

# Integración conceptual Green-Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos

## Green-Lean conceptual integration in the project design, planning and construction

Patricia Martínez <sup>\*1</sup>, Vicente González \*, Eduardo Da Fonseca\*

\* Universidad de Valparaíso, Valparaíso. CHILE

Fecha de recepción: 26/ 01/ 2009  
Fecha de aceptación: 15/ 03/ 2009  
PAG. 05 - 32

### Resumen

El actual escenario de competitividad en el que se mueven las empresas de ingeniería, demanda nuevos enfoques de producción, donde las variables medioambientales juegan un papel relevante. En este sentido el concepto de sustentabilidad debe empezar a ser manejado por todos los agentes involucrados: ingenieros, arquitectos, mandantes, entre otros. El concepto de sustentabilidad, por ser de carácter general, se ha mantenido en un ámbito más bien conceptual, haciéndose complejo el desarrollo de herramientas que faciliten su consideración a través del ciclo de vida completo de un proyecto. Este estudio tuvo por propósito integrar las filosofías de Construcción sustentable, o Green Building, y Lean Construction, esta última empleada como el complemento necesario para entregar una base de análisis centrada en la gestión de producción. Se definió como ciclo de vida acotado las etapas de diseño, planificación y construcción, determinándose vectores de integración por medio del análisis morfológico y matrices de impacto cruzado. Se determinaron los vectores con relación directa para la implementación de la integración Green-Lean. Para operacionalizar la integración Green-Lean se empleó como herramienta de implementación la Constructabilidad, la que permitió secuenciar los procesos de construcción, ejercicio conceptual aplicado sólo a la etapa de diseño. Como resultado, se estableció a nivel conceptual que las herramientas aplicadas en la gestión de proyectos de construcción (Lean Construction y Constructabilidad), entregan un soporte sólido para la operacionalización, y futura aplicación, de criterios de sustentabilidad en los procesos y etapas que involucra el ciclo de vida completo de los proyectos de construcción.

Palabras Clave: Construcción sustentable, lean construction, green-lean, integración, matrices de impacto cruzado, análisis morfológico

### Abstract

Current competitiveness scenario in which engineering companies act, demands new production approaches, where the environmental variables play a key role. In such a way, the sustainability concept should begin to be managed by all the agents involved: engineers, architects, owners, among others. Sustainability concept, being of general character, has remained in a conceptual context, becoming difficult the development of tools that facilitate its consideration through the entire project life cycle. This study had as purpose to integrate the philosophies of Sustainable Construction, or Green Building, and Lean Construction, the latter employee as the necessary complement to give an analysis baseline focused on the production management. The design, planning and construction stages were defined as the enclosed life cycle, being determined integration vectors by means of the morphological analysis and cross-impact matrix. The vectors with direct relationship for the implementation of the Green-Lean integration were determined. As implementation tool of the Green-Lean integration, Constructability was used which allowed sequencing the construction processes. This conceptual exercise was only applied at design level. As a result, at conceptual level was stated that the tools applied in the project management (Lean Construction and Constructability), give a sound support for the implementation, and future application, of Sustainability criteria in the processes and stages involving the whole project life cycle.

Keywords: Sustainable construction, lean construction, green-lean, integration, cross-impact matrix, morphological analysis

## 1. Introducción

Chile se ha incorporado de manera exitosa a la integración global, concretando importantes tratados de libre comercio. Este proceso se ha logrado gracias al reconocimiento de una economía sólida, que incluye políticas estables de comercio e inversión extranjera.

## 1. Introduction

Chile has successfully incorporated itself to global integration, reaching important Free Trade Agreement. This process has been accomplished thanks to the recognition of a solid economy, that includes stable commercial policies and foreign investment.

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:  
E-mail: patricia.martinez@uv.cl

Sin embargo, es importante tener presente que la globalización demanda una mayor competitividad de las empresas privadas y públicas, la que debe enfocarse no sólo en los temas relacionados con la eficiencia de los sistemas de producción, si no también en aquellos factores de la producción que involucran la preservación del medio ambiente, empleando por tanto herramientas eficientes en ambos contextos de la producción. En este escenario complejo, es necesario modernizar las políticas actuales, orientándolas hacia el desarrollo de nuevos conceptos, que mejoren la noción de competitividad (Esty y Winston, 2009).

La industria de la construcción, conocida globalmente como una de las principales áreas productivas, debe involucrarse activamente en cada uno de los cambios que lo anterior involucra. En este sentido, filosofías innovadoras de producción, administración, medioambiente, entre otras, comienzan a ser implementadas en proyectos de construcción. Tal es el caso de proyectos desarrollados desde la perspectiva de la Sustentabilidad y Lean Construction (Mao y Zhang, 2008; Gutiérrez, 2007; Kohler y Lützkendorf, 2002). Los avances logrados en estas materias confirman los efectos positivos que tiene la consideración de enfoques de este tipo sobre los resultados de los proyectos de construcción, entre ellos: reducción de residuos, reducción de costos de producción, reducción de inventarios, entre otros.

Previo a la presentación del objetivo del presente estudio, se estima necesario presentar brevemente los alcances de las filosofías de preservación del medioambiente y producción usadas en este artículo.

Kibert (1994) señala que construcción sustentable es el desarrollo de la construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el medio ambiente por todas las partes participantes. Ello involucra como elementos claves la reducción del uso de fuentes energéticas y de recursos minerales, la conservación de las áreas naturales y de la biodiversidad, y la mantención de un ambiente interior saludable (CIB, 2000).

La segunda filosofía de interés en este estudio se denomina Lean Production. Esta filosofía de producción se basa en los principios desarrollados por Toyota, cuyo propósito es producir en función de los requerimientos del cliente, minimizando las pérdidas e incrementado la eficiencia de las actividades que agregan valor (Womack et al., 1990). La conceptualización de este paradigma de producción en la construcción ha dado origen a lo que se conoce como Lean Construction, la que constituye una nueva filosofía de producción para la construcción (Koskela, 2000; Ballard, 2000; Alarcón y Ashley, 1999; Tommelein, 1998).

Nevertheless, it is important to remember that the globalization demands a greater competitiveness of the private and public companies, which should be focused not only in the subjects related to the efficiency of the production systems, but also in those factors of the production which involve the preservation of the environment, using therefore efficient tools in both contexts of the production. In this complex scene, it is necessary to modernize the present policies, orienting them towards the development of new concepts, that improve the competitiveness notion (Esty and Winston, 2009).

Construction industry, generally known as one of the main productive areas, must become actively involved in each of the changes above mentioned involves. In such a way, innovating production philosophies, management, environment, among others, are beginning to be implemented in construction projects. Such is the case of the projects developed from the point of view of Sustainability and Lean Construction (Mao and Zhang, 2008; Gutiérrez, 2007; Kohler and Lützkendorf, 2002). The advances obtained in these matters confirm the positive effects that the consideration of approaches of this type has on the results of the construction projects, among them: reduction of residues, reduction of production costs, reduction of inventories.

Previous upon the presentation of the objective of the present study, it is considered necessary to briefly present the scopes of environment preservation and production philosophies used in this article.

Kibert (1994) indicates that a sustainable construction is the development of the traditional construction with a considerable responsibility of all the participants towards the environment. The key elements are: reduction of the use of energetic sources and mineral resources, the conservation of the natural areas and the biodiversity, and the maintenance of a healthful inner atmosphere (CIB, 2000).

The second philosophy of interest in this study is denominated Lean Production. This production philosophy is based on the principles developed by Toyota, whose intention is to produce based on the requirements of the client, minimizing the wastes and increasing the efficiency of the activities that add value (Womack et al., 1990). The planning of this paradigm of production in construction has given rise to what is called Lean Construction, that constitutes a new philosophy of construction production (Koskela, 2000; Ballard, 2000; Alarcón and Ashley, 1999; Tommelein, 1998).

La idea de emplear los principios de Lean Construction en la Construcción Sustentable surge de la problemática de que no existen herramientas de gestión desarrolladas para la implementación de proyectos sustentables, en un escenario donde sólo se han establecido criterios generales y el cumplimiento de requerimientos finales (USGBC, 2007, Martínez et al, 2004; Roldán, 2002; ISO, 1997). Además, muchos proyectos que tienen en perspectiva alcanzar ciertos grados de Sustentabilidad, terminan con sobre costos de producción en su construcción (Smith, 2003), por una no consideración sistemática de aspectos de gestión de producción en la implementación de la sustentabilidad. Una adecuada implementación de los principios de sustentabilidad en un proyecto, debiera generar ahorros de tiempo y costo, y mejoramientos generales de su desempeño. Por tanto, podría pensarse entonces, que existe un balance o "trade-off" entre la Sustentabilidad y la Eficiencia Productiva. Los autores de este artículo sostienen que los medios usados para alcanzar estos objetivos, aparentemente contradictorios en un proyecto, pueden ser alineados a través del trabajo conjunto de los principios de Construcción Sustentable y Lean Construction.

La investigación que se presenta a continuación tiene por propósito desarrollar una integración conceptual entre Construcción Sustentable y Lean Construction, denominada en este artículo "Green-Lean". En otras palabras, la investigación propone el desarrollo de un cuerpo de conocimiento coherente y práctico para la aplicación de la Construcción Sustentable o Green Building, usando los principios de Lean Construction. Con esto, se persigue mejorar la eficiencia de las empresas del área de la construcción, creando las bases necesarias para el futuro desarrollo de proyectos de construcción sustentable, desde una perspectiva lean. Por ejemplo, Forbes et al (2002) plantean en este sentido que si bien es muy importante diseñar edificios que sean sustentables en el tiempo, también lo es usar métodos para construirlos que reduzcan pérdidas, costos y plazos, es decir, desarrollar proyectos que sean "lean". Esto sugiere que la vinculación explícita de ambas filosofías permitiría su aplicación óptima en proyectos de construcción.

Desde un punto de vista práctico, los conceptos que se originen de la integración conceptual Green-Lean deben ser operacionalizados a través de un enfoque que mantenga la consistencia teórica de la integración, así como también, facilite su posterior implementación en los proyectos. Como medio para la implementación práctica de los conceptos de la integración conceptual Green-Lean, los autores proponen la Constructabilidad.

The idea to use the principles of Lean Construction in the Sustainable Construction arises from the problematic that developed tools of management for the implementation of sustainable projects don't exist, in a scenario where general criteria have been established and the fulfillment of final requirements (USGBC, 2007, Martinez et al., 2004; Roldán, 2002; ISO, 1997). In addition, many projects that have in perspective to reach certain degrees of Sustainability, end up with production over costs in their construction (Smith, 2003), by a systematic nonconsideration of aspects of production management in the implementation of sustainability. A suitable implementation of the principles of sustainability in a project, would have to generate savings of time and cost, and general improvements of its performance. Therefore, it could be thought then, that a balance or "trade-off" between Sustainability and Productive Efficiency exists. The authors of this article maintain that the used means to reach these objectives, apparently contradictory in a project, can be aligned through the joint work of the principles of Sustainable and Lean Construction.

The purpose of the following study is the development of a conceptual integration between Sustainable and Lean Construction, called "Green Lean". In other words, the study proposes the development of a body of coherent and practical knowledge for the application of the Sustainable Construction or Green Building, using the principles of Lean Construction. With this, the idea is to improve the efficiency of the companies in the construction area, creating the necessary bases for the future projects development of sustainable construction, from a lean perspective. For example, Forbes et al. (2002) in this sense raises that although it is very important to design buildings that are sustainable through time, it also is the use of construction methods that reduce losses, costs and terms, that is to say, to develop projects which are "lean". This suggests that the explicit joining of both philosophies would allow its optimal application in construction projects.

From a practical point of view, the concepts that are originated from the conceptual Green-Lean integration must be operated through an approach that maintains the theoretical consistency of integration, as well as, to facilitate their later implementation in projects. As means of the practical implementation of the concepts of Green-Lean conceptual integration, the authors propose the Constructability.



Esta consiste en la incorporación sistemática de la experiencia de construcción en las etapas tempranas de desarrollo de un proyecto (por ejemplo, diseño y planificación), mejorando la aptitud constructiva y la eficiencia de los procesos de producción de un proyecto (CII, 1993). Los demostrados mejoramientos del desempeño de proyectos que han usado la Constructibilidad, su enfoque global sobre el ciclo de vida de un proyecto (CII, 1993) y sus evidentes conexiones con los principios de Sustentabilidad (Pulaski et al., 2003) y Lean Construction (Bogus et al., 2000), justifican su uso como medio para la implementación de los conceptos Green-Lean en construcción.

El desarrollo del enfoque integrado de las filosofías de Construcción Sustentable y Lean Construction se analiza dentro del Ciclo de Vida de un proyecto, el que para esta investigación ha sido acotado a las etapas de Diseño – Planificación – Construcción, excluyéndose las etapas de Operación y Deconstrucción. De este modo se abarca el Ciclo Productivo o de Materialización de un proyecto de construcción, contemplándose para otras fases de este estudio las etapas de explotación o uso (operación) y de término de su vida útil, etapa final donde debiese considerarse el re-uso y reciclaje de cada una de sus partes o componentes (deconstrucción) (Martínez, 2005).

Para efectos del análisis del estudio, las etapas involucradas se definen como:

- **Diseño:** Etapa en la cual se desarrollan los diseños de ingeniería, construcción y/o arquitectura (en proyectos de edificación), así como, se establecen las especificaciones técnicas del proyecto y sus términos de referencia para presupuestar y planificar el proyecto. Definición de los tipos de equipos y maquinarias relevantes.
- **Planificación:** Etapa en la cual se programan las actividades del proyecto y se definen los métodos de trabajo definitivos, lay-out, proveedores, políticas de inventario, el programa de adquisiciones de equipos y maquinarias relevantes, la calidad y cantidad de personal, y el presupuesto (entre los elementos más importantes de esta etapa).
- **Construcción:** Etapa en la cual se realiza la materialización física del proyecto con todos los recursos materiales (mano de obra, equipos, materiales, etc.) e inmateriales (diseños, políticas de inventarios, protocolos de trabajo, etc.) necesarios.

