

# Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción

## Sustainable engineering: new objectives for construction projects

Fernando Rodríguez\*, Gonzalo Fernández\*<sup>1</sup>

\* Universidad Politécnica de Madrid. ESPAÑA

Fecha de recepción: 26/ 01/ 2010  
Fecha de aceptación: 25/ 05/ 2010  
PAG. 147 - 160

### Resumen

Los impactos sobre los servicios de los ecosistemas debidos a la actividad humana son un hecho. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDGs), las propuestas de mitigación y adaptación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) en sus sucesivos informes, así como las propuestas por parte de Millenium Ecosystem Assessment (MA) no pueden pasar desapercibidos para los proyectos en general y para los proyectos de construcción en particular. La cantidad de residuos generados por el sector así como la cantidad de recursos consumidos (energía, materias primas) en todo el ciclo de vida (construcción, explotación, mantenimiento y deconstrucción) contribuyen decididamente al aumento de la huella ecológica humana. Los objetivos y requisitos para la Dirección Integrada de Proyectos de Ingeniería Civil tienen que cambiar. El fin ya no es sólo la consecución del triple objetivo (plazo, coste y calidad) y de las prestaciones establecidas por el promotor. Ahora existen nuevos objetivos y requisitos de sostenibilidad en los proyectos de construcción. Se analizan las herramientas y técnicas realizadas en el campo de la construcción para lograr la consecución de una construcción más sostenible y se propone un marco metodológico de gestión sostenible dentro de los estándares de Dirección Integrada de Proyectos.

Palabras Clave: Gestión de proyectos, sostenibilidad, ingeniería civil, construcción sostenible

### Abstract

Impacts on ecosystem services, due to human activity, are already a fact. The objectives of Millennium Development Goals (MDGs), the alleviation and adjustment proposals from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in their consecutive reports, as well as the proposals by the Millennium Ecosystem Assessment (MA) cannot go unnoticed for general projects and for particular construction projects. The amount of waste material generated by the sector, as well as the amount of resources consumed (energy, raw materials) by the whole life cycle (construction, exploitation, maintenance and deconstruction) definitely contributes to increase the human ecological footprint. The goals and requirements for the Integrated Project Management must change. The objective is no longer the achievement of a triple goal (time, costs and quality) and the performance established by the developer. Nowadays there are new sustainability goals and requirements for construction projects. Tools and development techniques are analyzed in the construction field, in order to get a construction achievement in a more sustainable way; and a methodological framework for sustainable management according to standards of Integrated Project Management is proposed.

Keywords: Project management, sustainability, civil engineering, sustainable construction

## 1. Introducción

El rápido crecimiento y desarrollo de los países industrializados, la conciencia tecnocentrista, la creencia de que los recursos disponibles son ilimitados, el excesivo crecimiento demográfico, unido a que los impactos que producimos sobre el entorno son, generalmente, tan a largo plazo que no se aprecian directamente, hacen que los efectos de nuestro modelo de desarrollo lo sufran las generaciones venideras. Lo cierto es que los recursos son limitados, la naturaleza tiene unos límites de producción de materias y servicios así como de absorción de residuos, existen enormes diferencias sociales y económicas entre los países desarrollados y en desarrollo e incluso dentro de una misma sociedad (exclusión social).

## 1. Introduction

The rapid growth and development in industrialized countries, technocentric consciousness, the belief that resources are unlimited, the excessive population growth, coupled with the usual long term impacts on the environment, causes that next generations will suffer the effects of our development model. The truth is, as seen, that resources are limited, nature has limits of materials and services production as well as waste absorption, and there are enormous social and economic differences between developed and developing countries and even within a society.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: gonzalofer@caminos.upm.es



Todo ello hace que en los últimos años se haya comenzado a plantear un nuevo modelo de desarrollo social y económico: el desarrollo sostenible. Este concepto surgió en 1987 en el informe Brundtland "Our common future" y que en la famosa cumbre de Río en 1992 se asumió como el principio que debía presidir las actuaciones de los años sucesivos, basado en los tres pilares fundamentales: la sociedad, el medioambiente y la economía.

Paralelamente, ya en 1972 en la cumbre de Estocolmo se plantea un posible cambio climático que termina en 1988 con la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) constituido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el objetivo de evaluar la información científica disponible sobre el cambio climático así como evaluar los impactos medioambientales y socio-económicos. Tras el último informe presentado en 2007, queda más claro que: la concentración de los GEI (Gases Efecto Invernadero) continúan en aumento, que el calentamiento del sistema climático es inequívoco (temperaturas medias de aire y océano, derretimiento general de hielo y nieve e incremento medio del nivel del mar), que muchos sistemas naturales son y serán afectados por un cambio climático y que los sectores que más contribuyen al aumento de los GEI son el sector energético, el transporte, la industria, el uso de la tierra y sus cambios de uso (IPCC, 2007a; 2007b; 2007c). Cabe destacar que el IPCC entiende como cambio climático aquel cambio producido en el sistema climático tanto si es debido a la variabilidad natural como si es resultado de la actividad humana o a ambas a la vez.

El desarrollo sostenible y el cambio climático aparecen así como dos nuevos desafíos que presentan sinergias e interdependencias mutuas. La salud humana, la ecología terrestre y acuática y los sistemas sociales y económicos son vitales para el desarrollo y el bienestar, y estos a su vez son sensibles y vulnerables a los cambios en el clima. Asimismo, las medidas encaminadas hacia la sostenibilidad afectan positivamente a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Del mismo modo que se creó el IPCC en 1988, en el año 2000 se formó The Millenium Ecosystem Assessment Panel (MA) con el fin de analizar científicamente las consecuencias de cambios en los ecosistemas en relación al bienestar humano.

This means that in recent years has begun to pose a new social and economic development model: Sustainable Development. The concept emerged in 1987 in the Brundtland report: Our common future and in the Rio summit in 1992 it was assumed as the principle that it should chair the policies and strategies of the subsequent years, based on three pillars: society, environment and economy.

