

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## PROPUESTA DE INDICADORES CLAVE EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

**Romy Anaís Aguilar Canlla**

**ASESOR: Pablo Fernando Orihuela Astupinaro**

Lima, octubre de 2016

## RESUMEN

La inversión económica en el sector constructor ha llegado a tener gran importancia en los últimos años. Prueba de ello es que dentro del Top 15 de las empresas con mayor peso relativo en la economía peruana se encuentran, en su gran mayoría, industrias enfocadas en el rubro constructor (Gutiérrez & Oliva, 2010). Debido a la fuerte competencia que se presenta dentro de este mercado, el enfoque de las empresas se ha orientado a mejorar su desempeño. Los indicadores son una forma de medir y controlar dicha performance. No obstante, su implementación en las prácticas se ha visto rodeada de muchas dificultades. Por ejemplo, complicaciones para relacionarse con tantos indicadores, la resistencia del personal a introducirse a las nuevas prácticas y la falta de comunicación de los objetivos lo cual dificulta la buena toma de decisiones (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). A estas dificultades hay que agregarle que la mayoría de los indicadores se enfoca en la fase obra y descuidan las demás fases de los proyectos.

Ante esta situación, se hace evidente que el entorno complejo de la industria de la construcción obliga a las prácticas de gestión a ser desarrolladas de una mejor forma antes de su implementación (Marosszeczy & Karim, 1997). Sin embargo, ¿cómo se podría lograr un mejor desarrollo de los indicadores para poder introducirlos en la gestión de la construcción? Debido a la gran cantidad de indicadores existentes ¿cómo se podría lograr una mejor implementación de dichos indicadores? Si bien los indicadores de proceso son aquellos en los que cae mayor importancia pues proveen un seguimiento exhaustivo del progreso del proyecto, se considera que para poder llegar a dichos indicadores es necesario partir de indicadores del tipo resultado ya que estos siempre están asociados con los objetivos y metas que se desean cumplir. Por ello, la presente propuesta desarrolla un grupo mínimo de indicadores de resultado para cada fase los cuales se presentarán, finalmente, como un solo indicador. En efecto, el trabajo con menos indicadores significaría menos complicaciones al querer involucrar a todos los miembros en esta práctica de gestión.

**Palabras claves:** Indicadores clave, ciclo de vida de un proyecto, indicadores de resultado, indicadores de proceso, control de proyectos.

FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA



**PUCP**

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Propuesta de indicadores clave en proyectos de edificación  
 Área : Construcción y Gestión  
 Asesor : Pablo Fernando Orihuela Astupinaro  
 Alumno : ROMY ANAÍ S AGUILAR CANLLA  
 Código : 2008.4883.412  
 Tema N° : # 272  
 Fecha : Lima, 11 de julio de 2016



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sector constructor es considerado como un negocio complejo y aparentemente impredecible (Esa, Alias, & Samad, 2014). Por lo cual controlar los proyectos de construcción puede significar un reto para los miembros de una organización. Durante años, los indicadores han sido las señales que han permitido juzgar el progreso y desempeño de los proyectos como medida de control; sin embargo, su implementación se ha visto rodeada de dificultades. Por ejemplo, no hay una relación entre los indicadores empleados, hay una falta de integración de los indicadores a los procesos críticos, se han usado indicadores difíciles de medir, entre otros (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). A estas dificultades hay que agregarle que muchos de los indicadores empleados se orientan a controlar sólo la fase obra y descuidan las demás fases de un proyecto. Si bien la fase ejecución tiene un fuerte impacto económico en el proyecto, no garantiza su éxito. En efecto, a medida que se avanza en el ciclo de vida, las áreas a evaluar varían ya que ciertos aspectos pueden ser considerados como más importantes en cada etapa (de Wit, 1988).

Si bien el uso de indicadores para el control de proyectos de construcción ha presentado una serie de dificultades que han complicado su labor; su desarrollo para una mejor implementación en las prácticas de gestión puede colaborar rotundamente a mejorar el progreso del proyecto. Por tanto, surge la necesidad de evaluar cómo se podría lograr un mejor desarrollo de los indicadores para poder controlar los proyectos del sector constructor.

OBJETIVO Y ALCANCE

OBJETIVO GENERAL

- o Presentar un grupo de indicadores por fase dentro del ciclo de vida de un proyecto que permita medir y controlar el progreso de proyectos de edificaciones en la construcción para una retroalimentación y mejora continua. El desarrollo de dicho grupo terminará en un indicador de resultado global para cada fase.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- o Definir el concepto de indicadores e introducir su aplicación en la gestión de proyectos de edificaciones.
- o Presentar la literatura existente sobre los indicadores usados en otros países.
- o Identificar los indicadores más usados y más importantes que puedan ser empleados para evaluar el progreso de los proyectos de edificaciones.

FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA

PUCP

- Proponer un tablero de control que contenga una clasificación justificada para los indicadores.
- Plantear indicadores clave por fase para medir y controlar el avance de los proyectos de construcción de edificaciones a lo largo de su ciclo de vida.

#### ALCANCE Y LIMITACIONES

Este proyecto de investigación se enfoca en el estudio de los proyectos de edificación. Esto se resalta ya que los proyectos de infraestructuras tienen otras particularidades a considerar que corresponderían a otras investigaciones.

Asimismo, esta investigación se limitará a presentar un grupo de indicadores por fase del ciclo de vida de un proyecto los cuales no se pondrán en evaluación. En posteriores estudios se podrán poner a prueba, determinar qué acciones correctivas deben realizarse para su mejora y presentar la confiabilidad de su uso. Se espera que las características propuestas en la metodología den la credibilidad a los resultados y los planteamientos.

Cabe resaltar que para esta tesis, se ha optado por presentar un tablero únicamente con indicadores del tipo resultado. Si bien los indicadores de proceso son aquellos en donde recae la mayor importancia pues permiten monitorear las actividades que garantizan el cumplimiento de los resultados, es de consideración que para poder llegar a una propuesta de indicadores de proceso se debe partir de indicadores del tipo resultado. Por ello, el desarrollo de un tablero de indicadores de proceso será parte de una futura investigación.

Finalmente, cabe resaltar que si bien los indicadores permiten alertar sobre el progreso que se está llevando en un proyecto queda pendiente, para posteriores investigaciones, cómo se recolectarán los datos e información para hacer uso de dichos indicadores. La automatización en la recolección de datos es una tarea que debe emprenderse.

#### METODOLOGÍA Y RESULTADOS ESPERADOS

La primera parte de este proyecto de investigación consistirá en la búsqueda de la información existente sobre los indicadores usados en otros países. El objetivo es hallar qué indicadores son más usados en cada país en cuestión para poder hacer un listado. En esta lista también se presentarán indicadores propuestos en esta tesis. Cabe resaltar que esta información servirá como base para la asignación de indicadores a cada fase y perspectiva.

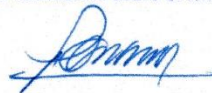
La segunda parte tendrá tres etapas. La primera consistirá en agrupar los indicadores identificados de la búsqueda de la información según el tipo de indicador al que pertenezcan. Se trabajará con 2 tipos: de resultado y de proceso. La segunda consistirá en proponer un tablero de control en donde se colocarán los indicadores a presentar. Discutir la clasificación que se adoptará para dicho tablero será muy importante en esta etapa. La tercera etapa consistirá en asignar indicadores a cada celda del tablero según la fase y perspectiva a la que pertenecen y validarlos según criterios de diseño y construcción de indicadores.

La tercera parte consiste en desarrollar un indicador de resultado global para cada fase del ciclo de vida de un proyecto.

La cuarta y última parte permitirá presentar las conclusiones más importantes, las recomendaciones y las aclaraciones más resaltantes sobre el tema desarrollado.

NOTA:

Extensión máxima: 100 páginas.


## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi asesor el Ingeniero Pablo Orihuela. Gracias por su apoyo incondicional durante la realización de esta tesis, por ser mi guía durante esta investigación, por su paciencia, por el tiempo brindado y por darme la oportunidad de poder trabajar en esta tesis en conjunto con él.

Quiero agradecer también al Equipo de Investigación MOTIVA por ser parte de esta tesis, por reforzar el contenido de esta investigación con sus conocimientos, por resolver mis dudas y por brindarme la confianza para ser parte de ustedes.

## DEDICATORIA

A mi padre, Luis Aguilar, quien partió a la eternidad recientemente. Dejó un profundo vacío en mi vida pero me mostró el verdadero significado de la palabra fortaleza hasta su último suspiro. Me enseñó a ser una mujer de valores y a crecer día a día preocupándome por el prójimo. Su inteligencia, sus ganas de aprender todos los días, su incuestionable profesionalismo como ingeniero, su humildad y su apoyo a todo aquel que lo necesite son las virtudes que seguiré; pues él es y será mi ejemplo. Jamás te olvidaré, eres el amor de mi vida.

A mi madre, Silvia Canlla. Por apoyarme cuando más lo necesité, por tu amor incondicional a pesar de mis errores, por ser mi mejor amiga y por nunca dejarme sola en los momentos difíciles. Te amo mucho mamá. Eres mi motivación para luchar cada día.

A las familias Calle Velezmoro y Lovera Sandoval. Jamás podré expresar en palabras mi profundo agradecimiento por su apoyo ante la adversidad. Gracias por todo. Juntos somos una gran familia.

A mi prima Dellis por ser parte de este camino. Gracias por los ánimos y el apoyo constante hoy y siempre.

## CONTENIDO

<b>I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS INDICADORES CLAVE EN LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES CLAVE Y SU IMPORTANCIA.....	1
1.1.1 ¿QUÉ SON LOS INDICADORES? .....	1
1.1.2 IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES EN LA GESTIÓN.....	2
1.2 EL USO DE INDICADORES CLAVE EN LA CONSTRUCCIÓN .....	4
1.2.1 NECESIDAD DE INDICADORES EN LA INGENIERÍA CIVIL .....	4
1.2.2 ENFOQUE BENCHMARKING EN LA CONSTRUCCIÓN.....	6
1.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	7
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS E IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	10
<b>II. CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN Y LA METODOLOGÍA DEL PROYECTO</b>	<b>11</b>
2.1 DELIMITACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	11
2.1.1 OBJETIVOS.....	11
2.1.2 HIPÓTESIS.....	11
2.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	11
2.3 ALCANCE Y LIMITACIONES .....	12
<b>III. CAPÍTULO 3: ESTADO ACTUAL</b>	<b>14</b>
3.1 INDICADORES CLAVE EN EL SECTOR MACROECONÓMICO .....	14
3.2 ANTECEDENTES DE LOS INDICADORES .....	15
3.2.1 EN LA INDUSTRIA DE LA MANUFACTURA .....	15
3.2.2 EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	21
<b>IV. CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE INDICADORES CLAVE PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS</b>	<b>31</b>
4.1 INDICADORES DE RESULTADO Y DE PROCESO .....	31

4.1.1 INDICADORES DE RESULTADO .....	31
4.1.2 INDICADORES DE PROCESO .....	32
4.1.3 AGRUPACIÓN DE LOS INDICADORES SEGÚN EL TIPO .....	32
4.2 PROPUESTA DEL TABLERO DE CONTROL.....	35
4.2.1 ESTRUCTURA HORIZONTAL .....	35
4.2.2 ESTRUCTURA VERTICAL .....	45
4.2.3 MODELO FINAL DEL TABLERO DE CONTROL.....	52
4.3 ASIGNACIÓN DE INDICADORES DE RESULTADO EN EL TABLERO DE CONTROL.....	54
4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES DE RESULTADO .....	56
4.3.2 VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES DE RESULTADO .....	70
4.4 OBTENCIÓN DEL INDICADOR DE RESULTADO GLOBAL POR FASE .....	85
<b>V. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, ACLARACIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA COMENTADA</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>98</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Típicas respuestas alcanzadas en el sector de manufactura por uso de indicadores y benchmarking-recopilación de Marossezky (1997).....	4
<b>Tabla 2.</b> Indicadores utilizados en el Método de Valor Ganado propuesto por la Guía PMBOK .....	23
<b>Tabla 3.</b> Listado de indicadores a nivel proyecto recogidos por Ali (2013).....	28
<b>Tabla 4.</b> Listado de indicadores a nivel compañía recogidos por Ali (2013).....	29
<b>Tabla 5.</b> Lista resumida de indicadores de resultado .....	34
<b>Tabla 6.</b> Lista resumida de indicadores de proceso .....	34
<b>Tabla 7.</b> Esquema para el tablero de control con indicadores del tipo resultado.....	54
<b>Tabla 8.</b> Tablero de control con indicadores de resultado.....	55
<b>Tabla 9.</b> Métodos de Ensayo No Destructivos para el Concreto .....	65
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de la calidad del concreto según Leslie y Cheesman.....	67
<b>Tabla 11.</b> Criterios para la selección de indicadores con respecto a la calidad del indicador.....	71
<b>Tabla 12.</b> Criterios para la selección de indicadores con respecto a la calidad de la estadística del indicador.....	72
<b>Tabla 13.</b> Criterios para la selección relacionados con la utilidad y comprensión de los indicadores para los usuarios .....	73
<b>Tabla 14.</b> Validación del Indicador costo de obra - diseño .....	75
<b>Tabla 15.</b> Validación del Indicador de rentabilidad.....	75
<b>Tabla 16.</b> Validación del Indicador de tiempo - diseño .....	76
<b>Tabla 17.</b> Validación del Indicador de satisfacción del usuario .....	76
<b>Tabla 18.</b> Validación del Indicador de constructabilidad.....	77
<b>Tabla 19.</b> Validación del Indicador de incompatibilidades .....	77
<b>Tabla 20.</b> Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Diseño .....	78
<b>Tabla 21.</b> Validación del Indicador de desempeño Social - Diseño.....	78
<b>Tabla 22.</b> Validación del Indicador de calidad de los materiales en la estructura.....	79
<b>Tabla 23.</b> Validación del Indicador de calidad de los materiales en las instalaciones sanitarios.....	79
<b>Tabla 24.</b> Validación del Indicador de calidad de los materiales en las instalaciones eléctricas.....	80
<b>Tabla 25.</b> Validación del Indicador de calidad de los materiales en los acabados .....	80
<b>Tabla 26.</b> Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Abastecimiento	81
<b>Tabla 27.</b> Validación del Indicador de costo en la fase construcción .....	81
<b>Tabla 28.</b> Validación del Indicador de tiempo en la fase construcción .....	82
<b>Tabla 29.</b> Validación del Indicador de calidad de la estructura .....	82
<b>Tabla 30.</b> Validación del indicador de calidad de las instalaciones sanitarias .....	83
<b>Tabla 31.</b> Validación del Indicador de calidad de las instalaciones eléctricas .....	83
<b>Tabla 32.</b> Validación del indicador de calidad de los acabados .....	84
<b>Tabla 33.</b> Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Construcción ...	84
<b>Tabla 34.</b> Validación del Indicador de seguridad.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Importancia de los indicadores de desempeño en el sector constructor (Grillo, 1997).....	5
<b>Figura 2.</b> Benchmarking sobre la variación del costo en proyectos de una misma compañía .....	6
<b>Figura 3.</b> Puntuaciones estándar – Benchmarking OEE.....	17
<b>Figura 4.</b> Esquema creado por Kaplan y Norton para demostrar la relación causa-efecto de sus cuatros perspectivas .....	25
<b>Figura 5.</b> Ejemplo del mapa estratégico propuesto en The Institute Way: Simplified Strategic Planning & Management with the Balanced Scorecard.....	27
<b>Figura 6.</b> Curva MacLemy: se compara la definición de fases según el esquema tradicional con el esquema integrado.....	36
<b>Figura 7.</b> Correlación entre las fases propuestas por la Association of Project Management in England (APM) .....	39
<b>Figura 8.</b> Gráfico de barras de la construcción propuesto por Wideman en relación a la duración del ciclo de vida de un proyecto.....	41
<b>Figura 9.</b> Modelo del Sistema de Entrega de Proyectos sin pérdidas.....	42
<b>Figura 10.</b> Imagen resumen del sistema integral de gestión SIG.....	46
<b>Figura 11.</b> El triángulo de hierro .....	48
<b>Figura 12.</b> La pirámide de la calidad.....	48
<b>Figura 13.</b> Clasificación de los involucrados en una organización según categoría interna y externa .....	49
<b>Figura 14.</b> Los tres pilares de la triple cuenta de resultados para negocios sustentables: gente, planeta y beneficio .....	51
<b>Figura 15.</b> Comparación entre las cuatro modelos de clasificación del ciclo de vida de un proyecto de construcción.....	53
<b>Figura 16.</b> Niveles de certificación LEED según evaluación .....	59
<b>Figura 17.</b> Resumen de las características establecidas por CEPAL para las 7 variables definidas en la aplicación de indicadores de sostenibilidad para vivienda.....	61
<b>Figura 18.</b> Proceso de validación de indicadores de resultado .....	74
<b>Figura 19.</b> Perspectivas en un proyecto de construcción.....	86

## **L      CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS INDICADORES CLAVE EN LA CONSTRUCCIÓN**

El primer capítulo presenta una introducción sobre el tema. Esta sección se divide en tres partes. La primera consiste en definir los indicadores y su importancia en la gestión; en la segunda se presenta el uso de dichos indicadores en la ingeniería civil y una breve descripción de la situación en los proyectos de construcción y; en la tercera parte, se presenta la problemática que motivó a la realización del presente trabajo de investigación.

### **1.1      DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES CLAVE Y SU IMPORTANCIA**

#### **1.1.1    ¿QUÉ SON LOS INDICADORES?**

Con el avance de las tecnologías, la economía comenzó a globalizarse y se convirtió en un mercado sin fronteras. Ante esta situación, el ambiente de negocio se volvió cambiante y las industrias comprendieron la necesidad de innovar desde prácticas tradicionales hacia un proceso de aumento de productividad. La industria de la manufactura respondió rápidamente a dicho ambiente cambiante, mientras que la industria de la construcción tuvo complicaciones para seguir ese ritmo. Un ejemplo claro es el sector de manufactura japonesa que creció en la habilidad de responder a entornos variables con un aumento de flexibilidad. Para Marosszaky (1997), la industria constructora tiene un atraso de muchos años con respecto al avance de la industria de la manufactura. Esto puede deberse a que se le considera un entorno más complejo y variable y, por ello, las innovaciones técnicas tienen que ser más desarrolladas antes de ser implementadas satisfactoriamente.

Ante esta situación, surgieron iniciativas que buscaban transformar las empresas constructoras tradicionales a empresas con mejor desempeño en el mercado. En consecuencia, se optó por adoptar el enfoque Lean Production como filosofía y poder, de esta manera, desarrollarse de manera más eficaz y eficiente como la industria de manufactura.

Lean Production presenta muchas fortalezas que a la larga se traducen en mejoras sustanciales en costo, calidad, tiempo y, por ende, satisfacción al cliente (Miranda & Toirac, 2010). Para lograr dichos propósitos, el enfoque se fundamenta sobre herramientas potentes. Según el portal LeanProduction.com, 25 herramientas esenciales son las que caracterizan dicha filosofía. Los **indicadores** son una de ellas.

Pero ¿cómo se definen estos? Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social CONEVAL de México, un indicador es una herramienta cuantitativa o cualitativa que manifiesta indicios o señales de una situación, actividad o resultado. Este, necesariamente, debe representar una relación entre dos o más variables (2013). Con ello refiere a que debe haber un punto de comparación para poder determinar si se ha logrado lo propuesto. El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC coincide con esta definición a lo cual menciona que un indicador es “la relación entre variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generados en el objeto o fenómeno observado, respecto a objetivos y metas previstos e influencias esperadas” (2009).

En efecto, la implementación de indicadores en las prácticas de gestión colabora con la mejora continua. Su presentación visual permite a los miembros de una organización tomar decisiones de manera más eficiente sobre la base de comparaciones. Alarcón propone el uso de histogramas que permitan observar variaciones con respecto a una línea base y, además, la visualización de valores máximos y mínimos en un parámetro en particular (2001). Este mismo autor argumentó que el uso apropiado de los parámetros lograría control; evaluación; monitoreo y; en consecuencia, una mejor comunicación a los miembros de las empresas sobre las prioridades, objetivos y valores que son buscados como metas (1996). En conclusión, los indicadores se definen como **señales** pues alertan o avisan sobre el progreso que se está llevando en el proyecto. Si la información obtenida es bien manejada pueden funcionar como las **directrices** que toda empresa debe tener para poder guiar y comunicar el progreso que se está llevando sobre la base de las metas planeadas. Un correcto uso permitiría a una empresa tomar acciones correctivas en su debido tiempo pues, en efecto, se alertaría sobre desviaciones en los propósitos definidos.

### 1.1.2 IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES EN LA GESTIÓN

La importancia de “medir” se ha hecho evidente a lo largo de la historia. Peter Drucker en *The New Realities* mencionó que así como las personas necesitan una diversidad de medidas para evaluar su salud y su rendimiento, una organización necesita también una diversidad de métricas para evaluar su salubridad y desempeño. El autor enfatizó que el rendimiento tiene que ser construido entre la industria y la gestión. Este debe tener alguna medida o, al menos, debe ser juzgado, para luego ser mejorado continuamente

(1989). Posteriormente, Chrysostomou recalcó en KPIs and Benchmarking for the Housing Sector que la administración sólo se logra a través de la medición, de lo contrario, lo que se está haciendo es solo una práctica (2000). Alarcón coincide que durante muchos años el sector constructor solo se dedicaba a “realizar prácticas”, pero con la implementación de los indicadores esta situación ha estado cambiando. Por tanto, los indicadores son la piedra angular de toda empresa que desea ser de clase mundial (2001).

A medida que las empresas de diferentes sectores industriales comenzaron a implementar los indicadores de rendimiento en sus prácticas de gestión surgieron casos de estudio que demostraban que, efectivamente, los indicadores servían como guía para la mejora continua. Son algunos ejemplos mencionados por Marosszeky los casos de la corporación Xerox, de la farmacéutica Janssen y de la manufactura Avon (1997).

El caso más conocido es el de la corporación **Xerox** en Estados Unidos. Dicha industria se encontraba en una situación de crisis económica cuando la industria japonesa comenzó a promocionar fotocopiadoras a menor precio de lo que les costaba a ellos fabricarlas. Es así que dentro de su administración se optó por implementar el enfoque Benchmarking a través de indicadores que medían el avance de diversas áreas que ellos consideraron críticas. Los indicadores establecidos fueron, posteriormente, comparados con los que tenía la industria japonesa, líder de dicho sector en aquel momento. Así, a la larga, Xerox mejoró su posición en el mercado y decidió usar los indicadores como guías para la mejora continua de manera permanente.

De esta forma, empresas -incluso aquellas que no afrontaban situaciones de crisis como Xerox- decidieron implementar los indicadores y el enfoque benchmarking dentro de su gestión. Por ejemplo, la farmacéutica **Janssen** identificó áreas, a través de los indicadores, que podían reducir su costo aún más al ser comparadas con los indicadores de otras empresas. De la misma forma, **Avon** usó benchmarking interno para mejorar las operaciones realizadas dentro del área de servicio al cliente. Gracias a los indicadores identificaron oportunidades de mejora de las cuales separaron aquellas que requerían atención inmediata. Asimismo, los indicadores permitieron destacar aquellas sucursales que tenían mejores prácticas de atención al cliente, las cuales fueron luego adoptadas por toda la corporación a manera de uniformizar el servicio.

En efecto, la importancia de los indicadores como herramientas para la mejora continua se hizo incuestionable en la medida que su implementación era considerada en el sector de manufactura. En la siguiente tabla se muestran respuestas alcanzadas en el sector de manufactura que Marossezky recopiló como parte de su investigación sobre Benchmarking.

**Tabla 1.** Típicas respuestas alcanzadas en el sector de manufactura por uso de indicadores y benchmarking-recopilación de Marossezky (1997)

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ventas/empleados/anual hasta 300%</li> <li>○ Direct/indirect staff ratio up</li> <li>○ Cambio del personal descendió en 50%</li> <li>○ Sin conflictos en el trabajo</li> <li>○ El tiempo de entrega se duplicó</li> <li>○ El tiempo perdido por accidentes disminuyó en un 30%</li> <li>○ Absentismo reducido a la mitad</li> <li>○ Plazo de ejecución reducido 83%</li> <li>○ Rechazo del cliente reducido en un 85%</li> <li>○ Reducción del inventario 60%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tiempo del ciclo de aduana reducidos 72%</li> <li>○ Residuos de fabricación reducido 69%</li> <li>○ Aumento de la participación del equipo 350%</li> <li>○ Costos de fabricación reducidos en un 34%</li> <li>○ Plazo de ejecución por debajo de 6 meses a 2 días</li> <li>○ Personal de supervisión reducido en un 50%</li> <li>○ Tiempo de ciclo por debajo de 54 a 20 días</li> <li>○ Servicio de preparación del 73 al 91%</li> <li>○ Disminución óptima del ciclo de 240 a 24 hrs</li> </ul>
---	--

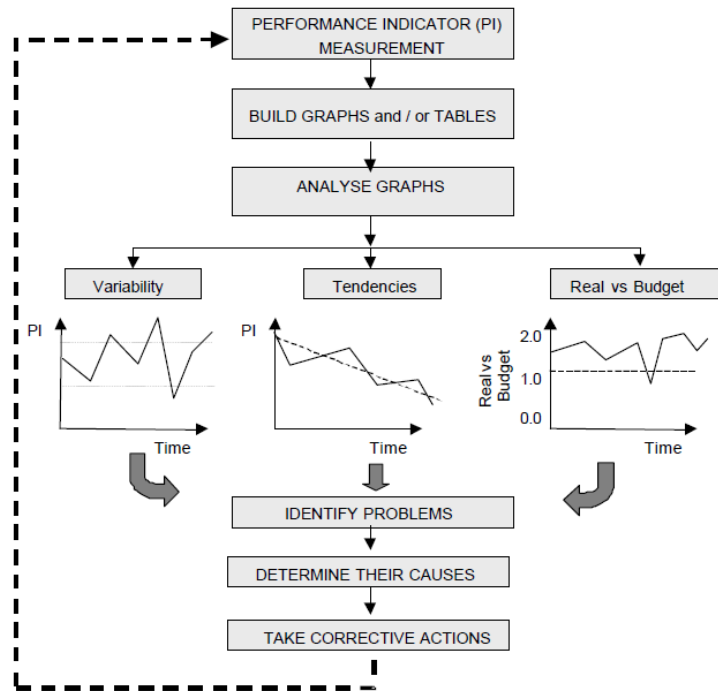
Es así que los beneficios de una correcta implementación saltan a la luz. Se presenta una mejor forma de controlar el avance de las actividades; se pueden identificar las áreas con problemas o que pueden ser mejoradas; las acciones correctivas pueden ser tomadas a tiempo y las decisiones son tomadas de manera informada. Ante ello, surge la duda sobre cómo ha sido su implementación en el sector constructor. Esto se presenta en la siguiente parte de este capítulo.

## 1.2 EL USO DE INDICADORES CLAVE EN LA CONSTRUCCIÓN

### 1.2.1 NECESIDAD DE INDICADORES EN LA INGENIERÍA CIVIL

El uso de indicadores en la industria de la manufactura evidenció que era una potente herramienta de control y monitoreo. Muchos filósofos de la administración coincidieron con ello, pues aseguraban que la única forma de controlar un proyecto es a través de las mediciones. Surge de esto, la importancia de su implementación a las prácticas de gestión ya no sólo en la industria de la manufactura, sino en el sector constructor.

