

Análisis de viabilidad ambiental y de costos al implementar la certificación LEED: estudio de caso aplicado a un proyecto de Viviendas de Interés Social en Bogotá D.C.

Environmental and cost feasibility analysis when implementing LEED certification: a case study applied to an affordable housing project in Bogota D.C.

M. Martínez ^{1*}, D. Villalba *, R. Misle *, E. Rey *, H. Páez *

* Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., COLOMBIA

Fecha de Recepción: 10/05/2018
Fecha de Aceptación: 16/12/2018
PAG 99-110

Abstract

This article presents the alternatives resulting from the analysis of environmental feasibility and its associated costs, based on the incorporation of the sustainable criteria determined by the LEED certification, for the development of a case study in affordable housing, in the city of Bogotá D.C. The methodology is based on the standards set by LEED BD+C Homes for the Design and Construction of Multifamily Midrise Buildings. A propositional study is developed through financial scenarios, in order to evaluate if these technologies in affordable housing are feasible from the investment perspective of builders in Colombia, considering that to this date the implementation of criteria that will lead to the LEED certification has not been applied to this type of projects. The findings allow us to distinguish barriers and opportunities from the prominent implications of the inclusion of these sustainable technologies in low-income housing.

Keywords: Affordable housing, LEED certification, LEED BD+C Homes, net present value, cost effectiveness

Resumen

Este artículo presenta las alternativas del análisis de viabilidad ambiental, y sus costos asociados, para el desarrollo de un proyecto de construcción de vivienda de interés social (VIS) ubicado en Bogotá, Colombia, que incorpora los criterios sostenibles determinados por la certificación LEED. La metodología de investigación se soporta en un estudio de caso basado en análisis sobre los estándares dispuestos por la certificación LEED BD+C Homes para el Diseño y Construcción de Viviendas Multifamiliares de Altura Media. Se desarrolla un estudio propositivo mediante escenarios financieros, con el fin de evaluar si estas tecnologías en VIS son factibles desde la óptica de la inversión de los constructores en Colombia, considerando que a la fecha no se han implementado medidas sostenibles con base en esta certificación y en este tipo de proyectos en el país. Las conclusiones permiten distinguir en general barreras y oportunidades de las implicaciones de la inclusión de tecnologías y procedimientos sostenibles en viviendas para personas de bajos ingresos.

Palabras clave: Vivienda de Interés Social (VIS), certificación LEED, LEED BD+C Homes, valor presente neto, rentabilidad

1. Introducción

El término vivienda de interés social (VIS) se refiere a una iniciativa implementada por instituciones públicas y privadas para reducir las desventajas sociales de los individuos, permitiéndoles acceso a la adquisición o arriendo de viviendas de menores costos, y por ende, alcanzar una calidad de vida satisfactoria y crecimiento social (Boeri et al., 2011). En general, este tipo de viviendas se construyen con un presupuesto considerablemente limitado, por lo que existe la creencia en la industria de construcción colombiana de la imposibilidad para certificarse con un sello ambiental. Esta investigación enfrenta esta

creencia al analizar si sería posible obtener para este tipo de proyectos la certificación de uno de los principales sistemas de evaluación para edificaciones sostenibles conocido como LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés).

El Gobierno Nacional como las entidades enmarcadas en la visión de la sostenibilidad en Colombia (e.g. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, CCCS) se encuentran desarrollando políticas públicas y adoptando aspectos de sostenibilidad aplicables a las edificaciones VIS y no VIS, basados, en ocasiones, en los criterios descritos en la certificación LEED. Lo cual se presenta como una oportunidad para contextual para esta investigación.

A diferencia de la situación colombiana, en varios países se emplea voluntariamente medidas de construcción sostenible para las VIS, especialmente en países europeos (Boeri et al., 2011).. En vista de ello, se considera justificado determinar la viabilidad ambiental y financiera de la inclusión de los criterios LEED en este tipo de proyectos en el país. De ahí que se encuentren diversas oportunidades de estudio en materia de

¹ Autor de Correspondencia:

Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., COLOMBIA
E-mail: infraestructurafisica@javeriana.edu.co
infraestructurafisica@hotmail.com



construcción sostenible en este tipo de edificaciones, dentro de los que se destacan los escenarios posibles para el desarrollo y promoción que el Gobierno colombiano ha impulsado recientemente, contemplando además, los esfuerzos adelantados por el CCCS para mejorar las prácticas en el entorno habitacional sostenible.