In parallel, already in 1972, the Stockholm Summit brought up a possible climate change that ends up in 1988 upon the establishment of an Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) composed by the World Meteorological Organization (WMO) and United Nations Environment Program (UNEP), which purpose is to evaluate the available scientific information about climate change and to evaluate the environmental and social economical impacts. After the latest report presented in 2007, it is clearer that: GHG concentration (green house gases) is increasingly in progress, that the climate system warming is an unmistakable fact (mean temperatures of air and oceans, general melting of ice sheet and snow, and the increase of mean sea level), that many natural systems are affected, and will be further affected by climate changes, being the sectors that contribute the most to the GHG increase: the energetic, transport and industry, the soil use and its usage changes (IPCC, 2007a; 2007b; 2007c). It is important to emphasize that the IPCC understands climate change as the change produced in the climatic system, due to a natural variability as well as the result of human activity, or both at the same time.

Sustainable development and climate change turn up as two new challenges having synergies and mutual interdependences. Human health, soil/aquatic ecology and social and economical systems are fundamental for human development and welfare, which in turn are sensitive and vulnerable to climate changes. At the same time, measures driven to sustainability positively affect the alleviation and adjustment to this climate change.

In the same way, IPCC was established in 1988, in year 2000 the Millennium Ecosystem Assessment Panel (MA) was created, in order to scientifically analyze the consequences from ecosystems changes in relation to human welfare.

Las conclusiones muestran que nuestro modelo de vida provoca una demanda de recursos y servicios de los ecosistemas muy superior a la tasa de regeneración de los mismos; los residuos se producen a una velocidad mayor de la que el entorno puede absorber, se está reduciendo la capacidad de los ecosistemas, provocando cambios en algunos casos irreversibles, están aumentando las diferencias sociales y económicas entre los países ricos y pobres y los efectos medioambientales potencian aún más estas diferencias (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Al igual que los modelos sociales y políticos se están cambiando, los procesos y metodologías que se emplean en la ingeniería de la construcción deben cambiar. La introducción del desarrollo sostenible en la ingeniería es un nuevo desafío que trata de conciliar las necesidades del hombre con la capacidad del planeta. De hecho, si los actuales patrones no cambian, la expansión de la construcción destruirá o al menos perturbará hábitats naturales y vida salvaje en más de un 70 % de la superficie de la tierra para 2032, principalmente por el incremento de la población, la actividad económica y la urbanización (UNEP, 2002).

Probablemente no existe un sector con mayor potencial de contribución a la sostenibilidad que la construcción (Bakens, 2003). La construcción emplea aproximadamente la mitad de los recursos que el hombre consume de la naturaleza, se considera que el 25 % de los residuos son residuos de construcción y demolición (Alarcón, 2005) y más del 70 % de la energía mundial se mueve alrededor de este sector (Oteiza y Tenorio, 2007) lo que lo convierte en uno de los sectores con más influencia en el cambio climático. Aunque no todo en la construcción es insostenible. El abastecimiento y saneamiento de las aguas, la gestión de residuos, un sistema de infraestructuras fiable, seguro y en buen estado, cubren necesidades de la sociedad vitales para el camino hacia el desarrollo sostenible (Siddiqui, 1997). Pero también estos proyectos se han de realizar con criterios de Construcción Sostenible pues los impactos sobre el entorno social, ambiental y económico son excesivamente grandes.

## 2. Objetivo y alcance

Como se ha mostrado resumidamente, parece claro que los procesos que se emplean en la actividad humana en general y en la ingeniería en particular no pueden ser sostenidos indefinidamente.

Conclusions demonstrate that our life style demand ecosystem resources and services far higher than the rate of resources regeneration; waste material are produced at a higher speed than the one our environment can absorb, the ecosystems capacity is decreasing, thus provoking changes in some cases irreversible; social and economical differences are increasing, between developed and undeveloped countries, and the environmental effects even promote such differences more (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

As well as social and political models are changing, the processes and methodologies employed by engineering must be improved. The introduction of sustainable engineering is a new challenge that intends to conciliate human requirements with the planet capability. In fact, if current patterns do not change, the expansion of construction will destroy, or at least disturb, natural and wild life habitats over 70% of land surface from now up to 2032, mainly because of population, economical activity and urbanization increase (UNEP, 2002).

Probably, there is no other sector with higher sustainability contribution potential than construction (Bakens, 2003). Construction sector employs approximately half the resources man consumes from nature; it is considered that 25% of waste material comes from construction and demolition (Alarcón, 2005) and more than 70% of worldwide energy moves around this sector (Oteiza y Tenorio, 2007), thus making construction sector one of the activities influencing climate change the most. But not everything in construction is unsustainable. The water supply and sanitation, waste material management and a reliable secure infrastructure system meet society requirements, which are essential to the path towards a sustainable development (Siddiqui, 1997). These projects are to be conducted under Sustainable Construction criteria, because impacts on the social, environmental and economical sectors are excessively huge.

## 2. Objectives and scope

As briefly discussed, it seems to be clear that processes employing human activities in general, and engineering in particular, cannot be sustained indefinitely.



Este estudio pretende realizar un enfoque de los nuevos objetivos de la construcción sostenible, además de mostrar una búsqueda de las técnicas y metodologías innovadoras en el camino al logro de la sostenibilidad en la construcción y proponer un marco metodológico de gestión sostenible de los proyectos constructivos desde la perspectiva de la Dirección Integrada de Proyectos de Ingeniería. Creemos que una gestión sostenible puede ser el modo de integrar en un mismo procedimiento aquello que Bakens (2003) propone: unir a los diferentes actores que intervienen en todo el proyecto (según fases y actividades) e introducirlos en un mismo proceso de modo que se puedan alcanzar los nuevos objetivos y requisitos que suponen los desafíos del desarrollo sostenible y cambio climático, sin olvidar los objetivos básicos del proyecto (coste, plazo y calidad) además de las prestaciones del promotor.

Para ello se ha realizado un análisis detallado de la documentación existente y se ha formado un grupo de expertos en dirección integrada de proyectos y en temas de sostenibilidad aplicada a la ingeniería para lograr un primer paso en el acercamiento al manejo de un proyecto en el ciclo de vida con la búsqueda de potenciar y maximizar las oportunidades y factores sostenibles.

