

## IDENTIFICACIÓN DE FACTORES E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD GENÉRICOS EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

Fernández Sánchez, G.<sup>(P)</sup>

Rodríguez López, F.

Hruškovič, P.

*Departamento de ingeniería civil: construcción. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid*

### Abstract

The importance of the construction sector in general, and the civil engineering in particular, in the new sustainable concept, open new and complex research lines. The application of the sustainable development in the urban and building scope from 1992 by means of tools based on indicators causes that we have a very important feedback of these systems and a valuable information to apply to civil engineers projects.

In this paper a first step in this direction appears. By means of project management standards for the identification of risks and opportunities, it has been proposed a methodology to identify the most important sustainability factors and indicators in the civil engineering projects to obtain the first generic breakdown structure of indicators and its classification.

**Keywords:** *Project Management, indicators, civil engineering, sustainability*

### Resumen

La importancia del sector de la construcción en general, y de la ingeniería civil en particular, dentro del concepto sostenible hace que se abran líneas de investigación en este sentido. La aplicación del desarrollo sostenible en el ámbito urbano y la edificación mediante herramientas basadas en indicadores desde 1992 hace que dispongamos de una información básica e importante y disponer así de información y de lecciones aprendidas para aplicarlo a la evaluación sostenible de los proyectos de ingeniería civil.

En este artículo se presenta un primer paso en esta dirección. Mediante estándares de gestión de proyectos de identificación de riesgos y oportunidades, se trata de proponer una metodología para identificar los factores e indicadores de sostenibilidad en los proyectos de ingeniería civil para obtener una primera estructura desagregada de indicadores de carácter genérico.

**Palabras clave:** *Gestión de proyectos, indicadores, ingeniería civil, sostenibilidad*

## 1. Introducción

La introducción del desarrollo sostenible tanto en la planificación urbana como en los proyectos de construcción es un hecho. Es en los proyectos de ingeniería civil donde todavía este desarrollo está en sus primeras etapas. Los nuevos requisitos que surgen en los proyectos de infraestructuras se suman al triple objetivo de coste, plazo y calidad, siendo necesarias técnicas y herramientas nuevas que permitan alcanzar el compromiso medioambiental, social y económico (Rodríguez y Fernández, 2008).

En la actualidad, más de 6.400 municipios de todo el mundo se encuentran dentro del proceso de Agenda 21 (ICLEI, 2002). Esto supone, como marca el propio documento de Agenda 21, el establecimiento de un sistema de indicadores que permitan marcar objetivos sostenibles en el desarrollo urbanístico, así como para controlar y monitorizar los avances en los mismos a lo largo del tiempo. Cada organismo ha adoptado un conjunto de indicadores y el resultado ha sido: una gran disparidad de dimensiones e indicadores con la inexistencia de un consenso global para la selección de los mismos (Wilson et al., 2007); la necesidad de participación de todos los involucrados en el proceso de selección de indicadores, que sólo era explícita en la mitad de los municipios registrados en el mundo (ICLEI, 2002); el alto grado de arbitrariedad que revelan los indicadores (Singh et al., 2009); las diferencias existentes en el número de indicadores (Button, 2002; GTIS, 2004); y el dominio del área medioambiental frente a las áreas social y económica (GTIS, 2004). Ésta problemática surge a pesar de los esfuerzos internacionales durante la década de los 1990 por establecer modelos de generación de indicadores como el sistema Press-State-Response (PSR) de la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) para el desarrollo de indicadores medioambientales, su posterior desarrollo sobre aspectos sostenibles con el sistema Driving Forces-State-Response (DSR) de United Nations Department for the Policy Coordination and Sustainable Development o el modelo Driving Forces-Press-State-Impact-Response (DPSIR) de la European Environmental Association, Eursotat y OECD.2.

En el sector de la edificación, los sistemas de indicadores existentes presentan también una gran problemática como es la incertidumbre y subjetividad durante la selección de criterios, indicadores y dimensiones (Huetting and Reijnders, 2004; Seo et al., 2004); la dominación del área medioambiental en la evaluación sostenible de los edificios (Saparauskas, 2007); la falta de participación de todos los involucrados en el ciclo de vida del proyecto (Fernández, 2008); y el número de indicadores que debiera ser generalmente pequeño y que no resulta ser así en los sistemas de indicadores existentes (Alarcón, 2005). En este sector existen intentos por parte de International Organization for Standardization (ISO) para lograr una homogeneización de la aplicación de la sostenibilidad y establece ya un marco para el desarrollo de los indicadores pero sin establecer una metodología para la creación y selección de los mismos.

