciones son inexactas (2 pts)	Identifica características sin remarcar su nivel de significación. Su argumentación es insuficiente (1 pto)
<b>INTERPRETACION Y ANALISIS (SENSIBILIDAD) (30%): Identifica las repercusiones de las valorizaciones humanas en la toma de decisiones.</b>			
Presentan argumentaciones y justificaciones acertadas y suficientes respecto a los correctos resultados del proceso metodológico de sensibilización. Identifica, matices, variaciones e influencias (4 pts)	Formula el proceso de sensibilización en forma metodológica a explicación es no abarcan la totalidad de puntos de vista. Identifica en forma parcial matices variaciones e influencias (3 pts)	Formula el proceso de sensibilización en forma metodológicamente correcta pero su argumento a explicación es insuficiente para validar la comprensibilidad del tema (2 pts)	Se formula el análisis de sensibilidad, más su argumentación e interpretación es nula o bien la formulación metodológica de la sensibilidad presenta debilidades que invalidan cualquier argumentación (1 pto)



---

**CONCLUSIÓN (20%): Opiniones personales**

---

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, son claras, definen y ayudan a comprobar la hipótesis planteada (4 pts)

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, no son claras, definen y ayudan a comprobar la hipótesis planteada (3 pts)

Las conclusiones y opiniones abordan el caso de estudio, carecen de claridad, son diferentes a la hipótesis planteada (2 pts)

Las conclusiones y opiniones son diferentes al estudio de caso, no ayudan a comprobar la hipótesis planteada (1pto)

---

**6. Bibliografía.**

[1] Abdul-Wahab, S.A., Abdulraheem, M.Y., Hutchinson, M., (2003). The need for inclusion of environmental education in undergraduate engineering curricula. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 4 (2), 126-137.

[2] Anand, S., & Sen, A. (2000). Human Development and Economic Sustainability. *World Development*, 28(12), 2029–2049. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00071-1](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00071-1)

[3] Aznar J & Guijarro F (2012) Nuevos métodos de Valoración – Métodos Multicriterios, Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2da edición, 269 pp

[4] Bacon, C. M., Mulvaney, D., Ball, T. B., DuPuis, E. M., Gliessman, S. R., Lipschutz, R. D., & Shakouri, A. (2011). The creation of an integrated sustainability curriculum and student praxis projects. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(2), 193-208.

[5] Boks, C., & Diehl, J. C. (2006). Integration of sustainability in regular courses: experiences in industrial design engineering. *Journal of Cleaner Production*, 14(9), 932–939. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.038>

[6] Brent A.C, van Erck R.P, and Labuschagne C (2006), Sustainability cost accounting – Part: A monetary procedure to evaluate the sustainability of technologies in the South African process industry. *SA Journal of Industrial Engineering*, 17(2), 35-51.

[7] Brent, A. C., Rogers, D. E. C., Ramabitsa-Siimane, T. S. M., & Rohwer, M. B. (2007). Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimise infection risks in developing countries. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 403–424. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.015>

[8] Brundtland G, et al (1987). Report of the World Commission on Environment and De-velopment: Our Common Future (Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427- Development and International Cooperation: Environment). United Nation. Oslo, Noruega.

[9] Bubou, G.M., Brent, A.C. & Tredoux, C.. Towards assessing the social sustainability performance of the

petroleum industry in the Niger Delta Region of Nigeria. *S. Afr. J. Ind. Eng.* [aaaonline]. 2009, vol.20, n.1, pp.119-132. ISSN 2224-7890.

[10] CIB (1999). Agenda 21 on Sustainable Construction, CIB Report Publication No. 237, Rotterdam.

[11] Dytczak, M., & Ginda, G. (2009). Identification of building repair policy choice criteria role. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(2), 213-228. doi:10.3846/1392-8619.2009.15.213-228

[12] Florez L., Castro-Lacouture D. and Medaglia A.L. (2013). Sustainable workforce scheduling in construction program management. *J. Oper. Res. Soc.*, 64(8), 1169–1181.

[13] Foladori, G., (2005)., Advances and limits of social sustainability as an evolving concept, *Canadian Journal of Development Studies*, 26, 501-510.

[14] Gardner, J.E., (1989) Decision making for sustainable development: selected approaches to environmental assessment and management. *Environmental Impact Assessment Review*, 9, 337-366.