### 3. Gestión sostenible de los proyectos

#### 3.1 Nuevos requisitos y objetivos: Construcción Sostenible

En la Dirección Integrada de Proyectos, los principales objetivos son el coste, la calidad y el plazo, además de las prestaciones y requerimientos particulares de cada proyecto. Pero estos objetivos parece que resultan insuficientes ante los nuevos retos que plantea la sociedad y que exigen un cambio en el enfoque de los proyectos. Debe existir, de acuerdo al concepto de desarrollo sostenible, un triple objetivo estratégico del proyecto basado en el medioambiente (respeto a los recursos naturales y capacidad de los ecosistemas), sociedad (igualdad social e integración de todos los actores) y economía social (Figura 1).

This study intends to take an approach regarding new objectives of sustainable construction, as well as to introduce the search of innovative methodologies and techniques helpful to achieve construction sustainability, and to propose a methodological management framework for sustainable management construction, from a point of view of an Integrated Management of Engineering Projects. We believe that a sustainable management may be the method for integrating in only one procedure what Bakens (2003) proposes: to join together different actors involved in the whole process (according to stages and activities), and introduce them into the same process, so as to achieve new objectives and requirements for sustainable development challenges and climate change, not forgetting the basic objective of the project (cost, term and quality), as well as developer performance.

A detailed analysis has been conducted on the existing documentation and a group of experts in integrated management projects and in sustainability applied to engineering topics has been created; in order to achieve a first step in approaching a life cycle project management, so as to foster and maximize sustainable opportunities and factors.

### 3. Sustainable project management

#### 3.1 New requirements and objectives: Sustainable Construction

The main objectives of Integrated Project Management are: costs, quality and time; as well as performance and particular requirements for each project. But, it seems to be these requirements are not enough compared to new challenges posed by society, which demand a change of project approaches. There must be a strategic triple objective for the project, in accordance with the sustainable development concept, based on the environment (respect for natural resources and ecosystems capacities), society (social equitability and interaction by all parts involved) and economy (Figure 1).

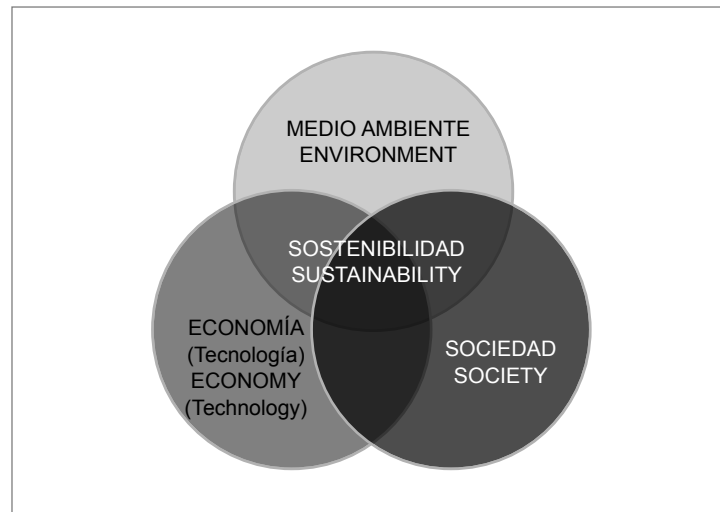


Figura 1. Las tres dimensiones de la ingeniería sostenible basado en (RAE, 2005)  
Figure 1. Three dimensions of sustainable engineering based on (RAE, 2005)

Dentro del desarrollo sostenible se pueden incluir los objetivos marcados por el IPCC sobre el cambio climático ante un entorno cambiante. De este modo cobra especial importancia el indicador de las emisiones de  $CO_{2eq}$  de las construcciones a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Sampedro, 2007) para lograr la minimización de las emisiones, así como la adaptación y la vulnerabilidad de los proyectos a los cambios actuales y futuros del clima.

Estos cambios afectan directamente en el modo de enfocar un proyecto de ingeniería civil, donde los aspectos más importantes son:

- o El análisis del ciclo de vida del proyecto (Life Cycle Assessment, LCA). Existen opiniones que el ciclo de vida consiste en diseñar y planificar un proyecto desde la concepción de la idea hasta la deconstrucción o cambio de uso (de la cuna a la tumba) como hace la norma ISO 14040 y la norma ISO 14044. Sin embargo, según el concepto del desarrollo sostenible, parece más acertado aplicar al diseño el análisis de la cuna a la cuna (Kholer and Moffatt, 2003) es decir, proyectar pensando en la vida útil del proyecto, devolviendo a su estado original los productos empleados (materiales, suelo, etc.).
- o La aplicación de los criterios de sostenibilidad (medioambiente, sociedad y economía) ya desde la fase de planificación y diseño (al igual que se hace con los objetivos de coste, plazo, calidad) y con el conocimiento de todos los actores de los nuevos objetivos existentes. De esta manera, la toma de decisiones de las diferentes alternativas se puede hacer ya no sólo con los objetivos propios de un proyecto sino con una visión más global e integradora del entorno.

Sustainable development can also include the objectives planned by the IPCC on climate changes in view of a changing environment. In this way, release of  $CO_{2eq}$  becomes especially important all way through the project life cycle (Sampedro, 2007) in order to minimize their releases, as well as projects adaptation and vulnerability to actual and future climate changes.

Those changes directly affect the way a civil engineering project is approached, where the most important aspects are:

- o Life Cycle Assessment, LCA. According to some opinions, life cycle consists of designing and planning a project, from an idea conception until deconstruction or change of usage (from cradle to the grave), as per ISO 14040 and ISO14044 regulations. However, as far as sustainable development concept is concerned, it seems to be pertinent to apply the cradle-to-cradle analysis to the design (Kholer and Moffatt, 2003), i.e, planning thinking on the project life span, returning employed products to their original condition (materials, soil, etc.).
- o Sustainable criteria application (environment, society and economy) as from planning and design stages (as conducted for costs, time and quality objectives), with the knowledge on new existing objectives by all involved parties. In this way, decision making process on different choices can be made not only counting with the common objectives of a project but under a more global and integrate vision of the environment.