En consecuencia de la situación expuesta, el objetivo del presente artículo es estudiar los parámetros de sostenibilidad, específicamente las variaciones en materia ambiental y de costos con base en los criterios establecidos por la certificación LEED, para un caso de proyecto VIS en Bogotá que permita dar luces para una generalización en esta ciudad.

2. Descripción del estudio de caso

El proyecto objeto del presente estudio consiste en un conjunto residencial para personas con ingresos bajos relativos de 384 apartamentos dentro de un área de 7.623,19 m², ubicado en el Sur de Bogotá. El conjunto cuenta con acceso vehicular, peatonal y para discapacitados, zonas comunes para reuniones en salones sociales y espacios abiertos, y edificación de parqueaderos. La Figura 1 muestra una visual interna del proyecto objeto de este estudio.



Figura1. Visual interna del Proyecto

Teniendo en cuenta que las torres de apartamentos presentan la misma conformación de diseño y construcción, se consideró tomar una de las torres exteriores como unidad de análisis tal como se

observa en la Figura 2, cuya área construida es de 1.071,85 m². La selección de la torre estuvo sujeta a aquella con mayor exposición sobre factores ambientales que la establecen como la más crítica.



Figura 2. Ubicación de la torre analizada

3. Metodología

El procedimiento para el análisis del estudio de caso se expresa en la Figura 3.