Por último, el término construcción sostenible se ha centrado casi exclusivamente en la edificación, pero poco a poco se están introduciendo los objetivos sostenibles en los proyectos de ingeniería civil. Así, han surgido sistemas de indicadores para puentes y viaductos como el modelo SUSAIIP (SUStainability Appraisal in Infrastructure Projects) formado por criterios identificados a raíz de entrevistas y encuestas de los diversos actores intervinientes en el ciclo de vida (Ugwu et al., 2006); o el TSI (Technical Sustainability Index) propuesto por Dasgupta and Tam (2005) donde los indicadores

han sido creados en base a la documentación científica existente. Con todo esto y teniendo en cuenta que el sector de la construcción evoluciona hacia un aumento y desarrollo en el número y tipo de indicadores sociales, económicos y medioambientales (Zhang et al., 2008), se considera necesario el establecimiento de una metodología de identificación de indicadores de sostenibilidad desde el punto de vista de la gestión de proyectos.

## 2. Objetivos y alcance

Como se ha mostrado en la introducción, existe una gran demanda de metodologías para la selección de indicadores de sostenibilidad tanto en relación con la planificación urbana como en los propios proyectos de construcción (edificación e ingeniería civil).

Por estas razones, se propone el establecimiento de un proceso metodológico para la identificación y selección de factores e indicadores de sostenibilidad atendiendo a los mismos como oportunidades (riesgos positivos) del proyecto y lograr un equilibrio entre los impactos producidos durante el ciclo de vida del proyecto y los beneficios del entorno social, económico y medioambiental. El objetivo es, por tanto, proponer una metodología para la selección de indicadores en los proyectos de ingeniería civil de manera que todos los actores del proyecto puedan intervenir en este proceso reduciendo la subjetividad y las incertidumbres del proceso. Se busca la identificación de absolutamente todas las oportunidades de mejora del proyecto hacia la sostenibilidad para una posterior caracterización y priorización de las mismas. Se pretende lograr un listado de todos los factores que intervienen en la sostenibilidad de cada proyecto concreto para luego analizar, de acuerdo a los objetivos de coste, plazo y calidad, la viabilidad de aplicación de cada uno mediante la priorización y categorización. El alcance de este trabajo es únicamente el de los proyectos de ingeniería civil donde el desarrollo de los indicadores de sostenibilidad y las evaluaciones en esta dirección son todavía muy limitados y realizar una primera aproximación a conseguir una estructura desagregada de indicadores en este tipo de proyectos.

## 3. Metodología

### 3.1 Antecedentes

La metodología que se propone para la identificación y selección de indicadores se basa en el tratamiento de la sostenibilidad como oportunidades para el proyecto y, a partir de ellas, el establecimiento de indicadores para su medición y control. Al proponer su tratamiento como oportunidad, se pueden identificar los diferentes factores de sostenibilidad del proyecto mediante la aplicación de la gestión de riesgos, como propuso Hillson (2002) en cuanto a la idoneidad de aplicación de la gestión de riesgos a las oportunidades de un proyecto. Se han estudiado los estándares de gestión de riesgos existentes (tabla 1) para su posible aplicación en la identificación de factores e indicadores de sostenibilidad y de este modo crear una metodología basada en la dirección integrada de proyectos, con las técnicas empleadas en la identificación de riesgos, pero adaptadas al objetivo sostenible que nos interesa.

Tabla 1. Estándares de gestión de riesgos y oportunidades analizados

Estándar	Denominación del estándar	Año publicación
RAMP	-Risk Analysis and Management for Projects. Reino Unido, ICE (Institution of Civil Engineers)-	2005
	Aplicable a proyectos como marco estratégico con una fuerte componente económica, está marcada en aspectos estratégicos	
PRAM	-Project Risk Analysis and Management. Reino Unido, APM (Association of Project Managers)-	1997
	Aplicable en organizaciones y proyectos; da todas las técnicas existentes para la gerencia de riesgos pero el equipo de proyecto debería elegir la combinación de las herramientas y técnicas más apropiadas para su proyecto	
PMBok	-Project Management Body of Knowledge. EEUU, PMI (Project Management Institute) Standard-	2004
	Estándar para la gestión y la investigación de proyectos dentro del área de la Dirección Integrada de Proyectos. Identificación de factores que aumenten la probabilidad e impacto de los eventos positivos y que disminuyan la de los eventos negativos	
PMBok Construction	-Extension to a Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBoK Guide, PMI Standard-	2003
	Ampliación del estándar del PMBoK aplicado a los Proyectos de Construcción	
AS/NZS 4360:2004	-Risk Management, Australia Standards-	2004
	Guía genérica para gestionar el riesgo para ser aplicado en un amplio rango de actividades, decisiones u operaciones, sobre todo para grupos u organizaciones	
BS 6079-3:2000	-Project Management. Guide to the Management of Business Related Project risk. Reino Unido, British Standards (BS)-	2000
	Estándar para la gestión de proyectos dentro del área de la Dirección Integrada de Proyectos	
BS 6079-4	-Project Management. Guide to the Project Management in Construction Industry. Reino Unido, British Standards (BS)-	2006
	Aplicación del estándar genérico del BS a los proyectos de Construcción	
ISO/IEC Guide 73	-Risk Management – Vocabulary – Guidelines for Use in Standards-	2002
	Vocabulario referente a la gestión de riesgos	
ISO 31000	-Risk Management Guidelines on principles and implementation of Risk Management-	Draft
UNE 150008:2008	-Environmental risk análisis and assessment-	2008
	Metodología de evaluación y análisis de riesgos ambientales en las actividades industriales	