- o La colaboración y los aportes interdisciplinarios (integración de todos los actores) en un sector como el de la construcción donde existen diferentes fases y diferentes actores.
- o La importancia del entorno social en la construcción, no sólo teniendo en cuenta al usuario físico sino también al usuario indirecto que tendrá que convivir más directamente con la nueva construcción en toda la vida del proyecto.

Estos nuevos requisitos que aparecen de acuerdo al reto del desarrollo sostenible son el camino a seguir para lograr el nuevo equilibrio necesario entre la actividad humana en el sector de la construcción y el entorno medioambiental, social y económico; la búsqueda de una construcción sostenible.

### 3.2 Técnicas y herramientas existentes

Para alcanzar estos nuevos objetivos, existen numerosas investigaciones y herramientas creadas para acercarse a la construcción sostenible en la edificación. Sin embargo, en los proyectos de infraestructuras son casi inexistentes.

La tendencia mayor en el sector de la edificación es a la creación de herramientas o sistemas de indicadores de sostenibilidad que sirvan o bien para calificar el edificio con diferentes grados de sostenibilidad o como técnica de ayuda para la toma de decisiones en la gestión del proyecto. Se ha realizado una búsqueda de las herramientas de sostenibilidad que trabajan por medio de sistemas de indicadores existentes en el mundo por medio de las diferentes bases de datos encontradas como la disponible en la web de CRISP (Construction and City Related Sustainability Indicators), del U.S. Department of Energy "Building Technologies Programs", o los trabajos de Fowler y Rauch (2006) y de la International Energy Agency (IEA, 2001), dando lugar a un total de 74 sistemas de indicadores de sostenibilidad en el mundo (Fernández, 2008). Algunos de los más importantes aparecen en la siguiente tabla (Tabla 1).

- o The collaboration and interdisciplinary contribution (integration of all actors involved) from a sector, such as construction, where there are different stages and several parties involved.
- o The importance of a social environment in construction, taking into account not only the physical user but also the indirect user, who will have to coexist directly with the new building throughout the project life cycle.

These new requirements, arising in accordance with sustainable development challenges, are the steps to be followed in order to achieve the necessary new balance between human activity in construction sector and environmental, social and economic sectors: the search for a sustainable construction.

### 3.2 Available techniques and tools

In order to achieve these new objectives, there are several researches and tools developed to approach a sustainable building construction. However, for infrastructure projects they are almost inexistent.

The major trend in building sector is the development of sustainable indication tools or systems to be used either to rank the building at different sustainable grades, or as a helpful technique for decision making process of project management. A search for sustainable tools working by means of indicator systems available worldwide, using different data bases as the one available on the CRISP website (Construction and City Related Sustainability Indicators), from U.S. Department of Energy "Building Technologies Programs", or the studies by Fowler and Rauch (2006), and by the International Energy Agency (IEA, 2001) have led to a total of 74 sustainable indicator systems in the world (Fernández, 2008). Some of the most important factors are shown in Table 1.

Tabla 1. Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad existentes en la edificación  
Table 1. Sustainable Indicator Systems available for building sector

| Nombre del Sistema de Indicadores/Name of Indicator Systems   | País de origen/Country of origin   |
|---|--|
| LEGOE   | Alemania/Germany   |
| Green Star  | Australia  |
| NABERS (National Australian Built Environment Rating System)  | Australia  |
| TQ Building Assessment System (Total Quality Building Assessment System)  | Austria  |
| Sustainability indicator set for the construction sector  | Austria  |
| Green Building Challenge (GBC): GBTool_05 - SBTool_07   | Canadá/Canada  |
| BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)  | Canadá/Canada  |
| Green Globes Canada (adaptado también a EEUU y Reino Unido/also adapted to USA and United Kingdom)  | Canadá/Canada  |
| CEPAS (Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme)   | China  |
| HK BEAM (Hong Kong Building Environmental Assessment Method)  | China  |
| BEAT 2002 (Building Environmental Assessment Tool)  | Dinamarca/Denmark  |
| Nordic set of environmental indicators for the property sector  | Dinamarca/Denmark, Finlandia/Finland,<br>Noruega/Norway, Suecia/Sweden,<br>Islandia/Island |
| LEED (adaptado también a Mexico, Canadá, India/also adapted to Mexico, Canada, India)   | EEUU/USA   |
| SPiRiT (Sustainable Project Rating Tool)  | EEUU/USA   |
| VERDE (aplicación de SBTool a España/application of SBTool to Spain)  | España/Spain   |
| MIVES (Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles/Integrated Value Model for Sustainable Structures)  | España/Spain   |
| LEnSE (Label for Environmental, Social and Economic Buildings)  | Europa/Europe (6thFP)  |
| CASBEE  | Japón/Japan  |
| Green Building Rating System  | Korea  |
| SBAT (Sustainable Building Assessment Tool)   | Sudáfrica/South Africa   |
| BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) -En proceso de adaptación a otros países europeos como España/Under adaptation process to other countries such as Spain- | Reino Unido/United Kingdom   |
| SPeAR   | Reino Unido/United Kingdom   |

Por otro lado, el concepto sostenible se va implementando en las nuevas normativas, como ocurre en la legislación española, en donde cada vez se pone más énfasis en la aplicación de los denominados “criterios de sostenibilidad”, como viene expresamente en el Reglamento de la Planificación Hidrológica de 2007 de España ya desde su primer artículo; en el Texto Refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos de 2008 donde se busca el fomento de un desarrollo sostenible; en la Ley sobre Evaluación de los Efectos de Planes y Programas de 2006 para promover un desarrollo sostenible en los aspectos medioambientales de los proyectos obligando a “Informes de Sostenibilidad Ambiental de planes y programas”; el Real Decreto por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición de 2008 en busca de conseguir un desarrollo más sostenible de la actividad constructiva;

On the other hand, sustainability concept is being implemented by new regulations, as the Spanish legislation, where the emphasis is made on the application of the so called “sustainability criteria”, as specifically indicated by first article in the Regulation of Hydrological Planning Regulation (2007) in Spain, by the Adapted Law for Evaluation of Environmental Impact Projects (2008) that aims to foster sustainable development; the Law of Evaluation on Plans and Program Effects (2006), created to promote a sustainable development on projects environmental issues leading to “Plans and Programs of Environmental Sustainability Reports”: the Royal Decree which regulates the Production and Management on Construction and Demolition Waste Material (2008), which intends to achieve a more sustainable development of construction activities;

o, por último, la nueva Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) de 2008 que presenta un nuevo anejo voluntario para calcular el Índice de Contribución de las Estructuras de hormigón a la Sostenibilidad, ICES (Aguado et al., 2008). Parece, por tanto, justificada la necesidad de aplicación de los criterios sostenibles a los proyectos de ingeniería civil.

