



PROPUESTA DE INDICADORES DE RESULTADO PARA PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

Pablo Orihuela (a), Santiago Pacheco (b), Romy Aguilar (c), Jorge Orihuela (d)

- (a) Motiva S.A., Lima, Perú, Gerente General. PUCP, Profesor Principal. porihuela@motiva.com.pe
- (b) Motiva S.A., Lima, Perú, Ingeniero Civil del Equipo de Investigación. spacheco@motiva.com.pe
- (c) Motiva S.A., Lima, Perú, Bachiller del Equipo de Investigación. raguilar@motiva.com.pe
- (d) Motiva S.A., Lima, Perú, Arquitecto Proyectista. jorihuela@motiva.com.pe

A B S T R A C T

Los indicadores permiten tener una evaluación cuantificada del desempeño de algún proceso, actividad, producto o servicio; por lo que se compara su estado actual, contra una línea base esperada. Hay dos tipos: Indicadores de Proceso, que sirven de guía para asegurar la efectividad del procedimiento; e Indicadores de Resultado, que miden la efectividad final de todo el proceso.

El presente artículo (al revisar las diversas investigaciones sobre indicadores de proyectos de construcción), propone un conjunto de Indicadores de Resultado para Proyectos de Edificación, ubicados sobre un tablero de control que considera, por un lado el ciclo de vida del proyecto y por el otro, cinco perspectivas, de las cuales tres están basadas en los típicos criterios de éxito de un proyecto: Calidad, Plazo y Costo, a los que se añaden los dos criterios de sustentabilidad adicionales al costo: Medio Ambiente y Sociedad.

Estos indicadores de resultado servirán, no solo para el control de cada fase de un proyecto de edificación, sino también como guía para una posterior elaboración de los principales Indicadores de Proceso.

Keywords:

Continuous Improvement, Key Performance Indicators, Project Control, Project Performance Management

1. Introducción

Todo proyecto debe ser controlado o monitoreado, solo así se determinará si está dirigiéndose al cumplimiento de los objetivos. Por ello, es necesario disponer de señales que alerten sobre posibles desviaciones y que permitan entrar a un proceso continuo de retroalimentación. Los indicadores son herramientas que emiten esas señales y permiten juzgar el progreso del proyecto, estos no solo deben medir el resultado final, sino el proceso a seguir como garantía del cumplimiento de estos resultados. Por todo lo anterior, los indicadores pueden clasificarse en dos tipos: Indicadores de Resultado e Indicadores de Proceso. Estos últimos son los que nos notifican sobre las actividades realizadas durante el avance del proyecto y, por ende, son aquellos en los que recae la mayor importancia; sin embargo, así como para elegir el mejor camino se requiere conocer el destino; para proponer un grupo de Indicadores de Proceso, es necesario partir de la formulación de Indicadores de Resultado.

El presente artículo propone un grupo de Indicadores de Resultado, agrupados en 5 aspectos y distribuidos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, conformando un tablero de control que pueda servir como punto de partida para la posterior y respectiva elaboración de Indicadores de Proceso.

2. Estado actual

Por mucho tiempo los indicadores han formado parte de las estrategias de gestión y han sido usados extensamente para controlar y monitorear el desempeño de los proyectos. Peter Drucker, conocido filósofo de la administración, señala en su libro *The New Realities* que, así como las personas necesitan una diversidad de medidas para evaluar su salud y

rendimiento, una organización también precisa de una diversidad de métricas para evaluar su salubridad y desempeño (1989).

De esta manera surgieron diversos enfoques orientados a evaluar el desempeño en el sector construcción. Ejemplos de estas iniciativas son: Los Key Performance Indicators del Reino Unido (2000); el Sistema Nacional de Benchmarking de la Industria de la Construcción Chilena, desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT (2001); el Benchmarking y Métricas de Estados Unidos desarrollados por el Construction Industry Institute CII (1993); y el Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil denominado SISIND de Brasil (1993).

En el año 2004, dichas iniciativas fueron analizadas y se identificaron dificultades o problemas relacionados a cada una de ellas (Costa, Formoso, Kagioglou, & Alarcón, 2004). Como inconvenientes se encontró la falta de relación entre todas las métricas, el no tener la garantía de que la información necesaria estará disponible, el uso de indicadores difíciles de medir, la falta de integración de los indicadores a los procesos críticos, la carencia de capacitaciones en la implementación de los sistemas de medición, entre otros.