Del análisis de los diferentes estándares encontrados de sostenibilidad en la construcción y de los estándares de gestión de riesgos (tabla 1) se ha tratado de valorar la posible viabilidad de aplicación de las diferentes técnicas existentes para la identificación de riesgos para el caso de la identificación de indicadores de sostenibilidad. Así, siguiendo el esquema de la figura 1, se ha seleccionado como marco de trabajo el estándar ISO-21929-1 relativo al marco para la definición de indicadores que, aunque se basa únicamente en indicadores de edificación, permite ya una primera

aproximación para la definición de indicadores siguiendo un patrón estándar; y como metodología de identificación y selección de los mismos, se ha considerado el estándar PRAM y la gestión de riesgos incluida en el PMBoK como aquellos que más se aproximan al tratamiento e identificación de oportunidades en los proyectos de ingeniería civil y que definen técnicas para lograrlo. Basado y apoyado en estos estándares pasamos a definir la metodología de trabajo sobre la que proponemos trabajar.

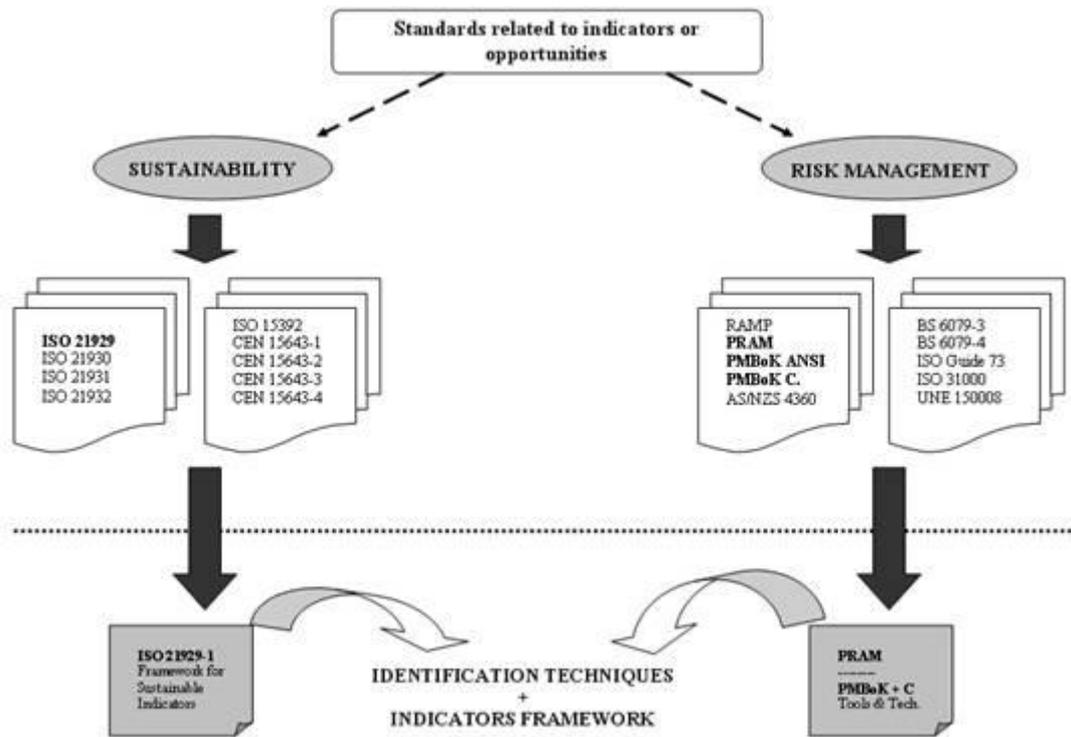


Figura 1. Base de la propuesta

### 3.2 Propuesta para la identificación de indicadores

Siguiendo el esquema de la figura 1, se propone una metodología de identificación de oportunidades de sostenibilidad que se convertirán posteriormente en indicadores capaces de medir, controlar y monitorizar las oportunidades seleccionadas. El objetivo principal es la identificación de todos los factores sostenibles que influyen en el proyecto dado y para ello se utilizarán las técnicas existentes en los estándares mencionados que sean más acordes con el ámbito del desarrollo sostenible en los proyectos de ingeniería civil. Un punto básico de este tipo de proyectos es la gran cantidad de actores participantes en el ciclo de vida y la necesidad, por tanto, de incluirlos en la fase de identificación (Button, 2002), aspecto que se ha tratado como básico en el planteamiento metodológico.

La identificación de indicadores se realizará con las siguientes técnicas de identificación:

1. Revisión de documentación: se trata de una selección de la documentación existente y una revisión estructurada de la misma en busca de los objetivos sostenibles del proyecto. Se diferenciarán, dentro de esta técnica, dos aplicaciones diferentes:

- Bibliografía científico-técnica, de acuerdo a las publicaciones científicas y técnicas existentes en la tipología de proyecto de que se trate, herramientas o sistemas de indicadores existentes que pueden servir de entradas al proceso y experiencias profesionales publicadas en el sector.

- Legislación. Se ha considerado la importancia de la revisión de la normativa tanto regional, nacional como internacional relativa a los aspectos sostenibles del proyecto objeto de estudio pues refleja la experiencia asentada en las diferentes áreas de conocimiento y la importancia de las líneas políticas y estratégicas del país o región.