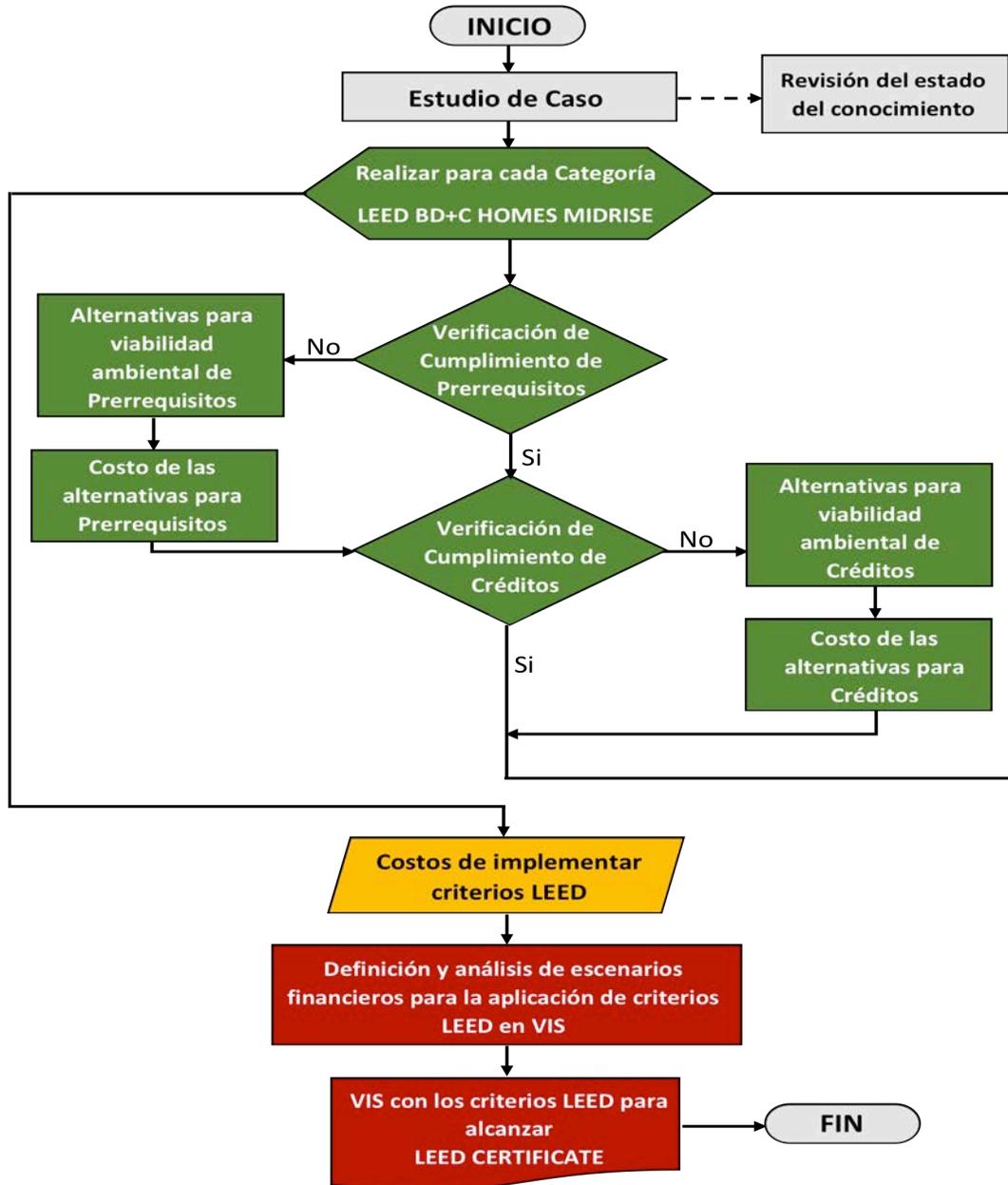


Figura 3. Procedimiento para el análisis del estudio de caso



En primera medida, se realizó un estudio de las condiciones originales del proyecto residencial concebido sin la inclusión de criterios de sostenibilidad, para identificar estas condiciones con relación a cada una de las categorías de la certificación LEED que a continuación se explican en detalle.

3.1 Proceso Integrador (IP)

La categoría IP tiene como propósito la integración de estrategias de diseño y construcción sostenibles, con la colaboración de todas las áreas que formarán parte del proyecto. Los puntos a otorgar en esta categoría son 2 puntos.

3.2 Localización y transporte (LT)

La categoría LT premia el diseño del proyecto en parcelas con las que se logre una reducción de los kilómetros recorridos por vehículo, se facilite la utilización del transporte público, y se mejore la salud de los ocupantes a través del aumento de la actividad física diaria. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 15 puntos.

3.3 Parcelas Sostenibles (PS)

La categoría PS tiene como propósito promulgar la selección del sitio donde se ubicarán los proyectos a certificarse. La ubicación debe procurar que se conserven los ecosistemas, se reduzcan las emisiones de CO₂ y el efecto "isla de calor", así como la implementación de estrategias que conlleven la protección del entorno. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 7 puntos.

3.4 Eficiencia en Agua (EA)

La categoría EA premia la reducción en la demanda de agua del proyecto por medio del uso de equipos de alta eficiencia (e.g., sanitarios ahorradores de agua) y prácticas de jardinería eficientes (e.g., métodos de riego apropiados). La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 12 puntos.

3.5 Energía y Atmósfera (EYA)

La categoría EYA permite definir estrategias para el ahorro del consumo de energía en las edificaciones. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 37 puntos.

3.6 Materiales y Recursos (MR)

La categoría MR tiene como objetivo minimizar la contaminación determinada por factores como la disposición final de residuos durante la etapa de construcción. De igual forma, impulsa a la reutilización de materiales producto de demoliciones y al uso de materia prima saludable. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 9 puntos.

3.7 Calidad Ambiental Interior (CAI)

La categoría CAI premia las estrategias adoptadas desde la etapa de diseño con las que se pretende proteger la salud de los ocupantes por medio del aumento del confort en factores como temperatura, aire y visibilidad. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 18 puntos.

3.8 Innovación (IN)

La categoría IN no es de obligatorio cumplimiento y tiene como propósito la implementación de técnicas constructivas y estrategias diferentes a las establecidas en la certificación, que mejoren el desempeño de las edificaciones. La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 6 puntos.

3.9 Prioridad Regional (PR)

La categoría PR no es de obligatorio cumplimiento y premia aquellos proyectos que empleen estrategias sostenibles dentro de las zonas identificadas por el USGBC como "zonas medioambientales". La cantidad máxima de puntos a otorgar en esta categoría es de 4 puntos.

Para la evaluación de las categorías mencionadas anteriormente, se analizaron cada uno de los prerrequisitos y créditos que las componen, los cuales son aplicables para LEED BD+C Homes Diseño y Construcción de Viviendas Multifamiliares de Altura Media, de acuerdo con las disposiciones estipuladas en la versión V4.0, publicada en el año 2013 por el US Green Building Council (USGBC) (2017).

El puntaje mínimo que debe obtenerse para optar por uno de los niveles de certificación que ofrece LEED es el siguiente: 40 puntos para LEED CERTIFICADO, 50 puntos para LEED PLATA, 60 puntos para LEED ORO, 80 puntos para LEED PLATINO y 110 puntos para el máximo puntaje posible.