[15] Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustain ability. *Annual Review of Ecological System*, 26, 1- 24.

[16] Hill, R. & Bowen P., (1997) Sustainable construction: principles and a framework for attainment. *Construction Management and Economics*, 15, 223-239.

[17] Kamp, L., (2006). Engineering education in sustainable development at Delft University of Technology. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 928-931.

[18] Lang D., Scholz R.W., Binder C.R., Wiek A. and Stäubli B. (2007). Sustainability potential analysis (SPA) of landfills - a systemic approach: theoretical considerations a systemic. *J. Clean. Prod.*, 15(17), 1628–1638.

[19] Labuschagne C. Sustainable project life cycle management: criteria for the South African process industry. Master’s thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Pretoria, February 2003.

[20] Labuschagne C. et al. (2005) Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production* 13 373 -385.

- [21] Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2008). An industry perspective of the completeness and relevance of a social assessment framework for project and technology management in the manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, 16(3), 253-262. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.028>
- [22] Lozano, R., & Peattie, K., Developing a Tool to Audit Curricula Contributions to Sustainable Development. In: W. Leal Filho (ed.), *Sustainability at Universities – Opportunities, Challenges and Trends* (Vol. 31). Frankfurt am Main, Germany: Peter Lang Publishing Group, 2009.
- [23] Lozano, R. (2010). Diffusion of sustainable development in universities' curricula: An empirical example from Cardiff University. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), 637-644.
- [24] Lozano, R., Lukman, R., Lozano, F. J., Huisinigh, D., & Lambrechts, W. (2013). Declarations for sustainability in higher education: Becoming better leaders, through addressing the university system. *Journal of Cleaner Production*, 48, 10-19.
- [25] Lozano, R., & Young, W. (2013). Assessing sustainability in university curricula: Exploring the influence of student numbers and course credits. *Journal of Cleaner Production*, 49, 134-141.
- [26] Marzouk, M., El Shinnawy, N., Moselhi, O., & El-Said, M. (2013). Measuring sensitivity of procurement decisions using superiority and inferiority ranking. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12(3), 395-423.
- [27] Pastor-Ferrando, J. P., Aragoes-Beltran, P., Hospitaler-Perez, A., & Garcia-Melon, M. (2010). An ANP- and AHP-based approach for weighting criteria in public works bidding. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 905-916.
- [28] Peet, D.-J., Mulder, K.F., Bijma, A., (2004). Integrating SD into engineering courses at the Delft University of Technology. The individual interaction method. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 5 (3), 278-288.
- [29] Quist, J., Rammelt, C., Overschie, M., de Werk, G., (2006). Backcasting for sustainability in engineering education: the case of Delft University of Technology. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 868-876.
- [30] Saaty T L, (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* , 48, 9-26.
- [31] Segalas, J., Ferrer-Balas, D., & Mulder, K. F. (2010). What do engineering students learn in sustainability courses? the effect of the pedagogical approach. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 275-284.
- [32] Sener, B., Suzen, M., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- [33] Shapira, A., & Simcha, M. (2009). AHP-based weighting of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 135(4), 307-318.
- [34] Thomas, I., (2004). Sustainability in tertiary curricula: what is stopping it happening? *International Journal of Sustainability in Higher Education* 5 (1), 33-47
- [35] UNCED (1992). *Agenda 21: Action Plan for the Next Century*. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro: United Nations.
- [36] Valdes-Vasquez, R., & Klotz, L. (2011). Incorporating the social dimension of sustainability into civil engineering education. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 137(4), 189-197.
- [37] Vidal, L., Marle, F., & Bocquet, J. (2011). Using a delphi process and the analytic hierarchy process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5388-5405.
- [38] von Blottnitz, H., (2006). Promoting active learning in sustainable development: experiences from a 4th year chemical engineering course. *Journal of Cleaner Production* 14 (9-11), 916-923.
- [39] Wemmenhove, R., & de Groot, W. T. (2001). Principles for university curriculum greening - An empirical case study from Tanzania. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2(3), 267-283. <http://doi.org/10.1108/14676370110388354>.
- [40] Wright, T. S. A., & Wilton, H. (2012). Facilities management directors' conceptualizations of sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 31, 118-125.
- [41] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Vilutiene, T. (2009). Multicriteria evaluation of apartment blocks maintenance contractors: Lithuanian case study. *International Journal of Strategic Property Management*, 13(4), 319-338.