2. Recopilación de información mediante encuestas: es fundamental la elaboración de encuestas a todos los actores del ciclo de vida del proyecto para recoger los puntos de vista y la importancia de cada sector involucrado. De este modo, la encuesta deberá ir reflejada no sólo a expertos, como ingenieros o arquitectos, que subrayarán la importancia de los aspectos técnicos del proyecto, sino también a promotores (importancia económica y rendimiento de la inversión), los usuarios tanto directos como indirectos (importancia de los aspectos sociales y económicos), las organizaciones ecologistas (importancia medioambiental e impactos sobre el entorno del proyecto), así como a los suministradores de materiales y equipamientos (gestión de recursos y residuos). La encuesta debe estar enfocada a que el encuestado proponga factores e indicadores de sostenibilidad del proyecto, no a que valore o califique los indicadores propuestos.

3. Recopilación de información mediante entrevistas: generalmente se harán a expertos en aspectos sostenibles de los proyectos, pero se debe englobar a todos los actores mencionados anteriormente.

4. Organización y realización de Brainstorming: se trata de una dinámica de grupo de actores seleccionados previamente que sean representativos de los intervinientes en el ciclo de vida del proyecto para conseguir sacar la mayor cantidad de oportunidades de sostenibilidad posibles. Generalmente surgirán ideas de muy diferente tipología, pero todas valdrán como factores identificados que posteriormente se evaluarán.

5. Comparación con otras áreas y otras herramientas existentes: Se estudiará asimismo la documentación existente y la experiencia en otras áreas donde se haya aplicado el concepto de sostenibilidad (edificación, urbanismo, ingeniería de productos, agricultura, ingeniería de montes, etc.).

6. Análisis mediante Listas de Control: basado en la información histórica y el conocimiento acumulado por el equipo en proyectos anteriores similares.

7. Técnicas de Diagramación: donde se incluirán los diagramas causa-efecto, también conocidos como de Ishikawa, y los diagramas de flujo o de sistemas que muestran la relación de los diferentes elementos del sistema y la causalidad.

El establecimiento de estas siete técnicas se basa principalmente en la aplicación del estándar PMI (2004) y PRAM (1997) aplicadas a los factores de sostenibilidad. Cada una de estas técnicas generará una lista diferente de oportunidades de sostenibilidad siguiendo el esquema de la figura 2, realizando cada técnica de un modo independiente de las demás, sin que una lista influya sobre las demás. De este modo, se obtendrán un total de ocho listas de oportunidades del proyecto hacia la sostenibilidad siguiendo el principio de participación de todos los actores del proceso durante esta fase. Mediante la aplicación de estas técnicas se consigue un modelo que permitirá llegar en muchos casos a las mismas oportunidades, pero también a la identificación de factores inimaginables. Creemos que es necesario este procedimiento de identificación de oportunidades y de sus respectivos indicadores, al igual que se hace con la gestión de riesgos, atendiendo el ciclo de vida del mismo.