En Chile, Grillo realizó un estudio sobre la importancia de medir, evaluar y analizar los indicadores de desempeño en la industria constructora. A través de un diagrama mostró cómo los indicadores apoyaban a las acciones de gestión (1997). Esto se muestra en la **figura 1.**



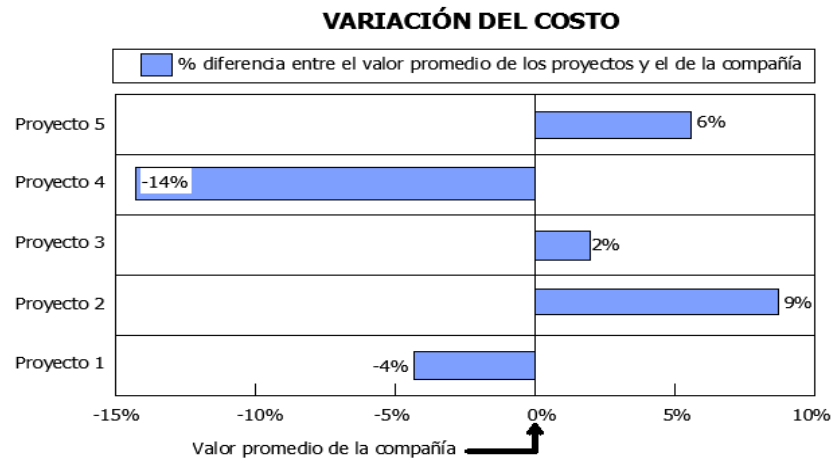
**Figura 1.** Importancia de los indicadores de desempeño en el sector constructor (Grillo, 1997)  
 FUENTE: Imagen extraída del Artículo “Learning from collaborative benchmarking in the construction industry” (Alarcon, Grillo, Freire, & Diethelm, 2001)

Como se puede observar, el uso correcto de los indicadores facilita identificar desviaciones en el cumplimiento de los objetivos. Por ejemplo, construir gráficos o tablas con la información obtenida permite reconocer variabilidad, registrar tendencias predominantes y realizar comparaciones. Partiendo de dichas observaciones se podrían identificar los problemas origen, ya que se podrían emplear herramientas como los *5 por qué* para determinar las causas y, finalmente, tomar acciones correctivas o preventivas.

Mediante la visualización, las decisiones tomadas serían mucho más eficientes. Como se mencionó en la definición de los indicadores, estas **señales** pueden funcionar como **directrices** que guían al cumplimiento de los objetivos establecidos en un primer momento. Si una persona camina sin orientación no podría llegar al lugar donde desea ir. Sin embargo, si visualiza la dirección de la calle en la que se encuentra y sabe que esta lo llevará efectivamente a donde desea, o por lo contrario, se ve desviado, cambiará su dirección hacia aquella que evidentemente le permitirá cumplir su objetivo. De la misma forma, hay una **gran necesidad** por saber hacia dónde un proyecto se está dirigiendo y si, ciertamente, se caminará en aras de cumplir las metas establecidas.

## 1.2.2 ENFOQUE BENCHMARKING EN LA CONSTRUCCIÓN

La información obtenida de los indicadores clave es usualmente usada como medida de comparación a través de histogramas. En la **figura 2** se muestra un ejemplo que usa Alarcón para mostrar la comparación entre proyectos de una misma empresa sobre la **variación del costo**.



**Figura 2.** Benchmarking sobre la variación del costo en proyectos de una misma compañía (Alarcon, Grillo, Freire, & Diethelm, 2001)

Como se puede apreciar, existe una fuerte variabilidad en todos los proyectos. En algunos más que otros. Este tipo de conclusiones puede obtenerse de seguir el enfoque Benchmarking.

Pero ¿qué es Benchmarking? Camp lo definió como “el proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas en contra de los competidores más potentes o aquellas compañías reconocidas como líderes” (1989). De la misma manera, Macneil en Raising the standards- Benchmarking and best practices in Australia lo definió como “un método para la mejora organizacional que envuelve una evolución continua y sistemática de los productos, servicios y procesos de organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas” (1992). Este autor mencionó que existen 3 tipos de Benchmarking: **interno**, **competitivo** y **funcional**. El primero consiste en comparar partes iguales de una organización; el segundo consiste en comparaciones entre empresas similares y el tercero se realiza entre empresas de diferentes industrias pero con actividades similares.

Tal cual como se puede entender de las definiciones de estos dos autores, Benchmarking simplemente se define como una forma de *comparar*. En efecto, mediante



dichas comparaciones, posteriormente se pueden adoptar mejores prácticas e introducir mejoras innovadoras que garanticen alto desempeño. Sin embargo, las comparaciones solo pueden realizarse cuando se tienen ya indicadores medibles dentro de las prácticas de gestión.

El interés de las compañías de construcción en benchmarking surgió de la necesidad de querer comparar su desempeño con otras empresas del mismo sector del mercado (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). Es de conocimiento que de esta forma se puede ganar superioridad a través de la combinación de las fortalezas existentes con las mejores prácticas de aquellas empresas que se categorizan como líderes.

En conclusión, la implementación de este enfoque podría contribuir fuertemente al cambio de cultura necesario en el entorno constructor ya que se identificarían constantemente oportunidades de mejora a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

### 1.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

A pesar de la importancia y la necesidad de los indicadores, su implementación ampliamente en las compañías de construcción y la información sobre el desempeño en los proyectos han sido escasas (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). Ante esta situación, Costa et al. realizó un análisis de las iniciativas más resaltantes y fueron 4 las que analizó. Todas fueron creadas con 3 objetivos principales. En primer lugar, ofrecer guías para las medidas de desempeño; en segundo lugar, destacar el enfoque benchmarking para que sea usado en las compañías y; en tercer lugar, identificar las mejores prácticas en la industria de la construcción. Se detallan a continuación.

En el año 1993, el Instituto de la Industria de la Construcción (CII) en Estados Unidos propuso un programa de métricas que aspiraba establecer normas de desempeño en la industria, cuantificar el uso y el valor de las mejores prácticas y, además, ayudaba con la implementación del mismo programa. En el año 2000, el instituto estableció un set de indicadores dividido en 5 grupos que consideraba esenciales. Estos eran **costo**, **cronograma**, **salud**, **cambios** y **re-trabajos**. Cada uno tenía un sub grupo de indicadores. Para el grupo *costo* se establecieron las medidas referentes a su variación, el factor de presupuesto, el factor de fase y el factor de crecida. Para el *cronograma* se buscó medir su variación, el factor del cronograma, la duración total del proyecto y la duración de la fase construcción. En el área de *salud*, se establecieron ratios de

incidentes registrados y los ratios de la tasa de pérdida del día de trabajo por incidentes. Los *cambios* solo se refirieron a aquellos detectados en el factor costo. Y, en *re-trabajos*, se estableció la medida como el total de re-trabajos en campo.

En 1998, el programa Best Practice Programme del Reino Unido creó la iniciativa Key Performance Indicators (KPI) como un proyecto que formaba parte de la reforma de la construcción o Rethinking Construction. Esta iniciativa fue concebida para monitorear el desempeño de la industria con el uso de indicadores, los cuales eran considerados como información clave en el camino hacia mejores prácticas de construcción. Estos están divididos en **indicadores titulares** e **indicadores secundarios**. El grupo de indicadores titulares está comprendido por los siguientes indicadores: satisfacción del cliente-producto, satisfacción del cliente-servicio, costo de construcción, tiempo de construcción, defectos, predictibilidad-costo, predictibilidad-tiempo, rentabilidad, productividad y seguridad. El grupo de indicadores secundarios consta de dos tipos de indicadores: operacionales y de diagnóstico. Los **indicadores operacionales** se soportan en aspectos específicos de las actividades de la empresa y posibilitan la gestión para identificar y enfocarse en áreas específicas de mejora y los **indicadores de diagnóstico** informan el por qué de los cambios ocurridos en los indicadores titulares y operacionales.

De la misma forma, en 2001 la Cámara Chilena de Construcción y la Pontificia Universidad Católica de Chile desarrollaron un sistema Benchmarking orientado a promover la mejora continua en su sector constructor. Para ello, primero adoptaron un set de medidas que consistía en indicadores fáciles de medir y comprometían sistemas de control ya existentes en las compañías. El set de indicadores usado consistía en las siguientes medidas: desviación del costo del proyecto, desviación de la construcción con respecto a la fecha, cambios en la cantidad contratada, ratios de accidentes, ratios de riesgo, eficiencia del labor, desempeño de la productividad, ratios de sub contractibilidad, quejas del cliente sobre el costo, órdenes urgentes y efectividad planeada. Las herramientas para el análisis de datos consistían en herramientas cuantitativas y cualitativas como el uso de la media aritmética, ranking de curvas, gráficas y tablas mostrando los resultados de las compañías.

En Brasil también comenzó a aparecer interés por los indicadores de rendimiento. Debido ello, en el año 1993 se creó el Sistema de medida del desempeño para la industria de la construcción brasilera o SISIND. Se buscaba que este sistema llegue,

principalmente, a las empresas pequeñas, ya que ocupaban el mayor porcentaje de compañías en el sector constructor. Ante ello, el sistema presentó 4 actividades fundamentales para su realización. Primero, era necesario publicar un set de indicadores; segundo, el proyecto debía extenderse a través de la presentación de seminarios; tercero, era imprescindible presentar reportes con la colección de datos obtenidos de las compañías y; cuarto, fue vital desarrollar estudios de investigación para implementar nuevas medidas. Los indicadores usados fueron desviación del costo, desviación del tiempo, índice de no conformidad para procesos críticos, porcentaje de plan completado, desempeño de los proveedores, grado de satisfacción del usuario, tiempo de ventas, ratio entre el número de accidentes y la entrada total de horas hombre, índice de las mejores prácticas de la construcción en el lugar y grado de satisfacción del cliente interno.

Todas las iniciativas planteadas tuvieron dificultades en su implementación por diversas razones. Algunos inconvenientes son la falta de relación entre todos los indicadores, el no tener la garantía de que la información necesaria estará disponible, el uso de indicadores difíciles de medir, el no tener los objetivos o estrategias claros desde un comienzo, la falta de integración de los indicadores a los procesos críticos –uso de un gran número de indicadores- y la carencia de capacitaciones en la implementación de los sistemas de medición (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). A estas dificultades hay que agregarle que la mayoría de los indicadores están orientados a medir la fase obra y descuidan el avance de las etapas iniciales. Si bien dicha fase impacta fuertemente en el producto final, no garantiza que un proyecto sea exitoso. En efecto, a medida que se avanza en el ciclo de vida, las áreas a evaluar varían ya que hay ciertos aspectos que son considerados más importantes en cada etapa (de Wit, 1988). Por ejemplo, poder evaluar la calidad del diseño en las fases iniciales puede garantizar un menor número de re-trabajos debido a incompatibilidades en la fase construcción.

Sobre la base de lo mencionado, se llegan a las siguientes conclusiones. Primero, los indicadores deben pertenecer a las prácticas de gestión de todas las empresas constructoras. De lo contrario, se volvería muy difícil controlar o monitorear un proyecto. Segundo, la implementación de los indicadores debe comenzar con un **número reducido** y estos deben enfocarse en los procesos críticos. Tener un gran número de indicadores solo complicaría, a la larga, que todos los miembros del staff puedan

involucrarse en esta práctica. Tercero, los objetivos a los cuales la alta dirección apunta deben ser claros, transparentes y comunicados a todos los miembros comprometidos. De no suceder esto, no se podría interpretar si los resultados obtenidos para los indicadores son los que se deseaban. Cuarto, los indicadores a usar deben ser fáciles de medir, de evaluar y de comprender por todos los involucrados. Finalmente, es necesario evaluar cada fase del ciclo de vida de un proyecto. Sólo así se podrá controlar su progreso.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS E IMPORTANCIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Como se pudo comprender en los apartados anteriores, la industria de la construcción es compleja y variable, por lo cual requiere de innovaciones que sean desarrolladas antes de su implementación. Los indicadores ya han sido estudiados y propuestos en diversos sistemas y marcos teóricos como prácticas de gestión de proyectos; no obstante, su implementación ha sido complicada por diversas razones que ya han sido mencionadas.

Ante esta situación, surge la pregunta ¿cómo lograr un mejor desarrollo de los indicadores para poder implementarlos? Debido a la gran cantidad de indicadores existentes ¿cómo se podría implementar de forma más efectiva en los proyectos de construcción? Frente a estas cuestiones, el presente proyecto de investigación busca proponer un grupo reducido de indicadores por fase para todo el ciclo de vida de un proyecto. Estos estarán divididos en 5 perspectivas: costo, tiempo, calidad, medio ambiente y sociedad. Cada una contendrá los indicadores más importantes para cada fase. Asimismo, estos indicadores se resumirán en un indicador de resultado global para cada fase lo cual permitirá determinar y comparar el estado del proyecto al término de cada etapa del ciclo de vida.

El uso de menos indicadores los cuales estarían enfocados en los aspectos críticos de un proyecto significaría menos complicaciones al querer involucrar a todos los miembros en esta práctica de gestión. Es importante resaltar que todos los indicadores propuestos deben ser validados en lo que respecta a la disponibilidad de la información, utilidad de los indicadores, facilidad en la comprensión del indicador por parte de todos los interesados, redundancia entre ellos y su aplicabilidad. Finalmente, se espera que estas medidas en un futuro puedan ser usadas como parte del enfoque benchmarking y así, seguir contribuyendo con la mejora continua.

## II. **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN Y LA METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

El segundo capítulo busca delimitar el trabajo de investigación. Para ello, se presentan los objetivos específicos, el objetivo general y la hipótesis. Posteriormente, se presentará la metodología a seguir y el alcance y limitaciones.

### 2.1 **DELIMITACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

#### 2.1.1 **OBJETIVOS**

##### 2.1.1.1 **OBJETIVO GENERAL**

- Presentar un grupo de indicadores por fase dentro del ciclo de vida de un proyecto que permita medir y controlar el progreso de proyectos de edificación en la construcción para una retroalimentación y mejora continua. El desarrollo de dicho grupo terminará en un indicador de resultado global para cada fase.

##### 2.1.1.2 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir el concepto de indicadores e introducir su aplicación en la gestión de proyectos de edificaciones.
- Presentar la literatura existente sobre los indicadores usados en otros países.
- Identificar los tipos de indicadores y clasificar la lista obtenida de la revisión de la literatura según el tipo al que pertenezcan.
- Proponer un tablero de control que contenga una clasificación justificada para los indicadores.
- Plantear indicadores clave por fase para medir y controlar el avance de los proyectos de construcción de edificaciones a lo largo de su ciclo de vida.

#### 2.1.2 **HIPÓTESIS**

- Un conjunto de indicadores clave que evalúe el progreso de un proyecto de edificación alertará tempranamente sobre posibles desviaciones de los objetivos lo cual permitirá hacer correcciones a su debido tiempo.

### 2.2 **METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

La primera parte de este proyecto de investigación consistirá en la **búsqueda de la información** existente sobre los indicadores usados en otros países. El objetivo es generar un enlistado de indicadores que sirva como base para la asignación de indicadores a cada fase y perspectiva. En esta lista también se presentarán indicadores propuestos por el autor de esta tesis.

La segunda parte tendrá tres etapas. La primera consistirá **en agrupar los indicadores** identificados de la búsqueda de la información según el tipo de indicador al que pertenezcan. Se trabajará con 2 tipos: de resultado y de proceso. La segunda consistirá en proponer un **tablero de control** en donde se colocarán los indicadores a presentar. Discutir la clasificación que se adoptará para dicho tablero será muy importante en esta etapa. La tercera etapa consistirá en **asignar indicadores** a cada celda del tablero según la fase y perspectiva a la que pertenecen y validarlos según criterios de diseño y construcción de indicadores.

La tercera parte consiste en desarrollar un **indicador de resultado global** para cada fase del ciclo de vida de un proyecto.

La cuarta y última parte permitirá presentar las **conclusiones** más importantes, las recomendaciones y las aclaraciones más resaltantes sobre el tema desarrollado.

### 2.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

Este proyecto de investigación se enfoca, como ya se ha mencionado anteriormente, en el estudio de los *proyectos de edificación*. Esto se resalta ya que *los proyectos de infraestructuras* tienen otras particularidades a considerar que corresponderían a otras investigaciones.

Asimismo, esta investigación se limitará a presentar un grupo de indicadores por fase del ciclo de vida de un proyecto los cuales no se pondrán en evaluación. En posteriores estudios se podrán poner a prueba, determinar qué acciones correctivas deben realizarse para su mejora y presentar la confiabilidad de su uso. Se espera que las características propuestas en la metodología den la credibilidad a los resultados y los planteamientos.

Cabe resaltar que para esta tesis, se ha optado por presentar un tablero únicamente con indicadores del tipo resultado. Si bien los indicadores de proceso son aquellos en donde recae la mayor importancia pues permiten monitorear las actividades que garantizan el cumplimiento de los resultados, es de consideración que para poder llegar a una propuesta de indicadores de proceso se debe partir de indicadores del tipo resultado. Por ello, el desarrollo de un tablero de indicadores de proceso será parte de una futura investigación.

Finalmente, cabe resaltar que si bien los indicadores permiten alertar sobre el progreso que se está llevando en un proyecto queda pendiente, para posteriores investigaciones, cómo se recolectarán los datos e información para hacer uso de dichos indicadores. La automatización en la recolección de datos es una tarea que debe emprenderse.



### III. CAPÍTULO 3: ESTADO ACTUAL

El presente capítulo desarrollará la revisión de la literatura en lo referente al tema de investigación. En la primera parte se buscará discutir si es realmente posible obtener un indicador que resuma varios aspectos de la fase de un proyecto. En la segunda parte se presentarán los diversos enfoques y los diversos indicadores que ya se han desarrollado en otras partes del mundo en la industria de la manufactura y en la industria de la construcción. Una vez presentado el estado actual se proseguirá con el desarrollo de los indicadores clave para la gestión de proyectos de construcción.

#### 3.1 INDICADORES CLAVE EN EL SECTOR MACROECONÓMICO

Obtener un único indicador que determine el progreso de una fase en un proyecto de edificación puede parecer imposible. Sin embargo, este tipo de indicadores –aquellos que resumen en una sola cifra un conjunto de variables que afecta un fenómeno– sí existe y se puede encontrar en diferentes sectores de estudio. Por ejemplo, en el área de la macroeconomía se puede encontrar el PIB. El PIB es el indicador más común que mide el desempeño económico de una nación durante un periodo, generalmente un año. Este se define como la suma de todos los bienes y servicios final que han sido producidos en dicho país durante un año por residentes nacionales o extranjeros en el país en cuestión (Macroeconomía y política fiscal, s.f.). La fórmula (3.1) que se emplea para estos fines desde el enfoque de gasto consiste simplemente en una suma aritmética de indicadores parciales. Los sumandos que se emplean son el **consumo**, la **inversión**, el **gasto** y las **exportaciones netas**. Se entiende como *consumo* (C) los bienes y servicios que han sido producidos y consumidos por los residentes del país en un año. La *inversión* (I) corresponde a aquellos bienes y servicios que las compañías incorporan a sus empresas para sacarles partido y obtener beneficios con ellos. *Gasto* (G) refiere al dinero que gasta la administración pública. Las *exportaciones netas* (X -M) refieren a la diferencia entre las exportaciones (X) y las importaciones (M). Las exportaciones son los gastos de los extranjeros en los bienes nacionales y las importaciones son la cantidad monetaria de las compras realizadas en el territorio de estudio pero producidas en el extranjero.

$$PIB = C + I + G + X - M$$

(3. 1)

Cada uno de los sumandos permite que el indicador PIB cuantifique en una cantidad final el desempeño económico de un país. De forma analógica, estimar el progreso de



cada fase de un proyecto puede ser cuantificada por diversos procesos y decisiones que interactúan a lo largo de su duración. Entonces, la conjugación de estos permitiría cuantificar a manera de resumen el resultado final obtenido en cada fase.

Sobre la base de lo mencionado, se concluye que para poder obtener un único indicador que estime el resultado de una fase es necesario seleccionar los indicadores parciales que sean relevantes para cada una. Dicha clasificación será desarrollada en el capítulo 4.

### **3.2 ANTECEDENTES DE LOS INDICADORES**

La industria de la construcción en Perú está ocupando una parte importante del sector económico ya que junto a la industria de la minería representan grandes aportes en el producto interno bruto. En 2010 se registraron aportes considerables. En enero de dicho año el PIB del sector construcción creció a un 10.17%, en febrero a un 16.07% y en marzo y abril en un 24.14% y 21.08% respectivamente (Gutiérrez & Oliva, 2010). Si bien en los últimos años se presentó un decrecimiento en dicho sector, aún representa un porcentaje significativo en el PIB con lo que se refleja aún su importancia en el país. Para el año 2016, la contribución del sector construcción al PIB aumentó en un 5.37%, 3.45%, 1.36% y 5.55% para los meses febrero, marzo, abril y mayo, respectivamente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016). La demanda creciente de proyectos ha expuesto la necesidad de los negocios de operar de forma más efectiva que sus competidores mientras sirven a los clientes que buscan productos de calidad y un buen servicio. Para ello, se han venido desarrollando prácticas de gestión que apoyen en el cumplimiento de sus objetivos a través de la medición y el control de su desempeño. Dentro de estas prácticas, los indicadores que proveen evidencia y validación de que se está generando valor para sus clientes han sido fuertemente requeridas y han ocupado un rol importante en la gestión de los proyectos de construcción (España, Tsao, & Hauser, 2012).

#### **3.2.1 EN LA INDUSTRIA DE LA MANUFACTURA**

Las primeras empresas en emplear los indicadores en las secciones de administración de sus compañías fueron las industrias de manufactura. Estas identificaron rápidamente que los indicadores permitían analizar sus características actuales; establecer vías para incrementar sustancialmente su productividad y; en consecuencia, aumentar la

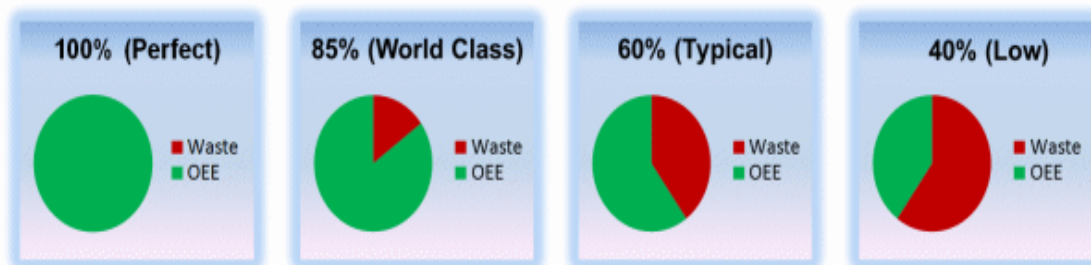
rentabilidad. En efecto, se logró determinar que las empresas que realizaban mediciones eran 3 veces más productivas que las que no la hacían (Miranda & Toirac, 2010).

Miranda menciona que a lo largo de la historia se establecieron tres formas básicas de organizar cómo era la producción. Estas eran la **producción artesanal**, la **producción en masa** y la **producción ajustada**. La primera fue definida por Taylor como una administración empírica y llevó el mismo ritmo hasta la primera Revolución Industrial. Según este autor, los empresarios y trabajadores tenían intereses antagónicos y, ante ello, se establecía que la forma de organizar el trabajo debía concebir una producción sistemática. En esencia, las labores se veían separados en dos aspectos: el lado manual y el lado intelectual. Tiempo después, la producción en masa fue acuñada como un sistema para reducir los costos e incrementar la calidad. La historia denominó a este procedimiento *Fordismo* ya que fue Ford quien lo introdujo para la creación de una gran cantidad de automóviles en corto plazo. Básicamente el éxito de este proceso se debió a una correcta subdivisión del trabajo y a la simplicidad de operaciones de ensamblaje de los automóviles. Con el avance de la tecnología y la globalización se hizo evidente la necesidad de flexibilizar la producción y mejorar las organizaciones de las empresas. Ante esto, se buscaba que los trabajadores vean los sistemas productivos de forma total y sean capaces de tomar decisiones a lo largo de los procesos de producción. Fue así que en Japón se desarrolló un nuevo enfoque para la producción que llevó como primer nombre *Just in Time* y luego *Lean Manufacturing*. En definitiva, esta nueva filosofía significaba cambiar la forma de pensar de todos los miembros de las organizaciones y la forma en que ellos realizaban las actividades. Por consiguiente, los individuos asumían mayor responsabilidad de su propio trabajo a lo largo de todos los procesos.

De esta forma, al observar el éxito de la industria japonesa, la filosofía *Lean Production* fue concebida por muchas manufacturas en sus planteamientos administrativos. Una de las premisas más importantes para este enfoque consistía en definir el valor desde la perspectiva del cliente para lo cual los esfuerzos se orientaban hacia la mejora continua y la reducción de pérdidas. Para el logro de los objetivos propuestos por *Lean Production* se desarrollaron varias herramientas que garantizaban el cumplimiento de las metas. Ante ello, el portal *LeanProduction.com* creó una lista de **25 herramientas LEAN** que se consideraban **esenciales**. Una de estas consistía en la implementación de indicadores, pues estos seguían el proceso hacia los objetivos fundamentales de una organización. Asimismo, dicho portal consideraba que el uso correcto de estos indicadores puede

convertirlos en motores **extremadamente poderosos** del control del comportamiento, por lo cual, su selección debía ser cuidadosa (Vorne Industries, 2013). En definitiva, estos indicadores tienen notables beneficios. Los **indicadores** revelan nuevas oportunidades para la mejora continua en un sistema de producción. Estas aumentan la transparencia y permiten rendir cuentas a todos los interesados en el proyecto. Consecuentemente, los equipos que conforman el sistema se vuelven más responsables y efectivos en el manejo y ejecución del trabajo para mejorar el desempeño del proyecto (España, Tsao, & Hauser, 2012).

Un indicador al cual se le da énfasis en LeanProduction.com es el indicador **OEE** cuyo significado es **Overall Equipment Effectiveness**. Este indicador busca identificar el porcentaje de producción planeado que es realmente producido. Un porcentaje ideal de 100% representa perfección, es decir, solo se generaron buenas piezas, lo más rápido posible y sin perder tiempo en su producción. Este indicador es usado, generalmente, como benchmarking para comparar el desempeño de la producción dado a estándares de la industria misma. Así, se definen 4 puntuaciones estándar. El 100%, como se mencionó anteriormente, indica perfecta producción. El 85% o “comportamiento de clase mundial” es visto como la conducta objetivo. El 60%, el cual es considerado como el comportamiento típico, indica necesidad de mejora. Y el 40% representa una puntuación baja que refleja, de manera urgente, la toma de acciones correctivas. En la **figura 3** se puede ver la distribución de dichas puntuaciones estándar.



**Figura 3.** Puntuaciones estándar – Benchmarking OEE  
FUENTE: < <http://www.leanproduction.com/oe.html>>

Para poder presentar la forma en que se calcula este indicador, es importante definir primero 5 conceptos:

- Buenas piezas: corresponde a aquellas que se han hecho sin ningún defecto.
- Ciclo ideal de tiempo: es el tiempo teórico más rápido para manufacturar una pieza.

- Tiempo de producción planeado: es el tiempo total que se ha planeado para la producción de una pieza.
- Tiempo de producción completo: corresponde a la producción solo de buenas piezas, lo más rápido posible y sin perder el tiempo.
- Tiempo de operación: se representa por la diferencia entre el tiempo de producción planeado y el tiempo de inactividad.

Luego, se limitan 3 categorías las cuales los desarrolladores determinan que miden un proceso: *disponibilidad*, *desempeño* y *calidad*. El primero corresponde al tiempo de inactividad. Este refiere a todos los eventos que paran la producción planeada en una cantidad de tiempo apreciable. Se calcula según la ecuación (3.2). El segundo corresponde a los factores que generan pérdidas de velocidad o producen que se opere menos que la velocidad máxima posible. Se obtiene según la ecuación (3.3). Finalmente, el tercero se refiere a la calidad perdida, qué piezas manufacturadas no cumplen con los estándares de calidad y cuáles requieren re-trabajos. Se calcula según la ecuación (3.4). La multiplicación de las ecuaciones correspondientes a cada categoría entrega la ecuación (3.5) que determina el **indicador clave de rendimiento OEE**.

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ de\ operación}{Tiempo\ de\ producción\ planeado} \quad (3.2)$$

$$Desempeño = \frac{Ciclo\ ideal\ de\ tiempo * piezas\ totales}{tiempo\ de\ operación} \quad (3.3)$$

$$Calidad = \frac{Buenas\ piezas}{Total\ de\ piezas} \quad (3.4)$$

$$OEE = \frac{Buenas\ piezas * ciclo\ ideal\ de\ tiempo}{tiempo\ de\ producción\ planeado} \quad (3.5)$$

Como se puede observar, este indicador busca medir la productividad. En efecto, las mediciones más comunes se orientan en cuantificar la eficiencia, la eficacia y la productividad en sus procesos. Esto se debe a que al incrementarla se logran mejores resultados considerando los recursos empleados para generarlos (Miranda & Toirac, 2010). La fórmula básica para su planteamiento es la siguiente:

$$Productividad = \frac{Producción}{Recursos} \quad (3.6)$$

De su análisis se puede determinar que si se mantiene la producción y se disminuyen los recursos o si se mantienen los insumos y aumenta la producción, en consecuencia, los resultados se traducirán en aumento de la productividad.