This consists of the systematic incorporation of the construction experience in the early stages of the development of a project (for example, design and planning), improving the constructive ability and the efficiency of the production processes of a project (CII, 1993). The demonstrated improvements of the performance of projects that have used Constructibility, its global approach on the life service of a project (CII, 1993) and their evident connections with the principles of Sustainability (Pulaski et al., 2003) and Lean Construction (Bogus et al., 2000), justify their use like means for the implementation of Green-Lean concepts in construction.

The development of the integrated approach of the Sustainable and Lean Construction philosophies is analyzed within the Life Service of a project, that for this investigation has been limited to the stages of Design - Planning - Construction, excluding the Operation and Deconstruction stages from it. In this way the Productive Cycle or of Materialization of a construction project is included, contemplating for other phases of this study the exploitation or use (operation) stages and the end of its useful life, final stage where it should be considered the re- use and recycling of each of its parts or components (deconstruction) (Martinez, 2005).

For the purpose of the analysis, the stages involved are defined as follows:

- **Design:** Stage in which the designs of engineering, construction are developed and/or architecture (in construction projects), as well as, the engineering specifications of the project and their terms of reference settle the budget and to plan the project. Excellent definition of the types of equipment and machineries.
- **Planning:** Stage in which the activities of the project are programmed and the definitive methods of work, lay-out, suppliers, inventory policies, the excellent program of acquisitions of equipment and machineries, the quality and amount of personnel, and the budget (between the most important elements of this stage) are defined
- **Construction:** Stage in which the necessary physical materialization of the project with all the material resources is realized (manpower, equipment, materials, etc.) and immaterial (designs, inventory policies, work protocols, etc.).

En las próximas secciones se discuten la estrategia de investigación, los fundamentos teóricos de Construcción Sustentable y Lean Construction, así como, el enfoque de integración de ambas filosofías (Green-Lean). A continuación se describe la Constructabilidad y su rol en la implementación de los conceptos integrados Green-Lean en el Ciclo de Vida acotado de un proyecto de construcción. Finalmente, el artículo propone un ejemplo del análisis realizado a nivel de la etapa de diseño de un proyecto.

## 2. Estrategia de desarrollo de la investigación y alcances

El desarrollado de la investigación se articula considerando los siguientes pasos: Primero, se establecen los principios de las dos filosofías abordadas, construcción sustentable y lean construction, que sirven como fundamento teórico para el enfoque integrado de producción sustentable en construcción "green-lean". Segundo, la integración conceptual de ambas filosofías se realiza usando conceptos de Matrices de Impacto Cruzado (MIC) y Análisis Morfológico (AM). De este análisis se obtienen las interacciones o intercepciones entre los principios de ambas filosofías, los cuales se denominan vectores de integración. Tercero, para la implementación y operacionalización de estos vectores de integración Green-Lean en un proyecto de construcción, se establece como herramienta de implementación la Constructabilidad, y el Ciclo de Vida acotado de un proyecto de construcción como el marco temporal de integración. A partir de esto, se establece el marco definitivo de integración, que está formado por las etapas de diseño, planificación y construcción. De esta forma, se establecen matrices de integración que contienen los distintos vectores de integración para las distintas etapas del ciclo de vida acotado de un proyecto de construcción.

En esta investigación la integración conceptual Green-Lean, usando las técnicas MIC y AM, fue elaborada por los autores, usando su propia experiencia para determinar los puntos de conexión o integración entre Construcción Sustentable y Lean Construction. Lo anterior se ajusta al carácter exploratorio y teórico de la investigación.

Se contempla realizar en el mediano plazo la validación tanto de la integración como del enfoque de implementación, considerándose para ello la opinión de expertos en los temas analizados, y la posterior aplicación en proyectos reales para el planteamiento de una propuesta de integración Green-Lean definitiva y aplicable en la industria.

In the next sections the investigation strategy, the theoretical foundations of Sustainable and Lean Construction are discussed, as well as the approach to integrate both philosophies (Green-Lean). Next, is a description of the Constructability and its roll in the implementation of Green-Lean integrated concepts in the limited life Cycle of a construction project. Finally, the article proposes an example of the analysis realized concerning the design stage of a project.

## 2. Development strategy of the study and its reach

The developed of the investigation articulates itself considering the following steps: First, the principles of the two philosophies are established, sustainable and lean construction, that serves as the theoretical foundation for the integrated approach of sustainable production in construction "green-lean". Secondly, the conceptual integration of both philosophies is realized using the Cross-Impact Matrix (CIM) and Morphologic Analysis (M.A.) concepts. From this analysis the interactions or interceptions between the principles of both philosophies are obtained, which are denominated integration vectors. Third, for the implementation and operationalization of these Green-Lean integration vectors in a construction project, as an implementation tool the Constructability, and the limited Life Cycle of a construction project is established as the temporary frame of integration. From this, the definitive frame of integration is settled, that is formed by the design, planning and construction stages. Thus, the integration matrix are established, which contain the different integration vectors for the different stages of the limited life cycle of a construction project.

In this investigation the Green-Lean conceptual integration, using the techniques MCI and M.A., was elaborated by the authors, having used its own experience to determine the points of connection or integration between Sustainable and Lean Construction. The previous adjusts to the exploratory and theoretical character of the investigation.

To realize in the medium term, the validation as much as the integration of the implementation approach is contemplated, considering for it the opinion of experts in the analyzed subjects, and the later application in real projects for the exposition of a proposal of definitive and applicable Green-Lean integration in the industry.



Finalmente, el contexto de aplicación de los conceptos y metodología desarrollados en este investigación debieran ser aplicables a cualquier tipo de proyecto. Sin embargo, se ha pensado inicialmente en proyectos de edificación (edificación en extensión y en altura) cuyo ciclo de vida y naturaleza de su producción se adapta naturalmente al ciclo de vida acotado y enfoque de esta investigación. La aplicación a otros proyectos es parte también del proceso continuo de desarrollo de esta investigación.

### 3. Definición de criterios y principios de construcción sustentable y Lean Construcción

Para abordar la integración conceptual Green-Lean es necesario, en primer lugar, discutir los conceptos de Construcción Sustentable y Lean Construction, y establecer una estructura de análisis similar a ambas filosofías, con el propósito de facilitar la detección de puntos de interacción o intercepción. Para ello resulta fundamental discutir los alcances y el contexto de análisis tanto de la Construcción Sustentable como de Lean Construction. En este sentido, esta sección tiene por propósito estructurar ambas filosofías en criterios, los que servirán de contexto o marco de referencia para la determinación de principios de acción de cada una de las filosofías analizadas. Lo anterior se realiza dentro del marco temporal acotado considerado en el estudio.

#### 3.1 Construcción sustentable

Martínez (2003) indica que es difícil dar una definición de Construcción Sustentable que resulte lo suficientemente completa como para abarcar todos los aspectos que ésta debiese considerar. Al respecto indica que los tres pilares fundamentales sobre los cuales se apoya el Desarrollo Sustentable de la Industria de la Construcción son: en primer lugar el reciclaje y conservación de los materiales y recursos; en segundo término el mejoramiento de la durabilidad de las estructuras; y por último, el uso y aprovechamiento de los sub-productos de otras industrias, los que habitualmente son considerados residuos. Estos tres pilares están soportados por un enfoque holístico que permite determinar el carácter de interdependencia que tiene cada uno de los pilares enunciados. Por ejemplo, si se analizan decisiones tomadas respecto a la durabilidad de las estructuras desde el enfoque clásico de tipo reduccionista, sólo se considerarán los beneficios en cuanto al aumento de la vida útil de la obra.

Finally, the context of application of the concepts and methodology developed in this investigation would have to be applicable to any type of project. Nevertheless, initially it has been thought about construction projects (construction in extension and height) whose nature and life cycle of its production naturally adapts to the limited life cycle and approach of this investigation. The application to other projects is also part of the continuous process of development of this investigation.

### 3. Definition of criteria and principles of sustainable and Lean Construction

In order to approach conceptual Green-Lean integration it is necessary, first of all, to discuss the concepts of Sustainable and Lean Construction, and to establish a structure of analysis similar to both philosophies, in order to facilitate the detection of interaction points or interception. For it, is fundamental to discuss the reaches and the context of analysis as much as the Sustainable Construction as the Lean Construction. In this sense, this section is intended to structure both philosophies in criteria, those that will serve as context or frame of reference for the determination of principles of action of each one of the analyzed philosophies. The previous is realized within the considered limited temporary frame in the study.

#### 3.1 Sustainable construction

Martínez (2003) says that it is difficult to give a definition of Sustainable Construction sufficiently complete as to cover all the aspects that this should be considered. On the matter he indicates that the three main pillars on which the Sustainable Development of the Construction Industry leans are: in first place, the recycling and conservation of the materials and resources; secondly, the improvement of the structures durability; and lastly, the use and advantage of by-products of other industries, those that habitually are considered residues. These three pillars are supported by a holistic approach that allows to determine the interdependence character that each one of the enunciated pillars has. For example, if decisions taken with respect to the durability of the structures are analyzed from the classic approach of reductionist type, the benefits as far as increasing the life utility of the work will only be considered.

Sin embargo, dentro de la óptica del enfoque holístico, se podría decir que las mejoras en la durabilidad, permiten, además, generar ahorros de energía en los procesos de construcción, así como conservar los materiales, sólo por nombrar algunos de los efectos positivos adicionales asociados al aumento de la durabilidad de las edificaciones. Lo anterior es un ejemplo de cómo se debe pensar el ciclo de vida de una estructura, integrando el conocimiento de todos los procesos involucrados.

Un enfoque constructivo concebido dentro de la óptica de la Construcción Sustentable debe, por tanto, contemplar cada una de las etapas de un proyecto de construcción, desde la selección de los materiales para la construcción hasta la etapa de término de la vida útil del proyecto, lo que implicaría su deconstrucción. El propósito de lo anterior es la minimización del uso de recursos, de modo de evitar o prevenir el agotamiento de los recursos naturales, prevenir la degradación ambiental, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior como en el entorno de los edificios. Estos últimos pueden ser considerados como los criterios más importantes sobre los que se debe sustentar una industria de la construcción sustentable, sin dejar de lado los aspectos económicos y sociales (Martínez et al., 2004).

Contextualizando lo anterior en la actualidad de Chile, la sustentabilidad en el área de análisis se ha mantenido como un concepto un tanto utópico y difícil de poner en práctica, aspecto que por lo demás también se observa internacionalmente. Surge en consecuencia la oportunidad de mejorar la competitividad en este sector desde el punto de vista de su desempeño sustentable (Martínez et al., 2004), aspecto que poco a poco se está transformando en una de sus dimensiones claves, por lo tanto, debiera ser fuertemente considerado durante la gestión de un proyecto. La competitividad involucra, entre otras cosas, la capacidad de innovación y de anticipación a los cambios, siendo la sustentabilidad un nicho potencial de desarrollo, innovación y mejoramiento que involucra el desempeño eficiente de nuestro accionar, en un sentido holístico.

El CIB (2000) indica que el concepto de Construcción Sustentable lleva asociado tres verbos claves: Reducir, Preservar y Mantener, aspectos que deben tenerse en consideración al momento de establecer criterios globales que sirvan de marco conceptual para la puesta en práctica de la construcción sustentable.

Finalmente, y persiguiendo el objetivo de definir un marco de análisis para la construcción sustentable,

Nevertheless, within the optics of the holistic approach, it would be possible to say that the improvements in the durability, allow, in addition, to generate energy savings in the construction processes, as well as the materials conservation, only to name some of the additional positive effects associated to the increase of the constructions durability. The previous is an example of how the life cycle of a structure should be thought, integrating the knowledge of all the involved processes.

A conceived constructive approach within the optics of the Sustainable Construction must, therefore, contemplate each one of the stages of a construction project, from the selection of materials for the construction to the final stage of the life utility of the project, which would imply its deconstruction. The intention of the previous mentioned is the minimization of the use of resources, as to avoid or to prevent the exhaustion of the natural resources, to prevent the environmental degradation, and to provide a healthful atmosphere, as much in the interior as in the surroundings of the buildings. These last ones can be considered as the most important criteria on which an industry of viable construction should be sustained, without leaving aside the economic and social aspects (Martinez et al., 2004).

Contextualizing the above mentioned at present in Chile, sustainability in the analysis area has remained as a somewhat utopian concept and difficult to put in practice, aspect that is also observed internationally. The opportunity consequently arises to improve the competitiveness in this sector from the point of view of its sustainable performance (Martinez et al., 2004), aspect that little by little is being transformed into one of its key dimensions, therefore, it should be strongly considered during the management of a project. The competitiveness, among other things, involves the innovation capacity and anticipation to changes, being sustainability a potential niche of development, innovation and improvement that the efficient performance of our drive involves, in a holistic sense.

The CIB (2000) indicates that the concept of Sustainable Construction is associated to three key verbs: To Reduce, To Preserve and To Maintain, aspects that must be had considering at the moment of establishing global criteria that serve as a conceptual frame for the putting in practice of the sustainable construction.