Si bien, dichos enfoques buscaron agrupar los indicadores que consideraban relevantes para el desempeño en diferentes categorías de clasificación; estas no abordaban todo el ciclo de vida de un proyecto, pues se enfocaban en la fase de obra y descuidaban el control del proyecto en etapas iniciales. Aunque la fase de ejecución tiene un fuerte impacto económico en el producto final, no garantiza el éxito del proyecto.

Nuevas investigaciones se realizaron con el propósito de mejorar el énfasis en la evaluación a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. En el año 2009, los investigadores del Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) generaron un tablero denominado VDC ScoreCard partiendo de investigaciones de otras instituciones como LEED o el Balanced ScoreCard (Kam, Senaratna, Xiao, & McKinney, 2013). Este tablero se dividía en 4 áreas de evaluación: Planificación, Adopción, Tecnología y Desempeño. Cada medida obtenida era cuantificada como un puntaje, el cual era sumado y ponderado con los demás valores de puntuación para obtener un *score* final del proyecto. Posteriormente, ya en el año 2012, se buscó poner a prueba el tablero en proyectos con características diversas, desde hospitales hasta planificaciones urbanas y desde métodos de entrega comerciales como diseño-licitación-construcción hasta sistemas integrados. Se buscó evaluarlos en todas sus fases desde el pre diseño hasta el cierre. Es evidente que el VDC ScoreCard representa una fuerte herramienta; sin embargo, no queda claro si usa los mismos indicadores para evaluar de igual forma cada fase. ¿Cada etapa no requiere un análisis distinto? pues, en efecto, los aspectos que pueden ser considerados más importantes medir para determinar el éxito del proyecto, varían de fase en fase (de Wit, 1988). En conclusión, lo correcto sería considerar para cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto, los indicadores adecuados para su análisis.

En el año 2015 se presentó una nueva investigación, esta proponía un método de control para todo el ciclo de vida del proyecto mediante un indicador por fase. El modelo que se planteó tenía una forma circular en donde consideraba como etapas Diseño/Planeación, Ejecución/Construcción, Venta/Garantía y, adicionalmente, incorporaba una cuarta fase denominada Satisfacción del Cliente (Caballero, García, & Cremades, 2015). El objetivo de la investigación era crear, a partir de los indicadores de fase, un índice general que midiera todo el ciclo de vida del proyecto. Por ello, el enfoque estaba dirigido a encontrar pesos o factores de contribución para cada métrica, pero sin llegar a desarrollar cada indicador.

3. Propuesta de un Tablero de Indicadores

Sobre la base de lo mencionado anteriormente, se presenta una nueva propuesta que consiste en un tablero biaxial que busca monitorear cada fase del ciclo de vida del proyecto con un número mínimo de indicadores para cada etapa.

La estructura del tablero tanto para el eje vertical como para el eje horizontal debe ser de fácil comprensión y coherente de tal forma que permita un uso amigable. Pero ¿cómo lograr este objetivo si los proyectos de construcción son considerados negocios complejos y aparentemente impredecibles? (Esa, Alias, & Samad, 2014) ¿Su desempeño es realmente difícil de medir? ¿Qué estructura debe llevar para que su uso sea práctico? ¿Qué perspectivas debe incluir?

3.1. Estructura horizontal del tablero

De lo mencionado anteriormente, lo correcto sería evaluar el avance del proyecto a lo largo de todo el ciclo de vida; por ello, se propone que la estructura horizontal corresponda a una clasificación por las fases del ciclo de vida de un proyecto.

Las clasificaciones analizadas fueron propuestas por: el American Institute of Architects - Integrated Project Delivery (AIA American Institute of Architects, 2007); la Association of Project Management in England APM (Navarro

Sánchez, 2010); el investigador Max Wideman (Wideman, 1987) y; el Lean Construction Institute -Lean Project Delivery System (Ballard, 2008). En la Figura 1 se muestra la comparación.