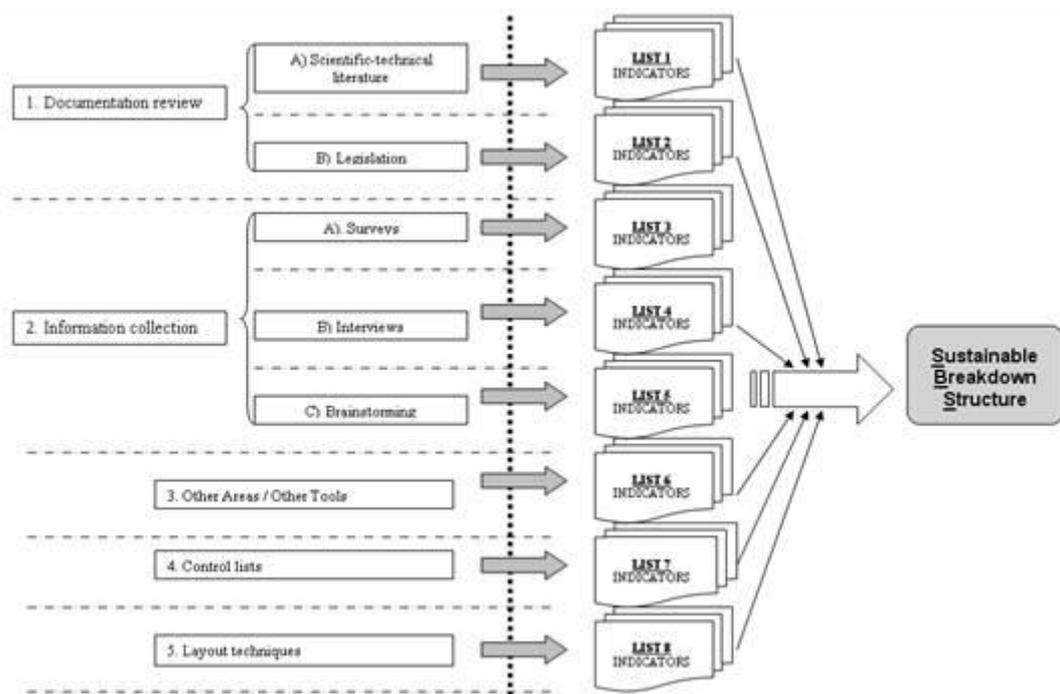


Figura 2. Esquema metodológico para obtener las listas de oportunidades e indicadores de sostenibilidad

Lógicamente, muchos de estos factores identificados no serán aplicables por su excesivo impacto negativo sobre los objetivos del proyecto (coste, plazo y calidad), sobre los requisitos propios del promotor o bien por su imposibilidad de aplicación física o técnica. Por eso será necesaria una clasificación y priorización de las oportunidades identificadas previa al análisis y evaluación sostenible de un proyecto.

### 3.3 Clasificación y Priorización

Se propone asimismo realizar la clasificación de las nueve listas de oportunidades y sus correspondientes indicadores mediante una estructura desagregada de trabajo (Sustainable Breakdown Structure), que será la clasificación genérica de un proyecto de ingeniería civil (SBS<sub>genérica</sub>). Las estructuras desagregadas para clasificar las diferentes

oportunidades identificadas se podrán realizar siguiendo uno de los siguientes esquemas: mediante los pilares del desarrollo sostenible como primer nivel como se muestra en la figura 3, siguiendo el ciclo de vida del proyecto, o bien, desagregando las oportunidades por elementos del proyecto.