Para los proyectos de infraestructuras no existen apenas sistemas de evaluación sostenible integral, aunque sí relacionados únicamente con el medio ambiente (uno de los pilares de la sostenibilidad). Únicamente se ha encontrado una propuesta de indicadores de sostenibilidad para las infraestructuras denominada SUSAIP, SUSTainability Appraisal in Infrastructure Projects, (Ugwu et al., 2006) aplicada posteriormente a la industria de la construcción Sudafricana (Ugwu and Haupt, 2007), que está basada en indicadores identificados a raíz de entrevistas y encuestas a los actores intervinientes en el ciclo de vida del proyecto, seleccionando aquellos con más peso según los intervinientes; además, existe un índice de evaluación de las infraestructuras en Canadá (Dasgupta y Tam, 2005) denominado Technical Sustainability Index (TSI). Incluso aparecen modelos para la selección, desde el punto de vista de la sostenibilidad, de suministradores y proveedores relacionados con los proyectos de construcción (Chen et al., 2008).

Sin duda, la existencia de estos sistemas de indicadores tanto en la edificación como mínimamente en las infraestructuras es un paso hacia delante, pero son sistemas generalmente subjetivos y con un alto grado de incertidumbre (Seo et al., 2004) donde el objetivo es lograr una puntuación más alta, pudiendo perder oportunidades de hacer más sostenible el proyecto dado simplemente porque el indicador no refleja una característica concreta y diferente del proyecto en particular.

La construcción es una industria muy particular. Cada proyecto que se diseña y construye es diferente a todos los demás, es singular. Esto complica el establecimiento de unos indicadores que sean válidos para todos los proyectos. Existen diferentes tipologías, actividades, actores, situaciones, emplazamientos y con unas prestaciones distintas que hacen de cada proyecto un proyecto único. Es por lo que creemos que si bien un sistema de indicadores es una herramienta muy válida y que ayuda a tomar decisiones ante un análisis de alternativas, no es un proceso metodológico completo donde se analicen todas las oportunidades de sostenibilidad valorando su rentabilidad de aplicación a un proyecto dado.

and at last, the New Instruction for Structural Concrete (ISC), (2008) that introduces a new optional annex to calculate the Sustainability Contribution from Structural Concrete to sustainability, ICES (Aguado et al., 2008). Therefore, it seems there is a well-grounded need of application of sustainability criteria on civil engineering projects.

For infrastructure projects, there are no even integral sustainability assessment systems, although there are some only related to environment (one of the columns for sustainability). Only one proposal for Sustainability Appraisal in Infrastructure Projects has been found, named SUSAIP (Ugwu et al., 2006) subsequently applied to construction industry in South Africa (Ugwu and Haupt, 2007), which is based on indicators provided by interviews and surveys conducted to parties involved with the project life cycle, selecting those most important according to interviewees. Besides, there is an assessment index for infrastructures in Canada (Dasgupta and Tam, 2005), the so called Technical Sustainability Index (TSI). It also includes models for selection of suppliers and providers related to construction projects (Chen et al., 2008), from a sustainability point of view.

There is no doubt that the existence of such indicator systems for building as well as scarcely for infrastructure constructions is a step forward, but those systems are generally subjective and with a high uncertainty degree (Seo et al., 2004), where the goal is to achieve a higher score, perhaps losing the opportunity to make the project more sustainable, since the indicator does not reflect a solid characteristic and distinction from the project in particular.

Construction is a very particular industry. Each project is designed and built differently from others: it is singular. This complicates the creation of indicators valid for all projects. There are different typologies, activities, parties involved, situations, locations and different performances that make every single project one of a kind. That is why we believe that, even when an indicator system is a valid tool helping decision making process faced to choices analysis, it is not a complete methodological process where all sustainability opportunities are analyzed assessing its profitability application on a given project.



Una solución eficiente en materia de energía en la edificación no producirá los resultados esperados a menos que sea apropiada para el clima en que se encuentre, esté completamente detallado, instalado y encargado correctamente y cuyo nivel de complejidad pueda ser comprendido por los administradores y usuarios del edificio (Brunn, 2003).

Sólo existe un avance en el sector de la edificación que se basa en la ingeniería de valor y que trata de gestionar la sostenibilidad de los proyectos de edificación. Se trata de la herramienta CVEP, Continue Value Enhancement Process (Pulaski y Horman, 2005) que aparece como respuesta precisamente a esa necesidad de gestionar un proyecto de modo construible además de sostenible. El único problema que presenta es que no se puede generalizar, pues es únicamente aplicable para el sector de la edificación, y es sólo compatible con el sistema de indicadores LEED. De todos modos es un avance importante en el proceso hacia la creación de una nueva gestión sostenible.

### 3.3 Marco metodológico propuesto de la gestión sostenible dentro de la DIP

Basándose en el CVEP propuesto por Pulaski en su tesis doctoral y en los estándares de la Dirección Integrada de Proyectos en procesos como la gestión de riesgos (PMI, 2004), la propuesta que se sugiere es crear un nuevo marco metodológico para la gestión sostenible de un proyecto de construcción de modo que se trate la sostenibilidad como oportunidades para el proyecto y estudiar la conveniencia o no de aplicar los indicadores de sostenibilidad que se vayan identificando en el diseño, de acuerdo a los objetivos del promotor y a los objetivos del propio proyecto (coste, plazo y calidad).

Los pasos de la metodología propuesta son cinco: planificación de la gestión, identificación de los factores de sostenibilidad, análisis (cualitativo y/o cuantitativo), tratamiento y control. Siguiendo un proceso iterativo y cíclico que comienza desde la fase de concepción del proyecto (Figura 2).