Entrando más a detalle existen dos procedimientos para medir la productividad. El primero (3.7) corresponde a la relación con el número de horas hombre trabajadas durante un periodo determinado. Este es usado muy comúnmente. Y, el segundo (3.8) se relaciona con el número de trabajadores ocupados.

$$Productividad\ HH = \frac{Producción}{Horas\ Hombre\ trabajadas} \quad (3.7)$$

$$Producción\ \#trabajador = \frac{Producción}{Número\ de\ trabajadores} \quad (3.8)$$

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, la importancia de medir la productividad radica en la posibilidad de conocer el rendimiento de los trabajadores ya que esto implica directamente en la rentabilidad de una empresa. Asimismo, en el interior de una compañía se facilitaría el conocimiento de su rendimiento en relación al conjunto de empresas de su misma industria (2010).

En el Manual Tecnológico de indicadores para la pequeña y mediana empresa PYME se presenta una lista de 9 indicadores de los cuales figuran los tres mencionados anteriormente (3.6), (3.7) y (3.8) (Comunidad Andina, 2007).

Dentro de los otros 6 indicadores, uno de los mencionados es la **Tasa de Apertura Exportadora** o **TAE** (3.9). Esta indica la participación de las exportaciones con relación

a la producción en una determinada actividad. En efecto, con este indicador se puede determinar la importancia de las exportaciones respecto del total. Su presentación es en porcentaje.

$$TAE = \frac{\text{Valor de producción}}{\text{Valor de exportaciones}} * 100 \quad (3.9)$$

Otro indicador presentado es el **Índice de Rentabilidad del Capital** o **IRC** (3.10). Este se encarga de determinar la rentabilidad que tiene la industria de acuerdo con la inversión en activos fijos. En otras palabras, este indicador permite cuantificar cuál es el monto de rentabilidad anual por cada dólar de inversión en activos fijos. La unidad con la que se trabaja es miles de dólares y la periodicidad de su evaluación es anual.

$$IRC = \frac{\text{Valor Agregado Anual}}{\text{Total de activos fijos}} \quad (3.10)$$

El **Costo Laboral Promedio Anual** o **CLPA** (3.11) se presenta también en esta lista ya que permite determinar el costo anual de la mano de obra (sueldos, salarios, beneficios y otras remuneraciones) por cada persona ocupada. La unidad empleada está expresada en miles de dólares.

$$\text{Costo Laboral Unitario} = \frac{\text{Remuneraciones totales anuales}}{\text{Número de Personas ocupadas remuneradas}} \quad (3.11)$$

Otro indicador presente en la lista mencionada es el **Coeficiente técnico** o **Ct** (3.12). Este tiene como objetivo medir el nivel de eficiencia con que se combinan los insumos en la producción que genera la empresa. Es decir, permite conocer el grado de rendimiento en la producción de los bienes de las empresas en relación con las materias primas empleadas. La unidad de medida es el porcentaje y se evalúa con una periodicidad anual.

$$Ct = \frac{\text{Consumo intermedio}}{\text{Producción Bruta}} \quad (3.12)$$

El **Índice de Densidad Industrial** o **IDI** (3.13) es el octavo indicador mencionado. Su función es medir el grado de concentración de industrias en un país.

$$IDI = \frac{\text{Número de establecimiento industriales}}{\text{Área total (km}^2\text{)}} * 1000 \quad (3.13)$$

El último indicador mencionado en el listado es la **Capacidad de Autofinanciamiento** o **CA** (3.14). Su objetivo es medir la utilidad generada por la producción y se interpreta como la retribución al riesgo empresarial derivado de la actividad productiva.

$$CA = \frac{\text{Excedente de explotación}}{\text{Valor bruto de la producción}} \quad (3.14)$$

Para concluir, se puede resaltar que son numerosos los indicadores que se han ido generando en la industria de la manufactura como medidas de control y cuantificación del rendimiento. Los beneficios han suscitado, como consecuencia, que industrias de otros sectores incursionen en su utilización. Este es el caso del sector constructor. Se define a continuación.

### 3.2.2 EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

La Guía PMBOK ha sido una de las primeras publicaciones que ha buscado presentar prácticas de gestión de proyectos. La primera edición fue publicada en 1990 y posteriormente se presentaron varias ediciones siendo la última publicada en 2013. Dentro de esta guía se ofrecen fundamentos útiles para el control de procesos. Uno de sus métodos que ha sido fuertemente usado en el sector construcción es el **Método de Valor Ganado - EVM**. El Project Management Institute (PMI) considera a este como un método objetivo para medir el desempeño dentro de tres perspectivas que abarcan el proyecto: alcance, tiempo y costo (2013). Entonces, el EVM busca dar información sobre el comportamiento de dichas variables. La gran ventaja de este método es que permite medir el *rendimiento* y el *avance* del proyecto de forma objetiva. El primero se obtiene comparando el costo presupuestado del trabajo realizado (*valor ganado*) con el costo real del trabajo (*costo real*) y el segundo se obtiene comparando el *valor ganado* con el *valor planificado*. Se definen, entonces, 4 conceptos importantes para poder usar el presente método.

- El Valor Planeado (PV) representa el costo del presupuesto para todas las tareas que fueron planeados en el momento de análisis
- El Valor Ganado (EV) representa la suma de todo el costo del presupuesto del trabajo realizado en el momento del análisis.
- El Costo Actual (AC) es el costo real del trabajo realizado en el momento del análisis.
- El presupuesto a la conclusión (BAC) corresponde al presupuesto original del proyecto. Se obtiene sumando todos los costos de las actividades.

Con estos 4 conceptos claros, la Guía PMBOK propone un conjunto de indicadores que permiten determinar y comunicar a los interesados del proyecto el estado del presupuesto y el desempeño en el tiempo. Estos indicadores son la Varianza del costo (CV), la Varianza del cronograma (SV), el Índice de desempeño del costo (CPI), el Índice de desempeño del cronograma (SPI) y la Estimación a la terminación (EAC). Las fórmulas correspondientes a cada una de ellas se muestran a continuación.

$$CV = EV - AC \quad (3.15)$$

$$SV = EV - PV \quad (3.16)$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (3.17)$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (3.18)$$



$$EAC = \frac{BAC}{CPI}$$

(3. 19)

Estos indicadores permiten responder las preguntas básicas en la dirección de proyectos. Estas son las siguientes: ¿se está atrasado en el programa?, ¿qué tan eficientes han sido utilizando el tiempo?, ¿cuándo esperan terminar el proyecto?, ¿se está en el presupuesto o desfasados?, ¿qué tan eficiente son al utilizar los recursos? y ¿cuánto costará al final el proyecto? (Alba, 2004). En la tabla 2 se muestra un resumen de cómo emplear estas métricas para la toma de decisiones en la gestión de proyectos.

**Tabla 2.** Indicadores utilizados en el Método de Valor Ganado propuesto por la Guía PMBOK  
FUENTE: <<https://whatisprojectmanagement.wordpress.com/2012/12/03/gestion-del-valor-ganado-ev/>>

<b>Variación de costo (CV)</b>	CV=EV-AC	CV<0	iMAL! Estamos por encima del presupuesto
		CV>0	iBIEN! Estamos por debajo del presupuesto
<b>Índice de desempeño del Presupuesto (CPI)</b>	CPI=EV/AC	CPI<1	iMAL! Ineficiencia en el uso de recursos
		CPI>1	iBIEN! Eficiencia en el uso de recursos
<b>Valor relativo CV</b>	CV%=CV/EV	Porcentaje que nos indica cuán excedidos o por debajo de la línea base del presupuesto estamos.	

<b>Variación de cronograma (SV)</b>	SV=EV-PV	SV<0	iMAL! Vamos con retraso respecto a la planificación
		SV>0	iBIEN! Vamos por delante con respecto a la planificación
<b>Índice de desempeño del Cronograma (SPI)</b>	SPI=EV/PV	SPI<1	iMAL! Ineficiencia en el uso del tiempo
		SPI>1	iBIEN! Eficiencia en el uso del tiempo
<b>Valor relativo SV</b>	SV%=SV/PV	Porcentaje que nos indica cuánto atraso o adelanto llevamos con respecto al cronograma planeado.	

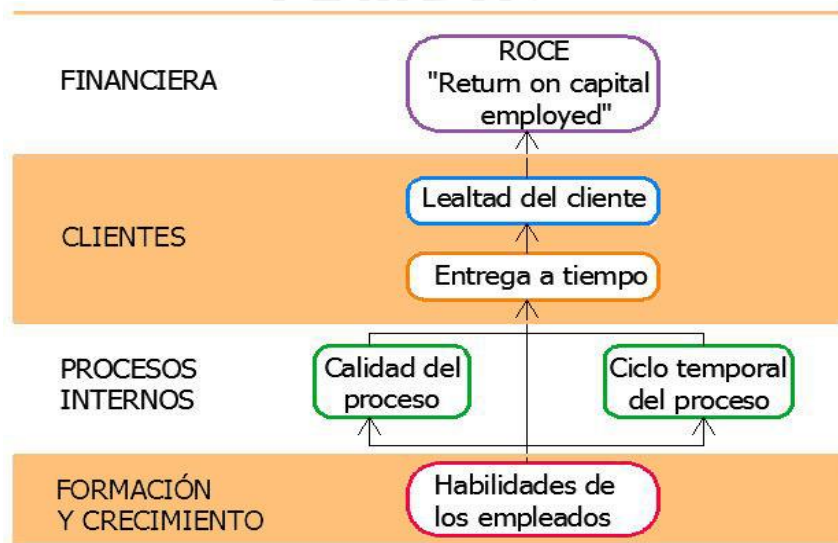
No obstante, el uso de estos indicadores ha sido criticado por diversos autores. España considera que los indicadores con base en el valor ganado se han quedado puesto que solo comparan los datos de la varianza con el calendario histórico, costo y calidad. Según este autor, estos indicadores dan “evidencia” pero no son verdaderos indicadores de desempeño (España, Tsao, & Hauser, 2012). De la misma forma, Kim y Ballard presentaron una crítica frontal al Método de Valor Ganado (2000). Estos autores realizaron una investigación sobre las debilidades de este método el cual se consideraba como la **técnica de control** de proyectos más avanzada para la integración de cronograma y costo. La debilidad más resaltante, de acuerdo a estos autores, es que

este método podría ser considerado como un enemigo del flujo de trabajo. Como se sabe, *Lean Construction Institute* define *work flow* o flujo de trabajo como el movimiento de información y materiales a través de la red de unidades de producción los cuales darán resultados posteriormente. Para ello citaron a Ballard y Howell quienes propusieron que el flujo de trabajo podía ser mejorado sobre la base de 5 asignaciones de calidad que protegerían la producción de la incertidumbre dentro del flujo de trabajo. Estos eran **definición, solvencia, secuencia, tamaño y aprendizaje**. Ante esto, Kim y Ballard mencionaron que si el presupuesto y el costo eran los criterios principales para las tomas de decisiones al momento de definir las asignaciones de trabajo –en lugar de emplear los 5 criterios mencionados anteriormente- el flujo de trabajo se volvería desconfiable. Esto sucede ya que los administradores podrían manipular el costo del trabajo realizado para obtener mejores resultados en la varianza del cronograma (SV). Ante ello, los autores mencionaron un ejemplo ilustrativo en un proyecto de una planta de cemento en Arabia Saudita. Durante la preparación del terreno, el contratista decidió procrastinar las actividades de recorte de pendiente y nivelación ya que estas no eran beneficiosas para el valor ganado y, consecuentemente, para el flujo de fondos. Debido a ello, el cliente encargado de la siguiente actividad no podía comenzar, lo cual interrumpió intempestivamente el flujo de trabajo.

Como se puede evidenciar, hay un fuerte interés en controlar la perspectiva financiera que aborda una compañía. Ciertamente, esta es de manera usual, *únicamente* controlada para evaluar el progreso de un proyecto. Sin embargo, los indicadores financieros no son suficientes para el control de un proyecto. Ali cita a Bassioni y menciona que la insatisfacción del uso de estos indicadores comenzó, inclusive, en 1950 y tuvo mayor preocupación en 1970. Básicamente, esto se debe a que estos indicadores son del tipo “*lagging*”, es decir, dan resultados de acciones gerenciales ya tomadas. No obstante, la información necesaria por los gerentes para la toma de decisiones recae en aquella que esté actualizada y, en su mayoría, que no sean financieras (2013).

El Balanced ScoreCard fue uno de los primeros intentos en utilizar tanto perspectivas financieras como no financieras. Este “control de mando” fue creado por Kaplan y Norton en 1992 en Harvard University como un concepto que busca alinear la estrategia de una empresa hacia un conjunto coherente de indicadores ordenados en 4 perspectivas. Estas son las siguientes: perspectiva **financiera**, perspectiva del **cliente**, perspectiva **procesos internos** y perspectiva **formación y crecimiento**. Se considera que para

garantizar su éxito es necesario definir un equilibrio entre indicadores de resultado y de proceso. Asimismo, el número máximo de indicadores por cada perspectiva sería de 7, ya que si se supera este valor, podría saturarse de información. Una de las acotaciones más importante de los creadores es que hay una fuerte relación secuencial entre cada perspectiva. En otras palabras, surge una relación causa-efecto entre cada una. Una sólida formación y adecuado crecimiento de los empleados lleva a procesos internos de calidad y al cumplimiento del cronograma lo cual garantizará la lealtad del cliente y, finalmente, se traducirá en resultados financieros de acuerdo a los objetivos de la empresa (Concepto de Balanced ScoreCard, s.f.). En la **figura 4** se puede ver la relación causa-efecto que propusieron los autores de esta herramienta.

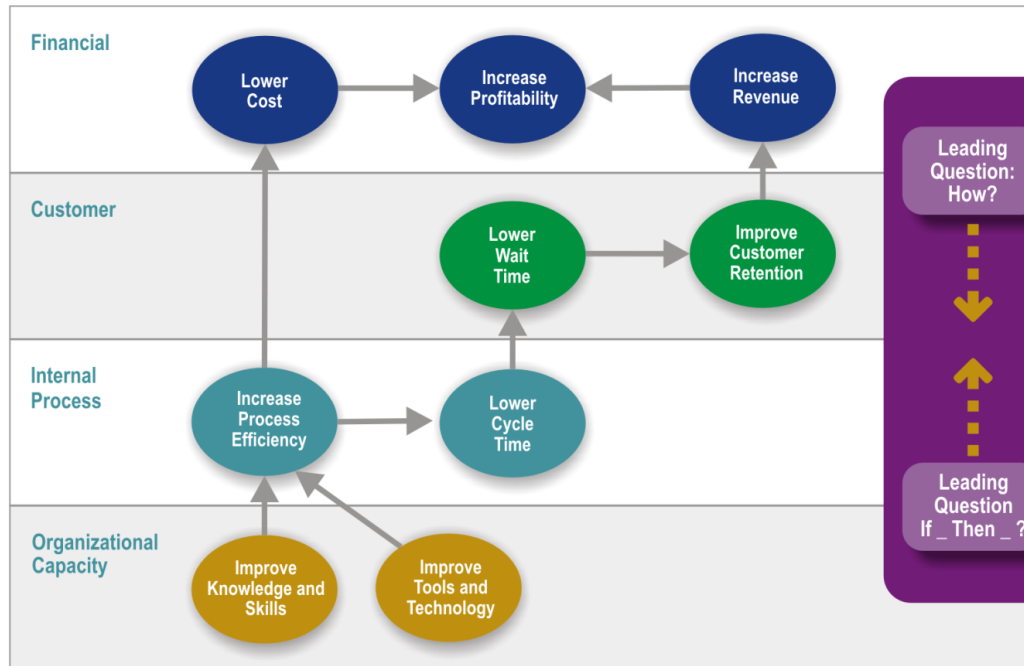


**Figura 4.** Esquema creado por Kaplan y Norton para demostrar la relación causa-efecto de sus cuatros perspectivas

FUENTE: <<http://www.infoviews.com.mx/Bitam/ScoreCard/>>

Álvarez en el artículo *The Balanced ScoreCard, una herramienta para la planeación estratégica* menciona que este instrumento de gestión empresarial permite adaptarse a los cambios frecuentes de la dirección estratégica producto del entorno competitivo. Empero no es el único beneficio registrado. También se menciona que permite alinear a los empleados hacia la visión de la empresa, mejora la comunicación de los objetivos y su cumplimiento hacia todo el personal, redefine la estrategia base a los resultados, traduce la visión y la estrategia en acción, orienta hacia la creación de valor, integra la información de diversas áreas del negocio y mejora la capacidad de análisis y toma de decisiones (2010).

Para lograr estos beneficios lo primero que se debe hacer es definir la estrategia de la empresa a través de un Mapa Estratégico. La finalidad, más específicamente, es determinar los objetivos que se pretenden y los indicadores de cada perspectiva que colaborarán con el cumplimiento de dichos objetivos. De la revisión de la literatura, algunos posibles indicadores fueron registrados para cada perspectiva (BalancedScoreCard.org, s.f.). Por ejemplo, para **formación y crecimiento**, los indicadores fueron presentados en *tres grupos*. En el primer grupo “Gestión de los empleados” se pretende establecer indicadores de satisfacción del personal e indicadores de necesidad de formación. En el segundo grupo “Sistemas de información” se requieren indicadores sobre las bases estratégicas de datos y las patentes. Y, en el tercer grupo “Cultura clima-motivación” se solicitan indicadores que midan la iniciativa de las personas y equipos, la capacidad para trabajar en equipo y el alineamiento con la empresa. Para la perspectiva de **los procesos internos** se identificaron *cuatro grupos*. El primero corresponde a los procesos operacionales en donde los indicadores deben controlar el costo, calidad, tiempo y flexibilidad. El segundo se limita a la gestión de los clientes para lo cual los indicadores se referirán a la selección de clientes, captación de estos, su retención y el crecimiento de los mismos. El tercero se enfoca en los procesos de innovación en donde los indicadores buscarán controlar, por ejemplo, el porcentaje de productos nuevos introducidos al mercado en comparación a la competencia. Y el cuarto consiste en los procesos relacionados con el medio ambiente y la comunidad en donde los indicadores se enfocarán en la gestión ambiental, la seguridad e higiene y la responsabilidad social y corporativa. Para la perspectiva de **los clientes** se definen indicadores principalmente sobre la satisfacción de los mismos. Y, para la perspectiva **financiera**, se establecen indicadores como los indicadores de liquidez, endeudamiento y rendimiento del capital invertido. Todos estos indicadores deben ser definidos durante la realización del mapa estratégico. En la **figura 5** se muestra un ejemplo de este mapa propuesto en *The Institute Way: Simplified Strategic Planning & Management with the Balanced Scorecard* (BalancedScoreCard.org, s.f.).



**Figura 5.** Ejemplo del mapa estratégico propuesto en The Institute Way: Simplified Strategic Planning & Management with the Balanced Scorecard.  
FUENTE: <<http://balancedscorecard.org/Resources/About-the-Balanced-Scorecard>>

El interés por el uso de indicadores en estrategias administrativas, así como las presentadas en el Balanced ScoreCard, se hizo evidente también en otros países. Por ejemplo, en Arabia Saudita se buscó identificar, en primer lugar, el set de indicadores más relevantes que caracterizaba el sector constructor. Esto debido a que buscaron partir de un grupo de indicadores pequeño pero representativo y generar un sistema nacional de comparación. De esta manera, se lograría mejorar el desempeño de las empresas de construcción en el reino de Arabia Saudita.

Así, la Universidad del Rey Saud realizó una revisión de la literatura sobre los indicadores más usados en diferentes partes del mundo. Con ello determinaron que algunos institutos, como Construction Industry Institute (CII); The Department of Environment, Transport and the Regions (DETR); The Department of Trade and Industry (DTI) y La Corporación para el Desarrollo Técnico en Chile han desarrollado indicadores que son, de cierta forma, adecuados para sus propias características nacionales (Ali, Al-Sulaihi, & Al-Gahtani, 2013). Como parte de este proyecto de investigación, se presenta a continuación el listado de indicadores recogidos por dichos autores a nivel proyecto y a nivel compañía en las **tablas 3 y 4**. Cabe resaltar que estos fueron agrupados en 5

perspectivas: **financiera, cliente, procesos de negocios internos, aprendizaje – crecimiento y medio ambiente.**

**Tabla 3.** Listado de indicadores a nivel proyecto recogidos por Ali (2013)

N°	Autor y año	País	Indicador	
1	(Jastaniah, 1997)	Arabia Saudita	1. Satisfacción del cliente 2. Periodo de planificación 3. Experiencia del staff 4. Comunicación 5. Seguridad	6. Cercanía a los presupuestado 7. Rentabilidad 8. Recompensas 9. Reclamos
2	(Egan, 1998)	UK	1. Predictibilidad - tiempo, costo 2. Costo de Construcción 3. Tiempo de Construcción 4. Productividad	5. Rentabilidad 6. Seguridad 7. Defectos 8. Satisfacción del cliente
3	(Department of the Environment, Transport and Regions, 2000)	UK	1. Tiempo 2. Costo 3. Calidad 4. Satisfacción del cliente	5. Cambios del cliente 6. Rendimiento del negocio 7. Salud y seguridad
4	(Pillai, Joshi, & Rao, 2002)	India	1. Beneficio 2. Riesgo 3. Estado del proyecto 4. Efectividad de las decisiones 5. Producción	6. Efectividad del costo 7. Compromiso del cliente 8. Stakeholders 9. Gestión del proyecto
5	(Cheung, Suen, & Cheung, 2004)	UK	1. Gente 2. Costo 3. Tiempo 4. Calidad	5. Seguridad 6. Satisfacción del cliente 7. Comunicación 8. Medio ambiente
6	(Wong, 2004)	UK	1. Experiencia del Staff 2. Recursos 3. Gestión del lugar 4. Seguridad	5. Experiencia del contratista 6. Tiempo 7. Costo 8. Calidad
7	(Constructing Excellence, 2013) y (Roberts & Latorre, 2009)	UK	1. Satisfacción del cliente 2. Defectos 3. Predictibilidad costo, tiempo 4. Costo, tiempo de la construcción 5. Varianza del costo y el tiempo 6. Satisfacción del contratista	7. Rentabilidad 8. Productividad 9. Seguridad 10. Indicadores sociales 11. Medio ambiente
8		Canadá	1. Costo 2. Tiempo	5. Alcance 6. Innovación

	(Rankin, Fayek, Meade, Haas, & Manseau, 2008)		3.Calidad 4.Seguridad	7.Sostenibilidad 8.Satisfacción del cliente
9	(Kim & Huynh, 2008)	Vietnam	1.Costo de Construcción 2.Tiempo de Construcción 3.Satisfacción del cliente 4.Administración de calidad	5.Rendimiento del equipo 6.Administración de cambios 7.Administración del material 8.Seguridad
10	(Skibniewski & Ghosh, 2009)	USA	1.Costo de Construcción 2.Tiempo de Construcción 3.Predictibilidad  costo, tiempo	4.Defectos 5.Satisfacción del cliente con el producto
11	(Toor & Ogunlana, 2010)	Thailand	1. Puntualidad 2.Bajo el presupuesto 3.Especificaciones realizadas 4.Eficiencia 5.Efectividad	6.Seguridad 7.Defectos 8.Stakeholders 9.Disputas
12	(CII Construction Industry Institute, 2011)	USA	1.Costo 2.Cronograma 3.Cambios	4.Accidentes 5.Retrajo 6.Productividad

**Tabla 4.** Listado de indicadores a nivel compañía recogidos por Ali (2013)

Nº	Autor y año	País	Indicador	
1	(Department of the Environment, Transport and Regions, 2000)	UK	1. Rentabilidad 2.Productividad 3.Retorno de la capital empleada	4.Retorno del valor agregado 5.Intereses cubiertos 6.Ratio del valor agregado 7.Negocios repetidos
2	(Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), 2002)	UK	1.Satisfacción del cliente 2.Gente 3.Medio Ambiente	
3	(El-Mashaleh, 2003) y (El-Mashaleh, Minchin, & O'Brien, 2007)	USA	1. Rendimiento del cronograma 2.Costo del desempeño 3.Satisfacción del cliente	4.Seguridad 5.Rentabilidad
4	(Ramírez, Alarcón, & Knights, 2004) y (Alarcon, Grillo, Freire, & Diethelm, 2001)	Chile	1.Seguridad 2.Productividad 3.Calidad 4.Eficiencia del labor 5.Retrajo	6.Entrenamiento 7.Efectividad de la planificación 8. Variación del costo 9.Variación del cronograma
5	(Yu, Kim, Jung, & Chin, 2007)	Korea	1.Rentabilidad 2.Crecimiento 3.Estabilidad	6.Desarrollo 7.Capacidad tecnológica 8.Eficiencia de negocio

			4.Satisfacción del cliente 5.Cuota del mercado	9.Informatización 10.Competencia de la organización
6	(Nudurupati, Arshad, & Turner, 2007)	UK	1.Calidad 2.Satisfacción del cliente 3.Satisfacción del empleado 4.Impacto en el medio ambiente	5.Seguridad 6.Tiempo 7.Costo
7	(Wang, El Gafy, & Zha, 2010)	USA	1.Rentabilidad 2.Retorno de capital 3.Flujo de caja 4.Confiabilidad 5.Enfoque en el cliente	6.Abrise en el mercado 7.Calidad 8.Negocio interno 9.Innovación y aprendizaje 10.Medio ambiente
8	(Horta, Camanho, & Costa, 2010)	Portugal	1.Productividad 2.Rentabilidad 3.Crecimiento	4.Seguridad 5.Satisfacción del cliente 6.Predictabilidad

Como se ha demostrado, los indicadores clave han sido extensivamente usados a nivel mundial y han formado parte de diversas estrategias que buscan mejorar el desempeño de las compañías en el mercado industrial. Entonces, se pueden encontrar muchísimos indicadores en la literatura y cada uno de ellos puede medir diferentes aspectos en un proyecto.

Ya con el estado actual presentado, a continuación se desarrollará el cuarto capítulo de esta tesis en donde se buscará proponer un tablero de control con indicadores clave que buscarán determinar el estado de un proyecto de construcción.



#### **IV. CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE INDICADORES CLAVE PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS**

En este cuarto capítulo el enfoque se dirigirá a la generación del indicador de resultado global por fase según la metodología presentada anteriormente. En la primera parte, se tomará la lista de indicadores obtenida sobre la base de la literatura, y se buscará agrupar cada indicador según el tipo al que pertenezcan. En este caso se trabajará con 2 tipos: de resultado y de proceso. En la segunda parte se generará un tablero de control biaxial en donde se discutirán las posibles clasificaciones para cada eje. En la tercera parte, ya con el tablero de control, se asignarán indicadores a cada celda según la fase y perspectiva a la que pertenezcan. Estos se validarán según un grupo de criterios. Y, en la cuarta etapa se procederá a generar el indicador de resultado global para cada fase.

##### **4.1 INDICADORES DE RESULTADO Y DE PROCESO**

Partiendo de la investigación realizada por Ali et al. (2013) y nuevas investigaciones, se obtuvo una recopilación de indicadores los cuales se presentan en el **Anexo I – Glosario de indicadores**. Esta lista será el punto de partida. Lo primero que se realizará será ordenar los indicadores y luego serán agrupados según el tipo de indicador al que pertenezcan. Esta agrupación servirá como base para la presentación de los indicadores clave para la construcción de edificios.

Controlar este tipo de proyectos puede significar todo un reto. Algunos investigadores coinciden que los proyectos de construcción son negocios complejos e impredecibles (Esa, Alias, & Samad, 2014). A pesar del desafío que pueda representar, estos deben ser juzgados o monitoreados de alguna forma. En efecto, los indicadores han sido durante años las herramientas empleadas para cumplir esta labor. Sin embargo, erróneamente han sido usados para medir el final o cuando ya todo está consumado. El progreso de un proyecto no sólo debe ser medido cuando el producto está terminado, sino, también se debe controlar cada paso que se da lo cual garantizaría el cumplimiento de los resultados. Es por ello que es importante diferenciar entre 2 tipos de indicadores: del tipo resultado y del tipo proceso.