Finally, and pursuing the objective of defining a frame of analysis for sustainable construction,

se puede establecer que los modelos internacionales de evaluación tendientes a determinar el desempeño ambiental de las estructuras de construcción (hasta ahora aplicados o diseñados principalmente para el área de la edificación), consideran como base los siguientes criterios de evaluación: Terreno, Energía, Calidad del Ambiente Interior, Materiales y Recursos, y Eficiencia del Agua (Chávez, 2005; Osses, 2004). Estos criterios son considerados básicos, encontrándose dentro de los requisitos que deberían cumplir las edificaciones sustentables, es decir, consumir una mínima cantidad de energía y agua a lo largo de su vida, hacer un uso eficiente de materias primas, generar cantidades mínimas de residuos y emisiones, y crear un ambiente interior saludable, entre otros.

Considerando los aspectos discutidos en esta sección, se estableció como marco de referencia para la conceptualización de la Construcción Sustentable el que se detalla en la Tabla 1, definiéndose una estructura en base a criterios y principios que faciliten la integración de las filosofías en análisis (se incluyen solo los acrónimos de los criterios de Construcción Sustentable, por razones de uso posterior en la integración Green-Lean).

it is possible to establish that the international models of evaluation tending to determine the environmental performance of construction structures (until now applied or designed mainly for the construction area), consider as bases the following evaluation criteria: Land, Energy, Quality of the Inner Atmosphere, Material and Resources, and Water Efficiency (Chávez, 2005; Osses, 2004). These criteria are considered basic, being within the requirements that would have to fulfill the viable constructions, that is to say, to consume a minimum amount of energy and water throughout their life, to make an efficient use of raw materials, to generate minimum amounts of residues and emissions, and to create a healthful inner atmosphere, among others.

Considering the aspects discussed in this section, a frame of reference for the planning of Sustainable Construction was established and are detailed in Table 1, defining a structure on the basis of criteria and principles that facilitate the integration of the philosophies in analysis (the acronyms of the criteria of Sustainable Construction are only included, for reasons of later use in Green-Lean integration).

Tabla 1. Estructura de criterios y principios de Construcción Sustentable, en el marco de las etapas de un proyecto de construcción  
 Table 1. Structure of criteria and principles of Sustainable Construction, within the framework of the construction project stages

Etapa/Stages	Criterio/Criteria	Principios/Principles
Diseño/Design Planificación/Planning Construcción/Construction	Reducir impacto en la extracción de recursos energéticos y materias primas (C1). To reduce the impact in the energy and raw materials extraction. (C1).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- considerar la reutilización de materiales</li> <li>- consider the re-utilization of materials</li> <li>- pensar en el reciclaje como alternativa de construcción</li> <li>- think in recycling as a construction alternative</li> <li>- uso de recursos renovables</li> <li>- use of renewable resources</li> <li>- conducir a la mínima extracción de recursos</li> <li>- reach the minimum extraction of resources</li> <li>- uso eficiente de los recursos (naturales y energéticos)</li> <li>- efficient use of resources (natural and energetics)</li> </ul>
	Considerar buenas condiciones de construcción que aseguren el confort del usuario (C2). To consider good construction conditions that ensure the user confort (C2).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocupar materiales de baja emisión, ventilación eficiente (en términos de energía), eficiencia energética en general, satisfaciendo las necesidades de los ocupantes</li> <li>- use low emission materials, enough ventilation, (in terms of energy), energetic efficiency in general, satisfying the users needs</li> <li>- reducción del ruido, contaminación y olores</li> <li>- noise, pollution and odors reduction</li> <li>- hacer un uso restringido del suelo, reduciendo la fragmentación</li> <li>- make a restricted usage of the land, reducing fragmentation</li> </ul>
	Considerar una vida útil de la edificación más prolongada (C3). To consider a more prolongad useful life of the construction (C3).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uso de materiales y sistemas de energía que perduren en el tiempo</li> <li>- use of energy materials and systems that are lasting through time</li> </ul>
	Aptitud que Permita la Deconstrucción (C4). Apptitud that Allows Deconstruction(C4).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uso de modularización, prefabricación, preensamblaje, etc.</li> <li>- use of modularization, premanufacture, preassembly, etc.</li> </ul>
	Desarrollo de una buena Logística de Construcción (C5). Development of a deconstruction in a construction logistic (C5).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- transporte y abastecimiento de materiales</li> <li>- transportation and materials supply</li> </ul>
	Establecer mejoras en las Condiciones de Trabajo (C6). To establish improvements at work (C6).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- provisión de equipamiento, materiales, transporte interno, recreación, seguridad y remuneración</li> <li>- equipment provision, materials, internal transport, recreation, safety and payments</li> </ul>
	Reducir la contaminación del lugar de la construcción y alrededores (C7). To reduce the pollution of the construction site and surroundings (C7).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- evitar emisiones tóxicas, desechos sólidos y líquidos</li> <li>- avoid toxic emissions, solid and liquid residues</li> </ul>





Vale reiterar que la estructura presentada en la Tabla 1 es aplicada dentro del marco temporal acotado asociado al ciclo de vida del proyecto (etapas de diseño, planificación y construcción). Se excluyen en esta etapa de investigación las etapas de operación y deconstrucción.

### 3.2 Lean Construction

Lean Construction es una nueva filosofía de producción para la construcción basada en Lean Production (Koskela, 2000; Ballard, 2000; Alarcón y Ashley, 1999; Tommelein, 1998). Uno de los elementos centrales de Lean Construction es la reinterpretación de la forma en que se entiende la producción en construcción, modificando el conocido modelo de conversión. El modelo de conversión básicamente representa un proceso de producción donde los insumos o entradas son transformados en productos o salidas, donde el cambio de sustancias de las entradas en salidas es tratado como una “caja negra”. Koskela (1992) sugiere las siguientes limitaciones para el modelo de conversión: (i) No diferencia entre las actividades de proceso (actividades que agregan valor) y las actividades de flujo (actividades que no agregan valor). Este modelo considera que todas las actividades agregan valor; (ii) Una de las premisas fundamentales del modelo, estima que el costo total del proceso puede reducirse minimizando los costos de cada subproceso, ignorando los efectos producidos por la interdependencia entre subprocesos, la variabilidad de los resultados y los trabajos rehechos; y (iii) No existe preocupación por el impacto que produce en el producto final, la mala calidad de los recursos, la variabilidad y la incertidumbre. Koskela (1992) propone el modelo de flujos como pilar fundamental de Lean Construction, donde se distinguen explícitamente los flujos (o actividades que no agregan valor) y las conversiones (actividades que agregan valor).

Los diferentes principios y heurísticas establecidos para Lean Construction fueron propuestos inicialmente por Koskela (1992, 2000). Estos principios permiten sistematizar las aplicaciones de Lean Construction en diversas dimensiones de gestión en los proyectos de construcción. La Tabla 2 muestra los criterios (contexto) y principios de Lean Construction aplicables durante el marco temporal definido para un proyecto (se incluyen solo los acrónimos de los principios de Lean Construction, por razones de uso posterior en la integración Green-Lean).

It's worth mentioning that the structure presented/displayed in Table 1 is applied within the limited temporary frame associated to the life cycle of the project (design, planning and construction stages). The operation and deconstruction stages are excluded in this stage of investigation.

### 3.2 Lean Construction

Lean Construction is a new philosophy of production for construction based on Lean Production (Koskela, 2000; Ballard, 2000; Alarcón and Ashley, 1999; Tommelein, 1998). One of the central elements of Lean Construction is the reinterpretation of the form in which the production in construction is understood, modifying the well-known conversion model. The conversion model basically represents a production process where the consumptions or entrances are transformed into products or exits, where the substances change of the entrances in exits is treated as a “black box”. Koskela (1992) suggests the following limitations for the conversion model: (i) Nondifference between the activities of process (activities that add value) and the activities of flow (activities that do not add value). This model considers that all the activities add value; (ii) One of the fundamental premises of the model, esteem that the total cost of the process can be reduced diminishing the costs of each subprocess, ignoring the effects produced by the interdependence between subprocesses, the variability of the results and the works remade; and (iii) there is no preoccupation by the impact that produces in the final item, the bad quality of the resources, the variability and uncertainty. Koskela (1992) proposes the flows model as a fundamental pillar of Lean Construction, where the flows (or activities that do not add value) and the conversions are explicitly distinguished (activities that add value).

The different principles and heuristic established for Lean Construction were initially proposed by Koskela (1992, 2000). These principles allow to systematize the applications of Lean Construction in diverse dimensions of management in construction projects. Table 2 shows the criteria (context) and applicable principles of Lean Construction during the defined temporary frame for a project (only the acronyms of the Lean Construction principles are included, for reasons of later use in Green-Lean integration).

Tabla 2. Principios básicos de Lean Construction en el marco de las etapas de un proyecto de construcción  
 Table 2. Basic Principles of Lean Construction in the frame of construction project stages

Etapas/Stages	Criterio/Criteria	Principios/Principles
Diseño/Design Planificación/Planning Construcción/Construction	Mejorar Procesos To improve processes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor (P1).</li> <li>- Increase the efficiencies of the activities that add value (P1).</li> <li>- Enfocar el control de los procesos al proceso completo (P2).</li> <li>- Focus the processes control to the complete process (P2).</li> <li>- Introducir el mejoramiento continuo de los procesos (P3).</li> <li>- Introduce the continuous improvement of the (P3).</li> <li>- Referenciar permanentemente los procesos (Benchmarking) (P4).</li> <li>- To permanently list the processes (Benchmarking) (P4).</li> </ul>
	Reducir Pérdidas To reduce losses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducir la participación de actividades que no agregan valor (P5).</li> <li>- To reduce the participation of activities that don't add value (P5).</li> <li>- Reducir la variabilidad (P6).</li> <li>- To reduce variability (P6).</li> <li>- Incrementar la flexibilidad de las salidas (P7).</li> <li>- Increase exits flexibility (P7).</li> <li>- Reducir el tiempo de ciclo (P8).</li> <li>- To reduce the cycle time (P8).</li> <li>- Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso (P9).</li> <li>- To minimize the steps as to the simplification of the process (P9).</li> <li>- Incrementar la transparencia de los procesos (P10).</li> <li>- To increase the transparency of the processes (P10).</li> </ul>
	Valor – Cliente Client – Value	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente (P11).</li> <li>- To increase the value of the product taking into account the client's requirements (P11).</li> </ul>

La integración y consistencia de aplicación de cada criterio y principio, para cada filosofía, en las distintas etapas del ciclo de vida acotado de un proyecto se analiza en la siguiente sección.

The integration and consistency of application of each criteria and principle, for each philosophy, in the different stages of the limited life cycle of a project is analyzed in the following section.

#### 4. Metodología de integración Green-Lean

#### 4. Green-Lean integration methodology

La integración Construction Sustentable-Lean Construction, que tiene como objeto encontrar las relaciones entre ambos enfoques, es realizada a un nivel conceptual aplicando principios del Análisis Morfológico (AM) y Matrices de Impacto Cruzado (MIC). Dado que esta integración es esencialmente conceptual, y por lo tanto, cualitativa, se ha optado por usar los criterios y directrices generales que estas técnicas proporcionan para efectuar un análisis e integración racional y coherente de ambos enfoques.

The integration Sustainable Construction -Lean Construction, whose objective is to find the relations between both approaches, is realized at a conceptual level applying the principles of Morphologic Analysis (M.A.) and Cross-Impact Matrix (CIM). Since this integration is essentially conceptual, and therefore, qualitative, it has been chosen to use the general directives and criteria that these techniques provide to carry out an analysis and rational and coherent integration of both approaches.



El AM es una alternativa para los métodos puramente matemáticos y de modelación causales, siendo una forma de modelación no-cuantitativa que descansa en procesos de juicio y consistencia interna en vez de análisis de causalidad. A cierto nivel de complejidad (p.e. a nivel social, político o cognitivo) el AM permite que los procesos de juicio sean más confiables y robustos ya que establece una sólida base metodológica (Ritchey, 1998). El AM fue desarrollado entre los años 1930 y 1940 por Fritz Zwicky basándose en el análisis de la morfología de las interrelaciones estructurales estudiadas por otras áreas de la ciencia como anatomía, geología, botánica y biología. Zwicky propuso generalizar, sistematizar y extender la investigación morfológica a otras áreas del conocimiento donde las interrelaciones estructurales pudieran ser analizadas desde una perspectiva más abstracta, como los conceptos e ideas (Zwicky, 1969). En la práctica, el AM es un método para identificar e investigar el conjunto total de posibles relaciones o “configuraciones” contenidas en un problema complejo dado (Ritchey, 1998).

La técnica de MIC fue desarrollada originalmente por Theodore Gordon y Olaf Helmer en 1966 (Gordon, 1994), idea que fue extendida posteriormente por Gordon y Hayward (1968). Esta técnica surge de una simple pregunta: Los pronósticos pueden estar basados en percepciones o juicios acerca de ¿cómo eventos futuros pueden interactuar entre sí? (Gordon y Helmer, 1968). La noción general de las MIC surgió con el juego “Future” creado por Gordon y Helmer para la corporación Kaiser Corporation (Gordon, 1994) y fue adaptada a otras áreas del conocimiento relacionadas con pronósticos y predicciones (Alarcón y Ashley, 1996). Básicamente las MIC permiten evaluar analíticamente las interacciones entre eventos, desde el punto de vista de la influencia que estas interacciones tienen sobre las probabilidades de ocurrencia de cada evento en el futuro. Estas probabilidades pueden ser ajustadas a través de la opinión de expertos analizando las interacciones potenciales entre eventos. En la práctica, la mayoría de los eventos y desarrollos están de alguna manera relacionados. Por ejemplo, un simple evento como el desarrollo del primer reactor nuclear fue posible debido a una serie de sucesos científicos, tecnológicos, políticos y económicos concomitantes entre sí y con grados de influencia distintos. A su vez, la producción de energía del primer reactor atómico influyó muchos otros eventos y desarrollos técnicos. Muchos eventos aparentemente no relacionados y distintos permiten la ocurrencia de otros eventos.