Fases del ciclo de vida de proyectos de construcción

FUENTE	DISEÑO					CONSTRUCCIÓN		USO
Integrated Project Delivery - AIA	Concep-tualización	Criterios de diseño	Diseño Detallado	Documentos de construcción	Revisión Agencias	Compras	Construcción	Cierre de obra
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 1. Comparación entre las diferentes clasificaciones del ciclo de vida de los proyectos de construcción

Debido a que el aporte inicial consistirá en un tablero que contenga solo métricas de resultado, consideramos que para esta investigación, la mejor opción para la estructura horizontal sería tomar 3 de las fases del ciclo de vida propuesto por el *Lean Project Delivery System*. Estas serían: Diseño, Abastecimiento y Construcción, ya que en la Definición del Proyecto debería definirse las líneas bases y durante el uso debería comprobarse su cumplimiento.

3.2. Estructura vertical del tablero

Durante muchos años los 3 criterios correspondientes al Triángulo de Hierro (Costo, Tiempo y Calidad) han sido considerados como los factores idóneos para determinar el éxito de un proyecto. Ante ello, es necesario preguntarse ¿por qué la gestión de proyectos se ha limitado a solo esas 3 perspectivas? (Atkinson, 1999).

Hoy en día, gracias a numerosos reportes de entidades preocupadas en la sustentabilidad, se sabe que los proyectos deben rendir 3 cuentas: a la sociedad, al medio ambiente y a la economía, durante todo su ciclo de vida. Por tanto, creemos conveniente que la estructura vertical del tablero debe estar compuesta por 5 perspectivas: Costo, Tiempo, Calidad, Medioambiente y Sociedad.

4. Indicadores de Proceso y de Resultado

La literatura considera dos tipos de indicadores:

- Indicadores de Proceso o Lagging, los cuales buscan medir el desarrollo de actividades vinculadas a los procesos para la obtención del producto final, en este caso la edificación. Es decir, buscan evaluar los pasos seguidos para llegar a la meta. (Kunz & Fischer, 2012).
- Indicadores de Resultado o Leading, son aquellos que buscan evaluar el cumplimiento de los objetivos o logro de los resultados propuestos. Se pueden referir tanto a resultados internos (al término de cada fase) como a resultados finales (al finalizar el proyecto). Su reporte debe ser presentado a los clientes y la alta dirección.

En el 2013, como parte de la creación de un sistema *benchmarking* en Arabia Saudita, la Universidad Rey Saud generó una recopilación de indicadores sobre la base de investigaciones ya existentes a nivel mundial. Algunas de las instituciones que forman parte de dicha investigación fueron: El CII (Estados Unidos), The Department of Environment Transport

and the Regions (DETR), y la Corporación de Desarrollo Técnico de Chile (Ali, Al-Sulaihi, & Al-Gahtani, 2013). El objetivo era disminuir la cantidad de indicadores identificados a un máximo de 10, los cuales serían considerados como los más significativos. Asimismo, buscaron clasificar su set de indicadores, Ali et al. Propusieron trabajar en 5 perspectivas: Financiera, Cliente, Procesos Internos de Negocio, Aprendizaje y Crecimiento, y Medioambiente.

Una de las principales conclusiones que se puede obtener sobre la lista final de indicadores identificados por Ali et al. y otros artículos de investigación sobre el tema, es que todos los autores mezclan indistintamente tanto los indicadores de resultado como los de proceso. Por este motivo, primero debemos identificar los Indicadores de Resultados para que sirvan de guía en la identificación y estructuración de los Indicadores de Proceso (Figura 2).

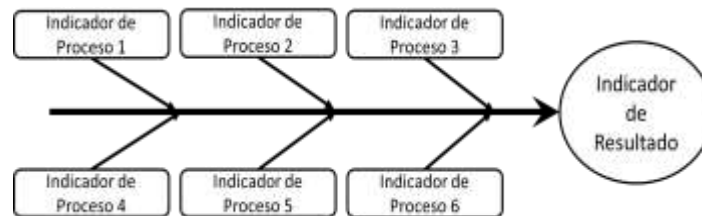


Figura 2. Relación entre indicadores de proceso e indicadores de resultado.

En la Tabla 1 se presenta un conteo de los indicadores propuestos por cada autor, su respectiva clasificación por tipo y un consolidado de ambos tipos de indicadores.