##### **4.1.1 INDICADORES DE RESULTADO**

Los indicadores de resultado son los que buscan evaluar el cumplimiento de los objetivos o el logro de todo aquello que se propuso al comienzo. Se dividen en resultados internos –en relación al término de una fase- y en resultados finales –en relación al término de

todo el proyecto. Debido a que evalúan el desempeño al final, los indicadores de resultado –también conocidos como lagging indicators- son usados usualmente para caracterizar el desempeño histórico (ICMI, 2009). Asimismo, son considerados como indicadores fáciles de medir, pero difíciles de mejorar ya que reflejan la situación final o post-mortem (Van der Poel, 2012). Están siempre asociados a una meta.

Ejemplos de este tipo de indicadores son la satisfacción del cliente final, el número de accidentes reportados al término del proyecto y la conformidad con el costo presupuestado y el plazo objetivo.

#### **4.1.2 INDICADORES DE PROCESO**

Por otro lado, los indicadores de proceso –conocidos también como leading indicators- se enfocan en las actividades realizadas para la obtención del producto final. Este seguimiento es garantía de que se cumplirá lo aspirado. Por ello, a la larga, se considera que los leading indicators son directrices de los resultados o lagging indicators (ICMI, 2009) Por tanto, son considerados los indicadores más importantes al momento de evaluar el progreso de un proyecto. Algunos autores incluso los denominan los impulsores del negocio y enfatizan que identificar ese tipo de indicadores debe ser parte de las estrategias de planificación del negocio. Lannon, por ejemplo, menciona que los indicadores de proceso predicen tendencias. Un aumento en los pedidos de un negocio implicaría aumento de productividad, una disminución de la demanda de recursos naturales indicaría ralentizar el trabajo y cambios en los permisos de construcción pueden afectar el mercado de vivienda (2014). A diferencia de los indicadores de resultado, estos son difíciles de medir y su construcción es un desafío (Galeon, s.f.). Sin embargo, facilitan la corrección en el camino antes de obtener el producto final.

Ejemplos de este tipo de indicadores son la cantidad de re-trabajos, la efectividad de las reuniones y la latencia en las decisiones (Kunz & Fischer, 2012).

#### **4.1.3 AGRUPACIÓN DE LOS INDICADORES SEGÚN EL TIPO**

Un ejemplo que permitiría comprender mejor la diferencia entre ambos tipos de indicadores es el mencionado por Van der Poel (2012). Una típica meta personal es perder peso. El peso sería, entonces, el indicador de resultado. Al término de un periodo bastaría con subir a una balanza y obtener el peso final. Con este valor se podría

determinar si, en efecto, se ha alcanzado la meta. Por otro lado, los indicadores de proceso serían 2: las calorías ingeridas y las calorías quemadas. Medir estos indicadores puede ser complicado, pues se necesitaría conocer la cantidad de calorías de todas las comidas que se ingieren y la cantidad de calorías quemadas durante el día. De poder controlarse, sería fácil predecir si al término de un periodo efectivamente se ha bajado de peso.

Entonces, se afirma que los indicadores de proceso tienen gran importancia al momento de evaluar el progreso de los proyectos. Sin embargo, para poder llegar a la formulación de estos es necesario partir de la formulación de indicadores de resultado, como se pudo comprender en el ejemplo mencionado. Por tanto, la primera propuesta de esta tesis consistirá en presentar un tablero de control con indicadores de resultado. Posteriormente, ya en un siguiente trabajo de investigación se tomará como punto de partida el tablero con indicadores de resultado y servirán para la formulación de los indicadores de proceso.

Para obtener este primer tablero, lo primero que se realizará será reducir la lista presentada en el **Anexo I** a un grupo de indicadores que no se repitan entre ellos para posteriormente agruparlos según el tipo al que pertenecen. Esta información servirá como base para la presentación de los indicadores en el tablero de control.

En la **tabla 5** se presenta la lista resumida para los indicadores de resultado y en la **tabla 6** la lista correspondiente a los indicadores de proceso. Estas listas resumidas se obtuvieron del **Anexo I** y se buscó evitar que los indicadores se repitan entre ellos. Para un mejor entendimiento, se pueden presentar los siguientes ejemplos. En el caso de los indicadores de resultado; dentro de desempeño financiero se pueden encontrar la rentabilidad financiera, la rentabilidad económica, el valor económico agregado, entre otros; de igual forma, en la satisfacción del cliente se pueden encontrar la satisfacción del cliente interno como la del cliente externo debido al producto o debido al servicio. Por otro lado, para los indicadores de proceso; en planificación se encontrarían la efectividad de la planificación, el porcentaje de planificación utilizando modelos en 4D, etc. y en la fuerza de trabajo se pueden encontrar el ratio de capacitaciones, la motivación a los trabajadores, el ausentismo de la mano de obra, entre otros.

**Tabla 5.** Lista resumida de indicadores de resultado

INDICADORES DE RESULTADO	
1	Satisfacción del cliente
2	Seguridad
3	Reclamos
4	Costo de construcción
5	Tiempo de construcción
6	Desempeño financiero
7	Medio ambiente
8	Sociedad
9	Materiales
10	Satisfacción de los involucrados
11	Cumplimiento de especificaciones
12	Cambios de alcance

**Tabla 6.** Lista resumida de indicadores de proceso

INDICADORES DE PROCESO			
1	Planificación	14	Sub-contratos (experiencia, ratio)
2	Experiencia del staff de profesionales	15	Innovación
3	Comunicación	16	Rendimiento del equipo
4	Recompensas	17	Cambios de los procesos
5	Disputas	18	Re-trabajos
6	Capacitaciones	19	Integración de los involucrados
7	Productividad	20	Eficiencia del uso de los recursos
8	Defectos	21	Mano de obra
9	Control del riesgo	22	Administración de la calidad
10	Efectividad de las decisiones	23	Equipos y maquinarias
11	Compromiso del cliente	24	Proveedores
12	Gente (opiniones)	25	Administración de la compañía
13	Gestión en el lugar (contratistas, materiales)	26	Administración de los materiales en el lugar

Una vez clasificados los indicadores según el tipo, el siguiente paso es proponer un tablero de control de indicadores de resultado.

## 4.2 PROPUESTA DEL TABLERO DE CONTROL

Para poder generar el *tablero de control* es necesario primero identificar la clasificación que se considere más conveniente para los indicadores.

Un ejemplo de clasificación es el presentado en el Balanced ScoreCard. Este “control de mando”, creado en 1992 por Kaplan y Norton, fue clasificado en 4 perspectivas con el fin de ordenar de forma coherente un conjunto de indicadores. Estas son perspectiva **financiera**, perspectiva del **cliente**, perspectiva de los **procesos internos** y perspectiva de **formación y crecimiento** (Concepto de Balanced ScoreCard, s.f.). De igual forma, ya en el año 2009, los investigadores del Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) generaron un tablero denominado VDC ScoreCard el cual estaba dividido en 4 áreas de evaluación: **planificación**, **adopción**, **tecnología** y **desempeño** (Kam, Senaratna, Xiao, & McKinney, 2013). Cada propuesta de indicadores va acompañada de una taxonomía que permita ordenar los indicadores. En este caso, al tratarse de un tablero biaxial, se discutirá la clasificación que comprenderá tanto la estructura horizontal como la estructura vertical.

### 4.2.1 ESTRUCTURA HORIZONTAL

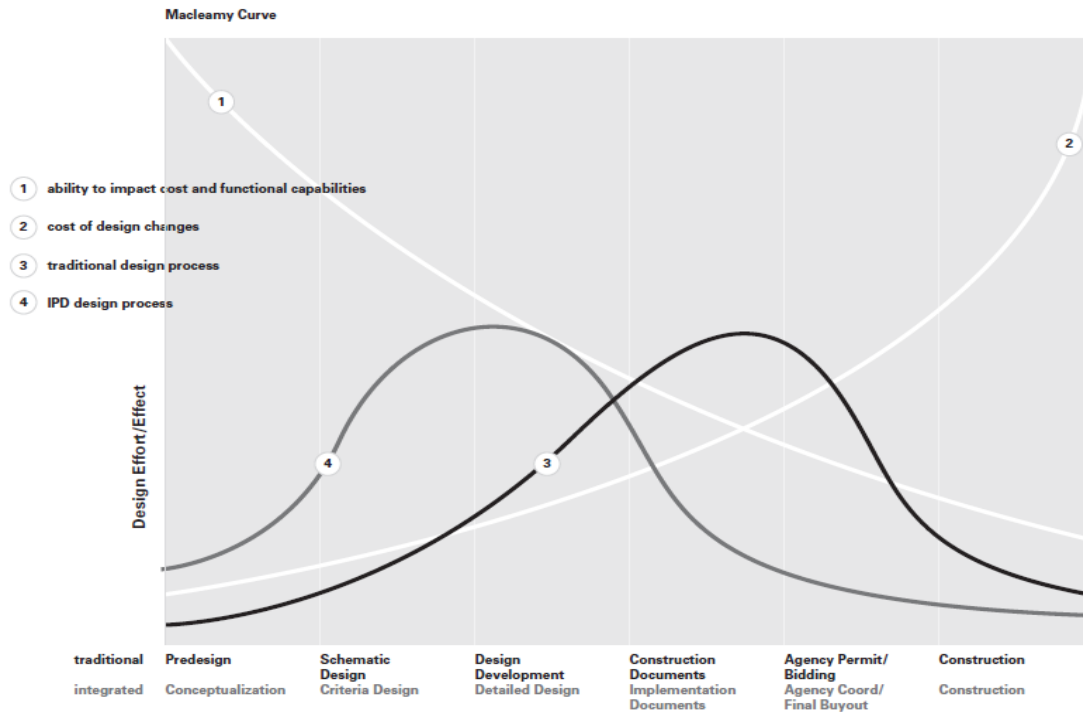
Debido a que se desea desarrollar indicadores en una forma integral se ha considerado para la estructura horizontal clasificaciones según **las fases del ciclo de vida**. Cabe resaltar que las propuestas analizadas deben estar orientados a proyectos de construcción ya que la fase diseño, la fase construcción y también la fase uso de una edificación tienen particularidades que lo distinguen de los productos obtenidos en otros sectores. Las propuestas más relevantes son las siguientes: Integrated Project Delivery por el American Institute of Architects, Construction life cycle por la Association of Project Management in England, Lifespan propuesto por el investigador Max Wideman y Lean Project Delivery System por el Lean Construction Institute.

- **INTEGRATED PROJECT DELIVERY – AIA:**

El Instituto Americano de Arquitectos o AIA establece que es necesario un cambio en las fases del ciclo de vida de los proyectos de construcción (2007). Por ello propone pasar de un *proyecto tradicional* a un proyecto al cual denominan *proyecto integrado*.

El ciclo de vida de un proyecto de este tipo comprende 8 fases: **Conceptualización**, **Criterio de diseño**, **Diseño detallado**, **Implementación de documentos**,

**Coordinación con las Agencias, Adquisición definitiva, Construcción y Cierre.** La comparación entre las fases de un proyecto tradicional y un proyecto integrado se pueden ver en la **figura 6**.



**Figura 6.** Curva MacLemy: se compara la definición de fases según el esquema tradicional con el esquema integrado

FUENTE: “Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation” (Roundtable C.U., 2004)

i. **Conceptualización:** La conceptualización comienza cuando se determina qué es lo que se va a construir, para quién se va a construir y cómo se va a construir.

En esta fase las metas de desempeño son establecidas, los costos en la estructura son detallados tempranamente y con mayor detalle que un proyecto tradicional, se presenta un cronograma primario y se establecen cuáles serán las metodologías de comunicación y tecnologías que serán claves para el desarrollo del proyecto.

Los principales responsables son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultores del diseño, el constructor principal, contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones (municipalidad).

ii. **Criterio de diseño:** En esta fase el proyecto comienza a tomar forma. Más opciones son evaluadas, probadas y seleccionadas.

Es determinante que para el término de esta fase aspectos como el alcance, la forma (relaciones espaciales), los sistemas de diseño (estructuras, control de ventilación y calefacción, etc.), el costo estimado y el cronograma (aproximación apropiada) estén finalizados de tal forma que se pueda pasar a la siguiente fase.

Los involucrados en esta fase son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultores de diseño, el constructor principal, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.

iii. **Diseño detallado:** Con esta fase se concluye la descripción del proyecto. Durante su duración, todos los análisis de las decisiones clave del diseño son terminados. En comparación con el ciclo de vida tradicional, en esta fase se va pensando cómo sería la fase construcción y no se espera a tomar decisiones hasta su ejecución. En efecto, esta fase es muy importante y requiere mayor esfuerzo.

Los objetivos para esta etapa son que el edificio esté por completo definido, coordinado y validado; las especificaciones deben estar terminadas y el presupuesto y el cronograma del proyecto ya deben estar establecidos con un nivel de precisión alto.

Los responsables que se pueden encontrar en esta fase son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultores de diseño, el constructor principal, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.

iv. **Implementación de documentos:** Esta fase, la cual también es conocida como Documentos de construcción, se esfuerza en determinar cómo se implementará o se ejecutará la fase construcción. El objetivo principal no es cambiar lo establecido en fases anteriores, pues se sobreentiende que todas las restricciones o inconvenientes han sido ya discutidos y resueltos. Por el contrario, lo que se precisa en esta fase es simplemente determinar cómo se llevará a la realidad el diseño.

En esta etapa se obtienen los planos y se generan los documentos que serán utilizados para los propósitos financieros y regulatorios.

Los involucrados son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultores de diseño, el constructor principal, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.

v. **Coordinación con las agencias:** En esta fase se propone usar las tecnologías que desarrolla la filosofía Building Information Models (BIM), pues en conjunto con la validación de las organizaciones reducirían el proceso final de permiso.

El uso de BIM permite que se obtenga información de manera fácil y rápida de las bases de datos generadas por el modelo, lo cual favorece a que la aceptación del proyecto sea más rápido.

El objetivo de esta fase es obtener todas las aprobaciones y permisos necesarios.

Los involucrados del proyecto en esta fase son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultares del diseño, el constructor principal, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.

vi. **Adquisición definitiva:** AIA establece que es en esta etapa donde se genera el acercamiento con los contratistas comerciales y vendedores sobre la base de la cantidad de materiales ya determinada en fases anteriores. Por tanto, el objetivo de esta fase es la obtención de los materiales y equipos necesitados para completar el proyecto.

Los responsables de esta fase son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultares del diseño, el constructor principal, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.

vii. **Construcción:** AIA detalla que en esta fase se aprovechan los beneficios de trabajar con un proyecto integrado pues todo ya ha sido discutido y resuelto anteriormente. En esencia, la fase diseño y la fase documentación de la construcción ya han sido terminadas definitivamente. Como meta final se obtiene ya el proyecto terminado y de una forma más efectiva que si se adoptara la perspectiva tradicional.

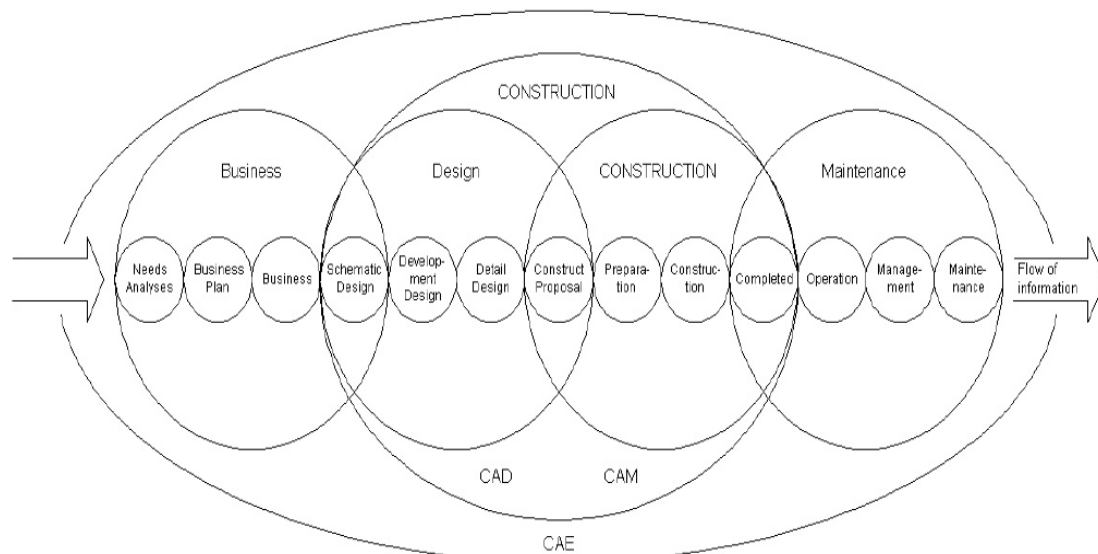
Los interesados en esta fase son el propietario, el coordinador del proyecto integrado, el diseñador principal, los consultores de diseño, el constructor principal, coordinador de las pruebas o ensayos al proyecto, los contratistas comerciales, los proveedores y las organizaciones.



viii. **Cierre:** Esta fase implica la culminación del proyecto. Si se identifica en el edificio sanciones o reclamos, el cierre incluye el cálculo de los deductivos.

- **CONSTRUCTION LIFE CYCLE – APM:**

Para la Association of Project Management (APM) en Inglaterra, todo proyecto de construcción se compone de 4 fases, 2 de las cuales se engloban en la construcción (Navarro Sánchez, 2010). Las fases son: Negocio, Diseño, Construcción y Mantenimiento. En la **figura 7** se puede observar la relación entre cada etapa propuesta por el APM y cómo el flujo de información atraviesa cada una.



**Figura 7.** Correlación entre las fases propuestas por la Association of Project Management in England (APM)

Fuente: Imagen extraída de la tesis "Creación de un Balanced ScoreCard para la dirección integrada de proyectos de construcción" (Navarro Sánchez, 2010)

i. **Fase Negocio:** Esta fase está definida por 4 módulos, de los cuales 1 se interrelaciona con la fase Diseño. Estos módulos son **análisis de las necesidades, plan de negocios, negocios y diseño esquemático**.

ii. **Fase Diseño:** La fase Diseño comienza con el último módulo de la fase negocio. Una vez ya definido el **diseño esquemático**, se busca **desarrollar el diseño**, obtener los **detalles del mismo** y proyectarse a la siguiente fase para lo cual se presenta una

**propuesta de construcción** que consiste en determinar los metrados, el presupuesto y todo lo necesario para la siguiente etapa.

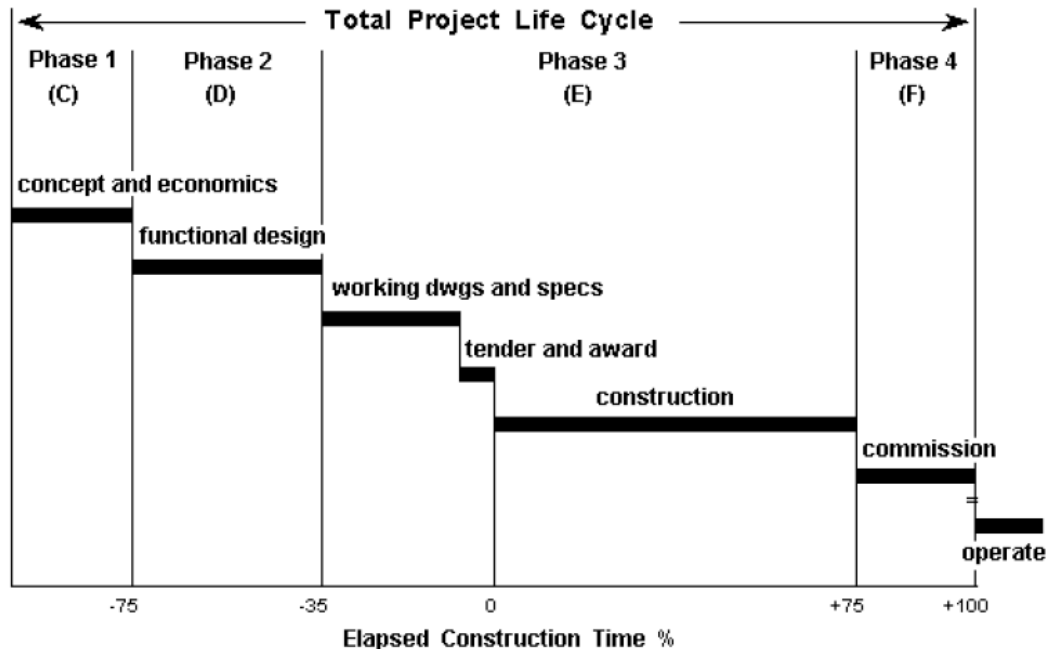
iii. **Fase Construcción:** La tercera fase comienza con la **propuesta de construcción** obtenida al término de la fase diseño. Se consigue todo lo necesario para comenzar con la obra. En otras palabras, se consiguen los materiales, los equipos, la mano de obra y todo aquello que ya fue definido al término de la fase diseño. A este módulo APM lo denomina **preparación**. El siguiente paso es **construir** el proyecto hasta su término. Una vez **terminado** se informan las observaciones sobre el producto para su levantamiento. Este es el traslape con la siguiente fase.

APM engloba estas dos últimas fases presentadas en una y la llama Construcción. Asimismo, menciona que estas deben ser desarrolladas bajo CAD –diseño asistido por ordenador- y CAM –fabricación asistida por ordenador-.

iv. **Fase Mantenimiento:** La última fase comienza con el producto **terminado** el cual proviene de la fase anterior. Los siguientes módulos son **operación, gestión y mantenimiento**. APM engloba todas las fases mencionadas y propone que sean desarrolladas bajo CAE – Ingeniería asistida por ordenador.

- **LIFESPAN – MAX WIDEMAN:**

El investigador Max Wideman propuso un ciclo de vida para la construcción sobre la base de información recolectada en proyectos de construcción al término de los años 70 (Wideman R. M., 1987). En la **figura 8** se puede observar no sólo la conexión entre las fases, sino un estimado del tiempo para cada fase como porcentaje del tiempo de construcción.



**Figura 8.** Gráfico de barras de la construcción propuesto por Wideman en relación a la duración del ciclo de vida de un proyecto

FUENTE: Imagen extraída del artículo The Role of the Project Life Cycle (Life Span) in Project Management (Wideman R. M., 2004)

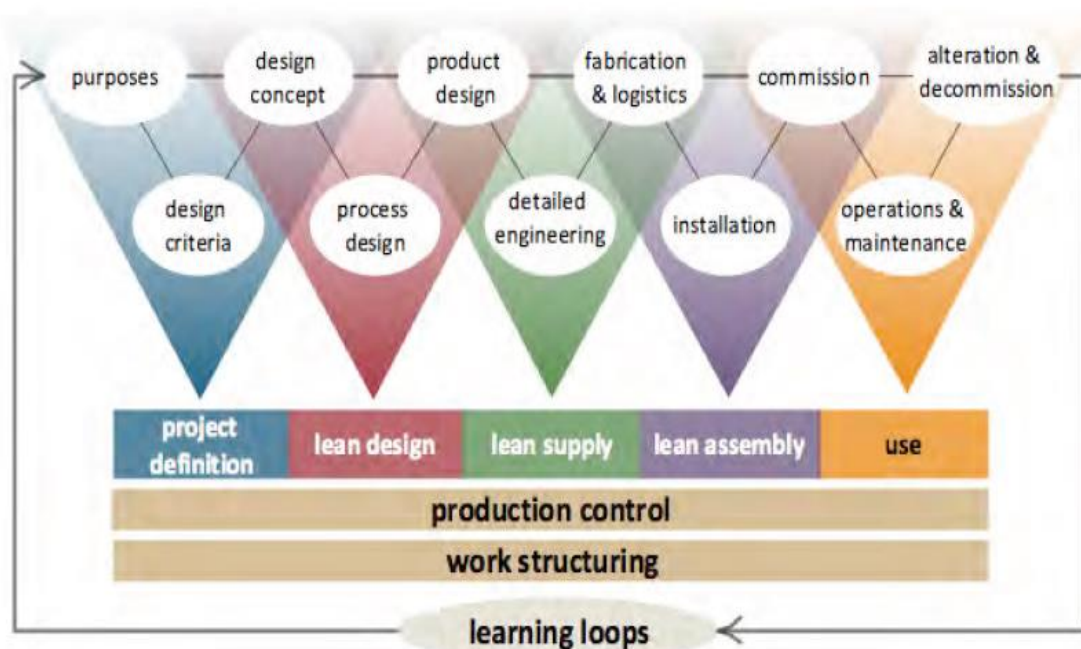
En esta ocasión el ciclo de vida está dividido en 4 fases de las cuales una presenta 3 módulos. No hay una interconexión entre ellas, como en los casos anteriores, y colocan la operación fuera del ciclo de vida del proyecto.

- i. **Fase 1:** La primera fase lleva como nombre **Concepto y aspecto económico**. Este refiere a la conceptualización y a las expectativas como negocio que se tendrá en el proyecto.
- ii. **Fase 2:** La segunda fase lleva como nombre **Diseño Funcional**.
- iii. **Fase 3:** La tercera fase comprende, a su vez, 3 etapas. Primero se trabaja en los **dibujos** y en las **especificaciones**. Luego se entra a la etapa de **licitación**. Y, finalmente, se ingresa a la etapa **obra**. Para Wideman, el momento en el que se entra a ejecución del proyecto es el hito 0, como se puede ver en la **figura 8**. Las anteriores fases corresponden a una escala negativa y las siguientes a una escala positiva en relación al tiempo que tomaría cada fase expresado en porcentaje.
- iv. **Fase 4:** La última fase se llama **Puesta en marcha**. En esta fase se pone a prueba el producto final y se realizan las modificaciones que sean necesarias para satisfacer las exigencias del cliente.

- **LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS) – LCI:**

Lean Construction Institute (LCI) propone envolver la filosofía Lean a todo el ciclo de vida de los proyectos de construcción. Para ello, propone dividir su ciclo de vida en 5 fases: **Definición del proyecto, Diseño Lean, Abastecimiento, Ejecución Lean y Uso** (Ballard, 2008).

Todas las fases están interconectadas a través de módulos predispuestos en triadas. En total son 13 módulos y un bucle de aprendizaje. De los 13, 11 conforman las triadas para cada fase y 2 atraviesan todo el ciclo de vida del proyecto. El bucle de aprendizaje garantiza conocer las lecciones aprendidas para la mejora continua.



**Figura 9.** Modelo del Sistema de Entrega de Proyectos sin pérdidas  
Fuente: Imagen extraída del artículo “What is Lean Project Delivery?” (Mossman, 2008)

i. **Fase Definición del proyecto:** LPDS define esta fase a través de tres módulos: **Determinación de las necesidades y valores del cliente, Criterio de diseño y Conceptualización del diseño.** En esta fase, se desarrollan diferentes alternativas del proyecto con el fin de elegir la que tenga la mejor alineación con todos los stakeholders.

Estos interesados son el propietario, el gerente del proyecto, los inversionistas, los promotores, los encargados del financiamiento del proyecto, las entidades gubernamentales y el equipo de diseño (Castillo Maguiña, 2014).

ii. **Fase Diseño Lean:** Esta fase está compuesta por tres módulos: **Diseño conceptual, Diseño del proceso y Diseño del producto.**

El enlace con la fase anterior es el esquema de diseño obtenido por el módulo conceptualización del diseño. Con dicho esquema como punto de partida se procede a diseñar el proceso y el producto en forma paralela. En efecto, se planifica cómo se conseguirán los medios para el ensamblaje, con qué sub-contratista se trabajará, de qué forma se abastecerá la cadena de suministro y cómo se realizará la ejecución mientras se va diseñando cada entregable correspondiente a cada especialidad. Es de vital importancia la comunicación y la participación de todas las especialidades –incluyendo los constructores- para que el diseño sea realizado considerando todos los puntos de vista. Los cambios a temprana edad en el proyecto tienen un menor impacto que los cambios en las etapas tardías, por ello, lo correcto sería que todos los interesados conozcan el diseño desde un comienzo.