M.A. is an alternative for purely mathematical methods and causal modeling, being a non-quantitative modeling form that rests in judgment and internal consistency processes instead of a causality analysis. At certain level of complexity (for example, at social, political or mental level) M.A. allows the judgment processes to be more reliable and robust since it establishes a solid methodologic base (Ritchey, 1998). M.A. was developed between the years 1930 and 1940 by Fritz Zwicky based on the analysis of the morphology of the structural interrelations studied by other areas of science such as anatomy, geology, botany and biology. Zwicky proposed to generalize, to systematize and to extend the morphologic investigation to other areas of the knowledge where the structural interrelations could be analyzed from a more abstract perspective, like the concepts and ideas (Zwicky, 1969). Actually, M.A. is a method to identify and to investigate the total set of possible relations or “contained configurations” in a given complex problem (Ritchey, 1998).

The technique of CIM was originally developed by Theodore Gordon and Olaf Helmer in 1966 (Gordon, 1994), idea that was later extended by Gordon and Hayward (1968). This technique arises from a simple question: Can prognoses be based on perceptions or judgments about how future events can interact with each other? (Gordon and Helmer, 1968). The general notion of the CIM arose with the game “Future” created by Gordon and Helmer for the Kaiser Corporation (Gordon, 1994) and was adapted to other areas of the knowledge related to prognoses and predictions (Alarcón and Ashley, 1996). Basically, CIM allow to analytically evaluate the interactions between events, from the point of view of the influence that these interactions have on the probabilities of occurrence of each event in the future. These probabilities can be adjusted through the opinion of experts analyzing the potential interactions between events. Actually, the majority of the events and developments are somehow related. For example, a simple event as the development of the first nuclear reactor was possible due to a series of scientific, technological, political and economic events concomitant to each other and with different degrees of influence. As well, the production of energy of the first atomic reactor influenced many other technical events and developments. Many non related events and apparently different allow the occurrence of other events.

Desde este flujo interconectado hay incluso efectos más profundos que interactúan en cadena y afectan a otros eventos. Es difícil imaginar que un evento cualquiera no haya sido influenciado por otro para su ocurrencia o que este mismo no deje marca sobre otros. Esta interrelación entre eventos y desarrollos es llamada "impacto cruzado" (Gordon, 1994).

En este artículo el AM es usado para el análisis de las "variables conceptuales", las dimensiones y los escenarios de estudio (Ritchie, 1998), involucrados con la Construcción Sustentable y Lean Construction. Por un lado, estas "variables conceptuales" caracterizan los "criterios" de la Construcción Sustentable seleccionados por su naturaleza general, la que puede ser entendida como un referente conceptual global casi para cualquier actividad productiva que desee ser sustentable en la industria de la construcción; y por razones de simplificación en el análisis del proceso de integración con Lean Construction. Por otro, estas "variables conceptuales" caracterizan los "principios" de Lean Construction, más específicos, y que guían la integración conceptual a un nivel específico en cuanto a su interpretación e influencia sobre los "criterios" de la Construcción Sustentable. Estas variables conceptuales forman la caja morfológica o caja de Zwicky (Ritchie, 1998) donde se establece una matriz de n-dimensiones con los criterios de la Construcción Sustentable y los principios de Lean Construction. Finalmente, las etapas del ciclo de vida acotado de un proyecto representan los escenarios de estudio para el AM.

En tanto, para hacer una evaluación de consistencia cruzada de la importancia entre pares de "variables conceptuales" Construcción Sustentable y Lean Construction (es decir, la magnitud de esta relación) en un "campo morfológico", se usan conceptos de las MIC. Luego, cada "par conceptual" Construcción Sustentable y Lean Construction es examinado a través de juicio experto para analizar si el par puede coexistir en términos de la consistencia de su relación. Se debe hacer notar que la evaluación hecha usando MIC no determina causalidad entre las variables, en términos analíticos, sino consistencia de la relación únicamente. Hay tres clases de inconsistencias: i) contradicciones puramente lógicas (aquellas basadas en la naturaleza de los conceptos involucrados); ii) restricciones empíricas (relaciones juzgadas como altamente improbables o sin evidencia empírica); y iii) restricciones normativas (relaciones normadas por aspectos éticos o políticos, por ejemplo) (Ritchie, 1998). En este artículo la primera clase inconsistencia es analizada.

From this interconnected flow there are even more profound effects that have a chain interaction in and affect other events. It is difficult to imagine that any event hasn't been influenced by another for its occurrence or that this same one doesn't leave a mark on others. This interrelation between events and developments is called "crossed impact" (Gordon, 1994).

In this article M.A. is used for the analysis of the "conceptual variables", the dimensions and scenes of the study (Ritchie, 1998), involved with Sustainable and Lean Construction. On the one hand, these "conceptual variables" characterize the "criteria" of the Sustainable Construction selected by their general nature, the one that can almost be understood as a global conceptual reference for any productive activity that wishes to be sustainable in the construction industry; and for reasons of the analysis simplification of the process integration with Lean Construction. On the other, these "conceptual variables" characterize the "principles" of Lean Construction, more specific, and they guide the conceptual integration to a specific level as far as its interpretation and influences on the "criteria" of Sustainable Construction. These conceptual variables form the morphologic box or box of Zwicky (Ritchie, 1998) where a matrix of n-dimensions with the criteria of the Sustainable Construction and the principles of Lean Construction is established. Finally, the stages of limited life cycle of a project represent the scenes of study for M.A.

Meanwhile, to make a crossed consistency evaluation of the importance between pairs of "conceptual variables" Sustainable and Lean Construction (that is to say, the magnitude of this relation) in a "morphologic field", CIM concepts are used. Then, each "conceptual pair" Sustainable and Lean Construction is examined through expert judgment to analyze if the pair can coexist in terms of the consistency of its relation. It must be noticed that the evaluation made using CIM does not determine causality between the variables, in analytical terms, but solely consistency of the relation. There are three classes of inconsistencies: i) purely logic contradictions (those cradles in the nature of the involved concepts); ii) empirical restrictions (relations judged as highly improbable or without empirical evidence); and iii) normative restrictions (for example relations ruled by ethical or political aspects) (Ritchie, 1998). In this article the first class inconsistency is analyzed.

La metodología de integración comprende los siguientes puntos:

- i. Se determina el universo de principios de Lean Construction (LC) a integrar: [P1, P2, P3,..., P<sub>N</sub>].
- ii. Se determina el universo de criterios de Construcción Sustentable (CS) a integrar: [C1, C2, C3,..., C<sub>M</sub>].
- iii. Se establece la caja morfológica, definiendo una matriz de integración de n-dimensiones (n=2 en este caso) con los criterios C<sub>N</sub> y los principios P<sub>N</sub>.
- iv. Se evalúan cada uno de las intersecciones conceptuales P<sub>i</sub>→C<sub>j</sub>, acordes a diversos escenarios: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>,..., E<sub>N</sub>.
- v. Se analiza el impacto cruzado en cada escenario, para cada par P<sub>i</sub>→C<sub>j</sub>, "argumentando" lógicamente la relación de este cruzamiento en el "escenario" que corresponda.

La Tabla 3 muestra un ejemplo de integración de los principios de Lean Construction y los criterios de Construcción Sustentable según los puntos (i) y (ii) de la metodología de integración (usando la nomenclatura de las Tablas 1 y 2 para cada filosofía). El punto (iii) de la metodología permite definir una matriz bidimensional con los principios de Lean Construction y los criterios de Construcción Sustentable. Los escenarios analizados según el punto (iv) comprenden las etapas de Diseño, Planificación y Construcción de un proyecto, estableciendo tres escenarios posibles (E1, E2 y E3, respectivamente).

The integration methodology comprises the following points:

- i. The principles of Lean Construction universe is determined (LC) to integrate: [P1, P2, P3,..., P<sub>N</sub>].
- ii. The criteria of Sustainable Construction universe is established (VC) to integrate: [C1, C2, C3,..., C<sub>M</sub>].
- iii. The morphologic box is established, defining an integration matrix of n-dimensions (n=2 in this case) with the C<sub>N</sub> criteria and P<sub>N</sub> principles.
- iv. Each one of the conceptual intersections are evaluated P<sub>i</sub>→C<sub>j</sub>, according to diverse scenes: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>,..., E<sub>N</sub>.
- v. The crossed impact in each scene is analyzed, for each pair P<sub>i</sub>→C<sub>j</sub>, logically "arguing" the relation of this crossing in the corresponding "scene"

Table 3 shows a sample of the integration of the principles of Lean and Sustainable Construction criteria according to points (i) and (ii) of the integration methodology (using the nomenclature from Tables 1 and 2 for each philosophy). The point (iii) of the methodology allows to define a bidimensional matrix with the principles of Lean Construction and the criteria of Sustainable Construction. The scenes analyzed according to the point (iv) include/understand the Design, Planning and Construction stages of a project, establishing three possible scenes (E1, E2 and E3, respectively).

Tabla 3. Matriz integración conceptual Lean Construction-Sustentabilidad  
Table 3. Lean Construction-Sustainability Conceptual integration Matrix

CS \ LC	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>N</sub>
	P <sub>1</sub> P <sub>1</sub> →C <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> →C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> →C <sub>3</sub>	...	P <sub>1</sub> →C <sub>N</sub>
P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> →C <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> →C <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> →C <sub>3</sub>	...	P <sub>2</sub> →C <sub>N</sub>
P <sub>3</sub>	P <sub>3</sub> →C <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> →C <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> →C <sub>3</sub>	...	P <sub>3</sub> →C <sub>N</sub>
...	...	...	...	...	...
P <sub>M</sub>	P <sub>M</sub> →C <sub>1</sub>	P <sub>M</sub> →C <sub>2</sub>	P <sub>M</sub> →C <sub>3</sub>	...	P <sub>M</sub> →C <sub>N</sub>

El punto (v) de la metodología permite establecer la magnitud, consistencia y dirección de las relaciones entre principios. Alarcón (1992) estableció patrones de relación de impacto cruzado con el objetivo de simplificar la adquisición de conocimiento obtenido a través del juicio experto.

The point (v) of the methodology allows to establish the magnitude, consistency and direction of the relations between principles. Alarcón (1992) established relation patterns of crossed impact with the aim of simplifying the knowledge acquisition obtained through expert judgment.

En este enfoque, Alarcón (1992) clasifica los patrones de relación entre pares de variables como: "SIG-": significativa en la dirección opuesta (índice de impacto cruzado (IIC)=-3); "MOD-": moderado en la dirección opuesta (IIC=-2); "SLI-": leve en la dirección opuesta (IIC=-1); "SIG+": significativa en la misma dirección (IIC=+3); "MOD+": moderado en la misma dirección (IIC=+2); "SLI+": leve en la misma dirección (IIC=+1). Adaptando el enfoque propuesto por Alarcón (1992) al análisis de este artículo, es sugerida la siguiente "argumentación" lógica para el cruzamiento o integración de principios:

Relación Directa (D): Aquel argumento que demuestra una dependencia cercana o inmediata (independiente del tiempo) de un criterio o principio respecto del otro. También puede definirse como el mayor grado de incidencia que posee el efecto de un criterio o principio sobre el otro.

Relación Indirecta (I): Aquel argumento que demuestra una dependencia lejana o distante (independiente del tiempo) de un criterio o principio respecto del otro. También puede definirse como el menor grado de incidencia que posee el efecto de un criterio o principio sobre el otro.

Relación Potencial o Ninguna Relación (-): Es aquella que podría existir, pero no se ha visualizado; o también aquella relación que sencillamente no existe.

Las intercepciones formadas en la matriz de la Tabla 3, corresponden a pares ordenados, que son denominados vectores de integración que relacionan un "principio" de Lean Construction con su correspondiente "criterio" de Construcción Sustentable. Como se discutió más arriba, dada la especificidad de los "principios" de Lean Construction y la generalidad de los "criterios" de Construcción Sustentable, se determinó que en el análisis de la interacción se estudiará cómo un determinado "principio" de Lean Construction influye sobre un determinado "criterio" de Construcción Sustentable. La simbología determina, por ejemplo, si es una intercepción entre un principio  $P_{10}$  y un criterio  $C_1$  originando el vector  $V_{10,1}$ , de donde el "subíndice de integración" del vector "V" se genera a partir del par ordenado 10,1 de sus correspondientes "principios" y "criterios". La Tabla 4 muestra un ejemplo de los vectores de integración para los escenarios de diseño, planificación y construcción.

In this approach, Alarcón (1992) classifies the relation patterns between pairs of variables like: "SIG-": significant in the opposite direction (crossed impact index (CII) =-3); "MOD-": moderate in the opposite direction (CII=-2); "SLI-": slight in the opposite direction (CII=-1); "SIG+": significant in the same direction (CII=+3); "MOD+": moderate in the same direction (CII=+2); "SLI+": slight in the same direction (CII=+1). Adapting the approach proposed by Alarcón (1992) to the analysis of this article, the following "logical argumentation" for the crossover or integration of principles is suggested:

Direct Relation (D): argument that demonstrates a near or immediate dependency (independent of the time) of a criterion or principle with respect to the other. Also it can be defined as the greater degree of incidence that the effect of a criterion or principle has on the other.

Indirect relation (I): argument that demonstrates a distant or distant dependency (independent of the time) of a criterion or principle with respect to the other. It can also be defined as the smaller degree of incidence that the effect of a criterion or principle has on the other.