An effective solution as far as energy in building site is concerned; will not yield the expected results, unless it is appropriate for the location climate conditions; it must be completely detailed, installed and duly managed and the complexity level must be understood by the managers and users of the building (Brunn, 2003).

There is only one advance in this building sector, which is based on the value engineering that deals with sustainability management in building projects. It is the so called tool CVEP, Continue Value Enhancement Process (Pulaski and Horman, 2005) that comes out as a response to such need of managing a project in a constructive and sustainable way. The only problem is that it cannot be standardized, since it is only applicable to the building sector, and it is only compatible with LEED indicators systems. Anyway it is an important advance in the process towards the creation of a new sustainable management.

### 3.3 Methodological framework proposed for sustainable management within DIP

Based on the CVEP proposed by Pulaski in his doctorate thesis, and on the Integrated Project Management in processes such as risk management (PMI, 2004), the proposal suggest the creation of a new methodological framework where sustainable management for a construction project can be dealt as opportunities for such project and to study the convenience or inconvenience of applying sustainability indicators that identify themselves with the design, in accordance with the developer goals and the original objectives of the project (costs, time and quality).

Stages in this proposed methodology are five: management planning, identification of sustainable factors, analysis (quality and/or quantity), response and control; following a repeated and cyclic process that begins in the conception stage of the project (Figure 2).

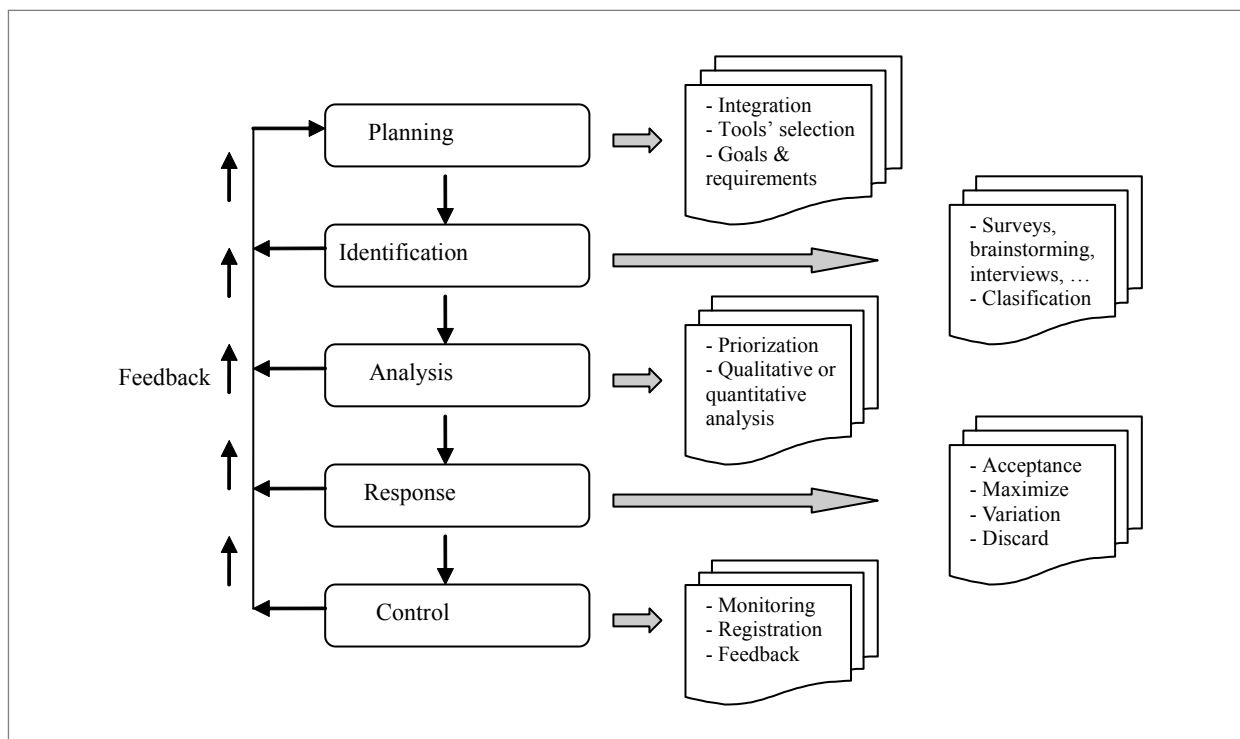


Figura 2. Flujo del proceso de gestión sostenible de proyectos de construcción  
 Figure 2. Sustainable management flow chart for construction projects

El proceso comienza con la planificación consistente en la integración del equipo de gestión sostenible dentro de la Dirección integrada de proyectos, seleccionando los objetivos de acuerdo al resto de equipos, y planificando y distribuyendo los roles y responsabilidades dentro del equipo. Se seleccionarán así mismo las técnicas y herramientas a emplear por el equipo durante las diferentes etapas del proceso.

En la identificación de factores de sostenibilidad se propone el uso de técnicas empleadas en la gestión de proyectos para la identificación de riesgos según los estándares del Project Management Institute (PMI), del International Project Management Association (IPMA), Project Risk Analysis and Management guide (PRAM) y Risk Assessment & Management (RAM), pero en este caso para la identificación de oportunidades e indicadores de sostenibilidad. Así, las técnicas serán las encuestas y entrevistas a expertos, la creación de grupos de trabajo para la realización de una tormenta de ideas controlada (brainstorming, considerada también por el trabajo de Pulaski (2005) para la rehabilitación del pentágono),

The process begins with the consistent planning for project interaction by the sustainable management team of experts in the Integrated Project Management, by selecting the objectives in agreement with the other teams, and by planning and distributing roles and responsibilities for the group. Techniques and tools to be used by the team will be selected during different stages in the process.