Para realizar el diseño del proceso, Forbes y Ahmed (2011) propone usar notas post-it en una pared y aplicar el modelo definición de la actividad, de esta forma se asegura que las tareas de diseño tengan los pre-requisitos de trabajo completos y que no existan restricciones que retrasen el proceso (2011). Asimismo, contar con un grupo de alternativas permite al equipo de diseño elegir aquella que consideren se ajuste mejor a las necesidades del cliente.

iii. **Fase Abastecimiento Lean:** Esta fase consta de tres módulos: **Diseño del producto, Realización de la ingeniería de detalle y Fabricación y logística.**

En esta fase se requiere la coordinación entre los proveedores, proyectistas y constructores pues es necesario el manejo de información antes y durante el proceso de producción. Un abastecimiento Lean implica la eliminación de los desperdicios en la adquisición, distribución, almacenamiento, movimiento e inspección de los bienes, servicios e información (Orihuela & Ulloa, 2011).

El enlace con la fase Diseño Lean es el módulo Diseño del Producto. Una vez recibidos los planos de todas las especialidades y la planificación para su ejecución; en el módulo

ingeniería de detalle los constructores se encargan de obtener los metrados, las especificaciones técnicas, los presupuestos; en general, determinan todos los medios necesarios para poder ensamblar el producto. Con dicha información, mediante conceptos logísticos se busca definir la cantidad de los materiales y recursos para su entrega a la fase ejecución lean. Ese último módulo lleva como nombre fabricación y logística y tiene como objetivo minimizar el inventario evitando la escasez o la obtención de materiales incorrectos (Forbes & Ahmed, 2011).

iv. **Fase Ejecución Lean:** LPDS define esta fase en 3 módulos: **Fabricación y logística, Instalación, Pruebas y Puesta en marcha.**

De la fase abastecimiento lean se recibe el módulo Fabricación y logística. La información sobre los materiales, los componentes, las herramientas, las máquinas, los recursos se obtiene de la fase anterior y se procede a la instalación del proyecto. Durante la construcción, todas las actividades son realizadas siguiendo la programación maestra, el look-ahead, la programación semanal y la programación diaria. El objetivo de usar la herramienta Last Planner es tomar las decisiones en el “último momento responsable” para evitar cambiar órdenes y responsables (Schöttle, 2015). Cabe resaltar que el uso del Last Planner pertenece al módulo Control de Producción planteado también por el LPDS. Este módulo se encuentra paralelo a las fases del ciclo de vida según el Lean Project Delivery System.

Una vez seguidos los procedimientos constructivos y obtenido el producto final, se sigue al módulo Pruebas y puesta en marcha. Con pruebas se refiere a verificaciones en el producto para determinar si este cumple con las necesidades establecidas por el cliente al comienzo del proyecto. Estos ensayos dan la garantía de calidad de que la instalación haya sido realizada según los planos y según las especificaciones de diseño (Forbes & Ahmed, 2011). Aprobadas todas las pruebas se entrega el producto al usuario final.

v. **Fase Uso:** La 5ta fase propuesta por el LPDS consiste en 3 módulos: **Pruebas y puesta en marcha, Operaciones y mantenimiento y Alteración y clausura.**

Una vez entregado el producto y puesto en marcha tras las pruebas realizadas, el usuario final puede reportar observaciones las cuales deben ser levantadas mediante las actividades de Operación y mantenimiento. Finalmente, el módulo Alteración y

clausura refiere a las futuras acciones que se deban tomar en la instalación. Pueden ser reparaciones o eventualmente dejar fuera de servicio la edificación.

#### 4.2.2 ESTRUCTURA VERTICAL

Debido a que la estructura horizontal del tablero está comprendido por las fases del ciclo de vida, se optó por colocar las perspectivas más relevantes de un proyecto en la estructura vertical. Se analizaron 4 propuestas de clasificación: Sistema integral de gestión (SIG), Triángulo de hierro – La pirámide de la calidad, Teoría de los grupos de interés y la Triple cuenta de resultados (Triple Bottom Line).

- **SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN (SIG):**

Los Sistemas Integrales de Gestión consisten básicamente en la alineación de sistemas de gestión individuales, como se puede observar en la **figura 10**. Muchos enfoques han buscado orientarse a integrar tres aspectos vitales en la gestión de un proyecto: **Gestión de Calidad, Gestión Ambiental y Gestión de Seguridad y salud ocupacional**. Por ejemplo, en España surgieron esfuerzos para integrar los modelos ISO 9001 (calidad), ISO 14001 (ambiental) y OHSAS 18001 (seguridad y salud laboral) mediante una guía publicada por parte de la Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR en 2005 cuyo nombre es UNE 66177.

En esencia, los sistemas de calidad, medio ambiente y seguridad tuvieron un desarrollo independiente aunque paralelo en el mundo industrial. La calidad fue impulsada por la necesidad de mejorar ante la competencia empresarial. El impulso en la gestión de la seguridad surgió debido al establecimiento de regulaciones gubernamentales y presión de organizaciones sindicales. Y el desarrollo de los sistemas medioambientales provino de la preocupación por la sostenibilidad por parte de la sociedad y las legislaciones (CEPYME ARAGON, 2004).

Implementar un sistema integral trae consigo muchas consecuencias beneficiosas para los proyectos. Se pueden destacar el aumento de la fidelidad de los clientes, obtener distinción entre todas las empresas del mismo sector, mejorar la eficacia y competitividad respecto a otras empresas, mejorar u obtener beneficios de forma óptima, estabilizar a la empresa, posibilitar el crecimiento de la empresa y aumentar la rentabilidad social y económicamente (Fernández Benlloch, 2014). A la larga, adoptar un sistema integral de

gestión permite reducir el impacto en el entorno, generar un ambiente de trabajo seguro y mejorar la productividad y eficiencia.



**Figura 10.** Imagen resumen del sistema integral de gestión SIG

Fuente: Imagen extraída del portal web "<http://www.eoi.es/blogs/embacon/2013/03/26/como-implementar-un-sistema-de-gestion-integrado-sgi/>"

i. **Gestión de la calidad:** Se enfoca en el cliente para comprender y solventar sus necesidades, sus requisitos y sus expectativas. Los indicadores de calidad buscan medir la efectividad de las decisiones tomadas en la gestión para la mejora continua. En efecto, este se convierte en el objetivo permanente del sistema ya que de esta forma se puede aumentar la satisfacción de los clientes y de todos los stakeholders.

Dentro de la dimensión calidad se toma en cuenta la creación del producto. Esta es también muy importante a considerar en un proyecto de construcción pues es la que tiene como función principal convertir los recursos en el producto final, en este caso una edificación. Como se puede comprender, existe una necesaria integración entre los 3 sistemas. La producción debe realizarse con calidad manejando la seguridad de los trabajadores adecuadamente y respondiendo amigablemente con el medioambiente

ii. **Gestión del medioambiente:** Se adopta con el objetivo de realizar sus actividades bajo el concepto de sostenibilidad. Ante ello cada uno de sus labores debe considerar la reducción y el control de contaminantes; utilizar, en su medida, materiales amigables con el medioambiente; realizar prácticas como el reciclaje; modificar sus procesos considerando la sostenibilidad y tener un uso eficiente de los recursos.



Los indicadores de esta dimensión buscan medir el impacto en el medioambiente y/o en la biodiversidad debido a la construcción de la edificación o debido al mismo proyecto. De igual manera, estos indicadores buscan contabilizar la cantidad de energía y agua que se viene empleando, el nivel de ruido producido por las prácticas constructivas, entre otros.

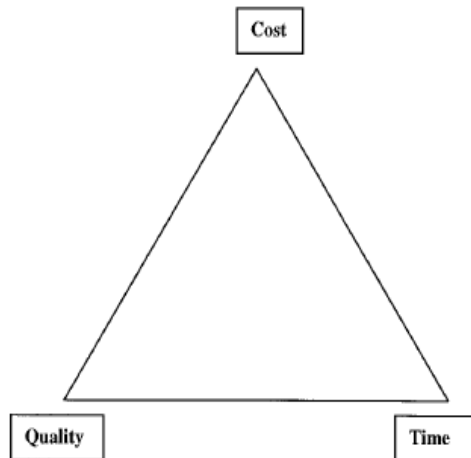
El propósito de la gestión ambiental y, más en particular, de los indicadores ambientales es controlar que la realización y el producto sean amigables con el medioambiente durante todo su ciclo de vida.

iii. **Gestión de la seguridad y salud ocupacional:** La industria de la construcción es conocida por las actividades consideradas como riesgosas que se realizan durante su ejecución. Debido a ello, es necesario considerar una gestión enfocada en la seguridad y salud laboral de los trabajadores.

Si bien el éxito de esta gestión se garantiza a través de medidas preventivas, es muy importante que el sistema pueda ser medible para identificar las medidas correctivas. En otras palabras, es necesario saber la situación en la que se está. Por ello, en esta gestión los indicadores buscan medir la cantidad de accidentes e incidentes reportados, el ratio de riesgo, el índice de accidentabilidad, entre otros.

- **TRIÁNGULO DE HIERRO – LA PIRÁMIDE DE LA CALIDAD:**

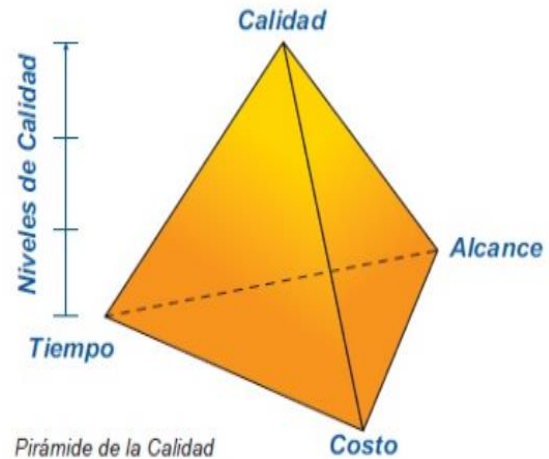
El triángulo de hierro, comprendido por Costo, Tiempo y Calidad, ha sido usado por mucho tiempo como la forma de medir el éxito de un proyecto de gestión (Atkinson, 1999). Durante años, cada uno de sus vértices ha sido considerado como un principio básico en la evaluación de los proyectos. Sin embargo, con el avance del tiempo surgieron nuevas perspectivas al respecto. La pirámide de la calidad es un ejemplo de ellas. En esta se busca incluir el alcance como uno de los vértices del triángulo base y establecer que el grado de cumplimiento de estos tres factores determinaría el nivel de calidad (Orihuela P. , 2009).



**Figura 11.** El triángulo de hierro

FUENTE: Imagen extraída del artículo

“Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it’s time to accept other success criteria”  
(Atkinson, 1999)



**Figura 12.** La pirámide de la calidad

FUENTE: Imagen extraída del boletín web

“Calidad – La pirámide de la calidad” (Orihuela P. , Calidad - La pirámide de la calidad, 2009)

- i. **Costo:** El costo refiere a cuánto dinero o recursos se usará en el proyecto.
- ii. **Tiempo:** Define la duración del Proyecto. Corresponde a la planificación y al cronograma.
- iii. **Alcance:** Se refiere a las características y funciones del producto. Define lo que se va a hacer.
- iv. **Calidad:** Con calidad se refiere a la aceptación del producto o del proceso. Depende mucho de las necesidades de los clientes –internos o externos- y si es que estas han sido cumplidas.

#### • TEORÍA DE LOS GRUPOS DE INTERÉS:

La teoría de los Grupos de Interés fue establecida por Freeman y postulaba que las empresas podían generar riqueza sostenible a lo largo del tiempo según la relación que tenían con sus grupos de interés. Para ello, Freeman definió como grupo de interés a cualquier grupo o individuo que afecte o se vea afectado por el cumplimiento de los objetivos en una compañía. Esta relación puede ser voluntaria o involuntaria (Freeman, 1984).

Existen distintas formas de identificar los grupos de interés. Por ejemplo; mediante la división entre internos y externos; contractuales y no contractuales; mediante dimensiones: según la responsabilidad asignada, según la influencia, según la cercanía, según la dependencia y según la representación que puedan tener en comunidades afectadas; entre otros (Gil Lafuente & Paula, 2011).

La SGE 21 es una norma europea con requisitos a cumplir para garantizar la integración de la responsabilidad social en la estrategia corporativa. Esta propone 9 grupos de interés principales para las organizaciones sin importar el rubro al que pertenezcan o el tamaño de la empresa. Estos son **alta dirección, clientes, proveedores, personas que integran la organización, entorno social, entorno ambiental, inversores, competencia y administraciones pública** (Granda Revilla & Trujillo Fernández, 2012). Como se considera que estos 9 grupos de interés son aplicables para cualquier organización, se optará por utilizar dicha clasificación como posible opción para el tablero de control. Estos grupos serán clasificados en dos categorías: internos y externos, como se puede observar en la **figura 13**.



**Figura 13.** Clasificación de los involucrados en una organización según categoría interna y externa

FUENTE: Propia

i. **Internos:** Dentro de esta categoría se considerarán los grupos que pertenecen a la organización y tienen influencia de manera interna.

- **Alta dirección:** Son los directivos con los cargos más altos en una organización. Como el Gerente General, Directores, entre otros.

- Clientes: Son aquellos que reciben un servicio o un producto y cuyas necesidades deben ser plenamente satisfechas. En este caso pueden ser internos o externos.
- Proveedores: Son aquellos que abastecen o proveen de algún servicio o un producto a una empresa. Igual que en el caso de los clientes, pueden ser internos o externos.
- Personas que integran la organización: Involucra a todos los profesionales que posibilitan la creación del producto o del servicio. En este caso los ingenieros, arquitectos, jefes de diversas áreas, etc.
- Inversores: Refiere a las personas que invierten y apuntan a obtener una rentabilidad en el futuro como parte de esa inversión.

ii. **Externos:** En esta categoría se consideran los grupos que no pertenecen a la organización pero que influyen en sus prácticas.

- Entorno social: Es el lugar en donde la organización se desarrolla. Refiere a la comunidad en donde está emplazado el proyecto en relación a los vecinos, organizaciones sindicales, los medios de comunicación u organizaciones no gubernamentales.
- Entorno ambiental: Está fuertemente relacionado con el medio ambiente y el impacto que se puede tener en ella debido a las prácticas de la empresa.
- Competencia: Se considera a aquellas empresas del mismo rubro que apuntan al mismo sector de consumo.
- Administraciones públicas: Se refiere a los organismos y personas del estado que satisfacen las necesidades de la ciudadanía en relación con el poder ejecutivo. En Perú está relacionado con los ministerios, los gobiernos regionales y locales, el poder legislativo, el poder judicial, etc.

- **TRIPLE CUENTA DE RESULTADOS (TRIPLE BOTTOM LINE):**

Sustentabilidad puede definirse como la habilidad de lograr prosperidad económica pero, a la vez, protegiendo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas (Calvente, 2007).

Este concepto es frecuentemente relacionada con el término Triple Bottom Line o Triple Cuenta de Resultados en su traducción al español (Rogers & Hudson, 2011). Pues este provee un marco de trabajo para medir el desempeño de un negocio y el éxito de una

organización usando 3 líneas: economía, sociedad y medio ambiente (Goel, 2010). La economía está relacionada con el beneficio (Profit), la sociedad con la gente (People) y el medio ambiente con el planeta (Planet). Por ello, muchos autores reconocen la Triple Cuenta de Resultados como la Triple P – Profit, People & Planet, tal cual se aprecia en la **figura 14**.

La industria de la construcción no puede ser ajena a este concepto. Por tanto, debe existir una preocupación latente por el impacto que pueden tener sus prácticas y procedimientos en los 3 sistemas: **sociedad** (gente), **medio ambiente** (planeta) y **economía** (beneficio).



**Figura 14.** Los tres pilares de la triple cuenta de resultados para negocios sustentables: gente, planeta y beneficio

FUENTE: Imagen extraída del portal web Sustainability demystified e  
“<http://tata.com/article/inside/Sustainability-demystified>”

i. **Sociedad (gente):** La dimensión sociedad busca que las prácticas de la empresa sean beneficiosas y justas para los trabajadores y para la comunidad (Elkington, 1997). Diversos ejemplos identificados en las empresas han demostrado que ignorar la responsabilidad social puede terminar impactando en el aspecto económico (Alhaddi, 2015). Por ello, el ámbito social debe ser también controlado y monitoreado.

Los indicadores en esta dimensión buscarán medir aspectos como la salud de los trabajadores, el nivel de satisfacción de los empleados, la satisfacción por parte de los clientes, los niveles de seguridad a los que se exponen los trabajadores, el nivel de confort de los vecinos, entre otros.

ii. **Medio ambiente (planeta):** Esta dimensión refiere a no comprometer los recursos ambientales de futuras generaciones durante la realización de las actividades. La preocupación por el impacto en el medio ambiente y en la sociedad genera que las compañías tengan un mejor desempeño financiero. Las ventajas financieras resultan en la reducción de costos operacionales (uso de la energía y el agua, etc.) y aumentar los ingresos debido al desarrollo de productos innovadores preocupados en el medioambiente (Kearney, 2009).

Por tanto, se buscará medir la perturbación que hay debido al proyecto. Los indicadores expresarán el impacto por parte de la fase ejecución o por parte del mismo proyecto en el medioambiente y en la biodiversidad, el uso del agua y de la energía, la cantidad de desperdicios, el nivel de ruido, entre otros.

iii. **Economía (beneficio):** La dimensión economía refiere a la generación de riquezas por parte de la empresa. Los indicadores en esta área buscarán medir el uso eficiente de los materiales y equipos, el nivel de productividad de los trabajadores, la rentabilidad, entre otros.

#### 4.2.3 MODELO FINAL DEL TABLERO DE CONTROL

Finalmente, después de discutir las posibles clasificaciones tanto para el eje vertical como para el horizontal, se opta por tomar lo siguiente:

- **EJE HORIZONTAL:**

Se discutieron 4 posibles clasificaciones. Estas son Integrated Project Delivery (AIA), Construction life cycle (APM), LifeSpan propuesto por Max Wideman y Lean Project Delivery System (LCI). Las 4 propuestas representan perspectivas distintas de cómo es el ciclo de vida de un proyecto de edificación. Tanto el IPD como LifeSpan consideran que el ciclo de vida termina al momento de entregar la obra ya culminada y no consideran aspectos como el mantenimiento o futuras alteraciones correspondientes a la fase uso. Por otro lado, Construction life Cycle y LPDS sí consideran un poco más allá de la entrega del proyecto. Por un lado el primero toma en cuenta el mantenimiento que se le da a la edificación y por otro lado el segundo contempla el ciclo de vida de los proyectos de construcción de forma más completa pues toma en cuenta dentro de la fase uso futuras alteraciones en el proyecto y un eventual des-ensamblaje o demolición del

mismo. La comparación descrita entre las 4 propuestas se puede observar en la **figura 15**.

FUENTE	DISEÑO					CONSTRUCCIÓN		USO	
Integrated Project Delivery (AIA)	Conceptualización	Criterio de diseño	Diseño Detallado	Implementación de documentos	Coordinación con las Agencias	Adquisición	Construcción	Cierre	
Construction life cycle (APM)	Negocio		Diseño			Construcción		Mantenimiento	
LifeSpan (Max Wideman)	Concepto y aspecto económico		Diseño funcional	Dibujos y especificaciones		Licitación	Construcción	Puesta en marcha	
Lean Project Delivery System (LCI)	Definición del proyecto		Diseño Lean			Abastecimiento Lean	Construcción Lean	Uso	

**Figura 15.** Comparación entre las cuatro modelos de clasificación del ciclo de vida de un proyecto de construcción

FUENTE: Equipo de investigación MOTIVA

Por tanto, del análisis de las 4 clasificaciones se optará por usar el modelo correspondiente al Lean Project Delivery System (LCI). Esto debido a que este considera más aspectos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto que deben ser evaluados para determinar el éxito del mismo. Sin embargo, ya que se desea primero presentar un conjunto de **indicadores de resultado** se optará por definir el eje horizontal con 3 de las fases del ciclo de vida propuesto por el Lean Project Delivery System: **Diseño, Abastecimiento y Ejecución**. Las fases Definición del proyecto y Uso no serán consideradas en el Tablero de Control de Resultados puesto que en el caso de la Definición del proyecto se definen las líneas base a lo largo de su ciclo de vida y en el caso del Uso se comprueba el cumplimiento de dichas líneas base.

- **EJE VERTICAL:**

Se analizaron 4 clasificaciones existentes. Estas son el Sistema integral de gestión (SIG), el Triángulo de hierro – La pirámide de calidad, la Teoría de los grupos de interés y la Triple cuenta de resultados (Triple Bottom Line). Las perspectivas Costo, Tiempo y Calidad –provenientes del denominado Triángulo de hierro- deben ser consideradas dentro de la taxonomía vertical, pues en efecto representan los *principios básicos* de la evaluación de los proyectos. Sin embargo, como se pudo comprender en el desarrollo de la clasificación de la Triple Cuenta de Resultados presentado anteriormente, a parte del aspecto económico existen dos aspectos más a los cuales los proyectos deben rendir cuentas. Estos son el Medio ambiente y la Sociedad. Por tanto, el eje vertical quedará definido por 5 perspectivas las cuales se consideran abarcan todos los aspectos en el

ciclo de vida de un proyecto. Estas son **costo, tiempo, calidad, medio ambiente y sociedad**.

Por lo mencionado, el tablero de control para indicadores de resultado tendría la estructura presentada en la **tabla 7**.

**Tabla 7.** Esquema para el tablero de control con indicadores del tipo resultado

	DISEÑO	ABASTECIMIENTO	EJECUCIÓN
Costo			
Tiempo			
Calidad			
Medio ambiente			
Sociedad			
	$\Sigma$ ID	$\Sigma$ IA	$\Sigma$ IE

#### 4.3 ASIGNACIÓN DE INDICADORES DE RESULTADO EN EL TABLERO DE CONTROL

Una vez definidos los ejes horizontal y vertical del tablero de control e identificados los indicadores de tipo resultado existentes de la revisión de la literatura, el **Equipo de investigación MOTIVA** propone un grupo de indicadores de resultado para las fases Diseño, Abastecimiento y Ejecución. En la **tabla 8** se presenta el resumen de los indicadores propuestos por cada fase según las diferentes perspectivas.



**Tabla 8.** Tablero de control con indicadores de resultado

	<b>DISEÑO</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>	<b>CONSTRUCCIÓN</b>
Costo	$I_{coD} = \frac{\text{Costo presupuestado de obra}}{\text{Costo objetivo de obra}}$		$I_{coC} = \frac{\text{Costo real de obra}}{\text{Presupuesto de obra}}$
	$I_{rent} = \frac{\text{TIR estimada}}{\text{TIR objetivo}}$		
Tiempo	$I_{tD} = \frac{\text{Plazo real de diseño}}{\text{Plazo pactado para el diseño}}$		$I_{tC} = \frac{\text{Plazo real de obra}}{\text{Plazo de obra contractual}}$
Calidad	$I_{sU} = \frac{\text{Satisf. del usuario estimada}}{\text{Satisf. del usuario objetivo}}$	$I_{cmESTR} = \frac{\frac{C_{concrR}}{C_{concrE}} + \frac{C_{acerR}}{C_{acerE}}}{2}$	$I_{CESTR} = \frac{(I_{CESTR-REF} - 1) + I_{CESTR-UNIF} + I_{CESTR-CALD}}{3}$
	$I_{constr} = \frac{\text{Ahorros est. por constructabilidad}}{\text{Costo presupuestado de obra}}$	$I_{cmSANIT} = \frac{\frac{C_{tubR}}{C_{tubE}} + \frac{C_{pegR}}{C_{pegE}} + \frac{C_{eimpR}}{C_{eimpE}} + \frac{C_{imprR}}{C_{imprE}}}{4}$	$I_{cisant} = \frac{1}{\text{ratio}} * \frac{\text{\#total de reclamos}}{\text{\#total de puntos}}$
	$I_{compatibilización} = \frac{\text{Montos adicionales por RFIs}}{\text{Costo presupuesto de obra}}$	$I_{cmELEC} = \frac{\frac{C_{tubR}}{C_{tubE}} + \frac{C_{cabR}}{C_{cabE}} + \frac{C_{tabR}}{C_{tabE}} + \frac{C_{ptR}}{C_{ptE}}}{4}$	$I_{cieléct} = \frac{1}{\text{ratio}} * \frac{\text{\#total de reclamos}}{\text{\#total de puntos}}$
		$I_{cmAC} = \frac{\sum(\frac{\text{Calidad mat. princ. usados}}{\text{Calidad mat. princ. especificada}})}{\text{\# de materiales principales}}$	$I_{cacab} = \frac{\text{Promedio en valoración del cliente}}{\text{Valor esperado en la valoración}}$
Medio ambiente	$I_{desempD_{MA}} = \frac{\text{Créditos de diseño obtenidos}}{\text{Créditos de diseño deseados}}$	$I_{desempA_{MA}} = \frac{\text{Créditos de abastecimiento obtenidos}}{\text{Créditos de abastecimiento deseados}}$	$I_{desempC_{MA}} = \frac{\text{Créditos de construcción obtenidos}}{\text{Créditos de construcción deseados}}$
Sociedad	$I_{socD} = \frac{\text{\# variables de diseño sostenible conformes}}{\text{\# variables de diseño totales}}$		$I_{secur} = \frac{\text{\#Accidentes reportados}}{\text{\#Promedio de trabajadores en obra}}$

### 4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES DE RESULTADO

Los indicadores propuestos por parte del **Equipo de Investigación MOTIVA** presentados en el tablero de control se describen a continuación.

- **INDICADORES DE LA FASE DISEÑO:**

**A. INDICADORES DE COSTO:** Se pueden encontrar 2 indicadores de costo. Estos son indicador de costo de obra – diseño ( $I_{co_D}$ ) e Indicador de rentabilidad ( $I_{rent}$ ).

- **INDICADOR DE COSTO DE OBRA ( $I_{co_D}$ ):** Refiere a la relación entre el costo presupuestado para la obra y el costo objetivo (target cost) determinado por el propietario. Esta relación está definida por la ecuación número (4.1).

$$I_{co_D} = \frac{\text{Costo presupuestado de obra}}{\text{Costo objetivo de obra}} \quad (4.1)$$

- **INDICADOR DE RENTABILIDAD ( $I_{rent}$ ):** Refiere a la relación entre la tasa interna de retorno (TIR estimada) al término de la elaboración del presupuesto de obra y la tasa interna de retorno objetivo del inversionista (TIR objetivo). En la ecuación (4.2) se muestra esta relación.

$$I_{rent} = \frac{TIR\ estimada}{TIR\ objetivo} \quad (4.2)$$

**B. INDICADOR DE TIEMPO:** Se identifica el indicador de plazo de diseño ( $IT_D$ )

- **INDICADOR DE PLAZO DE DISEÑO ( $IT_D$ ):** Relaciona el plazo real del diseño con el plazo pactado para el diseño. Controlar el plazo desde el comienzo permite monitorear que no se exceda el plazo general del proyecto desde fases tempranas. Se muestra en la ecuación (4.3).

$$IT_D = \frac{\text{Plazo real del diseño}}{\text{Plazo pactado para el diseño}} \quad (4.3)$$

**C. INDICADORES DE CALIDAD:** En la fase diseño se pueden encontrar 3 indicadores de calidad. Estos son Indicador de satisfacción del usuario final ( $IS_u$ ), Indicador de constructabilidad ( $I_{constr}$ ) e Indicador de compatibilización ( $I_{compat}$ ).

○ **INDICADOR DE SATISFACCIÓN DEL USUARIO FINAL ( $IS_u$ ):** Se expresa como la relación entre la satisfacción del usuario estimada al término de la fase diseño con la satisfacción objetivo del usuario en la post-ocupación.

$$IS_u = \frac{\text{Satisfacción del usuario estimada}}{\text{Satisfacción del usuario objetivo}} \quad (4.4)$$

Para poder medir la satisfacción del cliente se usará la propuesta presentada en Needs, values and post-occupancy evaluation of housing de Orihuela & Orihuela (2014). En esta se establece una tabla con los requisitos de calidad en 3 niveles, donde el tercer nivel resume un conjunto de 50 preguntas que el cliente debe responder para expresar su grado de satisfacción. El cálculo se puede realizar por el método de scoring, la escala Likert, una matriz de pares o mediante el análisis jerárquico. Cabe resaltar que esta encuesta se realizará en la fase post-ocupación, es decir un año después de la entrega.