Tabla 1. Clasificación e inventario de los indicadores en los tipos Resultado y Proceso

Referencias		Número de Indicadores			Consolidado de Indicadores de Resultado
Año	Autor	Total	Proceso	Resultado	
1997	Jastaniah	9	4	5	1. Satisfacción del cliente, 2. Seguridad, 3. Reclamos, 4. Costo de construcción, 5. Tiempo de construcción, 6. Financiero, 7. Medio ambiente, 8. Materiales, 9. Social, 10. Satisfacción de los involucrados, 11. Cumplimiento de especificaciones, 12. Cambios de alcance.
1998	Egan	7	2	5	
2000	Dept. of the Environment, Transport and Regions	7	2	5	
2001	Alarcon, Grillo, Freire, & Diethelm	13	7	6	
2002	Pillai, Joshi, & Rao	8	5	3	
2004	Wong	8	4	4	
2004	Cheung, Suen, & Cheung	8	3	5	
2004	Ramírez, Alarcón, & Knights	9	4	5	
2006	da Costa, Horta, Guimaraes, Nóvoa, & Sousa	7	3	4	
2007	Botero, Álvarez, & Ramírez	10	3	7	
2008	Kim & Huynh	8	4	4	
2008	Rankin, Fayek, Meade, Haas, & Manseau	8	1	7	
2009	Skibniewski & Ghosh	4	1	3	Consolidado de Indicadores de Proceso Planificación, Experiencia del staff, Comunicación, Recompensas, Tiempo, Productividad, Defectos, Riesgo, Efectividad de las decisiones, Compromiso del cliente, Gente, Gestión del lugar, Subcontratos, Innovación, Rendimiento del equipo, Cambios de los procesos, Disputas, Re-trabajos, Integración de los involucrados, Administración de la calidad, Administración de los materiales en el lugar, Equipos y maquinarias, Proveedores, Administración de la compañía, Capacitación, Eficiencia del uso de los recursos, Mano de obra.
2009	Roberts & Latorre	9	3	6	
2010	Toor & Ogunlana	9	4	5	
2011	CII Construction Industry Institute	6	3	3	
2012	Kunz & Fischer	9	3	6	
2013	Constructing Excellence	16	9	7	

5. Propuesta de Indicadores de Resultado

Basándonos en este consolidado de Indicadores de Resultado propuesto por todos los autores, en la Tabla 2 se propone un Tablero de Control con 24 Indicadores, 7 para la fase de Diseño, 6 para la fase de Abastecimiento y 11 para la fase de Construcción, que a continuación se describen:

5.1. Indicadores para la fase de Diseño

Id₁ – Indicador de Plazo de Diseño: El tiempo empleado en el diseño de un proyecto de edificación afecta directamente al plazo del proyecto. Por ello, es necesario controlar que el plazo de diseño no exceda el plazo previsto para el proyecto. Este indicador, mide la relación entre el plazo real y el plazo contractual de diseño.

Id₂ – Indicador de satisfacción del usuario final: La satisfacción del usuario final es uno de los principales objetivos de cualquier proyecto de edificación; sin embargo, su medición no es sencilla. Para el presente indicador, en el caso de edificaciones de vivienda, se tomará la propuesta de Orihuela y Orihuela (2014) para estimar la satisfacción del usuario final. El indicador compara la estimación del grado de satisfacción del usuario luego de concluido el diseño contra el grado definido en la línea base.

Id₃ – Indicador de compatibilización: El grado de compatibilidad de los planos, especificaciones y otros documentos a emplearse durante la construcción, es también un parámetro importante para evaluar el diseño. Las incompatibilidades encontradas en la etapa de elaboración del presupuesto y durante la ejecución del proyecto reflejan la mala compatibilidad entre las especialidades de diseño y pueden ocasionar incrementos en el plazo y costo de la construcción del proyecto. El indicador propuesto compara los costos adicionales que generan los RFI's con respecto al presupuesto de obra.

Id₄ – Indicador de costo objetivo: Si bien el costo de diseño es pequeño en relación al costo de la construcción del proyecto, es el diseño el que en gran medida determina el costo de la obra. Por tanto, un buen diseño debe satisfacer los requerimientos de+1 usuario a un costo que permita que el proyecto sea viable. El indicador de costo objetivo mide la relación entre el presupuesto de obra al finalizar el diseño y el costo objetivo de obra o *Target Cost*, determinado por el propietario.