For sustainable factors identification, the use of employed techniques for project management is proposed for risks identification in accordance with the standards provided by the Project Management Institute (PMI), by the International Project Management Association (IPMA), Project Risk Analysis & Management (RAM), but in this case for opportunities identification and sustainability indicators. So techniques applied will be surveys, interviews to experts; the creation of work teams to develop a controlled brainstorming (also considered by Pulaski's study, 2005, for pentagon rehabilitation),

la experiencia pasada del equipo en otras gestiones sostenibles (activos del equipo, registros), la revisión de documentación existente en proyectos similares o la identificación mediante una estructura desagregada de tareas del proyecto (Sustainable Breakdown Structure,  $SBS_{genérica}$ ). La salida del proceso consiste en una clasificación de las oportunidades e indicadores identificados según la importancia relativa de cada uno en el proyecto, que puede ser introducida y clasificada en la herramienta  $SBS_{real}$ . El objetivo principal en el proceso de identificación es la selección de todas las posibles oportunidades que pueden mejorar la sostenibilidad del proyecto. Los sistemas de indicadores pueden ser un input de este proceso.

Al igual que se hace con los riesgos identificados, es necesario priorizar y analizar las oportunidades de sostenibilidad. Lógicamente, no todas las oportunidades serán aplicables al proyecto. Basándonos en la propuesta de Pulaski, el análisis de cada oportunidad identificada se puede analizar de acuerdo a su viabilidad en el proyecto, según su impacto en los objetivos del proyecto, los requisitos del promotor y los objetivos sostenibles. Un esquema gráfico de este análisis puede realizarse mediante un diagrama de araña (Figura 3) donde se muestra el impacto de la posible aplicación de una oportunidad sobre un proyecto real: 0.5 significa que el objetivo no es afectado por la nueva oportunidad, menos de ese valor se refiere a un impacto negativo y más de 0.5 que el impacto es positivo. De este modo se puede obtener una idea de si finalmente se aplica el elemento identificado al proyecto dependiendo de su afección positiva o negativa a los objetivos mencionados (decision-making).

the past experiences of the team in other sustainable managements (group assets and files), the review of existing documentation for similar projects or the identification by means of a separate structure of project tasks (Sustainable Breakdown Structure,  $SBS_{genérica}$ ). The output of the project consists of a classification of opportunities and identified indicators in accordance with the relative importance of them in the project, which may be introduced and ranked as the  $SB_{real}$  tool. The main purpose of this identification process is the selection of all possible opportunities that may improve the project sustainability. Indicator systems may be the input of this process.

The same as with identified risks, it is necessary to set priorities and analyze sustainable opportunities. It is logical that not all the opportunities will be applicable to this project. Based on Pulaski proposal, the analysis on each identified opportunity can be conducted in accordance with its viability in the project, impact on the project objectives, promoter requirements and sustainable objectives. A graphic chart on this analysis can be made by means of a spider graph (Figure 3), where the impact of the possible application of an opportunity over a real project is shown: 0.5 means that the objective is not affected by the new opportunity, and less than this value represents a negative impact, higher than 0.5 means the impact is positive. In this way, it is possible to obtain an idea whether the identified element is applicable to the project, depending on the positive or negative effect on mentioned objectives (decision making).

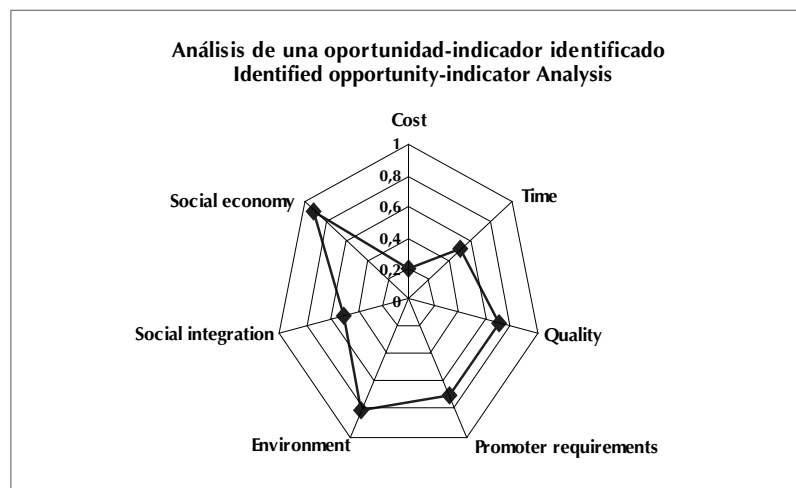


Figura 3. Ejemplo de evaluación de una oportunidad atendiendo a los objetivos del proyecto, los requisitos del promotor y la construcción sostenible

Figure 3. Example of an Opportunity Assessment focused on the project objectives, promoter requirements and sustainable construction

Además de esta herramienta, dentro de la fase de análisis de las oportunidades, se pueden emplear otras técnicas como las encuestas a expertos para su valoración; o aplicar un análisis de sensibilidad de las diferentes oportunidades identificadas con el objetivo de seleccionar aquellas que más beneficios aporta al proyecto con menor esfuerzo económico o mayor facilidad de construcción. La elección de unas técnicas u otras dependerá del tipo de proyecto, la capacidad técnica del equipo gestor y de los objetivos marcados por el promotor en cada caso (seleccionados en la fase de planificación). Las salidas del proceso de análisis aportarán información importante para poder decidir o dar una respuesta sobre la aplicación del elemento identificado en el proceso. Así, el tratamiento o la respuesta que se da a cada factor de sostenibilidad identificado y analizado será:

- o La aceptación de la propuesta: introducción y aplicación de la oportunidad al proyecto
- o Maximizar sus cualidades
- o Plantear variaciones de la oportunidad para optimizar su impacto positivo y disminuir sus impactos negativos
- o Desechar la oportunidad

Como resultado del proceso, surge un registro de factores de sostenibilidad para el adecuado control durante el ciclo de vida del proyecto así como para su utilización en futuros proyectos similares del equipo. Además en la fase de control pueden utilizarse algunos de los sistemas de indicadores comentados en apartados anteriores, para comprobar el grado de sostenibilidad que alcanza el edificio o infraestructura según las variaciones que se van proponiendo en la fase de diseño de acuerdo a los criterios de sostenibilidad que se quieren alcanzar.

## 4. Conclusiones

En este artículo se ha pretendido hacer un estado del conocimiento de las técnicas y metodologías empleadas actualmente en la construcción para lograr alcanzar los nuevos objetivos de sostenibilidad. Además se ha propuesto una metodología que englobe esas técnicas y que sirva a la gestión de proyectos para facilitar la gestión sostenible y alcanzar los objetivos propuestos sin olvidar los objetivos propios de coste, calidad, plazo y prestaciones.