Potencial or No Relation (-): Is the one that could exist, but it hasn't been visualized, or also, that relation that simple doesn't exist.

The interceptions formed in the matrix of Table 3, correspond to ordered pairs, that are denominated integration vectors which relate a "principle" of Lean Construction with his corresponding "criterion" of Sustainable Construction. As it was discussed above, given the specificity of the "principles" of Lean Construction and the majority of the "criteria" of Sustainable Construction, it was determined that in the analysis of the interaction on how a certain "principle" of Lean Construction influences a certain "criterion" of Sustainable Construction will be studied. The symbolism determines, for example, if it is an interception between a  $P_{10}$  principle and a  $C_1$  criterion originating the  $V_{10,1}$  vector, where the "subscript of integration" of vector "V" is generated from ordered pair 10.1 of its corresponding "principles" and "criteria". Table 4 shows an example of the integration vectors for the design, planning and construction scenes.

Para el análisis de las matrices de integración, la argumentación de la relación directa (D) entre principios permite establecer aquellas relaciones consistentes entre sí. Aquellas relaciones que no comprendan esta clasificación, son despreciadas para el posterior análisis de implementación usando Constructabilidad.

For the analysis of the integration matrix, the argumentation of the direct relation (D) between principles allows to establish those consistent relations to each other. Those relations that don't include/understand this classification, are left aside for the later implementation analysis of Constructability use.

Tabla 4. Matriz de integración "Construcción Sustentable-Lean Construction", en tres escenarios distintos  
 Table 4. Integration Matrix "Sustainable Construcción -Lean Construction", in three different scenarios

<table border="1"> <tr> <td rowspan="4">LC</td> <td rowspan="4">CS</td> <td>C<sub>1</sub></td> <td>C<sub>2</sub></td> <td>C<sub>3</sub></td> <td>C<sub>4</sub></td> <td>C<sub>5</sub></td> <td>...</td> <td>C<sub>M</sub></td> </tr> <tr> <td colspan="7"><i>Diseño/Design</i></td> </tr> <tr> <td colspan="7"><i>Planificación/Planning</i></td> </tr> <tr> <td colspan="7"><i>Construcción/Construction</i></td> </tr> </table>		LC	CS	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	...	C <sub>M</sub>	<i>Diseño/Design</i>							<i>Planificación/Planning</i>							<i>Construcción/Construction</i>							V <sub>1,1</sub>	V <sub>1,2</sub>	V <sub>1,3</sub>	V <sub>1,4</sub>	V <sub>1,5</sub>	V <sub>1,...</sub>	V <sub>1,M</sub>
				LC	CS	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	...	C <sub>M</sub>																										
						<i>Diseño/Design</i>																																
						<i>Planificación/Planning</i>																																
<i>Construcción/Construction</i>																																						
P <sub>2</sub>	V <sub>2,1</sub>	V <sub>2,2</sub>	V <sub>2,3</sub>	V <sub>2,4</sub>	V <sub>2,5</sub>	V <sub>2,...</sub>	V <sub>2,M</sub>																															
P <sub>3</sub>	V <sub>3,1</sub>	V <sub>3,2</sub>	<b>VECTORES DE INTEGRACION INTEGRATION VECTORS</b>																																			
P <sub>4</sub>	V <sub>4,1</sub>	V <sub>4,2</sub>																																				
P <sub>5</sub>	V <sub>5,1</sub>	V <sub>5,2</sub>																																				
...	...	...																																				
P <sub>N</sub>	V <sub>N,1</sub>	V <sub>N,2</sub>	V <sub>N,3</sub>	V <sub>N,4</sub>	V <sub>N,5</sub>	...	V <sub>N,M</sub>																															

### 5. Proceso de implementación de la integración Green-Lean

La integración conceptual Green-Lean por sí sola se puede considerar sólo un ejercicio teórico. Es necesario operacionalizar su aplicación a través de una herramienta que permita poner en práctica los conceptos Green-Lean propuestos durante el ciclo diseño-planificación-construcción. Esta herramienta es la Constructabilidad que se adapta naturalmente a los principios de Construcción Sustentable (Pulaski et al., 2003) y Lean Construction (Bogus et al., 2000).

### 5. Implementation process of Green-Lean integration

The Green-Lean conceptual integration in itself can be considered only as a theoretical exercise. It is necessary to operate its application through a tool that allows to put in practice the Green-Lean concepts proposed during the design-planning-construction cycle. This tool is the Constructability that naturally adapts to the principles of Sustainable Construction (Pulaski et al., 2003) and Lean Construction (Bogus et al., 2000).

### 5.1 Constructabilidad

La constructabilidad, consiste en mejorar la aptitud constructiva de un proyecto, por medio de incorporar la experiencia de construcción en las etapas preliminares de su desarrollo. Para esto se requiere de equipos multidisciplinarios formado por los profesionales que desarrollan el proyecto en sus distintas etapas, para integrar el conocimiento de construcción en las etapas preliminares del proyecto (CII, 1987). El impacto de decisiones robustas y confiables en etapas preliminares de un proyecto, tiene un mayor potencial de impacto sobre los resultados de un proyecto, que aquellas decisiones tomadas durante la ejecución del proyecto (Gibson et al., 1995). Esta es la premisa básica de la Constructabilidad, el impacto temprano de decisiones más eficiente que incluyen la experiencia de construcción en el resultado final de un proyecto.

Los conceptos básicos de constructabilidad están desarrollados dentro de dos grandes etapas de un proyecto de construcción (CII, 1993). La primera, es la planificación conceptual de un proyecto. La segunda, la etapa de diseño y adquisiciones. Finalmente, Serpell (1993) propone su aplicación en la etapa de construcción, para lograr mayor eficiencia en las operaciones y procesos.

La planificación conceptual implica definir requerimientos funcionales y de ejecución, evaluar la factibilidad del proyecto y estudiar los criterios para la ingeniería preliminar. Las decisiones hechas durante esta fase tienen un gran impacto sobre lo que resta del proyecto, particularmente sobre la construcción (Serpell, 1993). Es muy importante que en esta etapa ya exista un equipo multidisciplinario de profesionales bien definido, de lo contrario se pierde en gran medida el sentido para el cual se implementa la constructabilidad, es decir, eficiencia preliminar.

La etapa de diseño y adquisiciones es donde más se ha orientado el estudio para implementar los conceptos de constructabilidad. En esta fase se toman muchas de las decisiones que afectarán posteriormente a la ejecución física del proyecto, como por ejemplo, estandarización; prefabricación; modularización; simplicidad; especificaciones y planos adecuados; selección de materiales; accesibilidad de personal, de materiales, de equipos, entre otros (Serpell, 1993). En resumen, puede decirse que en esta etapa, es muy necesaria la opinión de todos los profesionales del área de la construcción (ingenieros de diseño y producción y/o arquitectos).

### 5.1 Constructability

Constructability, consists of improving the constructive aptitude of a project, by means of incorporating the construction experience in the preliminary stages of its development. Multidisciplinary teams are required, formed by the professionals who develop the project in their different stages, to integrate the construction knowledge in the preliminary stages of the project (CII, 1987). The impact of robust and reliable decisions in the preliminary stages of a project, has a greater potential impact on the results of the same, that those decisions taken during the execution of the project (Gibson et al., 1995). This is the basic premise of Constructability, the early impact of more efficient decisions that include the construction experience in the final result of a project.

The basic concepts of constructability are developed within two great stages of a construction project (CII, 1993). First, comes the conceptual planning of a project. Second, the design and acquisitions stage. Finally, Serpell (1993) proposes its application in the construction stage, to obtain major efficiency in the operations and processes.

The conceptual planning implies to define functional and execution requirements, to evaluate the feasibility of the project and to study the criteria for preliminary engineering. The decisions taken during this phase have a great impact on what remains of the project, particularly on the construction (Serpell, 1993). It is very important that already in this stage a multidisciplinary, well defined, team of professionals exists, otherwise, to a great extent, the sense for which the constructability is implemented is lost, that is to say, preliminary efficiency.

The stage of design and acquisitions is where the study has been oriented to implement the constructability concepts. In this phase many decisions are taken that will later affect the physical execution of the project, for example, standardization; prefabrication; modulation; simplicity; suitable specifications and plans; selection of materials; accessibility of personnel, materials, equipment, among others (Serpell, 1993). In summary, it can be said that in this stage, the opinion of all the professionals of the construction is very necessary (design and production engineers and/or architects).



La fase de construcción está orientada fundamentalmente a mejorar la eficiencia de los procesos, aplicando métodos innovadores para construir, buena planificación de mediano y corto plazo, toma de decisiones inmediatas de distinto orden, mantener un buen control sobre todas las actividades, entre otras medidas (Serpell, 1993).

Las etapas consideradas en el ciclo de vida acotado de un proyecto de construcción son diseño, planificación y construcción. El análisis se centra en estas etapas pues son las que típicamente se distinguen en un proyecto (desde el punto de vista de la producción) y por simplicidad en el análisis. Luego, las etapas de desarrollo de la Constructabilidad descritas más arriba son adaptadas al ciclo de vida acotado propuesto. Los conceptos de Constructabilidad aplicados en esta investigación provienen principalmente de reportes del CII (1986, 1987, 1993) y de Serpell (1993), donde pueden ser encontrados más detalles al respecto.

## 5.2 Metodología de integración Green-Lean

Para implementar la integración conceptual de Construcción Sustentable y Lean Construction se empleó la Constructabilidad, considerando en el proceso los vectores cuyo argumento de conexión fuera Directo (D). La metodología de implementación tiene por propósito principal permitir secuenciar los procesos de construcción sustentable desde una perspectiva lean.

En este artículo se presenta a modo de ejemplo sólo el desarrollo de la implementación en la etapa de diseño. El detalle de todo el ciclo estudiado se encuentra en Da Fonseca (2004). Es importante indicar que la metodología presentada se basa en el trabajo desarrollado previamente por los autores (Da Fonseca, 2004), sin embargo se han introducido mejoras y aclaraciones en el proceso de integración.

La metodología de implementación usando la constructabilidad se muestra en la Figura 1, Básicamente se definió una secuencia para el desarrollo del proyecto a través de las tres etapas consideradas (diseño, planificación y construcción), secuencia que considera actividades críticas y complementarias, ambas definidas en función de los estrategias y metodologías establecidas en diversos estudios del CII para implementar Constructabilidad en proyectos de construcción (CII, 1993; 1987; 1986).

La metodología consiste en analizar cada uno de los vectores de integración dentro de la óptica de desarrollo de las respectivas etapas del proyecto, determinándose cuáles son los vectores pertinentes,

The phase of construction is essentially oriented to improve the efficiency of the processes, applying innovating methods to construct, good medium planning and short term, immediate decision making of different order, to maintain a good control on all the activities, among others measures (Serpell, 1993).

The stages considered in the limited life cycle of a construction project are design, planning and construction. The analysis concentrates in these stages because they are those that are typically distinguished in a project (from the production point of view) and by simplicity in the analysis. Then, the stages of development of the Constructability described above are adapted to the limited life cycle proposed. The applied concepts of Constructability in this investigation come mainly from reports of the CII (1986, 1987, 1993) and from Serpell (1993), where more details can be found on the matter.

## 5.2 Green-Lean integration methodology

In order to implement the conceptual integration of Sustainable and Lean Construction Constructability was used, considering in the process the vectors whose argument of connection was Direct (D). The main intention of the implementation methodology allow to put in sequence the processes of sustainable construction from a lean perspective.

In this article the implementation development in the design stage appears as a example only. The detail of all the studied cycle is in Da Fonseca (2004). It is important to indicate that the presented/displayed methodology is based on the work previously developed by the authors (Da Fonseca, 2004), nevertheless improvements and explanations in the integration process have been introduced.

The implementation methodology using constructability is shown in Figure 1, basically a sequence for the project development through the three considered stages was defined (design, planning and construction), sequence that considers critical and complementary activities, both defined based on the strategies and methodologies established in diverse studies of the IIC to implement Constructability in construction projects (IIC, 1993; 1987; 1986).

The methodology consists of analyzing each one of the integration vectors within the optics of development of the respective stages of the project, determining which are the pertinent vectors,



con interacciones e influencias directas sobre cada una de ellas, determinándose a modo de verificación, al final de cada etapa, si se cumple con los criterios de construcción sustentable definidos.

with direct interactions and influences on each one of them, determining itself as a verification means, at the end of each stage, if the defined criteria of sustainable construction is fulfilled.