Por otra parte, para calcular el consumo en agua de la categoría EA, se modelaron los usos diarios de cada uno de los equipos instalados en la torre analizada por medio la calculadora "*Indoor Water Use Reduction Calculator*" (2012) utilizada para LEED V4.0, y los consumos de agua en el urbanismo para la categoría EYA, mediante el uso de "*Water Budget Tool*" de WaterSense (2014). Adicionalmente, para calcular los consumos energéticos fue necesaria la modelación de los espacios y materiales de muros y pisos de la torre en el programa eQUEST (2016). En la Figura 4, se puede observar un diagrama de entradas y salidas para cada una de las modelaciones anteriormente mencionadas.

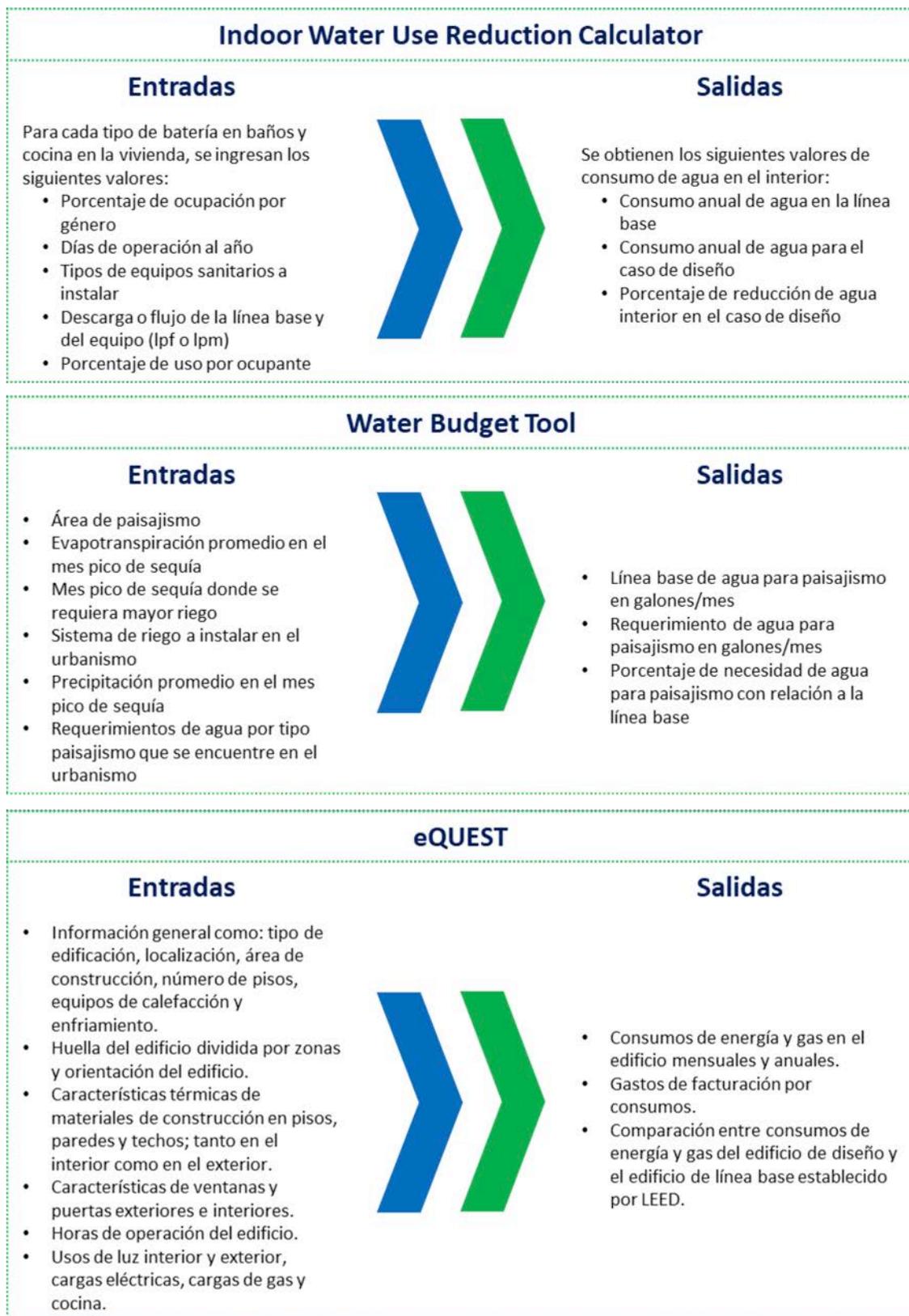


Figura 4. Diagrama de entradas y salidas de las modelaciones para consumo de agua y energía



Posteriormente, se determinaron las alternativas sostenibles y se efectuó un análisis de sensibilidad de los costos obtenidos en el proyecto modificado bajo la implementación de las categorías de la certificación que eran necesarias para alcanzar el puntaje requerido para la obtención del nivel de certificación LEED CERTIFICADO.