○ **INDICADOR DE CONSTRUCTABILIDAD ( $I_{constr}$ ):** Mediante este indicador, presentado en la ecuación (4.5), se busca medir los ahorros obtenidos debido al uso de la constructabilidad en la fase diseño en relación al costo presupuestado de obra. Este concepto refiere al mejoramiento en la gestión de proyectos de construcción sobre la base de la captura de los conocimientos operacionales para aplicarlos en todas las fases y niveles estratégicos de un proyecto (Orihuela & Orihuela, 2003).

$$I_{constr} = \frac{\text{Ahorros estimados por constructabilidad}}{\text{Costo presupuestado de obra}} \quad (4.5)$$

○ **INDICADOR DE COMPATIBILIZACIÓN ( $I_{compat}$ ):** Este indicador (4.6) refiere a las incompatibilidades encontradas a lo largo del proyecto. Un gran número de incompatibilidades indica una mala calidad del diseño y afecta fuertemente en las perspectivas tiempo y costo del proyecto. Se medirá como la relación entre el dinero que se ha tenido que emplear debido a las incompatibilidades –identificadas con RFIs (request for information)- y el presupuesto de obra.

$$I_{\text{compat}} = \frac{\text{Montos adicionales por RFIs}}{\text{Costo presupuesto de obra}}$$

(4. 6)

**D. INDICADOR DE MEDIO AMBIENTE:** Para la fase diseño se puede identificar 1 indicador de medio ambiente. Este es el indicador de desempeño medio ambiental ( $I_{\text{desempMA}}$ ).

○ **INDICADOR DE DESEMPEÑO MEDIO AMBIENTAL ( $I_{\text{desempMA}}$ ):**

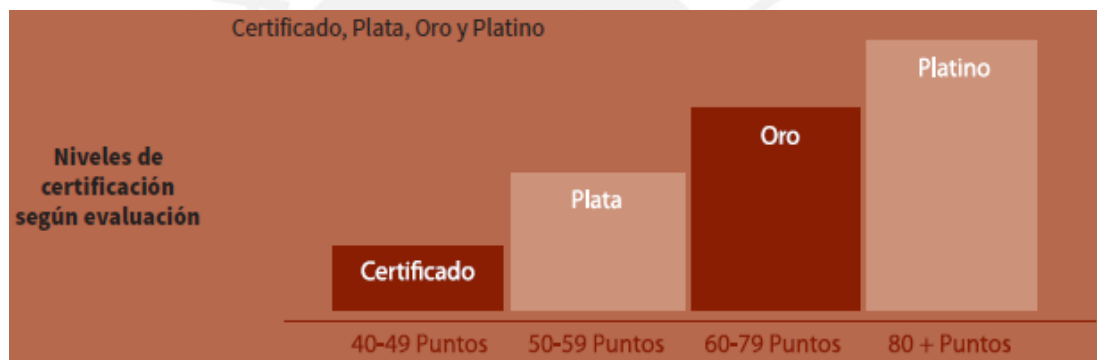
Desde la aparición del término *Desarrollo Sostenible* en el año 1982 hasta la actualidad han surgido distintos congresos y propuestas para considerar el impacto en el medio ambiente en las prácticas de toda compañía. En América Latina, particularmente en Chile y en México se han desarrollado estrategias para obtener construcciones sostenibles y vivienda social sostenible. En ellas no sólo toman en cuenta la eficiencia energética sino también integran conceptos como el manejo de agua y residuos, la salud y el bienestar social, la innovación y la competitividad y el manejo en la operación de la edificación (Téllez Martínez, Villareal Ugarte, Armenta Menchaca, Porsen Oveergard, & Bremer Bremer, 2014).

Las certificaciones han sido usadas como estrategias que buscan dirigir los proyectos de construcción a ser sostenibles con el medio ambiente. En Latinoamérica países como Chile, México y Brasil poseen la mayor cantidad de proyectos con certificaciones (USGBC, 2013). La primera certificación en aparecer fue Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) en el año 1990 y, posteriormente, apareció Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) en 1994.

¿Pero qué es la certificación de edificios? Es un procedimiento o sistema de evaluación para acreditar que un edificio se encuentra en los estándares de los organismos certificadoros. Trabaja sobre el análisis del ciclo de vida y el desempeño del edificio y, además, otorga un nivel según el puntaje alcanzado durante la evaluación para la categoría pertinente. Su aplicación implica un mayor gasto (inversión) que a la larga se recupera en los costos de operación con un mejor desempeño medio ambiental (Vallejo Aguirre, 2014).

De las certificaciones existentes, Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ha sido reconocida internacionalmente y ha sido usada en diversos países de Latinoamérica. En Perú, los edificios El Aulario y La Biblioteca del Complejo de Innovación en la Pontificia Universidad Católica del Perú poseen dicha certificación para la categoría Nueva Construcción niveles Oro y Plata, respectivamente. Cabe resaltar que el total de niveles de la certificación es 4 y se pueden apreciar en la **figura 16**.

Debido a que la certificación LEED cubre muy bien el aspecto medio ambiental en la evaluación del desempeño de un proyecto con el análisis de procesos dentro de áreas como la *Eficiencia del agua* y *La energía y la atmósfera*, se propone un indicador del tipo resultado que busque comparar los créditos en relación al diseño que hayan sido obtenidos con el número de créditos de diseño deseados. En esta ocasión la categoría correspondiente será LEED BD+C – Diseño edificio más construcción.



**Figura 16.** Niveles de certificación LEED según evaluación

FUENTE: Imagen extraída del artículo Las diversas certificaciones aplicables a edificios sustentables en México (Vallejo Aguirre, 2014).

Por tanto, el indicador de resultado para el desempeño medio ambiental será el presentado en la ecuación (4.7). Un valor igual a 1 indica que se ha obtenido el desempeño ideal y un valor menor a 1 significa que no se logró lo esperado.

$$I_{desempD_{MA}} = \frac{\text{Crédito de diseño obtenidos}}{\text{Créditos de diseño deseados}}$$

(4.7)

**E. INDICADOR DE SOCIEDAD:** Para la fase diseño se puede identificar el indicador social de diseño ( $I_{socD}$ ) que se muestra en la ecuación (4.8).

En el año 2006 la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona desarrolló un modelo conceptual de ciudad sostenible partiendo de los cuatro pilares que establece el

urbanismo ecológico. Estos son Compacidad, Complejidad, Eficiencia y Estabilidad (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2006). Estos conceptos fundamentados con indicadores propuestos por la misma Agencia de Ecología Urbana de Barcelona permiten realizar un análisis y determinar en qué medida el planeamiento urbanístico de una ciudad puede ser considerado sostenible. Esto tomando en cuenta la mejora de la calidad de vida de sus habitantes y la capacidad de carga de la naturaleza. Posteriormente, en el año 2014 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) buscó adaptar los indicadores propuestos inicialmente por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y aplicarlos al nivel vivienda. Estos indicadores buscan determinar si el diseño a nivel vivienda puede ser considerado sostenible en relación a su impacto social considerando un grupo de 7 variables asociadas a los 4 pilares del urbanismo ecológico (Falivene, Costa, & Artusi, 2014). Las variables propuestas dentro de este nuevo marco son Morfología Urbana, Espacio público y movilidad, Organización urbana, Metabolismo urbano, Aumento de la biodiversidad, Cohesión social y Gobierno del espacio. Cada una de las 7 variables posee un conjunto de características las cuales son presentadas en la **figura 17**. Debido a que todos los proyectos poseen singularidades lo cual los hace únicos, el primer paso para emplear el indicador de resuelto propuesto para la fase diseño perspectiva sociedad será determinar qué características son aplicables dentro de las 7 variables. Luego se analizará cada indicador desarrollado por el CEPAL para cada característica y se verificará qué variables han sido cumplidas. El número de variables cumplidas será comparado con el número de variables de diseño totales que aplican al proyecto conforme la ecuación (4.8). Cabe resaltar que este indicador será evaluado al término de la fase diseño una vez que se tienen los planos y los expedientes terminados.

$$Isoc_D = \frac{\# \text{variables de diseño sostenible conformes}}{\# \text{variables de diseño totales}}$$

(4.8)

Espacio público y movilidad	Viario público para el tráfico del automóvil	Morfología urbana	Densidad edificatoria	Metabolismo urbano	Autogeneración y ahorro energético	
	Viario público para el peatón		Compacidad absoluta		Ahorro y autoeficiencia hídrica	
	Continuidad espacial y funcional		Compacidad corregida		Minimización de los sistemas de recolección en el espacio público	
	Dotación de árboles	Organización urbana	Conectividad a internet		Uso de materiales reutilizados, reciclados y renovados	
	Potencial de habitabilidad en espacios urbanos		Superficie destinada a actividad productiva		Reserva de espacio para autocompostaje	
	Disposición e inclinación de luminarias sin contaminación luminosa		Porcentaje mínimo de actividades de proximidad		Reserva de espacios para instalación de puntos limpios	
	Accesibilidad a las paradas de la red de transporte público		Índice de especialización de actividades productivas		Nivel sonoro	
	Accesibilidad a la red de bicicletas	Gobierno del espacio	Mantenimiento de vivienda y lugares de uso común		Aumento de la biodiversidad	Espacios verdes
	Estacionamiento fuera del espacio público		Capacidad de gobierno de residentes y propietarios			Compensación a la impermeabilización y sellado
	Galería de servicios	Cohesión social	Accesibilidad a los servicios básicos urbanos			Asignación de árboles por superficie construida
	Reserva de plazas de aparcamiento para bicicletas		Vivienda protegida			Corredores verdes
	Accesibilidad a los ciudadanos con movilidad reducida					

**Figura 17.** Resumen de las características establecidas por CEPAL para las 7 variables definidas en la aplicación de indicadores de sostenibilidad para vivienda

FUENTE: Resumen realizado del artículo Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social (Falivene, Costa, & Artusi, 2014)

- **INDICADORES DE LA FASE ABASTECIMIENTO**

**A. INDICADORES DE CALIDAD:** Para la fase abastecimiento se pueden identificar 5 indicadores de calidad. Estos son Indicador de calidad de materiales de la estructura ( $I_{cm_{ESTR}}$ ), Indicador de calidad de materiales y equipos de instalaciones sanitarias ( $I_{cm_{SANIT}}$ ), Indicador de calidad de materiales de instalaciones eléctricas ( $I_{cm_{ELEC}}$ ), Indicador de calidad de materiales de acabado ( $I_{cm_{AC}}$ ) e Indicador de desempeño ambiental debido a los materiales ( $I_{desemp_{MA}}$ )

- **INDICADOR DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA ( $I_{cm_{ESTR}}$ ):** Este indicador refiere a la calidad de los materiales empleados en las estructuras. Estos son acero (*acer*) y concreto (*concr*). La comparación se realizará entre la calidad obtenida por los certificados de calidad –en el caso del acero- y las pruebas de compresión en cilindros -en el caso del concreto- con la calidad especificada en los planos.

Para evaluar la calidad del concreto se seguirá lo estipulado por la norma ACI 318, en donde una vez verificado el cumplimiento de los dos criterios que establece dicha norma, se comparará la resistencia requerida con la resistencia especificada en planos para obtener el indicador.

En el caso del acero se evaluará la ductilidad, la fluencia, las resistencias a la tracción, la composición química, etc. –presentadas en los certificados de calidad- las cuales serán comparados con lo especificado en planos.

La relación obtenida para el indicador es la presentada en la ecuación (4.9).

$$I_{cm_{ESTR}} = \frac{\frac{C_{concr_R}}{C_{concr_E}} + \frac{C_{acer_R}}{C_{acer_E}}}{2}$$

(4.9)

- **INDICADOR DE CALIDAD DE MATERIALES Y EQUIPOS DE INSTALACIONES SANITARIAS ( $I_{cm_{SANIT}}$ ):** Este indicador (4.10) busca medir la calidad de los materiales y equipos usados en las instalaciones sanitarias. Estos son las tuberías de agua y desagüe (*tub*), conexiones y pegamento (*peg*), equipos de impulsión (*eimp*) y materiales de impermeabilización de reservorios de agua (*imprb*). De la misma forma, se comparará la calidad durante la ejecución con la calidad en planos y en sus especificaciones.

$$I_{cm_{SANIT}} = \frac{\frac{C_{tub_R}}{C_{tub_E}} + \frac{C_{peg_R}}{C_{peg_E}} + \frac{C_{eimp_R}}{C_{eimp_E}} + \frac{C_{imprb_R}}{C_{imprb_E}}}{4}$$

(4.10)

- **INDICADOR DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ( $I_{cm_{ELEC}}$ ):** El tercer indicador mencionado buscará medir la calidad de los materiales empleados en las instalaciones eléctricas. Estos son el entubado (*tub*), los cables (*cab*), los tableros eléctricos (*tab*) y los pozos a tierra (*pt*). De igual manera, se



buscará comparar la calidad del material durante la fase obra con la calidad en planos y en las especificaciones. La ecuación obtenida corresponde a la número (4.11).

$$I_{cm_{ELEC}} = \frac{\frac{C_{tub_R}}{C_{tub_E}} + \frac{C_{cab_R}}{C_{cab_E}} + \frac{C_{tab_R}}{C_{tab_E}} + \frac{C_{pt_R}}{C_{pt_E}}}{4} \quad (4.11)$$

- **INDICADOR DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE ACABADO ( $I_{cm_{AC}}$ ):** El cuarto indicador buscará medir la calidad de los materiales empleados en los acabados. Estos pueden ser muchos y diversos, pues dependerán de los objetivos del proyecto. Este indicador (4.12) comparará la calidad de dichos materiales durante la fase ejecución con la calidad en planos y especificaciones.

$$I_{cm_{AC}} = \frac{\sum \left( \frac{\text{Calidad mat. princ. usados}}{\text{Calidad mat. princ. especificada}} \right)}{\# \text{ de materiales principales}} \quad (4.12)$$

**B. INDICADOR DE MEDIO AMBIENTE:** Al igual que en la fase diseño, el indicador de desempeño medio ambiental para la fase abastecimiento será propuesto sobre la base de los créditos otorgados en la certificación LEED. El indicador de resultado propuesto –el cual se presenta en la ecuación (4.13)- consistirá en comparar la cantidad de créditos obtenidos debido a los materiales con la cantidad de créditos deseados. Su evaluación será realizada al término de la fase construcción.

$$I_{desemp_{MA}} = \frac{\text{Crédito de abastecimiento obtenidos}}{\text{Créditos de abastecimiento deseados}} \quad (4.13)$$

- **INDICADORES DE LA FASE CONSTRUCCIÓN**

**A. INDICADORES DE COSTO ( $I_{co_c}$ ):** El indicador de costo en la fase construcción (4.14) busca comparar el costo real de obra con el costo presupuestado de obra.

$$I_{co_c} = \frac{\text{Costo real de obra}}{\text{Presupuesto de obra}} \quad (4.14)$$

**B. INDICADORES DE TIEMPO ( $I_t$ ):** El indicador de plazo de obra (4.15) compara el plazo real de la obra con el plazo de obra contractual.

$$I_t = \frac{\text{Plazo real de obra}}{\text{Plazo de obra contractual}}$$

(4.15)

**C. INDICADORES DE CALIDAD:** En la fase construcción, se identifican 4 indicadores de calidad. Estos son Indicador de la calidad de la estructura ( $IC_{EST}$ ), Indicador de la calidad de las instalaciones sanitarias ( $IC_{ISAN}$ ), Indicador de la calidad de las instalaciones eléctricas ( $IC_{IELÉCT}$ ) e Indicador de la calidad del acabado ( $IC_{AC}$ ).

○ **INDICADOR DE LA CALIDAD DE LA ESTRUCTURA ( $IC_{EST}$ ):**

La calidad de la estructura ya puesta en marcha debe ser evaluada para poder garantizar que esta tenga el comportamiento deseado. Debido a que existen factores que pueden alterar los resultados esperados –como cambios en los procesos constructivos- es necesario realizar ensayos a la estructura ya construida para verificar si características como la resistencia, la durabilidad, la densidad, la uniformidad, entre otros, cumplen con los valores requeridos.

Durante años evaluar la estructura in situ significaba intervenir directamente en ella; sin embargo, esta quedaba dañada y sólo se podía evaluar la zona intervenida. Con el tiempo, aparecieron los Ensayos No Destructivos (END) que permitían determinar las propiedades de la estructura sin alterarla y realizar el número de ensayos que se desee (Lipa Cusi & Del Álamo Carazas, 2015). Por ello, este tipo de ensayos es considerado como una excelente opción para realizar un control de calidad de la estructura. Ejemplos de métodos END se pueden apreciar en la **tabla 9**. El resumen presentado corresponde a una investigación de Portland Cement Association (PCA) en donde se muestran los métodos recomendados y posibles para determinar propiedades del concreto como la resistencia, la uniformidad, la rigidez, la densidad, etc.

**Tabla 9.** Métodos de Ensayo No Destructivos para el Concreto

FUENTE: Tabla extraída del Capítulo 16 del libro Diseño y control de mezclas de concreto (Kosmatka, 2004)

Propiedades del concreto	Método END recomendable	Método END posible
Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sonda de penetración</li> <li>✓ Esclerómetro</li> <li>✓ Método de arranque</li> <li>✓ Rotura</li> </ul>	
Calidad general y uniformidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sonda de penetración</li> <li>✓ Esclerómetro</li> <li>✓ Velocidad del pulso ultrasónico</li> <li>✓ Radiografía gamma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Eco del pulso ultrasónico</li> <li>✓ Examen visual</li> </ul>
Espesor		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Radar</li> <li>✓ Radiografía gamma</li> <li>✓ Eco del pulso ultrasónico</li> </ul>
Rigidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Velocidad del pulso ultrasónico</li> </ul>	
Densidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Velocidad del pulso ultrasónico</li> <li>✓ Radiografía gamma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medidor de densidad de neutrones</li> </ul>
Tamaño y localización de las barras de acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medidor de recubrimiento (pachómetro)</li> <li>✓ Radiografía gamma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Radiografía por rayos X</li> <li>✓ Eco del pulso ultrasónico</li> <li>✓ Radar</li> </ul>
Estado de corrosión de acero de refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medida de potencial eléctrico</li> </ul>	
Presencia de vacíos bajo la superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Impacto acústico</li> <li>✓ Radiografía gamma</li> <li>✓ Velocidad del pulso ultrasónico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Termografía de infrarrojo</li> <li>✓ Radiografía por rayos X</li> <li>✓ Eco del pulso ultrasónico</li> <li>✓ Radar</li> <li>✓ Ensayo de frecuencia de resonancia</li> </ul>
Integridad estructural de la estructura de concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prueba de carga (carga-deflexión)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ensayo usando emisión acústica</li> </ul>

En esta ocasión, los indicadores a proponer para evaluar la calidad de la estructura serán obtenidos mediante el uso de un Pachómetro, de un Esclerómetro y de la Velocidad del pulso ultrasónico.

Un Pachómetro es un instrumento que permite detectar la ubicación del acero en una estructura (recubrimiento y posición) y te indica el diámetro de la barra en cuestión. El aparato es colocado en la superficie y mediante un sonido de alerta te indica la presencia de acero. Básicamente el detector permite localizar las barras y estribos embebidos en el concreto mediante la inducción y medición de impulsos. Dentro del mercado se puede encontrar el equipo PROFOMETER de la marca PROCEQ.

Este instrumento representa una gran ventaja pues permite obtener un esquema de la ubicación de los refuerzos; asimismo, te brinda el recubrimiento real el cual puede ser comparado con el recubrimiento según planos. Partiendo de esta información se propone

un primer indicador para determinar la calidad de la estructura. Una vez construida la edificación se dispondrá de un número de elementos estructurales –placas, vigas o columnas- a manera de **muestra**, los cuales serán puestos a evaluación mediante el Pachómetro. Luego, para obtener el indicador (4.16.1) se registrará la cantidad de elementos observados y se dividirá entre la cantidad total de elementos analizados. Un indicador con un valor alto significará una mala calidad y un indicador con un valor bajo significará buena calidad.

$$I_{C_{ESTR-REF}} = \frac{\#Elementos\ estructurales\ observados}{\#Elementos\ estructurales\ analizados} \quad (4.16.1)$$

El uso del esclerómetro y de la velocidad del pulso ultrasónico apoya a determinar la calidad general y uniformidad de la estructura. El uso de uno sólo de ellos no da la seguridad necesaria ya que cada uno depende de muchos factores –como cuán capacitado está el operador en la manipulación del equipo-. Por tanto, ambos métodos de ensayos no destructivos serán utilizados para la formulación del indicador.

El esclerómetro o martillo de rebote de Schmidt mide la dureza de la superficie y permite verificar la uniformidad del concreto. El procedimiento consiste en presionar el émbolo contra el elemento estructural y esperar a que el esclerómetro mida el rebote. El equipo registra la respuesta ante el rebote en un visor escalado de 10-100. Esta lectura da simplemente una **indicación** de la resistencia y la dureza del concreto (Kosmatka, 2004). Sin embargo, si se desea estimar la resistencia mediante los resultados del esclerómetro es necesario efectuar correlaciones, las cuales pueden ser tema de investigaciones futuras.

Al igual que en el caso anterior, se trabajará con una **muestra** de elementos estructurales –muros, vigas o columnas- lo cuales se pondrán a evaluación mediante el esclerómetro según lo establecido en la norma ASTM C805. Con el mapeo de las lecturas de los rebotes se obtendrá el promedio ( $X_{prom}$ ), la desviación estándar (DS) y el coeficiente de variación (CV%) –dividiendo DS entre  $X_{prom}$ - para cada elemento en cuestión. Se usará este último cálculo estadístico para determinar el grado de uniformidad del elemento. Mientras mayor sea el coeficiente de variación indicará mayor heterogeneidad, por ello los valores menores serán los ideales. El indicador consistirá en dividir el valor promedio de coeficientes de variación dentro de la muestra estudiada

conforme la ecuación (4.16.2) y dividirlo entre 100. Valores mayores como resultado en el indicador significan mayor uniformidad en la estructura y valores menores implican una menor uniformidad.

$$I_{C_{ESTR-UNIF}} = \frac{100 - CV_{\% \text{ valor promedio}}}{100} \quad (4.16. 2)$$

Las mediciones de velocidad del pulso ultrasónico han sido usadas ya anteriormente para determinar la calidad del concreto. Por ejemplo, Leslie y Cheesman propusieron intervalos de valores que indican el nivel de calidad del concreto. En la **tabla 10** se muestran los valores propuestos en su investigación.

**Tabla 10.** Clasificación de la calidad del concreto según Leslie y Cheesman

FUENTE: Tabla extraída del artículo “An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures” (Leslie & Cheesman, 1949)

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO POR MEDIO DE LA VELOCIDAD DE ONDA					
Calidad del concreto	MUY POBRE	POBRE	REGULAR	BUENA	EXCELENTE
Velocidad del pulso ultrasónico (m/s)	<2130	2130-3050	3050-3650	3650-4670	>4570

El procedimiento consiste en colocar dos transductores sobre la superficie del concreto los cuales tendrán algún agente acoplante que permita el ingreso del pulso generado. El segundo transductor percibirá primero las ondas P y luego las ondas S emitidas. Al introducir la distancia, los circuitos de temporización electrónicos medirán el tiempo, para lo cual el equipo podrá entregar la velocidad del pulso ultrasónico mediante la división de la distancia entre el tiempo. El alcance, el procedimiento a más detalle e información adicional sobre este método se pueden encontrar en la norma ASTM C597.

La velocidad del pulso ultrasónico está influenciada por las propiedades del concreto que determinan su rigidez y resistencia; por lo cual alguna variación en su valor refleja falta de uniformidad en el elemento. Variaciones como vacíos internos –producto, por ejemplo, de compactaciones deficientes- alteran la velocidad reduciéndola (Lipa Cusi & Del Álamo Carazas, 2015). Por tanto, altas velocidades indican un concreto de buena calidad mientras que velocidades bajas reflejan un concreto de calidad pobre (Kosmatka, 2004) tal cual se puede apreciar en la investigación de Leslie & Cheesman.

Muchas investigaciones como la de Leslie & Cheesman han propuesto rangos de velocidad del pulso ultrasónico para indicar los niveles de calidad del concreto. Los resultados obtenidos han terminado en valores distintos debido a que los materiales usados en cada contexto implican diferencias en las velocidades obtenidas. Debido a ello se considera que es necesario mayor investigación en el medio peruano y por tanto no se pueden tomar los rangos presentados en la **tabla 10** como valores incuestionables. Sin embargo, se presentará el tercer indicador partiendo de esta investigación como una primera propuesta que posteriormente podrá ser ajustada a medida que existan mayores investigaciones.

Para obtener el tercer indicador de calidad se trabajará con una **muestra** –como en los casos anteriores- de elementos estructurales que serán evaluados para obtener su velocidad del pulso ultrasónico. Se obtendrá el promedio de estos valores y se dividirán entre 4160 m/s, valor promedio en el rango de calidad Bueno en la investigación de Leslie & Cheesman. Entonces, el tercer indicador para evaluar la calidad de la estructura es el presentado en la ecuación (4.16.3). Valores mayores a 1 significan una buena calidad y valores menores a 1 darán una intuición de que tal vez la estructura deba ser observada.

$$IC_{ESTR-CALD} = \frac{\text{Velocidad del Pulso Ultrasónico}_{promedio}}{4160} \quad (4.16.3)$$

Finalmente, después de uniformizar los 3 indicadores de calidad de la estructura se obtuvo el indicador final el cual se presenta en la ecuación (4.16). Un resultado mayor a 1 para este indicador implica una buena calidad de la estructura y un valor menor a 1 una calidad pobre.

$$IC_{ESTR} = \frac{(IC_{ESTR-REF} - 1) + IC_{ESTR-UNIF} + IC_{ESTR-CALD}}{3} \quad (4.16)$$

- **INDICADOR DE LA CALIDAD DE LAS INSTALACIONES SANITARIAS (IC<sub>ISAN</sub>) Y DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS (IC<sub>ELECT</sub>):** Al igual que la estructura, la calidad de las instalaciones sanitarias y eléctricas debe ser puesta a evaluación durante el uso de la edificación al término del periodo de garantía.

El indicador propuesto para las instalaciones sanitarias y eléctricas consiste en comparar la cantidad de reclamos con la cantidad de puntos de agua y desagüe -en el caso de las instalaciones sanitarias- y con la cantidad de puntos de alumbrado, tomacorrientes y salidas –en el caso de las instalaciones eléctricas.

Para poder usar el indicador es necesario establecer un ratio entre el número de reclamos y un número de puntos en el proyecto. Por ejemplo, un ratio puede ser 1 reclamo por 25 puntos. Este ratio es establecido según los objetivos del mismo proyecto. Luego se multiplica la inversa del ratio con la relación entre el número total de reclamos registrados debido a las instalaciones y el número total de puntos en el proyecto como se presenta en las ecuaciones (4.17) y (4.18).

$$I_{isant} = \frac{1}{ratio} * \frac{\#total\ de\ reclamos}{\#total\ de\ puntos} \quad (4.17)$$

$$I_{ieléct} = \frac{1}{ratio} * \frac{\#total\ de\ reclamos}{\#total\ de\ puntos} \quad (4.18)$$

Un valor resultado en el indicador que sea mayor a 1 indica que la calidad deseada debido a las instalaciones no se ha logrado. Un valor resultado menor a 1 indica una buena calidad, mientras menor sea el indicador a la unidad quiere decir que la calidad puede ser considerada de buena a excelente.

- **INDICADOR DE LA CALIDAD DE LOS ACABADOS (IC<sub>AC</sub>):** La calidad de los acabados también será analizada; sin embargo, esta puede ser difícil de medir pues se emplea una diversidad de materiales según los objetivos de cada proyecto en cuestión. Por ello, en este caso, el indicador consistirá en solicitar al cliente que otorgue una valoración según el nivel de satisfacción que tiene debido a los acabados. Esta valoración deberá estar entre 1-10 puntos, en donde 1 indica *totalmente insatisfecho*; 5 *medianamente satisfecho* y 10 *totalmente satisfecho*.