Id₅ – Indicador de rentabilidad: Uno de los principales requerimientos del propietario del proyecto o inversionista es la rentabilidad objetivo. Una vez concluidos los planos del diseño, se elabora el presupuesto de obra y luego se puede estimar de manera más certera el Margen, el VAN o la TIR del proyecto y obtener el indicador de rentabilidad comparándola con el Margen, el VAN o la TIR objetivo del inversionista.

Id₆ – Indicador de medio ambiente: El indicador de medio ambiente en la fase de diseño compara los créditos de certificación ambiental obtenidos en el diseño, con los deseados para esa fase.

Id₇ – Indicador de cumplimiento de parámetros arquitectónicos: Los parámetros o normas de diseño arquitectónico brindan un marco normativo y legal que defiende los intereses de los usuarios de la edificación y los de la sociedad en general. Por ello, el indicador propuesto mide el porcentaje de cumplimiento de dichos parámetros.

5.2. Indicadores de Abastecimiento

Ia₁ – Indicador de calidad de materiales de la estructura: Las estructuras de concreto armado están compuestas a nivel de materiales: de concreto y acero. El indicador propuesto, para este tipo de estructuras, compara la calidad de los materiales antes mencionados utilizados, contra la calidad especificada en los planos. En el caso del concreto, la calidad está asociada al control de los ensayos de probetas y/o testigos de concreto, según lo estipule la normativa correspondiente; y, en el caso del acero, a sus certificados de calidad.

Ia₂ – Indicador de calidad de materiales y equipos de instalaciones sanitarias: Las instalaciones sanitarias están compuestas principalmente de tuberías de agua y desagüe, conexiones y pegamento, de equipos de impulsión y/o succión y de materiales de impermeabilización de estructuras en contacto con el agua. El indicador propuesto compara la calidad de los componentes descritos utilizados contra la calidad indicada en los planos y otras especificaciones.

Ia₃ – Indicador de materiales de instalaciones eléctricas: Las instalaciones eléctricas están compuestas principalmente de: tubería, cables, tableros eléctricos y pozos a tierra. El indicador propuesto compara la calidad de estos componentes contra la calidad especificada en los planos y especificaciones para los mismos.

Tabla 2. Indicadores de resultado de proyectos de edificación

	Diseño	Abastecimiento	Construcción
Plazo	$Id_1 = \frac{\text{Plazo real de diseño}}{\text{Plazo pactado de diseño}}$		$Ic_1 = \frac{\text{Plazo real de obra}}{\text{Plazo de obra constructural}}$
Calidad	$Id_2 = \frac{\text{Satisf. del usuario estimada}}{\text{Satisf. del usuario objetivo}}$	$Ia_1 = \frac{\frac{Ccr}{Cce} + \frac{Cfer}{Cfee}}{2}$	$Ic_2 = \frac{\text{Comportamiento real de la estructura}}{\text{Comportamiento esperado de la estructura}}$
	$Id_3 = \frac{\text{Costo por RFI's}}{\text{Presupuesto de obra}}$	$Ia_2 = \frac{\frac{Ctubr}{Ctube} + \frac{Csbr}{Csbe}}{2}$	$Ic_3 = \frac{\# \text{ Reclamos de inst. sanitarias}}{\# \text{ Reclamos de inst. sanitarias objetivo}}$
		$Ia_3 = \frac{\frac{Ccabr}{Ccabe} + \frac{Ctubr}{Ctube} + \frac{Ctabr}{Ctabe} + \frac{Cptr}{Cpte}}{5}$	$Ic_4 = \frac{\# \text{ Reclamos de inst. eléctricas}}{\# \text{ Reclamos de inst. eléctricas objetivo}}$
		$Ia_4 = \frac{\sum (\frac{\text{Calidad mat. princ. usados}}{\text{Calidad mat. princ. especificada}})}{\# \text{ de principales materiales}}$	$Ic_5 = \frac{\text{Recl. acab. entrega} + \text{Recl. acab. posventa}}{\# \text{ Reclamos de acabados objetivo}}$
Costo	$Id_4 = \frac{\text{Presupuesto de obra}}{\text{Costo objetivo de obra}}$		$Ic_6 = \frac{\text{Costo real de obra}}{\text{Presupuesto de obra}}$
	$Id_5 = \frac{\text{TIR proyectada D}}{\text{TIR objetivo}}$		$Ic_7 = \frac{\text{TIR proyectada C}}{\text{TIR proyectada D}}$
Medio Ambiente	$Id_6 = \frac{\text{Créditos de diseño obtenidos}}{\text{Créditos de diseño deseados}}$	$Ia_5 = \frac{\text{Créditos de abastecimiento obtenidos}}{\text{Créditos de abastecimiento deseados}}$	$Ic_8 = \frac{\text{Créditos de construcción obtenidos}}{\text{Créditos de construcción deseados}}$
Sociedad	$Id_7 = \frac{\# \text{ de parámetros ar.q. cumplidos}}{\# \text{ de parámetros ar.q. aplicables}}$	$Ia_6 = \frac{\text{Costo de materiales locales}}{\text{Costo total de materiales}}$	$Ic_9 = \frac{IFxIG}{200}$
			$Ic_{10} = \frac{\# \text{ trabajadores formales}}{\# \text{ de trabajadores totales}}$
			$Ic_{11} = \frac{\# \text{ trabajadores locales}}{\# \text{ de trabajadores totales}}$