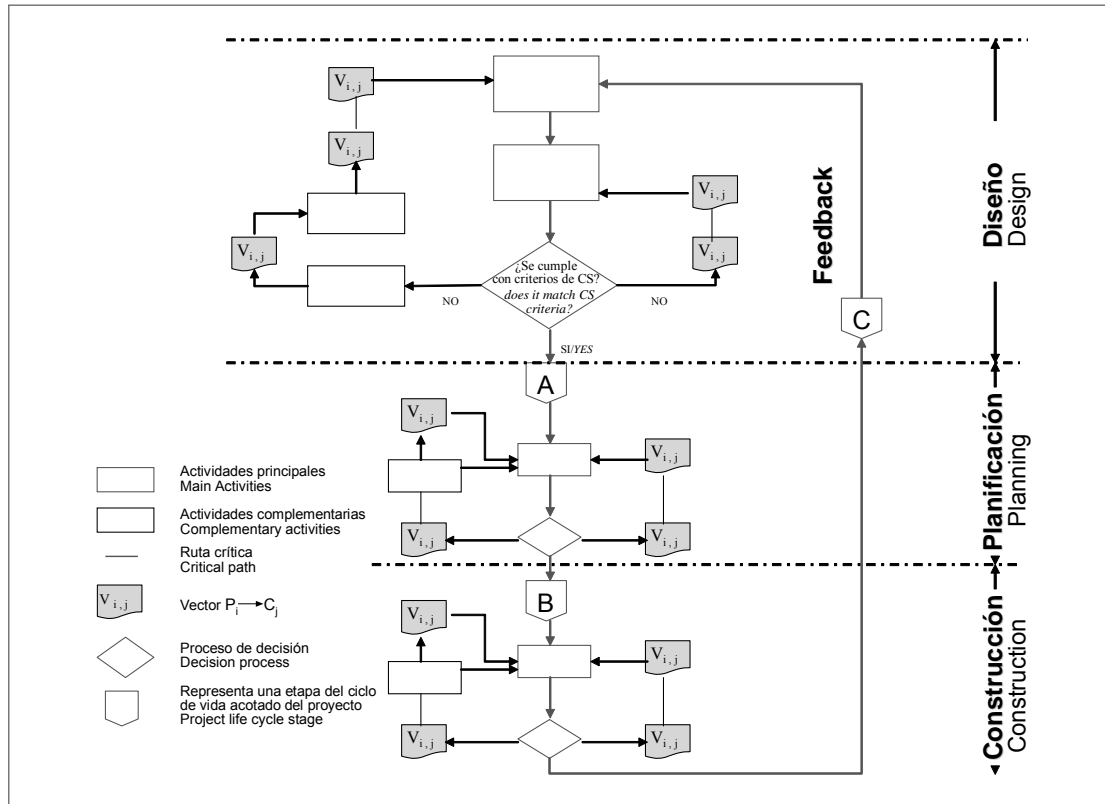


Figura 1. Metodología de Implementación para la Integración Green-Lean  
 Figura 1. Green-Lean Implementation Methodology

Al final de la aplicación de la metodología de implementación se realiza un proceso de retroalimentación para verificar la validez de la influencia e interacción de los vectores sobre cada una de las etapas y actividades del proyecto.

At the end of the application of the implementation methodology a feedback process is realized to verify the validity of the influence and interaction of the vectors on each one of the stages and activities of the project.

## 6. Desarrollo de la integración conceptual Green Lean

## 6. Development of the Green Lean conceptual integration

A continuación se ilustra la aplicación de la integración conceptual Green-Lean en la etapa de Diseño, así como, el enfoque de implementación en un proyecto de construcción.

Next the application of Green-Lean conceptual integration in the Design stage, as well as, the approach of implementation in a construction project

### 6.1 Integración Green-Lean en la etapa de diseño

Aplicando los pasos (i), (ii) y (iii) de la metodología de integración discutida en la sección 4,

### 6.1 Green-Lean integration in the design stage

Applying steps (i), (ii) and (iii) of the integration methodology discussed in section 4, the matrix shown



se establece la matriz mostrada en la Tabla 5 que considera los principios de Lean Construction ( $P_i$ ) y los criterios de Construcción Sustentable ( $C_j$ ). Los pasos (iv) y (v) de la metodología de integración son analizados en las Tablas 5 y 6. Específicamente, en la Tabla 5 se evalúan las intersecciones conceptuales  $P_i \rightarrow C_j$  en el escenario o etapa de diseño (paso iv). En la Tabla 5 se muestra además el detalle general del impacto cruzado para cada par  $P_i C_j$ , detallando si la Relación es Directa (D), Indirecta (I) o Ninguna Relación (-); y en la Tabla 6 se describe en detalle la "argumentación" lógica de cada vector de integración Green-Lean ( $V_{i,j}$ ), pero solo aquellos cuyas argumentaciones lógicas establecieran Relaciones Directas (paso v). Las Relaciones Directas son aquellas que serán utilizadas posteriormente en el enfoque de implementación con Constructabilidad (sección 4).

in Table 5 is established that considers the principles of Lean Construction ( $P_i$ ) and the criteria of Sustainable Construction ( $C_j$ ). Steps (iv) and (v) of the integration methodology are analyzed in Tables 5 and 6. Specifically, in Table 5 the conceptual intersections  $P_i \rightarrow C_j$  in the scene or design stage are evaluated (step iv). In addition, in Table 5 the general detail of the crossed impact for each pair  $P_i C_j$  is shown, detailing if the Relation is Direct (D), Indirect (I) or No Relation (-); and in Table 6 the "logical argumentation" of each Green-Lean integration vector is described in detail ( $V_{i,j}$ ), but only those whose logic argumentations would establish Direct Relations (step v). The Direct Relations are those that will be used later in the approach of implementation with Constructability (section 4).

Tabla 5. Matriz resumen de relaciones directas e indirectas entre CS y LC en diseño  
 Table 5. First summary of direct and indirect relations between CS and LC matrix in design

LC	CS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
		<i>Diseño/Design</i>						
P1	<b>Diseño/Design</b>	-	-	-	-	-	I	-
P2		-	-	-	-	-	-	-
P3		D	D	D	D	-	I	D
P4		I	I	I	I	-	I	I
P5		-	-	-	-	-	-	-
P6		I	I	I	-	-	I	-
P7		-	-	-	-	-	-	-
P8		-	-	-	-	-	I	-
P9		I	-	-	D	D	D	D
P10		I	I	I	I	I	I	I
P11		D	D	D	D	-	-	D

Tabla 6. Argumentos y relaciones de integración en escenario de diseño  
 Table 6. Arguments and integration relations in the design scenario

Vector de Integración/ Integration Vector	Argumento de Integración para el Diseño/Integration Argument for the Design	Relación/Relation
V <sub>3,1</sub>	El mejoramiento continuo “mejora” el diseño de sistemas constructivos haciendo explícitos los principios de reutilización y el reciclaje (estos sistemas ayudan a reducir el impacto en la extracción de recursos). The continuous improvement “improves” the design of constructive systems making the principles of reusability and the recycling explicit (these systems help to reduce the impact in the extraction of resources).	D
V <sub>11,1</sub>	Hay que partir de la premisa que el cliente externo (mandante) “debe” plantearse como un objetivo central reducir el impacto en la extracción de recursos. Por lo tanto, cualquier acción tomada en el diseño que cumpla con este objetivo, agrega valor al producto considerando los requerimientos del cliente (ej: emplear sistemas de reutilización y reciclaje). It is necessary to start off of the premise that the external client (ordering) “must” consider as a central objective to reduce the impact in the extraction of resources. Therefore, any action taken in the design that fulfills this objective, adds value to the product considering the requirements of the client (ex: to use systems of reusability and recycling).	D
V <sub>3,2</sub>	El mejoramiento continuo “mejora” en el diseño, aspectos de futuro confort (mejor habitabilidad física del recinto). Esta mejora se realiza tomando los requerimientos del cliente (ej: eficiencia en términos de energía, ventilación, baja emisión, etc.). The continuous improvement “improves” in the design, aspects of future comfort (better physical habitability of the enclosure). This improvement is realized taking the requirements from the client (ex: efficiency in terms of energy, ventilation, low emission, etc.).	D
V <sub>11,2</sub>	La consideración sistemática de los requerimientos del cliente también implica asegurar su confort, en aspectos tales como, buena ventilación de recintos; baja utilización de energía; recintos que reduzcan adecuadamente ruido, contaminación y olores, entre otros. The systematic consideration of the client’s requirements also implies to assure its comfort, in aspects such as, good ventilation of enclosures; low use of energy; enclosures that suitably reduce noise, pollution and odors, among others.	D
V <sub>3,3</sub>	El mejoramiento continuo “mejora” el diseño de sistemas o elementos técnicos y materiales para otorgar directamente una vida útil más prolongada en las edificaciones (ej: sistemas que cumplan con mantener cero consumo de energía a lo largo de toda la fase de operación de un edificio). The continuous improvement “improves” the technical and material design of systems or elements to directly grant a more prolonged life utility in the constructions (ex: systems that comply in maintaining zero power consumption throughout all the operation phase of a building).	D
V <sub>11,3</sub>	Un diseño que cumpla con el objetivo de asegurar una vida útil de edificación más prolongada agrega valor al producto considerando éste como un requerimiento relevante. Además, es consecuente con el principio de Sustentabilidad en el tiempo. A design that fulfills the objective of assuring a prolonged life utility of construction adds more value to the product considering this as an excellent requirement. In addition, is consequent with the principle of Sustainability throughout time.	D
V <sub>3,4</sub>	El mejoramiento continuo “mejora” en el diseño sistemas constructivos que otorgan aptitud para la Deconstrucción (ej: sistemas modulares, sistemas de pre-armado o pre-ensamblaje, etc.). The continuous improvement “improves” in the constructive systems design which grant aptitudes for Deconstruction (ex: module systems, prefabricated systems, or preassembled, etc.).	D
V <sub>9,4</sub>	Diseñar sistemas constructivos más simples (modularización, preensamblaje, etc.), otorga directamente aptitud para la Deconstrucción de una edificación. To design simpler constructive systems (modules, preassembly, etc.), grants direct aptitud for the Diconstruction of a building.	D
V <sub>11,4</sub>	Un diseño que cumpla con el objetivo de contribuir en aptitudes para la Deconstrucción, agrega valor al producto considerando éste como un requerimiento relevante. A design that fulfills the aim of contributing in aptitud to Diconstruct, adds value to the product considering this as an important requisite.	D
V <sub>9,5</sub>	Diseño de sistemas constructivos más simples implican una logística de construcción más simple (ej: abastecer desde un solo lugar, menos piezas, menos materiales distintos, etc.). Design of simpler constructive systems implies logistics of simpler construction (ex: to supply from a single place, less pieces, less different material, etc.).	D
V <sub>9,6</sub>	Diseñar sistemas constructivos más simples (ej: sistemas modulares, preensamblaje, etc.), mejora las condiciones de trabajo. Por ejemplo, la modularización optimiza aspectos como el transporte en obra, equipamiento, materiales similares, así como también, disminuyen riesgos inherentes a cada actividad, mejorando con esto aspectos de seguridad, ya que son actividades de carácter repetitivo, entre otros. To design simpler constructive systems (ex: modular systems, preassembly, etc.), improve the conditions of work. For example, the modularization optimizes aspects such as the transport in work, equipment, similar materials, as well as, diminishes inherent risks to each activity, improving with this aspects of security, since they are activities of repetitive character, among others	D
V <sub>3,7</sub>	Lo que hace el mejoramiento continuo es “optimizar” el diseño (ej: prefabricación) incrementando la eficiencia de las actividades (en términos de minimizar los residuos contaminantes) reduciendo la contaminación del sitio de la construcción. What the continuous improvement does is “to optimize” the design (ex: prefabrication) increasing the efficiency of the activities (in terms of diminishing the polluting residues) reducing the contamination of the site of the construction.	D
V <sub>9,7</sub>	El diseño de sistemas constructivos más simples (ej: modularización, prefabricado, etc.), consigue reducir desechos sólidos y líquidos en el sitio de la construcción (ej: reducción de desechos producidos por la utilización de hormigón in-situ). The design of simpler constructive systems (ex: modularization, prefabricated, etc.), are able to reduce solid and liquid debris in the construction site (ex: reduction of debris produced by the concrete use in-situ).	D
V <sub>11,7</sub>	Diseñar sistemas constructivos simples, reduce la contaminación en terreno (residuos sólidos, líquidos, emisiones tóxicas, etc.) consiguiendo aumentar el valor del proyecto para el cliente desde la perspectiva de sustentabilidad del proyecto. Hay que partir de la premisa que reducir la contaminación del sitio de la construcción “debe” plantearse como un objetivo central “siempre”. To design simple constructive systems, reduces the land contamination (solid, liquid residues, toxic emissions, etc.) being able to increase the value of the project for the client from the point of view of sustainability of the project. It is necessary to start off by the premise that to reduce the contamination of the construction site “must” be considered as a central objective “always”.	D



El enfoque usado para “Argumentar la Integración para el Diseño” mostrada en la Tabla 6, se explica en los siguiente ejemplos:

Caso ( $P_3 \rightarrow C_j$ )

Los vectores  $V_{3,1}$ ,  $V_{3,2}$ ,  $V_{3,3}$ ,  $V_{3,4}$  y  $V_{3,7}$  justifican el mejoramiento continuo ( $P_3$ ) en los procesos, pudiendo ser aplicables directamente en las diferentes sub-etapas del diseño, ayudando con esto a cumplir con los criterios  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  y  $C_7$ , respectivamente. Por otro lado, hay vectores que caracterizan relaciones del tipo indirecto entre los principios  $P_i$  con los criterios  $C_j$ . Este es el caso del vector  $V_{3,6}$ , el cual implica el mejoramiento del criterio  $C_6$  mediante el principio  $P_3$ . El impacto del mejoramiento continuo ( $P_3$ ) es limitado sobre el mejoramiento de las condiciones de trabajo ( $C_6$ ) ya que el escenario de análisis es el diseño, y estimar el impacto de  $P_3$  sobre  $C_6$ , siendo este último un criterio de construcción sustentable aplicable en la etapa de construcción (y estimado en la etapa de planificación), es una tarea difícil analizada solo preliminarmente en el diseño. Por lo tanto, describiría una incidencia solo indirecta de  $P_3$  sobre  $C_6$ . Por otro lado, también existen no-relaciones como es el caso del vector  $V_{3,5}$  el cual implica el mejoramiento continuo ( $P_3$ ) de la logística de construcción ( $C_5$ ). Sin embargo, esto último es analizado desde la etapa de planificación, lo que implicaría la no-relación para el vector comentado.