Para usar el indicador se dividirá el valor promedio de las valoraciones de los clientes entre la línea base, la cual será propuesta según los miembros del staff. Mientras más pequeño sea el valor en relación a la unidad, se indicará que la calidad obtenida debido a los acabados en conjunto no ha sido la esperada. Un valor igual a 1 sería el caso ideal e indicaría que se obtuvo la calidad deseada.

$$I_{c_{acab}} = \frac{\text{Promedio valoración del cliente}}{\text{Valor esperado en la valoración}}$$

(4. 19)

**D. INDICADOR DE MEDIO AMBIENTE:** Para la fase construcción se puede identificar 1 indicador de medio ambiente: el Indicador de desempeño ambiental para la construcción ( $I_{desempC_{MA}}$ ). De la misma forma que en las fases diseño y abastecimiento, el indicador de desempeño medio ambiental para la fase construcción será propuesto sobre la base de los créditos otorgados en la certificación LEED. El indicador propuesto (4.20) consistirá en comparar la cantidad de créditos de construcción obtenidos con la cantidad de créditos deseados. Su evaluación será realizada al término de la fase ejecución.

$$I_{desempC_{MA}} = \frac{\text{Crédito de construcción obtenidos}}{\text{Créditos de construcción deseados}}$$

(4. 20)

**E. INDICADORES DE SOCIEDAD:** Para la fase construcción se puede identificar 1 indicador de sociedad. Este es el Indicador de seguridad de obra ( $I_{secur}$ ).

○ **INDICADOR DE SEGURIDAD DE OBRA ( $I_{secur}$ ):** Un aspecto que faltaría tomar en cuenta en el ámbito social sería el impacto en la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores y/o mano de obra. Por ello, el indicador de resultado propuesto (4.21) mide la relación entre el número de accidentes registrados al término de la fase obra con el número promedio de trabajadores en obra.

$$I_{secur} = \frac{\text{\#Accidentes reportados}}{\text{\#Promedio de trabajadores en obra}}$$

(4. 21)

#### 4.3.2 VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES DE RESULTADO

El siguiente paso para poder aprobar el uso del tablero de control, es validar los indicadores propuestos por el **Equipo de investigación MOTIVA**. El Departamento



Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia generó una Guía para el diseño, construcción e interpretación de indicadores (2010). En dicho manual presentan un grupo de criterios de validación de indicadores en 3 dimensiones: con respecto a la calidad de la métrica, en relación a la calidad estadística y en relación a la utilidad y comprensión del indicador. A continuación se presentarán dichos criterios y la validación de su uso en el presente proyecto de investigación.

- **CRITERIOS DE VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES:**

i. **Criterios para selección de indicadores con respecto a la calidad del indicador:** Los criterios presentados por la guía para esta sección son Pertinencia, Funcionalidad, Disponibilidad, Confiabilidad y Utilidad. En La tabla 11 se presenta la definición de cada una desarrollada en la guía creada por DANE.

En este caso, todos los criterios fueron considerados como válidos para la aprobación de los indicadores.

**Tabla 11.** Criterios para la selección de indicadores con respecto a la calidad del indicador

N°	Nombre	Descripción	Comentario
1	<b>Pertinencia</b>	La guía menciona que para poder determinar si la métrica es pertinente, se precisa responder lo siguiente: ¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa? Con este análisis se busca que el indicador describa el objeto de acción adecuadamente.	<b>Válido</b>
2	<b>Funcionalidad</b>	Para saber si un indicador cumple el criterio de Funcionalidad es necesario preguntarse lo siguiente: ¿El indicador es monitoreable? Con este criterio se busca verificar que la métrica sea realmente medible, operable y sensible a los cambios del objeto en estudio.	<b>Válido</b>
3	<b>Disponibilidad</b>	Es vital responder ¿La información del indicador está disponible? Analizar la disponibilidad del indicador permite determinar si los indicadores están siendo construidos sobre la base de variables sobre las cuales exista información estadística de tal forma que dicha información pueda ser consultada cuando sea necesario.	<b>Válido</b>
4	<b>Confiabilidad</b>	Para determinar la Confiabilidad de un indicador se debe responder ¿de dónde provienen los datos?, ¿son estos confiables? En efecto, los datos que se emplearán en los indicadores deben ser medidos bajo criterios aceptables y la información como resultado del indicador debe poder ser usada estadísticamente.	<b>Válido</b>
5	<b>Utilidad</b>	Para determinar la Utilidad del indicador se pregunta si este es relevante con lo que se quiere medir, en este caso, el desempeño del proyecto. El objetivo de analizar la utilidad es poder tomar decisiones sobre la base de los resultados y análisis de ellos.	<b>Válido</b>

ii. **Criterios para selección de indicadores con respecto a la calidad de la estadística de la métrica:** En esta sección se presentan los criterios que guardan relación con la calidad estadística. La guía aclara que garantizar esta es fundamental para la obtención de los indicadores. Por ello se proponen los criterios Relevancia, Credibilidad, Accesibilidad, Oportunidad y Coherencia.

A diferencia de la primera sección, en este caso se validaron 2 de los 5 criterios presentados. Los detalles se presentan en la **tabla 12**.

**Tabla 12.** Criterios para la selección de indicadores con respecto a la calidad de la estadística del indicador

N°	Nombre	Descripción	Comentario
6	<b>Relevancia</b>	La guía establece que la relevancia del indicador depende del grado de utilidad necesario para satisfacer el propósito por el cual fue buscado por los usuarios.	<b>Inválido</b> , pues esto se puede determinar mediante el criterio de Utilidad ya mencionado.
7	<b>Credibilidad</b>	DANE cita al Instituto Nacional de estadística de Chile y menciona que el objetivo del criterio Credibilidad es evaluar si los indicadores están soportados en "estándares estadísticos apropiados y que las políticas y prácticas aplicadas sean transparentes para los procedimientos de recolección, procesamiento, almacenaje y difusión de datos estadísticos" (INE, 2007).	<b>Inválido</b> , pues esto se puede determinar mediante el criterio Confiabilidad ya mencionado.
8	<b>Accesibilidad</b>	La guía cita a OECD y determina que el criterio de accesibilidad analiza la "rapidez de localización y acceso desde y dentro de la organización". En otras palabras, cuán accesible son los datos a usar, los medios de divulgación, la disponibilidad de metadatos y servicios de apoyo al usuario (2003).	<b>Válido</b>
9	<b>Oportunidad</b>	Este criterio establece que un indicador es oportuno cuando su uso es útil para el momento de su obtención. Es decir, ¿su uso permitirá tomar acciones correctivas a su debido tiempo?	<b>Inválido</b> , ya que este criterio aplicaría si se tratara de indicadores del tipo proceso y se está trabajando con del tipo resultado.
10	<b>Coherencia</b>	El objetivo de este criterio es determinar si el proceso estadístico a realizar para el indicador tiene coherencia y puede ser revisado posteriormente.	<b>Válido</b>

iii. **Criterios para selección de indicadores relacionados con la utilidad y comprensión de los indicadores para los usuarios:**

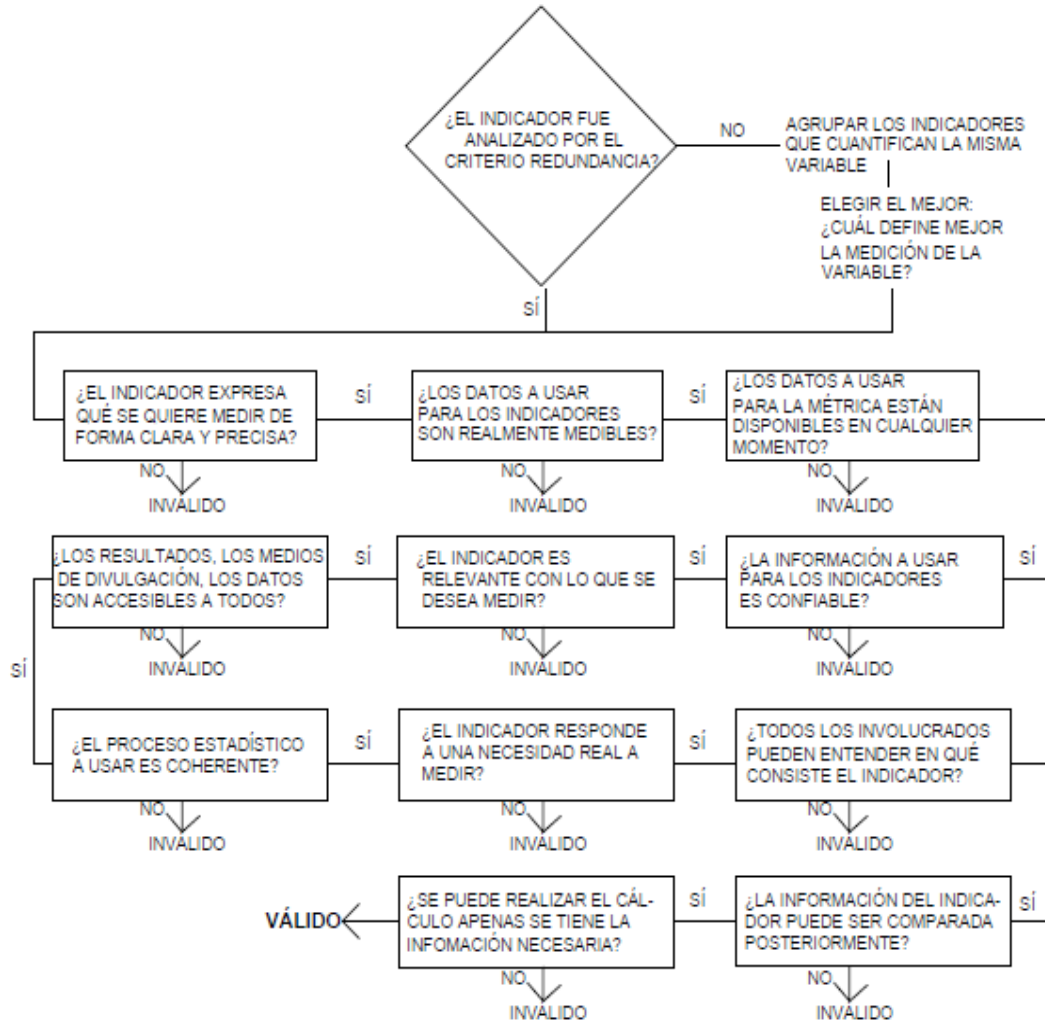
Los criterios presentados para esta sección son Aplicabilidad, No redundancia, Interpretabilidad, Comparabilidad y Oportunidad. En la **tabla 13** se desarrolla la definición para cada uno de ellos según la guía propuesta por DANE.

Al igual que en el primer caso, todos los criterios se consideraron válidos para la selección de los indicadores.

**Tabla 13.** Criterios para la selección relacionados con la utilidad y comprensión de los indicadores para los usuarios

N°	Nombre	Descripción	Comentario
11	<b>Aplicabilidad</b>	Para poder determinar si el indicador es aplicable hay que preguntarse si dicho indicador responde realmente a una necesidad real que debe ser medida la cual haga necesaria su generación y utilización. Pues, no consiste en medir por medir, sino en medir lo más importante ya que al final se podría llenar de información innecesaria.	<b>Válido</b>
12	<b>No redundancia</b>	Este criterio establece que no debe haber redundancia entre varios indicadores. Cada indicador debe medir un fenómeno en particular y se debe elegir uno entre aquellos que estén correlacionados. De lo contrario, se obtendría información similar que no agregaría valor.	<b>Válido</b>
13	<b>Interpretabilidad</b>	Para determinar la interpretabilidad de un indicador hay que preguntarse si es fácil de entender para todos. Esto incluye el cliente y todos los interesados, no sólo a los especialistas.	<b>Válido</b>
14	<b>Comparabilidad</b>	Los resultados de los indicadores deben ser comparables en el tiempo siempre y cuando utilicen la misma información de base. Deben ser comparables en otras regiones o países.	<b>Válido</b>
15	<b>Oportunidad</b>	Para determinar si el indicador es oportuno se debe preguntar si este puede ser medible inmediatamente se tiene la información a usar en su cálculo. La obtención de estos debe ser fácil y rápida pues no debe haber obstáculos para la evaluación del desempeño, de esa forma el reajuste de los procesos será posible en el momento.	<b>Válido</b>

Finalmente, en la **figura 18** se pueden ver los criterios finales y las preguntas que se deben responder como filtro. Todos los indicadores obtenidos propuestos en el tablero de control pasarán este análisis. Cabe resaltar que basta que se responda NO a algunos de los criterios y se considerará como indicador **No válido**. Asimismo, el primer criterio con el cual se estudiará cada indicador será el de No redundancia. Este será el primer filtro pues garantizará que los indicadores propuestos no representen lo mismo entre ellos.



**Figura 18.** Proceso de validación de indicadores de resultado  
FUENTE: Propia

- **INDICADORES VALIDADOS:**

El número de indicadores de resultado presentados en el tablero de control es 21. Cada uno de estos fue evaluado según el diagrama presentado en la **figura 18** y fue discutido por parte del **Equipo de Investigación MOTIVA**.

Lo primero que se realizó fue analizar todos los indicadores bajo el criterio de No redundancia. De ello se concluye que todos pueden pasar al siguiente nivel de análisis ya que no cuantifican la misma variable.

Por tanto, después del primer filtro, cada indicador fue sometido a las 11 preguntas establecidas para cada criterio. En las **tablas 14 a 34** se presentan los resultados.

- i. **Fase Diseño:** Los 8 indicadores presentados para la fase Diseño resultaron válidos.

**Tabla 14.** Validación del Indicador costo de obra - diseño

INDICADOR: Indicador costo de obra - diseño				
Nº	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 15.** Validación del Indicador de rentabilidad

INDICADOR: Indicador de rentabilidad				
Nº	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

Tabla 16. Validación del Indicador de tiempo - diseño

INDICADOR: Indicador de tiempo - diseño				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

Tabla 17. Validación del Indicador de satisfacción del usuario

INDICADOR: Indicador de satisfacción del usuario				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 18.** Validación del Indicador de constructabilidad

INDICADOR: Indicador de constructabilidad				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 19.** Validación del Indicador de incompatibilidades

INDICADOR: Indicador de incompatibilidades				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 20.** Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Diseño

<b>INDICADOR: Indicador de desempeño Medio Ambiental - Diseño</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 21.** Validación del Indicador de desempeño Social - Diseño

<b>INDICADOR: Indicador de desempeño Social - Diseño</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	



- ii. **Fase Abastecimiento:** Los 5 indicadores presentados en la fase Abastecimiento resultaron válidos.

**Tabla 22.** Validación del Indicador de calidad de los materiales en la estructura

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de los materiales en la estructura</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 23.** Validación del Indicador de calidad de los materiales en las instalaciones sanitarios

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de los materiales usados en las Inst. Sanitarias</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 24.** Validación del Indicador de calidad de los materiales en las instalaciones eléctricas

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de los materiales en las Inst. Eléctricas</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 25.** Validación del Indicador de calidad de los materiales en los acabados

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de los materiales en los acabados</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 26.** Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Abastecimiento

<b>INDICADOR: Indicador de desempeño Medio Ambiental - Abastecimiento</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

iii. **Fase Ejecución:** Los 8 indicadores presentados para esta fase resultaron válidos.

**Tabla 27.** Validación del Indicador de costo en la fase construcción

<b>INDICADOR: Indicador de costo en la fase construcción</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 28.** Validación del Indicador de tiempo en la fase construcción

INDICADOR: Indicador de tiempo en la fase construcción				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 29.** Validación del Indicador de calidad de la estructura

INDICADOR: Indicador de calidad de la estructura				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 30.** Validación del indicador de calidad de las instalaciones sanitarias

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de las instalaciones sanitarias</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 31.** Validación del Indicador de calidad de las instalaciones eléctricas

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de las instalaciones eléctricas</b>				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 32.** Validación del indicador de calidad de los acabados

<b>INDICADOR: Indicador de calidad de las instalaciones sanitarias</b>				
Nº	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

**Tabla 33.** Validación del Indicador de desempeño Medio Ambiental - Construcción

<b>INDICADOR: Indicador de desempeño Medio Ambiental - Construcción</b>				
Nº	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

Tabla 34. Validación del Indicador de seguridad

INDICADOR: Indicador de seguridad				
N°	Criterio	Sí	No	Observación
1	¿El indicador expresa qué se quiere medir de forma clara y precisa?	X		
2	¿Los datos a usar para los indicadores son realmente medibles?	X		
3	¿Los datos a usar para las métricas están disponibles en cualquier momento?	X		
4	¿La información a usar para los indicadores es confiable?	X		
5	¿El indicador es relevante con lo que se desea medir?	X		
6	¿Los resultados, los medios de divulgación, los datos son accesibles a todos?	X		
7	¿El proceso estadístico a usar es coherente?	X		
8	¿El indicador responde a una necesidad real a medir?	X		
9	¿Todos los involucrados pueden entender en qué consiste el indicador?	X		
10	¿La información del indicador puede ser comparada posteriormente?	X		
11	¿Se puede realizar el cálculo apenas se tiene la información necesaria?	X		
<b>RESULTADO:</b>			<b>VÁLIDO</b>	

Después de varias discusiones y análisis de los indicadores propuestos por el **Equipo de Investigación MOTIVA** los 21 indicadores resultaron válidos para ser usados en proyectos de construcción de edificaciones.

#### 4.4 OBTENCIÓN DEL INDICADOR DE RESULTADO GLOBAL POR FASE

El tablero de control presentado contiene 21 indicadores de resultado distribuidos en 3 de las fases del ciclo de vida de un proyecto: Diseño, Abastecimiento y Ejecución. Asimismo, estos fueron agrupados en 5 perspectivas las cuales se considera abarcan todos los aspectos para evaluar el progreso de un proyecto de construcción. Estas perspectivas son costo, tiempo, calidad, medio ambiente y sociedad. Las 3 primeras pertenecen al denominado triángulo de hierro y las 2 últimas corresponden a las dimensiones del concepto de sustentabilidad. Este último concepto trabajado sobre la base de la triple cuenta de resultados define 3 dimensiones cuya conjugación llega a dicha sustentabilidad. El nexos entre la triple cuenta de resultados y el triángulo de hierro es justamente la dimensión economía (costo). Por tanto, se propone que las 5 dimensiones de evaluación del progreso del proyecto se pueden presentar como en la **figura 19**.



**Figura 19.** Perspectivas en un proyecto de construcción  
FUENTE: Propia

Las 5 perspectivas tienen igual peso al momento de evaluar el progreso del proyecto. Por ello, el indicador para cada una de las 3 fases constará de una suma equitativa en donde los sumandos serán los indicadores que resulten de cada perspectiva que abarca la fase en cuestión. De acuerdo a la lógica seguida para obtener el PIB, el indicador de resultado global para cada fase quedará como los presentados en las ecuaciones (4.22), (4.23) y (4.24)

$$I_{\text{diseño}} = I_{\text{costo}_D} + I_{\text{tiempo}_D} + I_{\text{calidad}_D} + I_{\text{medioambiente}_D} + I_{\text{sociedad}_D} \quad (4.22)$$

$$I_{\text{abastecimiento}} = I_{\text{calidad de los materiales}_A} + I_{\text{medioambiente}_A} \quad (4.23)$$

$$I_{\text{construcción}} = I_{\text{costo}_C} + I_{\text{tiempo}_C} + I_{\text{calidad}_C} + I_{\text{medioambiente}_C} + I_{\text{sociedad}_C} \quad (4.24)$$

Sin embargo, los resultados obtenidos para cada indicador en cada perspectiva no pueden ser sumados inmediatamente han sido obtenidos. Una vez conseguido el resultado de cada indicador -al cual se le denominará como “dato”-, se buscará



uniformizar y luego normalizar este valor para que se encuentre en una escala de entre 0 y 1.

Debido a que en algunos indicadores, un valor mayor a la unidad significa un resultado positivo y en otros casos refleja un resultado negativo, se buscará uniformizar primero los datos para que reflejen un mismo tipo de resultado. En este caso se uniformizará de tal manera que un valor menor a 1 reflejará un resultado negativo y un valor mayor a 1 un resultado positivo. De esta forma, los indicadores presentados en las ecuaciones (4.25), (4.26), (4.27), (4.28), (4.29), (4.30), (4.31), (4.32) y (4.33) quedarán uniformizados. Cabe resaltar que los demás indicadores presentados en el tablero de control de la página 55 no necesitan ser uniformizados pues sus resultados ya reflejan lo deseado.

$$Ico *_D = |Ico_D - 1| \quad (4.25)$$

$$Irent *_ = |Irent - 1| \quad (4.26)$$

$$It *_D = |It_D - 1| \quad (4.27)$$

$$Icompat *_ = |Icompat - 1| \quad (4.28)$$

$$Ico *_C = |Ico_C - 1| \quad (4.29)$$

$$It *_C = |It_C - 1| \quad (4.30)$$

$$Ic *_sant = |Ic_{sant} - 1| \quad (4.31)$$

$$Ic *_el\acute{e}ct = |Ic_{el\acute{e}ct} - 1| \quad (4.32)$$

$$Isegur * = |Isegur - 1|$$

(4. 33)

Consecuentemente todos los indicadores del tablero serán normalizados mediante la ecuación (4.34). Esta forma de normalización de datos ubicará los resultados obtenidos en una escala de 0 a 1. Mientras mayor sea el valor obtenido dentro de esa escala, se puede intuir que el resultado es más favorable.

$$Ii = \frac{x - \min \{ \}}{\text{máx} \{ \} - \min \{ \}}$$

(4. 34)

En esta ecuación “Ii” refiere al indicador ya normalizado, “x” corresponde al dato y “min { }” y “máx { }” refieren al menor y al mayor valor aceptable para el resultado del indicador respectivamente. Estos dos últimos valores deben ser propuestos por los miembros del staff según los objetivos que se hayan planteado ya que dichos valores pueden variar dependiendo de la magnitud del proyecto.

Una vez uniformizados y normalizados los datos, se obtiene un indicador para las perspectivas que abarquen cada una de las fases. El resultado para cada perspectiva debe ser evaluado primero y luego el resultado de toda la fase como una suma de los resultados parciales –correspondientes a cada perspectiva- puede ser evaluado para realizar comparaciones entre proyectos. Mientras mayor sea el resultado final, dará una idea de que se ha tenido un mejor desempeño.

Finalmente, hay que aclarar que si el resultado obtenido luego de la normalización arroja un valor negativo significa que los datos no representan valores dentro de los umbrales mínimos y máximos. Esto significa que los resultados están totalmente fuera de lo deseado por lo cual reflejan un mal desempeño. Para obtener el indicador de resultado global, el signo de cada indicador parcial debe ser considerado. Al momento de realizar comparaciones, el mayor valor positivo reflejará un mejor resultado.

## V. **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, ACLARACIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentarán las conclusiones, aclaraciones y recomendaciones más relevantes sobre el tema desarrollado en el proyecto de investigación.

- Los indicadores de proceso son los que deben formar parte de las prácticas de gestión pues estos brindan la oportunidad de emprender las acciones correctivas a tiempo. Esta es la gran diferencia al comparar con los indicadores de resultado, los cuales indican la situación al término de todo. Al ser del tipo post-mortem permiten, principalmente, apuntar las lecciones aprendidas para futuros proyectos; mas no permiten corregir el proyecto actual. Sin embargo, para poder proponer los indicadores de proceso, se debe partir de los indicadores de resultado, pues estos siempre están asociados a las metas y permiten ver el amplio panorama de cómo llegar a dichas metas. Con este punto de partida, se proceden a plantear los indicadores de proceso pues se sabe a dónde se quiere dirigir. Esta conclusión se aprecia más claramente con el ejemplo del peso. El deseo de bajar de peso para una persona puede significar una meta personal. El peso, indicador de resultado, está asociado a esa meta directamente. Al cabo de un periodo, basta con subir a una balanza y determinar si se logró bajar de peso. Asociado al indicador de resultado peso, están los indicadores de proceso *calorías quemadas* y *calorías consumidas* por día. Estos últimos al ser monitoreados constantemente garantizan que al término del periodo se haya bajado de peso. Entonces, se hace notorio que si no se define el indicador de resultado, sería muy difícil proponer los indicadores de proceso. Por ello, este proyecto de investigación ha tomado como partida el proponer los indicadores de resultado para que en una futura línea de investigación se propongan los indicadores de proceso sobre la base del aporte presentado.

- Las perspectivas medio ambiente y sociedad deben ser analizadas siempre que se desee evaluar el progreso de un proyecto. En efecto, no se puede negar que los proyectos de construcción siempre tendrán un impacto no sólo en el entorno inmediato, sino también en el planeta. El uso excesivo de materiales no renovables, la perturbación de ecosistemas existentes, la despreocupación por la comunidad del emplazamiento son ejemplos de situaciones que afectan negativamente mientras se construye el medio ambiente.

Crear que gastar en estas perspectivas es innecesario y afectará terriblemente la economía de los proyectos es un pensamiento erróneo; pues, en lugar de ello, cualquier

gasto servirá de inversión. Las consecuencias positivas surgirán a largo plazo cuando los gastos operativos se reduzcan, los espacios sean lugares agradables y confortables y se posean ambientes más sanos para las personas.

- El indicador que busca medir el desempeño ambiental está propuesto sobre la base de los puntajes en la certificación LEED. Sin embargo, existen críticas frontales a esta certificación que deben ser mencionadas. Se pueden indicar las siguientes (Gómez, 2012). Se han realizado pruebas a los edificios certificados y se ha demostrado que muchos de ellos –incluso aquellos que se encuentran en la categoría Gold- tienen mayor consumo energético que otros edificios equivalentes y no certificados. Asimismo, tampoco se ha demostrado que mientras mayor sea el nivel de certificación, el consumo energético será menor. Se alega que la eficiencia energética también depende de la operación y el mantenimiento brindado a la edificación. Otra crítica presentada es que en los edificios destinados al alquiler los inquilinos no están dispuestos a pagar un sobreprecio en la renta por tratarse de un edificio certificado LEED. De hecho, críticos expertos en eficiencia energética, como Herry Gifford, indican que es imposible que un edificio dé la garantía de cuánta energía no se usará (Cater, 2010) . Además, esta certificación trabaja sobre la base de predicciones de consumo de energía. En efecto, se usa un modelo de simulación energética en los edificios y con la información obtenida se otorga los puntajes. Los estudios que se han realizado para comparar la eficiencia real de los edificios con la predicción de los modelos no han podido demostrar que exista una correlación entre el modelo y la realidad. En su lugar se ha podido resaltar una importante desviación entre los resultados de la simulación y el rendimiento energético real de la edificación construida. Finalmente, otra crítica hacia la certificación LEED es que está consta de criterios enfocados al mercado americano. En otras partes del mundo, el contexto involucra diseños urbanísticos y prácticas constructivas distintas. Por lo cual, la aplicación para obtener esta certificación puede verse limitada si no se encuentra dentro del medio americano.

Si bien existe un número de críticas a esta certificación, habría que analizar cada una de ellas y determinar su veracidad. Sin embargo, es necesario debido a la existencia de dichas detracciones aclarar que el indicador desarrollado en el tablero de control es una primera propuesta que puede ir ajustándose a medida que se realicen más investigaciones relacionadas a la perspectiva medio ambiente en el sector construcción.

- Los equipos propuestos a usar para la determinación del indicador de calidad de la estructura no son muy accesibles económicamente para todas las empresas. Por ello, se considera que los programas de simulación podrían ser una buena opción para determinar la calidad de la estructura. Esto debido a que aportan a tener una idea de cómo será el desempeño frente a cargas como sismos, asentamientos diferenciales o a cualquier perturbación geodinámica. Cabe resaltar que estas simulaciones deben tratar de adecuarse lo más posible a la realidad y deben ser realizadas en la fase diseño para garantizar un buen comportamiento en el futuro.

- Los indicadores proporcionados en el presente proyecto de investigación pertenecen sólo al tipo Edificación. Construcciones como otras infraestructuras presentan particularidades que deben ser analizadas a detalle. Estas, por tanto, terminarían en un grupo de indicadores diferentes a los presentados. Por ejemplo, hay más detalles a considerar con respecto al impacto medioambiental y/o social cuando se trata del diseño de una presa hidroeléctrica o un puente.

- Los indicadores presentados representan una propuesta que no ha sido evaluada. Si bien la forma de medir puede ser diferente según los objetivos de los proyectos en cuestión –como se pudo apreciar en la extensiva búsqueda de la información- esta investigación busca presentar un nuevo aporte que sirva como integración de los indicadores a las prácticas de gestión.