Ia4 – Indicador de materiales de acabados: Los materiales para los acabados de una edificación son diversos y muy variables, dependiendo en gran medida del mercado meta al que se dirijan. El indicador propuesto compara la calidad de estos componentes utilizados contra la calidad especificada en los planos y especificaciones para los mismos.

Ia5 – Indicador de medio ambiente: El indicador de medio ambiente en la fase de abastecimiento compara los créditos de certificación ambiental obtenidos en el abastecimiento, con los deseados para esa fase.

Ia6 – Indicador de procedencia de materiales: Este indicador compara el costo de los materiales locales utilizados en el proyecto contra el costo total de materiales, ya que se considera importante impulsar la economía local durante el proyecto.

Los indicadores de costo y plazo de abastecimiento fueron desestimados debido a que una variación en el plazo o costo en la fase de Abastecimiento se ve reflejada en el plazo o el costo de la Construcción, cuya evaluación estará incluida en los indicadores de construcción.

5.3. Indicadores de Construcción

Ic1 – Indicador de plazo de obra: Una vez concluida la obra, un indicador de resultado muy utilizado es la comparación del plazo real de obra con el plazo de obra contractual.

Ic2 – Indicador de la calidad de las estructuras: La estructura de una edificación dispone de muchos indicadores de proceso; sin embargo, es muy difícil conocer con certeza su calidad final. Esta calidad, será realmente evaluada durante la etapa de uso, cuando se presenten las condiciones críticas para las cuales ha sido diseñada, tanto para condiciones estáticas como dinámicas.

En el caso estático, la estructura no debe presentar inclinaciones en sus elementos verticales, ni deflexiones en sus elementos horizontales mayores a las permisibles, no debe presentar corrosión en el acero de refuerzo, ni deterioros en el concreto (para estructuras de concreto armado), ni deterioros de otros elementos portantes.

En el caso dinámico, por ejemplo un evento sísmico, se podría evaluar el desempeño de la estructura con lo propuesto por la Structural Engineers Association of California (1995). En ella, se propone el desempeño deseado frente a distintos tipos de sismos para distintos tipos de edificaciones, la cual se convertiría en la línea base luego de ocurrido el evento.

Este Indicador compara el comportamiento real contra lo especificado por las normas y reglamentos.

Ic3 – Indicador de calidad de las instalaciones sanitarias: La calidad final de las instalaciones sanitarias debe ser medida durante el uso de la edificación; por ello, el indicador propuesto compara la cantidad de reclamos presentados por los usuarios durante el periodo de garantía, contra la cantidad objetivo de reclamos para el proyecto en evaluación.