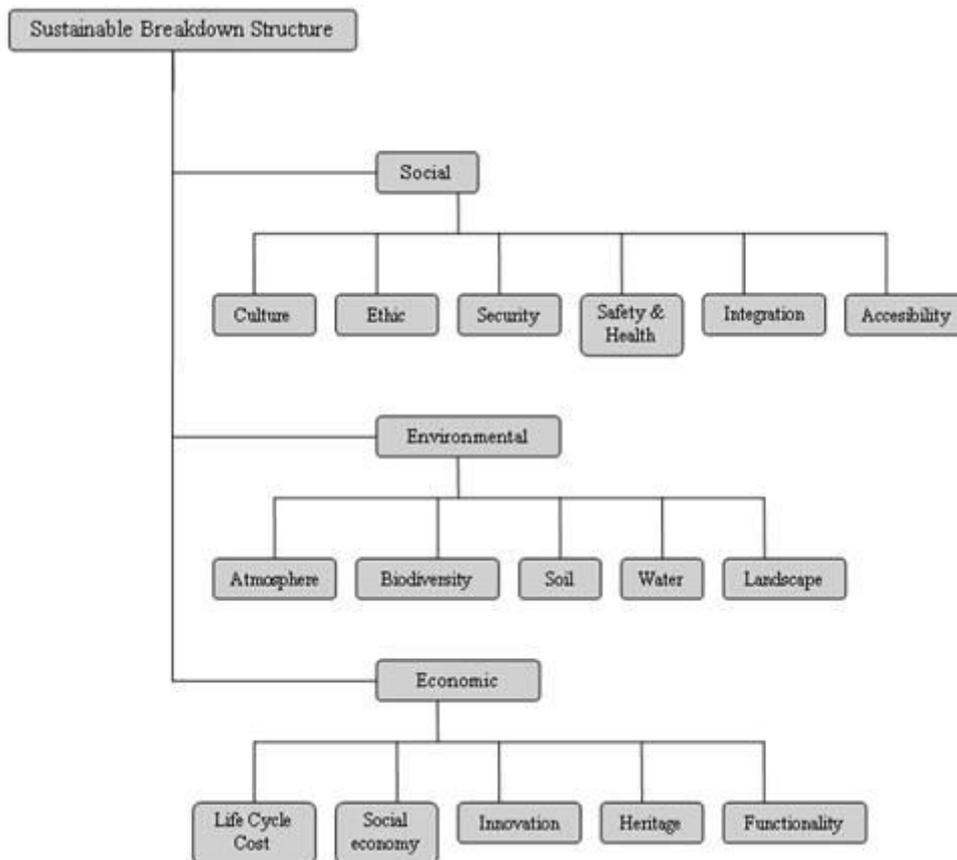


Figura 3. Ejemplo de una Estructura desagregada de indicadores de sostenibilidad (Sustainable Breakdown Structure) basada en los tres pilares del Desarrollo Sostenible

Además de esta clasificación mediante las estructuras de desglose, se propone realizar unas fichas de cada indicador u oportunidad identificada que caracterice cada uno lo máximo posible.

En cuanto a la priorización de las oportunidades identificadas y clasificadas, siguiendo el principio de Pareto que dice que el 80 % de los problemas vienen del 20 % de las causas, nosotros proponemos que el 80 % de los objetivos sostenibles se pueden conseguir con el 20 % de los indicadores o factores de sostenibilidad identificados con la metodología propuesta. Para el análisis y la priorización de estos indicadores, se podrá recurrir a técnicas de análisis de expertos, de sensibilidad, o la propuesta de Rodríguez y Fernández (2008) para la selección del 20 % de las oportunidades que

mayores beneficios sostenibles reportan con menor impacto negativo sobre los objetivos del proyecto.

En cada proyecto en particular, partiendo de la lista genérica que se busca ( $SBS_{genérica}$ ) se deberá realizar una mayor especificación de cada una de las oportunidades o factores de la sostenibilidad a aplicar de acuerdo con el proyecto y tipología en concreto de que se trate, creando de este modo la  $SBS_{real}$  del proyecto dado, basada en la genérica pero concretado al proyecto objeto de estudio.

### 3.4 Definición de indicadores

Como se ha mostrado, la metodología para lograr identificar todas las oportunidades e indicadores de sostenibilidad de los proyectos de ingeniería civil se basará en la aplicación de la identificación de riesgos según los estándares de la Dirección Integrada de Proyectos. Como marco para establecer los límites y la definición de lo que se entiende por indicador de sostenibilidad se ha tomado como base el estándar mencionado del International Organization for Standardization (ISO) que define indicadores como:

*“Indicators are figures or other measures, which enable information on a complex phenomenon like environmental impact to be simplified into a form that is relatively easy to use and understand. The three main functions of indicators are quantification, simplification and communication” (ISO-21929, 2006; pp. 6).*

Es decir, se trata de medidas o elementos que simplifican fenómenos complejos en formas simplificadas más fáciles de entender y de usar. Según la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) un indicador es un parámetro o un valor derivado de parámetros que indica, proporciona información acerca de algo o describe el estado de un fenómeno (medio ambiente o área) con una importancia más allá de la ampliación de los relacionados directamente con el valor de un parámetro, siendo éste una propiedad que es medida u observada. Un índice se define como un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores.