- Se concluye que el presente proyecto de investigación presenta resultados satisfactorios. En efecto, gracias a las discusiones en el **Equipo de investigación MOTIVA** se presentan indicadores útiles al momento de evaluar el desempeño, los cuales se asemejan mucho a lo que se desea medir al momento de emprender un proyecto. Asimismo, gracias a los 107 indicadores identificados en el estado actual se puede afirmar que los indicadores permiten alertar sobre desviaciones en los propósitos de los proyectos y, además, sirven como retroalimentación para futuros trabajos.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA COMENTADA

- **LEARNING FROM COLLABORATIVE BENCHMARKING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY – ALARCÓN (2001)**

Este artículo presenta una investigación realizada en lo referente a indicadores de desempeño y la adaptación de un proyecto Benchmarking a la industria de la construcción chilena. Asimismo, discute la implementación de sistemas de medida de desempeño y presenta observaciones preliminares las cuales fueron obtenidas por el estudio de compañías chilenas en una base de datos benchmarking. En su desarrollo se identificaron indicadores útiles para la revisión de la literatura.

- **PERFORMANCE MEASURING BENCHMARKING AND MODELLING OF CONSTRUCTION PROJECTS – ALARCÓN (1996)**

Este paper busca incentivar la implementación de sistemas de medida de desempeño. Para ello diagnostica el estado actual del uso de estas prácticas en la industria chilena y propone un modelo basado en Benchmarking que contiene un set de parámetros importantes a emplear.

- **TRIPLE BOTTOM LINE AND SUSTAINABILITY: A LITERATURE REVIEW – ALHADDI (2015)**

El artículo busca desarrollar cómo ha sido definido el término Sustentabilidad a lo largo del tiempo. Debido a que está relacionada con la triple cuenta de resultados o triple bottom line, explica cada una de sus dimensiones y cuál es su aporte a la sustentabilidad. El desarrollo de este paper es un gran aporte pues presenta una muy buena recopilación sobre la sustentabilidad y sobre el marco teórico relacionado a ella desde la concepción del término en el año 1987.

- **INDICATORS FOR MEASURING PERFORMANCE OF BUILDING CONSTRUCTION COMPANIES IN KINGDOM OF SAUDI ARABIA – ALI (2013)**

Como parte de una investigación, el Reino de Arabia Saudita propuso a un grupo de ingenieros determinar el estado de la gestión del sector constructor en su país sobre la base de indicadores de rendimiento. Para esto, los encargados de este proyecto obtuvieron un set de 47 indicadores los cuales fueron puestos a evaluación por las

compañías más importantes del medio. Finalmente, después del análisis realizado presenta una lista con los 10 indicadores considerados más importantes por parte de las empresas que colaboraron con la investigación.

- **EL BALANCE SCORECARD: UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA (2006)**

En el artículo se busca exponer los beneficios del Balance ScoreCard como herramienta administrativa. Asimismo, la forma de usarla y las perspectivas en las que se fundamenta son detalladas con mayor precisión para la comprensión de dicha herramienta.

- **DESARROLLO DE UN ÍNDICE PARA EL CONTROL DE AVANCE DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DURANTE SU CICLO DE VIDA – CABALLERO (2015)**

El artículo busca desarrollar un índice de control de avance para proyectos de construcción. Para ello identifica indicadores de desempeño para cada etapa del ciclo de vida y usa un modelo aditivo de pesos ponderados para integrar el modelo matemático empleado. Para conocer los indicadores de desempeño relevantes emplea el método Delphi de expertos. El artículo se centra en el desarrollo de un solo índice más no trabaja cada indicador a emplear en su modelo matemático. Sino, usa indicadores ya existentes y presenta principalmente la obtención del índice resumen-

- **ANALYZING THE INTERRELATION BETWEEN MANAGEMENT PRACTICES, ORGANIZATIONAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE INDICATORS FOR CONSTRUCTION COMPANIES – CASTILLO (2015)**

Castillo busca en este artículo determinar la relación entre las prácticas gerenciales, características organizacionales y el desempeño de un proyecto analizando 9 compañías de construcción chilena. En efecto, la fuerte relación determinada es propuesta como apoyo en el diseño de estrategias de mejora en el rendimiento de compañías y proyectos.

- **PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEMS FOR BENCHMARKING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY – COSTA (2004)**

Costa presenta en este artículo una explicación de los primeros esfuerzos realizados para implementar el enfoque Benchmarking en el sector constructor. Asimismo,

concluye precisando las dificultades en común que tuvieron dichas iniciativas al introducir los indicadores de desempeño en sus prácticas de gestión.

- **MEASUREMENT OF PROJECT SUCCESS – DE WIT (1988)**

Este paper cuestiona si el hecho de que la gestión de un proyecto sea exitosa indica que el proyecto en efecto puede considerarse de igual forma exitoso. Por ello propone un marco teórico para evaluar el éxito de un proyecto a través de la comparación entre el desempeño con lo que el autor llama *criterio de éxito* en referencia a los objetivos de un proyecto. Para su propuesta analiza los factores que diferentes perspectivas han identificado como piezas que afectan al éxito de un proyecto, analiza cómo cambian los objetivos a medida que se avanza a lo largo del ciclo de vida y evalúa cómo afecta la relación entre los stakeholders al éxito del proyecto. Para el año de su publicación este artículo introdujo a los lectores en una nueva visión de cómo se debería medir el éxito de un proyecto. Efectivamente, con las investigaciones realizadas hasta la actualidad se afirma que no basta sólo con controlar que el presupuesto se haya cumplido, que se haya acabado a tiempo y que los planos hayan sido cumplidos al pie de la letra; sino, hay que analizar qué objetivos se desea cumplir en cada fase y evaluar si estos han sido realmente satisfechos.

- **GUÍA PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INTERPRETRACIÓN DE INDICADORES – DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2010)**

La guía para diseño, construcción e interpretación de indicadores presenta una metodología útil para su formulación y validación. El marco presentado fue de gran utilidad para analizar si los indicadores propuestos en esta tesis podrían ser usados en prácticas de gestión de proyectos de construcción.

- **IS THE EARNED VALUE METHOD AN ENEMY OF WORK FLOW? – KIM (2000)**

Este artículo presenta una crítica frontal al Método del Valor Ganado. El autor concluye que dicho método es enemigo del flujo de trabajo ya que al plantear el costo y el presupuesto como criterios para las asignaciones de trabajo, el flujo se volverá incierto. Efectivamente, los administradores encargados pueden buscar manipular los procesos en campo para poder favorecer el resultado del valor ganado.



- **MANUAL TÉCNICO DE INDICADORES DE PYME PROPUESTA METODOLÓGICA – COMUNIDAD ANDINA (2007)**

En este manual se presenta un resumen de los indicadores más importantes a implementar en la mediana y pequeña empresa. Se muestra la definición de cada una de ellos, la fórmula que los describe, las unidades que se emplean y los objetivos que motivaron su creación.

- **LAGGING VS. LEADING INDICATORS: DO YOU KNOW THE DIFFERENCE? – LANNON (2007)**

En este documento de página web se presentan las diferencias entre los indicadores del tipo lagging y los indicadores del tipo leading. Asimismo, se mencionan 7 consejos o tips que permitirían elegir mejor los indicadores a usar para controlar los proyectos. Su desarrollo permite comprender la definición de cada tipo de indicador con más claridad.

- **BENCHMARKING: A TOOL FOR LEAN CONSTRUCTION – MAROSSZEKY (1997)**

Este artículo presenta una revisión de la literatura en lo referente a Benchmarking. Comienza mostrando casos donde su implementación fue exitosa dentro de la industria de la manufactura y luego presenta el uso potencial que podría tener en el sector constructor. Su contenido brinda una aproximación del benchmarking en la construcción. Lo cual para la fecha de la publicación se encontraba en investigaciones iniciales.

- **MODERN CONSTRUCTION: LEAN PROJECT DELIVERY AND INTEGRATED PRACTICES – FORBES (2011)**

Este libro presenta información muy detallada sobre el Lean Project Delivery System, sobre las formas en que se ha estado controlando la productividad y el desempeño en la construcción, explica las herramientas lean usadas para mejorar el rendimiento final, desarrolla los métodos basados en lean para integrar los proyectos, introduce las nuevas tecnologías virtuales para mejorar el manejo de la información en los proyectos, detalla cómo se complementa la gestión de la calidad con la filosofía Lean Construction, desarrolla la integración de la sustentabilidad en la construcción, etc. El contenido de este libro es muy útil para relacionarse con la filosofía Lean en el medio constructor.

- **LA GESTIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS: UNA REFLEXIÓN SOBRE LOS DESAFÍOS A LOS QUE SE ENFRENTAN LAS EMPRESAS EN LA BÚSQUDA DE LA SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL – GIL LAFUENTE (2011)**

Este artículo profundiza el concepto de la sostenibilidad empresarial y cómo se ha estado desarrollando a lo largo de los años. Analiza los desafíos que representa y menciona que mediante la gestión de los grupos de interés se puede encontrar una forma de aproximarse a la utópica sustentabilidad empresarial. Por ello explica la teoría de los grupos de interés, desarrolla su identificación y cómo esta aporta en la construcción de una relación sostenible, detalla formas para identificarlos, explica cómo realizar una segmentación coherente una vez identificados y cómo priorizar y establecer una jerarquía entre dichos grupos. El paper genera una propuesta que busca estudiar la sostenibilidad empresarial, tema que requiere más investigación y el cual debe ser estudiado hoy en día debido a la situación en que se encuentra la humanidad. Es una fuerte reflexión sobre los desafíos que afrontan las empresas que buscan introducir el concepto de sustentabilidad en sus prácticas.

- **LEADING & LAGGING INDICATORS – ICMI (2009)**

El artículo presenta la definición, ejemplos, desventajas y retos que implica cada tipo de indicador. Es decir desarrolla en breves líneas los indicadores del tipo leading y los indicadores del tipo lagging. Los primeros mencionados son indicadores de desempeño y los segundos mencionados son indicadores de resultado. El contenido de este paper deja totalmente claro cada uno de los tipos de indicadores.

- **NEEDS, VALUES AND POST-OCCUPANDY EVALUATION OF HOUSING PROJECT CUSTOMERS: A PRAGMATIC VIEW – ORIHUELA (2014)**

En este paper se genera una propuesta para evaluar la satisfacción del usuario final en edificios del tipo vivienda. Para ello identifica los requerimientos que esta implica y los presenta en 3 niveles, de los cuales en el tercero se presentan 50 preguntas que deben ser resueltas por los clientes para expresar su grado de satisfacción. Esta propuesta forma parte de un indicador presentado en el tablero de control por lo cual fue de mucha utilidad.

- **LAS DIVERSAS CERTIFICACIONES APLICABLES A LOS EDIFICIOS SUSTENTABLES EN MÉXICO – VALLEJO AGUIRRE (2014)**

El artículo ofrece un panorama sobre las certificaciones existentes para edificios que apuntan a ser sustentables dentro de medio mexicano. Explica en qué consiste una certificación y presenta los beneficios en cada nivel de la triple cuenta de resultados que traería su aplicación. Primero menciona las certificaciones internacionales existentes y desarrolla a más detalle la certificación LEED debido a que es la más comercial en el contexto mexicano. Y luego describe las certificaciones nacionales y las normas con las que están relacionadas. Debido a que este paper profundiza sobre el uso de certificaciones en el sector constructor ayuda a comprender mejor la importancia de su aplicación. Ya con los conceptos claros se decidió construir el indicador de desempeño medio ambiental y social sobre la base de la certificación LEED.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2006). *Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla*. Obtenido de [http://www.sevilla.org/urbanismo/plan\\_indicadores/0-Indice.pdf](http://www.sevilla.org/urbanismo/plan_indicadores/0-Indice.pdf).
2. AIA American Institute of Architects. (2007). *Integrated Project Delivery: A guide*.
3. Alarcon, L. F., Grillo, A., Freire, J., & Diethelm, S. (2001). Learning from collaborative benchmarking in the construction industry. *Ninth Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-9)*.
4. Alarcón, L., & Serpell, A. (1996). Performance measuring benchmarking and modelling of construction projects. *5th International Workshop on Lean Construcion*.
5. Alba, J. (2004). El Método de Valor Ganado (Earned Value Management EVM). *Planning Performing & Controlling Projects*.
6. Alhaddi, H. (2015). Triple Bottom Line and Sustainability: A Literature Review. *Business and Management Studies*, 5.
7. Ali, H. E., Al-Sulaihi, I. A., & Al-Gahtani, K. S. (2013). Indicators for measuring performance of building construction companies in Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 125-134.
8. Álvarez, M., Chavez, M., & Moreno, S. (2010). *El Balance ScoreCard - Una herramienta para la planeación estratégica*. Obregón: Instituto Tecnológico de Sonora.
9. Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 337-342.
10. BalancedScoreCard.org. (s.f.). *Balanced ScoreCard Basics*. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de Balanced ScoreCard Basics: <http://balancedscorecard.org/Resources/About-the-Balanced-Scorecard>
11. BalancedScoreCard.org. (s.f.). *Perspectives*. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de Perspectives: <http://balancedscorecard.org/Resources/About-the-Balanced-Scorecard>
12. Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System - An Update. *Lean Construction Journal*, 1-19.
13. Bermúdez, J. (2010). *Cómo medir la innovación en las organizaciones*. Lima: Cuadernos de Investigación EPG-UPC. Edición 11.
14. Bonilla, F. L. (2010). El valor económico agregado (EVA) en el valor del negocio. *Revista Nacional de Administración*, 55-70.
15. Botero, L. F., Álvarez, M. E., & Ramírez, C. A. (2007). Iniciativa colombiana en la definición de indicadores de desempeño como punto de partida de un sistema de referenciación para la construcción. *Ambiente Construído*, 89-102.

16. Caballero, A., García, S., & Cremades, L. (2015). Desarrollo de un índice para el control de avance de proyectos de construcción de vivienda durante su ciclo de vida. *SIBRAGEC ELAGEC 2015*, 100-107.
17. Calvente, A. M. (2007). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Buenos Aires: UAIS Sustentabilidad.
18. Camp RC, B. (1989). *The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance*.
19. Canto, J. V., & Mejía, C. B. (2007). Los indicadores financieros y el Valor Económico Agregado (EVA) en la creación de valor.
20. Castillo Maguiña, I. R. (2014). *Inventario de herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
21. Castillo, T., Alarcón, L., Salvatierra, J., & Alarcón, D. (2015). Analyzing the interrelation between management practices, organizational characteristics and performance indicators for construction companies. *Proceedings IGLC*, 691-700.
22. Cater, F. (2010). *Critics Say LEED Program Doesn't Fulfill Promises*. Obtenido de Critics Say LEED Program Doesn't Fulfill Promises: <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=129727547>
23. CEPYME ARAGON. (2004). *Los Sistemas Integrados de Gestión: Gestión de la Calidad Total, Gestión Medio Ambiental y Gestión de la prevención*.
24. Cheung, S. O., Suen, H. C., & Cheung, K. K. (2004). PPMS: a web-based construction project performance monitoring system. *Automation in construction*, 361-376.
25. Chrysostomou, V. (2000). KPIs and benchmarking for the housing sector. UK: Construction Benchmarking (PPT Presentation).
26. CII Construction Industry Institute. (2011). Benchmarking and metrics.
27. Comunidad Andina. (2007). *Manual de indicadores para PYME - Propuesta metodológica*. Quito: VII Reunión de expertos gubernamentales en estadísticas de PYME.
28. Concepto de Balanced ScoreCard. (s.f.). *Concepto de Balanced ScoreCard*. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de <http://www.infoviews.com.mx/Bitam/ScoreCard>
29. Constructing Excellence. (2013). *Client's Commitments Best Practice Guide*. London: Constructing Client's Group.
30. Costa, D. B., Formoso, C. T., Kagioglou, M., & Alarcón, L. F. (2004). Performance measurement systems for benchmarking in the construction industry. *12th Annual Conference on Lean Construction*, 13.
31. de Wit, A. (1988). Measurement of project success. *Project Management*, 164-170.
32. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2010). *Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores*.

33. Department of the Environment, Transport and Regions. (2000). *KPI Report for the Minister for Construction*. West Yorkshire: KPI Working Group.
34. Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR). (2002). *Construction Products Industry Key Performance Indicators Handbook*. Londres: Construction Products Association.
35. Drucker, P. (1989). *The new realities*. John H Farrar, Brenda Hannigan, Nigel E Furey and Philip Wylie, Farrar's Company Law.
36. Egan, J. (1998). *Rethinking Construction*. Londres: Construction Task Force Report for Department of the Environment, Transport and the Regions.
37. Elkington, J. (1997). Cannibals with forks – Triple bottom line of 21st century business. *Stoney Creek, CT: New*.
38. El-Mashaleh, M. (2003). *Firm performance and information technology utilization in the construction industry: an empirical study*. Gainesville, Florida: University of Florida - Ph.D. Dissertation.
39. El-Mashaleh, M., Minchin, R., & O'Brien, W. (2007). Management of construction firm performance using benchmarking. *J. Manage. Eng.* 23 (1), 10-17.
40. Esa, M., Alias, A., & Samad, Z. A. (2014). Project Manager's Cognitive Style in Decision Making. A perspective from Construction Industry. *International Journal of Psychological Studies*, 65-78.
41. España, F., Tsao, C. C., & Hauser, M. (2012). Driving continuous improvement by developing and leveraging lean key performance indicators. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
42. Falivene, G., Costa, P., & Artusi, J. (2014). Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 47.
43. Fernández Benlloch, L. (2014). *Diseño de un sistema integral de gestión de la calidad, medio ambiente y riesgos laborales*. Doctoral dissertation.
44. Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2011). *Modern Construction - Lean Project Delivery and Integrated Practices*. Washington: Taylor & Francis Group.
45. Freeman, R. E. (1984). Strategic Management: A Stakeholder Approach. *Pitman Series in Business and Public Policy*.
46. Galeon. (s.f.). *Servicio de Neonatología - Hospital Puerto Montt*. Obtenido de Tipos de indicadores: <http://galeon.com/neopuertomontt/Calidad/tiposdeindicador.html>
47. Gbenedji, G. (3 de Diciembre de 2012). *Gestión del valor ganado (Earned Value Management EVM)*. Recuperado el 24 de Octubre de 2015, de Gestión del valor ganado (Earned Value Management EVM): <https://whatisprojectmanagement.wordpress.com/2012/12/03/gestion-del-valor-ganado-ev/>
48. Gil Lafuente, A. M., & Paula, L. B. (2011). La gestión de los grupos de interés: una reflexión sobre los desafíos a los que se enfrentan las empresas en la búsqueda de la sostenibilidad empresarial. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 71-90.

49. Glenigan in partnership with CITB; Constructing Excellence; Department of Bussines; Innovation and Skills and BRE SMARTWaste. (2015). *UK Industry Performance Report 2015*. Recuperado el 16 de Marzo de 2016, de UK Industry Performance Report 2015: [https://www.glenigan.com/sites/default/files/UK\\_Industry\\_Performance\\_Report\\_2015\\_883.pdf](https://www.glenigan.com/sites/default/files/UK_Industry_Performance_Report_2015_883.pdf)
50. Goel, P. (2010). Triple bottom line reporting: An analytical approach for coporate sustainability. *Journal of Finance, Accounting, and Management*, 27-42.
51. Gómez, D. (2012). *ANEXO 1: Certificación sostenible de edificios según LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*. Obtenido de GT 11: Eficiencia energética en edificios. Implicaciones de la nueva Directiva Europea: <http://docplayer.es/14897109-8-1-certificacion-sostenible-de-edificios-segun-leed-leadership-in-energy-and-environmental-design.html>
52. Granda Revilla, G., & Trujillo Fernández, R. (2012). *La gestión de los grupos de interés (stakeholders) en la estrategia de las organizaciones*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Gobierno de España.
53. Grillo, A. (1997). *Methodology for the measurement, evaluation, and analysis of performance indicators in construction projects*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile - Doctoral dissertation, MS thesis.
54. Gutiérrez, A., & Oliva, E. (2010). *El sector de la construcción en Perú - Informes Sectoriales: oportunidades de inversión y cooperación empresarial*. Lima: ICEX Instituto Español de Comercio Exterior.
55. Horta, I., Camanho, A. S., & Costa, J. M. (2010). Performance assessment of construction companies integrating key performance indicators and data envelopment analysis. *J. Constr. Eng. Manage.* 136 (5), 581-594.
56. ICMI. (2009). *Leading & Lagging Indicators*. ICMI International Customer Management Institute.
57. INE. (2007). *Dimensiones de la calidad según OECD y Eurostat*. Santiago de Chile: Serie Estudios, Nro. 4 - Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.
58. INEGI. (2010). *Metodología de cálculo de indicadores de productividad laboral en la industria manufacturera*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
59. Instituto Colombiano de Normas, Técnicas y Certificación. (2009). *Indicadores de gestión*. ICONTEC.
60. Jastaniah, Y. R. (1997). Performance evaluation and benchmarking of construction industry projects using data envelopment analysis.
61. Kam, C., Senaratna, D., Xiao, Y., & McKinney, B. (2013). The VDC Scorecard: Evaluation of AEC Projects and Industry Trends. *CIFE Working paper #WP136*, 1-33.
62. Kearney, A. (2009). "Green" winners: *The performance of sustainability-focused organizations during the financial crisis*". Obtenido de "Green" winners: The performance of sustainability-focused organizations during the financial crisis": [http://www.sustaincommworld.com/pdfs/ATKearney\\_Green\\_Winners.pdf](http://www.sustaincommworld.com/pdfs/ATKearney_Green_Winners.pdf).
63. Kim, S. Y., & Huynh, T. A. (2008). Improving project management performance of large contractors using benchmarking approach. *International Journal of Project Management*, 758-769.

64. Kim, Y. W., & Ballard, G. (2000). Is the earned-value method an enemy of work flow? *Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-8*, 17-19.
65. Kosmatka, S. H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.
66. Kunz, J., & Fischer, M. (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. *CIFE Working Paper #097 Version 14*, 53.
67. Lannon, R. (27 de Mayo de 2014). *PM times - Resources for Project Managers*. Obtenido de Lagging vs leading business indicators - Do you know the difference?: <https://www.projecttimes.com/articles/lagging-vs-leading-business-indicators-do-you-know-the-difference.html>
68. Leslie, J., & Cheesman, W. (1949). An ultrasonic method of studying deterioration and cracking in concrete structures. *Journal of the American Concrete Institute*.
69. Lipa Cusi, L., & Del Álamo Carazas, J. (2015). *Metodología para la detección de vacíos y medición de espesores en el concreto, por medio de pulso ultrasónico*. Lima: Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
70. Macneil, J., Rimmer, M., & Testi, J. (1992). *Raising the Standards: Benchmarking and Best Practice in Australia: Progress in the Top 500 Enterprises*. Best Practice Program.
71. Macroeconomía y política fiscal. (s.f.). *Producto Interno Bruto - Capítulo 11*. Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2012/04/Fun-Econ/11.pdf>
72. Marosszeky, M., & Karim, K. (1997). Benchmarking A tool for lean construction. *IGLC-5 proceedings*, 157-168.
73. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (17 de Agosto de 2016). *Información estadística*. Obtenido de Panorama económico nacional y el sector construcción: <http://www.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica.aspx>
74. Miranda, J., & Toirac, L. (2010). Indicadores de productividad para la industria Dominicana. *Ciencia y Sociedad Vol XXXV*, 235-290.
75. Mossman, A. (2008). What is Lean Project Delivery? *Lean Project Delivery*, 2.
76. Navarro Sánchez, R. (2010). *Creación de un "Balanced ScoreCard" para la dirección integrada de proyectos de construcción*. Universidad Politécnica de Cataluña.
77. Nudurupati, S., Arshad, T., & Turner, T. (2007). Performance measurement in the construction industry: an action case investigating manufacturing methodologies. *Comput. Ind.* 58, 667-676.
78. OECD. (2003). *Quality Framework and Guidelines for OECD Statistical Activities*. Versión 2003/1.
79. Orihuela, P. (2009). *Calidad - La pirámide de la calidad*. Obtenido de Aceros Arequipa: <http://www.acerosarequipa.com/construccion-industrial/boletin-construccion-integral/edicion-3/calidad.html>
80. Orihuela, P., & Orihuela, J. (2003). Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios. *VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario - M.D.I. Perú*, 10.



81. Orihuela, P., & Orihuela, J. (2014). Needs, values and post-occupancy evaluation of housing project customers: A pragmatic view. *Procedia Engineering* 85, 412-419.
82. Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). Abastecimiento Lean de Recursos para la Construcción. *Construcción Integral - Boletín*, 13.
83. Pillai, A. S., Joshi, A., & Rao, K. S. (2002). Performance measurement of R&D projects in a multi-project, concurrent engineering environment. *International Journal of Project Management*, 165-177.
84. Project Management Institute. (2013). *Guía de fundamentos de la dirección de proyectos Guía PMBOK*. Pennsylvania: PMI.
85. Ramírez, R. R., Alarcón, L. F., & Knights, P. (2004). Benchmarking system for evaluating management practices in the construction industry. *Journal of Management in Engineering*, 110-117.
86. Rankin, J., Fayek, A., Meade, G., Haas, C., & Manseau, A. (2008). Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 849-907.
87. Reglamento Nacional de Edificaciones RNE. (2010). *Seguridad durante la construcción*. Lima: Norma G.050.
88. Roberts, M., & Latorre, V. (2009). KPIs in the UK's Construction Industry: Using System Dynamics to Understand Underachievement. *Revista de la Construcción*, 69-82.
89. Rogers, K., & Hudson, B. (2011). The triple bottom line: The synergies of transformative perceptions and practices of sustainability. *OD Practitioner*, 3-9.
90. Salazar, B. (2012). *Indicadores de desempeño logístico*. Recuperado el 2016 de Marzo de 17, de Indicadores de desempeño logístico: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/logística/indicadores-logísticos-kpi/>
91. Sánchez Ballesta, J. P. (2002). *Análisis de Rentabilidad de la empresa*.
92. Schöttle, A. (15 de Setiembre de 2015). *What is the Lean Project Delivery System?* Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de What is the Lean Project Delivery System?: <http://leanconstructionblog.com/What-is-the-lean-project-delivery-system.html>
93. Skibniewski, M. J., & Ghosh, S. (2009). Determination of key performance indicators with enterprise resource planning systems in engineering construction firms. *Journal of construction engineering and management*, 965-978.
94. Téllez Martínez, L. A., Villareal Ugarte, L., Armenta Menchaca, C., Porsen Oveergard, R., & Bremer Bremer, M. H. (2014). *Situación de la Edificación Sostenible en América Latina*. UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative.
95. Toor, S.-u.-R., & Ogunlana, S. O. (2010). Beyond the "iron triangle": Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*, 228-236.

96. USGBC. (2013). *LEED en acción: Lugares y Políticas*. Obtenido de U.S. Green Building Council: [http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20Report%202\\_PlacesPolicies\\_103113\\_Spanish\\_web\\_0.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20Report%202_PlacesPolicies_103113_Spanish_web_0.pdf)
97. Vallejo Aguirre, V. M. (2014). Las diversas certificaciones aplicables a los edificios sustentables en México. *Multidisciplina Número 18*, 29-58.
98. Van der Poel, K. (2012). *KPI Library*. Obtenido de Lagging and leading indicators: <https://kpilibrary.com/topics/lagging-and-leading-indicators>
99. Vorne Industries. (2013). *LeanProduction*. Obtenido de LeanProduction: <http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>
100. Wang, O., El Gafy, M., & Zha, J. (2010). Bi-level framework for measuring performance to improve productivity o construction enterprises. *Constr. Res. Congr. 2*, 970-979.
101. Wideman, R. M. (1987). Project Management Framework lecture overhead slide circa.
102. Wideman, R. M. (2004). *The Role of the Project Life Cycle (Life Span) in Project Management - A literature review*. Vancouver: AEW Services.
103. Wong, C. H. (2004). Contractor performance prediction model for the United Kingdom construction contractor: study of logistic regression approach. *Journal of construction engineering and management*, 691-698.
104. Yu, I., Kim, K., Jung, Y., & Chin, S. (2007). Comparable performance measurement system for construction companies. *Journal of Management in Engineering*, 23(3), 131-139.