Ic4 – Indicador de calidad de las instalaciones eléctricas: La calidad final de las instalaciones eléctricas debe ser medida durante el uso de la edificación; por ello, el indicador propuesto compara la cantidad de reclamos presentados por los usuarios durante el periodo de garantía contra la cantidad objetivo de reclamos para el proyecto en evaluación.

Ic5 – Indicador de calidad de los acabados: La calidad final de los acabados instalados debe ser medida durante la entrega y uso de la edificación; por ello, el indicador propuesto compara la cantidad de reclamos de entrega y de postventa presentados por los usuarios durante el periodo de garantía con la cantidad objetivo de reclamos para el proyecto en evaluación.

Ic6 – Indicador de costo real de obra: Una vez concluida la obra, un indicador de resultado típico es la comparación del costo real de obra con el presupuesto de obra.

Ic7 – Indicador de rentabilidad: Uno de los principales requerimientos del propietario del proyecto o inversionista es la rentabilidad del proyecto. Terminada la obra, realizado la mayor parte de los gastos y con los ingresos ya en marcha, podemos proyectar la TIR del proyecto con más certidumbre y compararla contra la TIR que se había proyectado obtener al final del diseño.

Ic8 – Indicador de medio ambiente: El indicador de medio ambiente para la fase de construcción compara los créditos de certificación ambiental obtenidos en la construcción, contra los deseados para esa fase.

Ic₉ – Índice de accidentabilidad: Este indicador conocido a nivel mundial correlaciona el Índice de Frecuencia de accidentes (IF) y el Índice de Gravedad de los accidentes (IG) para evaluar el nivel de seguridad alcanzado en la construcción del proyecto.

Ic₁₀ – Indicador de trabajo formal: Este indicador mide la cantidad de obreros contratados bajo regímenes laborales formalizados, los cuales cuentan con todos sus derechos de salud, pensiones y de salario, contra la cantidad de obreros totales de la obra.

Ic₁₁ – Indicador de trabajo local: El indicador mide la cantidad de obreros locales, contra la cantidad de obreros totales de la obra, ya que se considera importante el bienestar y progreso ocasionados por generación de puestos de trabajo en las comunidades donde se realiza el proyecto.

Con respecto a los Indicadores Ambientales, actualmente existen muchos modelos enfocados a la certificación de edificios sustentables en el mundo, que si bien no cubren la triple cuenta de resultados, sí cubren bastante bien la cuenta al medio ambiente. La Figura 3 muestra una comparación de algunos sistemas muy conocidos, donde se puede observar que existe una buena correlación entre sus categorías, por lo que es muy lógico tomar sus sistemas de puntuaciones para los indicadores ambientales en cada una de las fases del proyecto.

SISTEMA	CATEGORÍAS											
LEED	Proceso de integración	Ubicación y transporte	Materiales y recursos	Eficiencia del agua	Energía y atmósfera	Sitios sustentables	Ambiente interior	Innovación	Prioridad regional			
BREEAM	Gestión	Transporte	Materiales	Agua	Energía	Uso del suelo y ecología	Salud y bienestar	Innovación		Contaminación	Residuos	
GREEN STAR	Gestión	Transporte	Materiales	Agua	Energía	Uso del suelo y ecología	Calidad del ambiente interior	Innovación		Emisiones		

Figura 3. Categorías de los sistemas de certificación ambiental LEED, BREEAM y Green Star.

Con respecto los Indicadores Sociales, estos tratan de reflejar en la medida de lo posible el cumplimiento del concepto de sustentabilidad social, a través de la contribución a la disminución de la pobreza, el cumplimiento de los derechos laborales, legales, económicos y culturales, así como el respeto a las comunidades y los lugares donde se desarrollan los proyectos.

6. Validación de los indicadores propuestos

Los indicadores presentados fueron validados por los 14 criterios propuestos en la Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia (2009) los cuales son: pertinencia, funcionalidad, disponibilidad, confiabilidad, utilidad, relevancia, credibilidad, accesibilidad, oportunidad, coherencia, aplicabilidad, no redundancia, interpretabilidad y comparabilidad.

De la evaluación realizada, se encontraron ciertas debilidades en 3 indicadores debido a la falta del criterio “Accesibilidad” para línea base. Los indicadores observados son los indicadores de calidad de las instalaciones eléctricas, de las instalaciones sanitarias y de los acabados. Para aplicar los indicadores mencionados es necesario definir la cantidad objetivo de reclamaciones, para poder integrarlas, clasificarlas y tener una línea base establecida, contra la cual evaluar el desempeño del proyecto.