La norma ISO que se establece como el marco a seguir a la hora de identificar y seleccionar los indicadores en la metodología aquí propuesta establece la importancia de que estos sean internacionalmente comparables (también nacional y regionalmente), la importancia de identificar todos los actores presentes en el proyecto así como la utilidad de un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad para la toma de decisiones y para la certificación sostenible de un proyecto. Se distinguen tres tipos de indicadores de sostenibilidad de acuerdo a los pilares del desarrollo sostenible:

- Indicadores medioambientales: se refieren a las cargas o impactos ambientales como el consumo de recursos, residuos, olores, ruidos, emisiones al agua, al aire o al suelo, etc.; se debe considerar el ciclo de vida del indicador en caso contrario se debe justificar la utilización de otras mediciones; utilización de indicadores consecuenciales (indirectos) e identificación como indicadores de riesgos ambientales

- Indicadores económicos: se tratan de aquellos que miden los flujos económicos como la inversión, diseño, construcción, elaboración de productos, uso, consumo energético, consumo de agua, residuos, mantenimiento, deconstrucción, desarrollo del valor económico del proyecto, ingresos generados por el mismo y sus servicios, etc.; un indicador básico es Life Cycle Economy (además del Life Cycle Cost basado en la inversión, uso, mantenimiento y deconstrucción) así como el valor potencial del proyecto durante su uso; se deben incluir el balance entre los aspectos económicos a corto y a largo plazo; y, al igual que con los indicadores medioambientales, se debe contemplar el ciclo de vida y los indicadores consecuenciales (indirectos)
  
- Indicadores sociales: son aquellos relacionados con el nivel social de la comunidad y con el nivel del proyecto; se busca la valoración de la cooperación con los usuarios y vecinos, el estudio de las necesidades, las consideraciones culturales, etc.

#### 4. Aplicación práctica y resultados

Se ha aplicado la metodología de identificación de indicadores propuesta al caso de proyectos de ingeniería civil dentro de un proyecto de investigación para el establecimiento de un modelo de evaluación sostenible de los proyectos de ingeniería civil. Se han empleado las ocho técnicas de identificación de indicadores descritas consiguiendo ocho listas diferentes de indicadores.

Los resultados de los indicadores identificados se han clasificado y juntado en una estructura de desglose denominada SBS<sub>genérica</sub> (Sustainable Breakdown Structure genérica), siguiendo el marco de la norma ISO 21929 sobre indicadores de sostenibilidad, dando lugar al esquema de organización de los indicadores identificados reflejada en la figura 4 basada en los pilares medioambiental, social y económico. En ocasiones, en dicha estructura se han agrupado varios indicadores dentro de un mismo macro-indicador debido a la similitud que tienen entre ellos, pero que en fases posteriores se tendrá en cuenta a la hora de categorizarlos.



Figura 4. Clasificación estructural de indicadores resultado del proceso de identificación mediante SBS<sub>genérica</sub>

## 5. Conclusiones

Se han analizado los sistemas de indicadores de sostenibilidad en el ámbito urbano y en los proyectos de edificación y de ingeniería civil así como los problemas existentes y señalados por los diferentes autores. Asimismo se ha propuesto una metodología de identificación de oportunidades e indicadores de sostenibilidad para tratar de solucionar los problemas mencionados, basados sobre todo en permitir la participación de todos los involucrados en un proyecto y en reducir la subjetividad durante el proceso de identificación. Para ello, se ha realizado la hipótesis de tratar los indicadores como oportunidades de sostenibilidad para el proyecto. De este modo se han estudiado los estándares de gestión de riesgos y de sostenibilidad en los proyectos para elaborar una metodología que englobe los conceptos de oportunidad y sostenibilidad y permitir establecer una serie de técnicas para la identificación de todos los indicadores posibles

en cada proyecto, obteniendo ocho listas de indicadores independientes unas de otras aunque con posibles semejanzas aleatorias entre ellas. Se ha propuesto la consiguiente clasificación y ordenación en una estructura desagregada a semejanza de lo que se realiza con los riesgos, y la necesaria priorización de las oportunidades para su posterior análisis y evaluación.

El uso únicamente de una o varias de las técnicas para la identificación de indicadores, como se ha realizado generalmente en la selección de indicadores en las herramientas de evaluación sostenible de edificios, lleva implícito algunos errores comentados en cada una de las técnicas empleadas. Al utilizar todas las técnicas, ese error se minimiza consiguiendo identificar la mayor parte de indicadores posibles, obteniendo una triangulación necesaria para asegurar que se tienen en cuenta todos los puntos de vista de los involucrados en un proyecto y todos los aspectos fundamentales de la sostenibilidad en los proyectos.