Caso ( $P_{10} \rightarrow C_j$ )

La transparencia en los procesos ( $P_{10}$ ) es necesaria para mejorar la eficiencia de las actividades, ya que reduce la incertidumbre de los trabajadores con respecto al estado y evolución de los procesos que ejecutan. Sin embargo, su incidencia sobre los criterios  $C_1$  a  $C_7$  es indirecta, ya que el efecto o consecuencia de aplicar la transparencia en los procesos, podría ser no muy significativo ya que los trabajadores pueden observar sus impactos durante la construcción. De lo contrario, la influencia del principio  $P_{10}$  sobre los criterios de Construcción Sustentable podría no tener ningún efecto alguno eventualmente. No obstante, las etapas preliminares a la construcción podrían permitir estudiar y prever el efecto de la transparencia en la construcción.

La siguiente sección describe en detalle como los vectores de integración Green-Lean y sus conceptos asociados, pueden ser implementados durante la etapa de diseño de un proyecto de construcción usando Constructabilidad.

The approach used for “Arguing Integration for the Design” shown in Table 6, is explained in the following examples:

Case ( $P_3 \rightarrow C_j$ )

Vectors  $V_{3,1}$ ,  $V_{3,2}$ ,  $V_{3,3}$ ,  $V_{3,4}$  and  $V_{3,7}$  directly justify the continuous improvement ( $P_3$ ) in the processes, being able to be applicable in the different sub-stages of the design, helping with this to fulfill the criteria  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  and  $C_7$ , respectively. On the other hand, there are vectors that characterize relations of indirect type between the  $P_i$  principles with the  $C_j$  criteria. This is the case of the  $V_{3,6}$  vector, which implies the improvement of the  $C_6$  criterion by means of the  $P_3$  principle. The impact of the continuous improvement ( $P_3$ ) is limited the work conditions improvement ( $C_6$ ) since the analysis scene is the design, and to consider the impact of  $P_3$  on  $C_6$ , being this last criterion of sustainable construction applicable in the construction stage (and considered in the planning stage), is a difficult task only preliminarily analyzed in the design. Therefore, it would only describe an indirect incidence of  $P_3$  on  $C_6$ . On the other hand, also non-relations exist as is the case of the  $V_{3,5}$  vector which implies the continuous improvement ( $P_3$ ) of construction logistics ( $C_5$ ). Nevertheless, this last one is analyzed from the planning stage, which would imply the non-relation for the commented vector.

Case ( $P_{10} \rightarrow C_j$ )

Transparency in the processes ( $P_{10}$ ) is necessary to improve the activities efficiency, since it reduces the uncertainty of the workers with respect to the state and evolution of the processes that they execute. Nevertheless, its incidence on the  $C_1$  criteria to  $C_7$  is indirect, since the effect or consequence of applying transparency in the processes, could not be very significant since the workers can observe their impacts during the construction. Otherwise, the influence of the  $P_{10}$  principle on the criteria of Sustainable Construction could possibly not have any effect. However, the preliminary stages to the construction could allow to study and to anticipate the effect of transparency in construction.

The following section describes, in detail, how Green-Lean integration vectors and their associated concepts, can be implemented during the design stage of a construction project using Constructability.

## 6.2 Desarrollo de implementación usando constructabilidad

En esta sección se ilustra la implementación de la integración Green-Lean en la etapa de diseño usando constructabilidad. La Figura 2 muestra la implementación basada en el enfoque propuesto en la sección 5.2. Se puede apreciar que las actividades centrales (1...6) representan las actividades críticas para implementar Constructabilidad en la etapa de diseño. Las actividades adyacentes (a...f) representan las actividades complementarias. A cada actividad (crítica o complementaria) se le asocian aquellos vectores de integración que mejor se adapten a la función de la actividad en cuestión. La lógica de la asignación de cada vector a una determinada actividad está dada por dos condiciones: i) Similitud o semejanza entre la función de la actividad y la función del vector de integración, y ii) Potencial impacto del vector de integración para implementar los conceptos Green-Lean en el proyecto a través de la actividad específica (mayor impacto posible).

Como muestra la Figura 2, la metodología en la etapa de diseño se inicia con la actividad (1) que determina como primer requisito la conformación de un equipo multidisciplinario de profesionales en las distintas especialidades del desarrollo de un proyecto (diseño, planificación, construcción, abastecimiento, etc.). Ellos son los actores claves para la captación de requerimientos del cliente y el desarrollo de un diseño adecuado que se ajuste a sus requerimientos. Estos son representados por los vectores  $V_{11,1}$ ,  $V_{11,2}$ ,  $V_{11,3}$ ,  $V_{11,4}$  y  $V_{11,7}$  que se asocian con la actividad (2) de la metodología. A partir de la actividad (2) e influenciados por los vectores  $V_{11,4}$  y  $V_{11,7}$ , se tiene el despliegue de los vectores  $V_{9,4}$  y  $V_{9,7}$ , respectivamente, los cuales influyen actividades posteriores de la metodología que permiten aplicar en el diseño los requerimientos del cliente.

Posteriormente se desarrolla la actividad (3) relacionada con el desarrollo del diseño preliminar y la actividad (4) donde hay una evaluación conjunta del equipo multidisciplinario respecto al diseño preliminar. Esta evaluación lleva al equipo a plantearse, por ejemplo, si el diseño de las operaciones de construcción es eficiente de acuerdo a los criterios de sustentabilidad que se relacionan directamente con los vectores de integración en esta parte de la metodología ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  y  $C_7$ ). De lo contrario, esto impone la reevaluación y mejoramiento de los sistemas y métodos constructivos propuestos para las operaciones de construcción. Esto también se denomina mejoramiento continuo, lo cual está representado en la Figura 2 por los vectores  $V_{3,1}$ ,  $V_{3,2}$ ,  $V_{3,3}$ ,  $V_{3,4}$  y  $V_{3,7}$  y por el proceso de retroalimentación que se observa.

## 6.2 Development of implementation using constructability

In this section the implementation of Green-Lean integration is illustrated in the design stage using constructability. Figure 2 shows the implementation based on the approach proposed in section 5.2. It is possible to appreciate that the central activities (1... 6) represent the critical activities to implement Constructability in the design stage. The adjacent activities (a... f) represent the complementary activities. To each activity (critical or complementary) those integration vectors that better adapt to the function of the activity at issue are associated. The logic of the allocation of each vector to a certain activity is given by two conditions: i) Similarity or similarity between the function of the activity and the function of the integration vector, and II) Potential impact of the integration vector to implement the Green-Lean concepts in the project through the specific activity (greater possible impact).

As shown in Figure 2, the methodology in the design stage begins with activity (1) that determines to form an interdisciplinary team of professionals in the different specialties, of the project development as first requisite (design, planning, construction, supply, etc.). They are the key actors for capturing the requirements of the client and the development of a suitable design that adjusts to its requirements. These are represented by the vectors  $V_{11,1}$ ,  $V_{11,2}$ ,  $V_{11,3}$ ,  $V_{11,4}$  and  $V_{11,7}$  that are associated with the activity (2) of the methodology. From the activity (2) and influenced by the vectors  $V_{11,4}$  and  $V_{11,7}$ , the unfolding of the vectors  $V_{9,4}$  and  $V_{9,7}$  is respectively obtained, which influence later activities of the methodology which allow to apply in the design the client's requirements.

Later the activity (3) related to the development of the preliminary design is developed and the activity (4) where there is a joint evaluation of the multidisciplinary team with respect to the preliminary design. This evaluation brings the team to consider, for example, if the design of the construction operations is efficient according to the sustainable criteria that are related directly to the integration vectors in this part of the methodology ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  and  $C_7$ ). Otherwise, this imposes the re-evaluation and improvement of the systems and constructive methods proposed for the construction operations. This is also denominated continuous improvement, which is represented in Figure 2 by the  $V_{3,1}$ ,  $V_{3,2}$ ,  $V_{3,3}$ ,  $V_{3,4}$  and  $V_{3,7}$  vectors and by the feedback process that is observed.

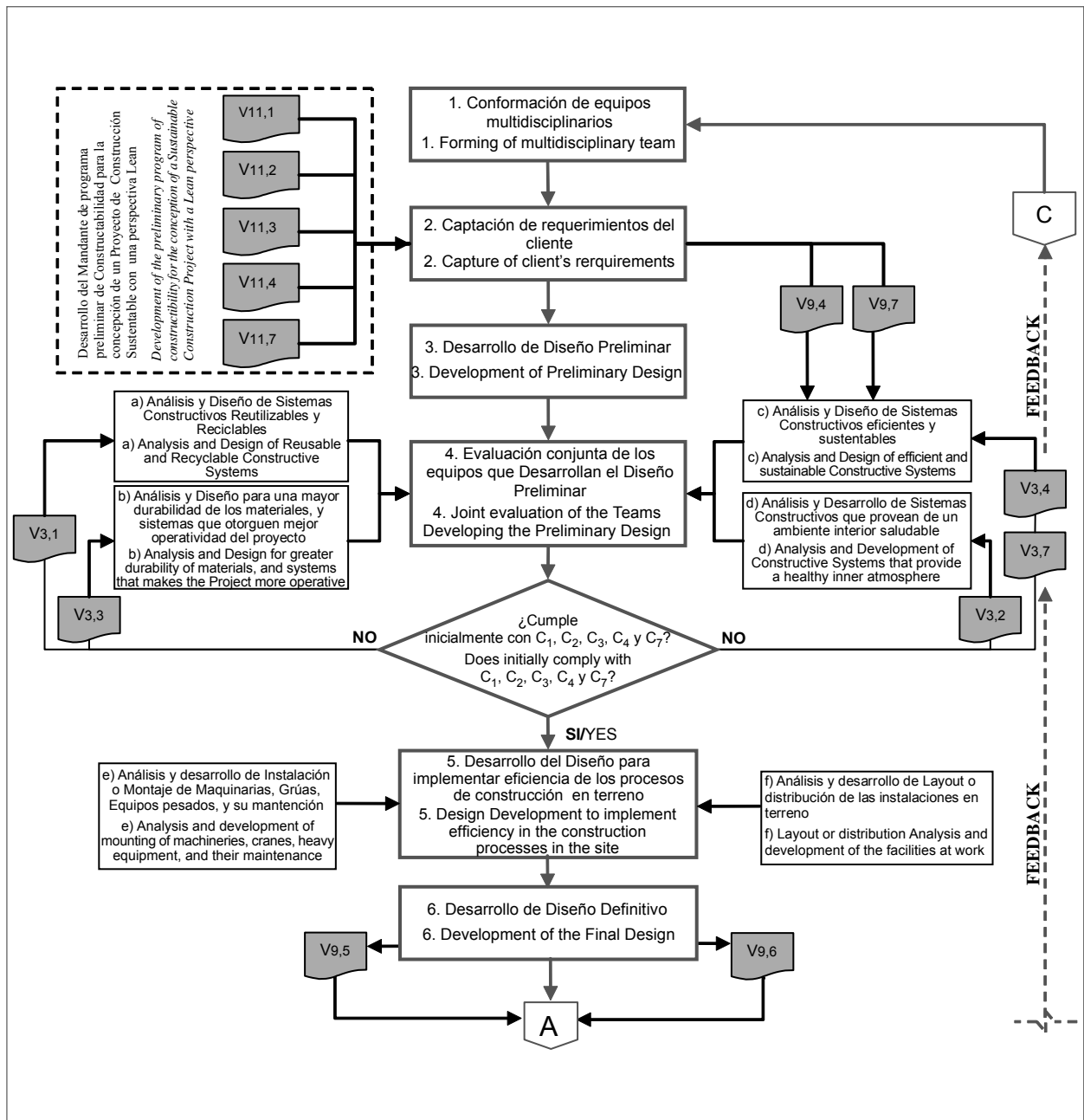


Figura 2. Metodología de implementación integración Green-Lean en la etapa de diseño de un proyecto de construcción usando constructibilidad  
 Figure 2. Implementation methodology of Green-Lean integration in the design stage of a construction project using constructibility

Cuando se tiene un diseño preliminar que satisface los criterios de sustentabilidad comentados más arriba, se procede con la actividad (5) la cual establece el desarrollo del diseño para implementar la eficiencia de los procesos de construcción en terreno. Para esto, se hace necesario un estudio de las maquinarias, equipos pesados, grúas, u otros equipos a emplear que pudieran tener problemas de dimensionamiento con respecto al diseño del proyecto mismo. Además, se considera un proceso de análisis de ubicación de las instalaciones en terreno (layout), respecto del proyecto, de modo de optimizar los transportes en obra y mantener accesibilidad en terreno.

Cuando se ha logrado un diseño óptimo, considerando todas las actividades de la metodología en la Figura 2, se ejecuta la actividad (6) que se relaciona con el establecimiento del diseño definitivo que será implementado en terreno. Luego, teniendo inmediatamente un diseño constructivamente más simple se facilita la planificación de la logística de construcción y se mejora la planificación de las condiciones de trabajo, representadas por los vectores  $V_{9,5}$  y  $V_{9,6}$ , vectores que influyen la etapa siguiente de la metodología (etapa de planificación en el ciclo de vida acotado).

Finalmente, la metodología mostrada en la Figura 2 indica el feedback o retroalimentación de las etapas siguientes. Específicamente, indica la retroalimentación desde la etapa de construcción del proyecto.

## 7. Discusión e implicancias de la integración

El desarrollo de la integración conceptual Green-Lean ha permitido dar un marco de aplicación concreta y objetivo a la filosofía de Construcción Sustentable, y más específicamente, abre una puerta para la aplicación práctica de estrategias de construcción sustentable en un sector de la economía con fuerte inercia. Se establece con esta integración, por tanto, una ruta claramente definida para la aplicación de criterios sustentables en los procesos de gestión de proyectos de construcción.