Besides this tool, in the stage of opportunities analysis, some other tools can be employed such as interviewing experts to obtain their assessments; or to apply a sensitivity analysis on different identified opportunities in order to achieve those contributing to bring higher profits to the project with less economical efforts or higher constructive facilities. The selection of one technique over others will depend on the kind of project, the technical capability of the managing team and on the objectives outlined by the promoter in each case (selected in the planning stage).

The outputs of the analysis process will yield important information to make a decision or to provide a response on the applicability of the identified element in the process. Thus response or answer provided for each identified and analyzed sustainable factor will be:

- o The acceptance of the proposal: introduction and application of the opportunity into the project.
- o Maximization of its qualities
- o Proposal for changes of the opportunity, in order to increase the positive impacts and decrease negative impacts.
- o Discarding the opportunity

A file of sustainability factors rises as a result of this process, for the adequate control during the project life cycle, as well as for employing it in the execution of future similar projects of this team. Besides, in the control stage some indicator systems can be used to verify the degree of sustainability reached by a building or infrastructure in accordance with changes to be proposed in the design stage, as per sustainability criteria to be achieved.

## 4. Conclusions

This article has intended to measure the state of knowledge of techniques and methodologies currently employed in construction, in order to achieve new sustainability objectives. Besides, a methodology has been proposed to include such techniques and may be useful for project management, facilitating a sustainable management, reaching the outlined objectives, but not forgetting the original objectives: performances costs, quality and time.

La idea de establecer una metodología de gestión sostenible de un proyecto es precisamente la creencia de que los sistemas de indicadores son muy útiles en las tomas de decisión y/o certificación, pero no pueden representar la extensa variabilidad y necesidad de los diferentes proyectos de ingeniería en el sector de la construcción. Haciendo una correcta identificación y análisis de las diferentes oportunidades e indicadores de cada proyecto en particular se pueden identificar más fácilmente factores sostenibles que puedan ser más rentables y eficientes que en otro proyecto similar. Sin embargo, los sistemas de indicadores de sostenibilidad continúan siendo una herramienta muy útil para las evaluaciones objetivas por terceros de los proyectos de construcción.

The idea of developing a methodology for project sustainable management is exactly based on the belief that indicator systems are very useful for decision making and/or certification, but they cannot represent the wide variability and requirements from different engineering projects in the construction sector. By making a correct identification and analysis on different opportunities and indicators of each particular project, sustainable factors that can be more profitable and effective for one or another similar project can be easily identified. However, sustainable indicator systems are still a useful tool for objective assessments by third parties in construction projects.

## 7. Referencias / References

- Aguado A., Alarcón B. y Manga R. (2008), Razón de ser del anejo ICES de la EHE y características del mismo. *Revista Cemento y Hormigón* 913, 16-23.
- Alarcón D. B. (2005), *Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles*. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Spain.
- Bakens W. (2003), Realizing the sector's potential for contributing to sustainable development. *UNEP Industry and Environment*, April – September, 9-12.
- Brunn R. (2003), Sustainable building services in developing countries: the challenge to find “best-fit” Technologies. *UNEP Industry and Environment*, April-September, 46-52.
- Chen Z., Li H., Ross A., Khalfan M.M.A. and Kong S.C.W. (2008), Knowledge-Driven ANP Approach to Vendors Evaluation for Sustainable Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (12) December, 928-941.
- CRISP (Construction and City Related Sustainability Indicators): <http://crisp.cstb.fr>
- Dasgupta S. and Tam E.K.L. (2005), Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32, 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, España.
- Fowler K.M. and Rauch E.M. (2006), *Sustainable Building Rating Systems*. Department of Energy, United States of America, July 2006.
- IEA (International Energy Agency) and Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme (2001), *Directory of Tools, a Survey of LCA Tools, Assessment Frameworks, Rating Systems, Technical Guidelines, Catalogues, Checklists and Certificates, Annex 31 “Energy-related Environmental Impact of Buildings”*, Canada Mortgage and Housing Corporation.
- IPCC (2007a), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007b), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. [Parry, M., Canziani, O.,Palutikof, J., van der Linden, P., Hanson, C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007c), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. [Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., Meyer, L. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kholar N. y Moffatt S. (2003), *Life-cycle analysis of the built environment*. *UNEP Industry and Environment*, April-September, 17-21.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being*. The Millenium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, DC.

- Oteiza I. and Tenorio J.A. (2007), *La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. Jornada J7: Evaluación de la sostenibilidad en la Edificación, XVII Edición Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO) Instituto Eduardo Torroja, Madrid.*
- PMI (Project Management Institute) (2004), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), third edition.*
- Pulaski M. and Horman M. (2005), *Continuous Value Enhancement Process. Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (12), 1274-1282.
- Pulaski M. (2005), *The alignment of sustainability and constructability: a continuous value enhancement process, Thesis in Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, The Graduate School, Department of Architectural Engineering, May 2005.*
- RAE (2005), *Engineering for sustainable development Guiding Principles. The Royal Academy of Engineering. September, 2005.*
- Sampedro A. (2007), *Las implicaciones del protocolo de Kioto en la ingeniería civil. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil: Desarrollo y sostenibilidad en el marco de la ingeniería. Sevilla.*
- Seo S., Aramaki T., Hwang Y. and Hanaki K. (2004), *Fuzzy Decision-Making tool for Environmental Sustainable Buildings. Journal of Construction Engineering and Management* 130 (3) May/June, 415-423.
- Siddiqui S. (1997), *Infrastructure, Sustainable Development & Society. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics. McGill University. Montreal, Canada.*
- Ugwu O. O., Kumaraswamy M. M., Wong A. and Ng S. T. (2006), *Sustainability appraisal in infrastructure proyectos (SUSAIP) Part 1. Development of indicators and computational methods. Automation in Construction*, 15 (2), 239-25.
- Ugwu O.O. and Haupt T.C. (2007), *Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability-a South African construction industry perspective. Building and Environment* 42, 665-68.
- UNEP/Earthscan (2002), *Global Environmental Outlook 3, London.*