Se ha comenzado la aplicación de la propuesta sobre los proyectos de ingeniería civil obteniendo una primera estructura genérica de indicadores, y se establece como futura línea el desarrollo y priorización de los diferentes factores identificados, el análisis pormenorizado de los indicadores seleccionados finalmente y el análisis multicriterio de los mismos.

#### Referencias

Alarcón Núñez, D. B., 2005, “*Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles*”, Tesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior D’Enginyers de Camins, Canals i Ports.

Australia Standards, 2004, “*AS/NZS 4360:2004 Risk Management*”, Australia.

British Standard BS 6079-3: 2000, “*Project Management – part 3: guide to the management of business-related project risk*”, British Standard Institute, United Kingdom.

British Standard BS 6079-4: 2006, “*Project Management – part 4: guide to the project management in construction industry*”, British Standard Institute, United Kingdom.

Button, K., 2002, “City management and urban environmental indicators”, Special section: economics of urban sustainability, *Ecological Economics*, Vol. 40, pp. 217-233.

Dasgupta, S. and Tam, E.K.L., 2005, “Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 32, pp. 30-44.

Fernández Sánchez, G., 2008, “*Análisis de los Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad. Planificación urbana y proyectos de construcción*”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Spain.

GTIS (Grupo de Trabajo sobre los Indicadores de sostenibilidad), 2004, “*Informe sobre los indicadores de sostenibilidad*”, Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo; Ministerio de Fomento, Noviembre 2004, Madrid.

Huetting, R. and Reijnders, L., 2004, "Broad sustainability contra sustainability: the proper construction of sustainability indicators", *Ecological Economics*, Vol. 50, Issue: 3-4, pp. 249-260.

Hillson, D., 2002, "Extending the risk process to manage opportunities", *International Journal of Project Management*, vol. 20, pp. 235-240.

Institution of Civil Engineers (ICE) and Faculty & Institute of Actuaries, 2005, "*Risk Analysis and Management for Projects (RAMP)*", second edition, London, UK, Thomas Telford.

ICLEI, 2002, "*Local Governments' Response to Agenda 21: Summary Report of Local Agenda 21 Survey with Regional Focus*", International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI), Canada.

PMI (Project Management Institute), 2003, "*Construction Extensión to the PMBoK Guide 2000*", PMI Standard.

PMI (Project Management Institute), 2004, "*A guide to the Project Management, Body of Knowledge (PMBoK guide)*", third edition, PMI Standard.

Rodríguez López, F. and Fernández Sánchez, G., 2008, "Sostenibilidad y Cambio Climático: nuevos objetivos y requisitos en la gestión de proyectos de ingeniería", *XII International Conference on Project Engineering AEIPRO-IPMA*, Zaragoza, Spain.

Saparauskas, J., 2007, "The main aspects of sustainability evaluation in construction", *9<sup>th</sup> International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*, Vilnius, Lithuania.

Seo, S., Aramaki, T., Hwang, Y. and Hanaki, K., 2004, "Fuzzy Decision-Making tool for Environmental Sustainable Buildings", *Journal of Construction Engineering and Management ASCE*, May/June, pp.415-423.

Simon P., Hillson, D., Newland, K., 1997, "*Project Risk Analysis and Management (PRAM) guide*", High Wycombe, Bucks UK: APM Group.

Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K. and Dikshit, A.K., 2009, "An overview of sustainability assessment methodologies", *Ecological Indicators* 9, pp. 189-212.

Ugwu, O. O., Kumaraswamy, M. M., Wong, A. and Ng, S. T., 2006, "Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP) Part 1. Development of indicators and computational methods", *Automation in Construction*, Vol 15, Issue 2, March, pp. 239-251.

Wilson, J., Tyedmers, P. and Pelot, R., 2007, "Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics", *Ecological Indicators*, Vol. 7 Issue 2, pp. 299-314.

Zhang, L.L., Wang, L. and Tian JX., 2008, "Study on Sustainable Construction Management based on LCA", *International Conference on Construction on Real Estate Management*, Toronto, Canada.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la empresa CPV (Control, Prevención y Verificación) y de los profesores de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos (UPM) que colaboran en revisar y aportar ideas a este trabajo.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Gonzalo Fernández Sánchez

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingeniería Civil: Construcción.

Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria

C/ Profesor Aranguren S/N, 28040 Madrid (España)

Phone: +34 91 336 5378

Fax: + 34 91336 6803

E-mail: [gonzalofer@caminos.upm.es](mailto:gonzalofer@caminos.upm.es)