El uso del AM para el análisis de variables conceptuales generales, como lo son los criterios considerados dentro de la filosofía de construcción sustentable, sirvió de herramienta para la integración con los principios lean, de naturaleza más específica. Por otro lado, las MIC permitieron el análisis de cada uno de los pares conceptuales para identificar si estos eran lo suficientemente consistentes como para establecer relaciones de tipo directo.

When one has a preliminary design that satisfies the above commented criteria of sustainability, one proceeds with the activity (5) which establishes the development of the design to implement the efficiency of the construction processes in site. For this, it becomes necessary a hard study of machineries, equipment, cranes, or other equipment to use that could have problems of sizing with respect to the design of the project itself. In addition, a process of analysis of the location of the site facilities is considered (layout), with respect to the project, as to optimize the work transports and to maintain in site accessibility.

When an optimal design has been obtained, considering all the activities of the methodology in Figure 2, the activity (6) that is related to the establishment of the definitive design that will be implemented in the site is executed. Then, having immediately a constructively simpler design the planning of the logistics of construction is facilitated and the planning of the work conditions improves, represented by the vectors  $V_{9,5}$  and  $V_{9,6}$ , vectors that influence the following stage of the methodology (stage of planning in the limited life cycle).

Finally, the methodology shown in Figure 2 indicates the feedback of the following stages. Specifically, it indicates the feedback from the construction stage of the project.

## 7. Discussion and meaning of the integration

The development of Green-Lean conceptual integration has allowed to give more concrete and objective application frame to the philosophy of Sustainable Construction, and more specifically, it opens a door for the practical application of strategies of sustainable construction in a sector of the economy with strong inertia. Therefore, one establishes with this integration, a route clearly defined for the application of sustainable criteria in the processes of management of construction projects.

The use of M.A. for the analysis of general conceptual variables, as are the criteria considered within the philosophy of sustainable construction, served as integration tool with lean principles, of more specific nature. On the other hand, the CIM allowed the analysis of each one of the conceptual pairs to identify if these were sufficiently consistent as to establishing relations of direct type.



Analizando cada uno de los pasos de la metodología desarrollada, es posible indicar, en primer término que la identificación de puntos de conexión entre los criterios de la construcción sustentable y los principios lean provee una base para la aplicación de las herramientas de gestión disponibles para mejorar los procesos de producción. A su vez, la definición clara de una secuencia de actividades críticas y complementarias derivadas de diferentes estudios de Constructabilidad, se convirtió en un importante nexo para la implementación de la integración green-lean.

La nueva metodología en estudio permitirá rediseñar los procesos para la concepción de proyectos de ingeniería y construcción en cada una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto, con un enfoque sustentable, basado en criterios de impacto de largo plazo con una óptica holística de los impactos en cada una de las actividades de construcción.

Dentro de las implicancias más importantes que se desprenden de la futura aplicación de esta metodología, que contempla la aplicación integrada de criterios de sustentabilidad y principios de lean construction, es la puesta en práctica de una herramienta objetiva que permita secuenciar los pasos y procesos de cada una de las etapas de construcción. Ello permitiría mejorar la eficiencia de los procesos y reducir pérdidas materiales y energéticas. A su vez, de esto último se puede desprender que se generarán reducciones de costos, se facilitará la aplicación de acuerdos de producción limpia, entre otros, todo ello conducente a la obtención de ventajas competitivas que permiten el acceso a nuevos mercados, tanto nacionales como internacionales.

## 8. Conclusiones

La integración green-lean enfocada en proyectos de construcción permite aplicar estrategias y herramientas de gestión, facilitando la obtención de ventajas competitivas al asociarlas al cumplimiento de objetivos medioambientales, los que generalmente son globales, careciendo se una estructura práctica para su aplicación y control. En este sentido, la metodología de integración conceptual desarrollada ha permitido secuenciar actividades de construcción en distintos escenarios dentro del ciclo de vida de un proyecto de construcción, facilitando el camino hacia una construcción sustentable desde una perspectiva lean, dentro del alcance teórico del estudio.

Analyzing each one of the steps of the developed methodology, it is possible to indicate, in first place that the identification of points of connection between the criteria of sustainable construction and lean principles provides a base for the application of management tools available to improve the production processes. As well, the clear definition of a sequence of critical and complementary activities derived from different studies from Constructability, became an important nexus for the implementation of green-lean integration.

The new methodology in study will allow to redesign the processes for the conception of engineering projects and construction in each one of the stages of the life cycle of a project, with a sustainable approach, based on criteria of long term impact with a holistic optics of the impacts in each one of the construction activities.

Within the most important meanings that are consequences of the future application of this methodology, that contemplates the integrated application of sustainability criteria and lean principles of construction, is the implementation of an objective tool that allows to put in sequence the steps and processes of each one of the construction stages. This would allow to improve the efficiency of the processes and to reduce material losses and energetics. As well, from this last concept it is possible to understand that cost reductions will be generated, the application of agreements of clean production will be facilitated, among others, all this conducive to obtaining competitive advantages that allow the access to new markets, domestic as much as international ones.

## 8. Conclusions

Green-leans integration focused in construction projects allows to apply strategies and management tools, facilitating the obtainment of competitive advantages when associating them to the compliance of environmental objectives, those that are generally global, lacking a practical structure for their application and control. In this sense, the methodology of developed conceptual integration has allowed to put in sequence construction activities in different scenes within the life cycle of a construction project, facilitating the way towards a sustainable construction from a lean perspective, within the theoretical scope of the study.



Es importante indicar que la conformación de equipos multidisciplinarios debe marcar el inicio de un proyecto de construcción (etapa de diseño) para la discusión de objetivos, captación de requerimientos de mandantes o clientes, y definición de estrategias de acción; que contemplen no solo objetivos económicos y de desempeño productivo, sino también medioambientales.

La validación de esta metodología en un ambiente real en condiciones de terreno es el paso necesario para apuntar a la implementación de esta herramienta en proyectos de construcción, detectándose como un fuerte obstáculo la tendencia a que todos los actores funcionan de manera independiente (mandantes, arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros constructores, entre otros). Se debe llegar al convencimiento de que unir el esfuerzo de todos los actores para llevar a cabo un proyecto de construcción, es fundamental para mejorar radicalmente su eficiencia.

Se espera que el desarrollo de metodologías como la discutida en este trabajo aporten al cumplimiento y éxito de objetivos conducentes a direccionar las actividades del ser humano dentro de un ambiente medioambientalmente amigable. Muchas herramientas deben ser desarrolladas para obtener los objetivos de una sociedad sustentable, muchos de ellos relacionados con el rediseño de procesos productivos. Buenas ideas con mejores intenciones pueden fallar por inadecuadas estrategias de gestión, o por estar enfocadas en aspectos irrelevantes o equivocados. En este escenario, se espera que la integración green-lean sea una herramienta de fuerte impacto para la obtención de lo que actualmente se conoce como "eco-advantage", facilitando la concreción de proyectos de construcción sustentables.

It is important to indicate that the conformation of multidisciplinary teams must mark the beginning of a construction project (design stage) for the discussion of objectives, capture of ordering requirements or clients, and definition of action strategies; that contemplate not only economic objectives and of productive performance, but also environmental.

The validation of this methodology in real site conditions is the necessary step to point at the implementation of this tool in construction projects. The tendency that all the actors work in an independent way, (ordering, civil architects, engineers, engineer constructors, among others) is a strong obstacle. One must arrive to the conviction that to unite the effort of all the actors to carry out a construction project, is fundamental to radically improve its efficiency.

It is hoped that the development of methodologies as discussed in this work contributes to the fulfillment and success of objectives conducive to aim the activities of the human being within an environmentally friendly environment. Many tools must be developed to obtain the objectives of a sustainable society, many of them related to the redesign of productive processes. Good ideas with better intentions can fail by inadequate management strategies, or for being focused in irrelevant or mistaken aspects. In this scenario, it is hoped that green-lean integration is a strong tool of impact for obtaining what at the moment is known as "eco-advantage", facilitating the concretion of sustainable construction projects.

## 9. Referencias / References

- Alarcón L.F. and Ashley D. B. (1999), *Playing Games: Evaluating the Impact of Lean Production Strategies on Project Cost and Schedule*. Proceedings of 7th Annual Conference of International Group for Lean Construction, University of Berkeley, California, U.S.A., 26-28 July.
- Alarcón L. F. (1992), *Project performance modeling: A Methodology for Evaluating Project Execution Strategies*. PhD Thesis, University of California, Berkeley, California.
- Alarcón L.F. and Ashley D.B. (1996), *Modeling Project Performance for Decision Making*. Journal of Construction, Engineering and Management, ASCE, Vol. 121, N° 3, pp. 265 - 273.
- Ballard G. (2000), *The Last Planner System of Production Control*. Ph D Dissertation, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, U.K.
- Bogus S., Songer A. D. and Diekmann J. (2000), *Design-Lead Lean*. Proceeding of 9th International Conference for Lean Construction, Brighton, U.K., July.
- Chávez J. (2005), *Diagnóstico de Sustentabilidad de Obras de Edificación de la Quinta Región*. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso, Chile.
- CIB (2000), *AGENDA 21. International Council For Research And Innovation In Building And Construction*, CIB Publication 237, Green Building Challenge Chile.
- CII (1986), *Constructability A Primer*. Prepared by Construction Industry Institute Constructability Implementation, Task Force, Publication 3-1.
- CII (1987), *Constructability Concepts File*. Prepared by Construction Industry Institute Constructability Implementation, Task Force, Publication 3-3.
- CII (1993), *Constructability Implementation Guide*. Prepared by Construction Industry Institute Constructability Implementation, Task Force, Special Publication 34-1.
- Da Fonseca E. (2004), *Integración Sustentabilidad - Lean Construction. Aplicación Conceptual en las Etapas de un Proyecto de Edificación*. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso, Chile.
- Esty D. C. and Winston A.S. (2009), *Green to Gold: How Smart Companies use Environmental Strategy to innovate, create value, and build competitive advantage*. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey.
- Forbes L.H, Ahmed S.M, and Barcala M. (2002), *Adapting Lean Construction Theory for Practical Application in Developing Countries*. Proceedings of the 1st CIB W107 International Conference: Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries (Eds. Division of Building Technology, CSIR), Stellenbosch, South Africa, 11-13 November, pp. 219-227.
- Gibson Jr. G. E., Kaczmarowsky J. H. and Lore Jr. H. E. (1995), *Preproject-Planning Process for Capital Facilities*. Journal of Construction, Engineering and Management, Vol. 121, N° 3, pp. 312 - 318.
- Gordon T. and Hayward H. (1968), *Initial Experiments with the Cross-Impact Method of Forecasting*. Futures, Vol. 1, N° 2, pp. 100 - 116.
- Gordon T. (1994), *Cross-Impact Method*. Futures Research Methodology, AC/UNU Millennium Project.
- Gutiérrez A. (2007), *Las Ciudades de Gutiérrez*. Revista Qué Pasa, Chile, Octubre 2007, p.p. 41-44
- ISO (1997) *Life Cycle Assessment – Principles and Guidelines*. ISO 14.040.2, International Standard Organization.
- Kibert C.J. (1994), *Principles and a model for sustainable construction*, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction, Tampa Florida, 6-9 November 1994, 1-9.
- Kohler N. and Lützkendorf T. (2002), *Integrated life-cycle analysis*. Building Research & Information, 30 (5), p.p. 338-348
- Koskela L. (1992), *Application of the New Production Philosophy to Construction*. CIFE Technical Report N° 72, Stanford University.
- Koskela L. (2000), *An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction*. PhD Dissertation, VTT Building Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Mao X. and Zhang X. (2008), *Construction Process Reengineering by Integrating Lean Principles and Computer Simulation Techniques*. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 134, No. 5, pp. 371-381.
- Martínez P. (2005), *Construcción Sustentable: rol y posibilidades de desarrollo del hormigón como material sustentable*, Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 20, N°3, Diciembre, p.p. 91-100.
- Martínez P., Osses P. and Ibaceta C. (2004), *State of the art in sustainable construction in Chile: Review and Current Research*. International Conference Engineering Education in Sustainable Development, Barcelona, España, 27 a 29 de Octubre.
- Martínez P. (2003), *Rol de la Industria de la Construcción en el Desarrollo Sustentable: Nuevo enfoque para la enseñanza en el área de la construcción*. Revista Ambiente y Desarrollo, Vol. XIX, N°1, Enero-Marzo, p.p. 19-25
- Osses P. (2004), *Desarrollo, Adaptación y Validación de un Modelo para la Evaluación de la Sustentabilidad de la Construcción en Chile*. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso, Chile.

- Pulaski M., Pohlman T., Horman M. and Riley D. (2003), Synergies between Sustainable Design and Constructability at the Pentagon. Construction Congress, ASCE, Hawaii, USA., March 19<sup>th</sup> – 21<sup>th</sup>).
- Ritchey T. (1998) "Fritz Zwicky, 'Morphologie' and Policy Analysis", Presented at the 16th Euro Conference on Operational Analysis, Brussels.
- Roldán F. (2002), Construcción Sustentable, Modelo de Aplicación en Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso, Chile.
- Smith A. (2003), Building momentum: National trends and prospects for high-performance green building. USGBC, USA.
- Tommelein I. D. (1998), Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 124, N° 4, pp. 279-288.
- USGBC (2007), New Construction & Major Renovation, V.2.2: Reference Guide, 3th Edition, October 2007. LEED Program, USA.
- Womack J. and Jones D. (1996), Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your Corporation. Simon & Shuster, New York.
- Womack J., Jones D. and Roos D. (1990), The machine that change the World. Rawson Associates, New York,.
- Zwicky F. (1969), Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach. Toronto: The Macmillan Company.