Asimismo, el indicador de calidad de la estructura tiene problemas con la disponibilidad de la información para realizar la evaluación ya que el tiempo que se debe esperar para realizar la medición es incierto. Más aún, es posible que durante toda su vida útil, la edificación no sea sometida a las solicitudes que permitan evaluar su desempeño estructural. Sería oportuno trabajar sobre métodos de medición que nos permitan conocer, por ejemplo, la densidad y la continuidad del concreto dentro de los elementos estructurales fabricados en obra y así evaluar el desempeño estructural de la edificación de manera anticipada.

7. Conclusiones

El presente artículo propone 24 indicadores de resultado para las distintas fases del ciclo de vida del proyecto. Un buen resultado de estos indicadores reflejará un buen desempeño de cada fase del proyecto y el buen desempeño de cada fase

nos reflejará un buen desempeño del proyecto. Si bien por su naturaleza estos son indicadores post-mortem, su identificación y estimación nos dará la guía para estructurar el conjunto de indicadores de proceso que son los que nos permitirán tomar las acciones proactivas y de aseguramiento, en vez de las reactivas y de control al final de la línea.

8. Bibliografía

- AIA American Institute of Architects. (2007). *Integrated Project Delivery: A guide*.
- 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)*.
- 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.
- 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.
- Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System - An Update. *Lean Construction Journal*, 1-19.
- 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 Construido*, 89-102.
- 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*, 100-108.
- Cheung, S. O., Suen, H. C., & Cheung, K. K. (2004). PPMS: a web-based construction project performance monitoring system. *Automation in construction*, 361-376.
- CII Construction Industry Institute. (2011). Benchmarking and metrics.
- Constructon Industry Institute. (1986). *Constructability: A Primer*. Austin, Texas: Constructon Industry Institute.
- Constructing Excellence. (2013). *Client's Commitments Best Practice Guide*. London: Constructing Client's Group.
- 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.
- da Costa, J. M., Horta, I., Guimaraes, N., Nóvoa, H., & Sousa, R. S. (2006). Sistemas de Indicadores de desempenho e produtividade para a construção civil. *Encontro nacional sobre qualidade e inovacao na construcao*, 1-12.
- de Wit, A. (1988). Measurement of project success. *Project Management*, 164-170.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2009). *Guía para Diseño, Construcción e Interpretación de Indicadores*.
- Department of the Environment, Transport and Regions. (2000). *KPI Repor for the Minister for Construction*. West Yorkshire: KPI Working Group.
- Drucker, P. (1989). *The new realities*. John H Farrar, Brenda Hannigan, Nigel E Furey and Philip Wylie, Farrar's Company Law.
- Egan, J. (1998). *Rethinking Construction*. Londres: Construction Task Force Report for Department of the Evironment, Transport and the Regions.
- 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.
- Jastaniah, Y. R. (1997). Performance evaluation and benchmarking of construction industry projects using data envelopment analysis.
- 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.
- Kim, S. Y., & Huynh, T. A. (2008). Improving project management performance of large contractors using benchmarking approach. *International Journal of Project Management*, 758-769.

- Kunz, J., & Fischer, M. (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. *CIFE Working Paper #097 Version 14*, 53.
- Navarro Sánchez, R. (2010). *Creación de un "Balanced ScoreCard" para la dirección integrada de proyectos de construcción*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Orihuela, P., & Orihuela, J. (2014). Needs, Values and Post-Occupancy Evaluation of Housing Project Customers: A Pragmatic View. *Procedia Engineering*, 412-419.
- 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.
- 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.
- 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.
- Roberts, M., & Latorre, V. (2009). KPIs in the UK's Construction Industry: Using System Dynamics to Understand Underachievement. *Revista de la Construcción*, 69-82.
- SEAOC Vision 2000 Committee. (1995). *Performance-based seismic engineering*. Sacramento, California: California Structural Engineers Association of California.
- 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.
- 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.
- Wideman, R. M. (1987). Project Management Framework lecture overhead slide circa.
- 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.