Por último, se plantearon escenarios con la inclusión de parámetros de la certificación LEED que mantuvieran niveles de rentabilidad financiera similares a los pretendidos por el gremio constructor de las VIS. Para cada uno de dichos escenarios, se determinó la rentabilidad obtenida al aplicar los parámetros sostenibles y se comparó con la rentabilidad original del proyecto. Finalmente, se analizó el Flujo de Caja del Inversionista (FCI) y como resultado de este flujo, se

determinó la rentabilidad del proyecto a través del VPN y de la TIR.

4. Diagnóstico de sostenibilidad

Una vez realizado el análisis de las condiciones originales del proyecto, se identificó la línea base a partir del cumplimiento de las categorías de la certificación LEED, y se determinaron los puntos que se otorgarían para cada categoría con base en las condiciones originales con las que se construyó la torre en estudio. Primeramente, se analizó el cumplimiento de los prerrequisitos y, posteriormente, el de los créditos establecidos en cada categoría. La cantidad de prerrequisitos que cumplen para las condiciones originales del proyecto se puede observar en la Tabla 1 y los puntajes obtenidos para los créditos se expresan en la Tabla 2.

Tabla 1. Cumplimiento de prerrequisitos de la certificación LEED BD+C Homes

CATEGORÍA	CANTIDAD DE PRERREQUISITOS EN LA CATEGORÍA	CUMPLE	NO CUMPLE
LT	1	1	0
PS	2	2	0
EA	1	1	0
EYA	3	1	2
MR	2	0	2
CAI	6	1	5

Tabla 2. Puntaje obtenido en categorías de la certificación LEED BD+C Homes

	PI	LT	PS	EA	EYA	MR	CAI	IN	PR
Puntaje obtenido	0	9	2	0	17	3,5	3	0	4

Se evidencia que, de los 15 prerrequisitos de obligatorio cumplimiento, 6 de ellos cumplen y 9 no cumplen. Adicionalmente, el puntaje total obtenido como línea base fue de 38,5 puntos, resultado este que

es menor al requerido para obtener el nivel de certificación LEED CERTIFICADO.

5. Estudio de alternativas sostenibles y costos asociados

A partir de la información resultante de la línea base se establecieron las variables constructivas susceptibles de ser modificadas y con las que se logró el cumplimiento de los prerrequisitos y créditos en cada una de las categorías de la certificación para al menos alcanzar el nivel de certificación. Estas alternativas determinaron una solución viable en términos de la

rentabilidad pretendida por el constructor en el caso de estudio y sin modificar las condiciones de uso de la edificación, así como el diseño arquitectónico originalmente planteado.

En la Tabla 3 se presentan los costos por torre asociados a la implementación de las alternativas sostenibles requeridas para alcanzar el nivel de certificación LEED CERTIFICADO, los cuales fueron calculados a partir del presupuesto de obra del estudio de caso y de un análisis de mercado en la ciudad de Bogotá.

Tabla 3. Incremento económico por torre asociado a las alternativas para alcanzar el nivel de certificación LEED CERTIFICADO

PRERREQUISITO/CRÉDITO	ALTERNATIVA	INCREMENTO ECONÓMICO (COP)*	IVA ¹ (COP)
Crédito PI: Proceso Integrador	Realización de talleres al equipo de diseño y capacitaciones a oficios	1.377.778	-
Crédito EA: Consumo de Agua Total	Instalación de sanitarios, lavamanos, duchas y lavaplatos que generen ahorro de agua	5.253.466	1.232.294
Prerrequisito EYA: Mínima Eficiencia Energética	Instalación de sensores de ocupación en parqueaderos y commissioning	4.161.337	7.066
Prerrequisito EYA: Formación del Propietario, Inquilino o Gestor del Edificio	Desarrollar un manual o CD de operación y mantenimiento para el edificio (incluye prohibición de fumar en espacios abiertos)	2.213.151	-
Prerrequisito CAI: Humo de Tabaco en el ambiente			
Prerrequisito MR: Madera Tropical Certificada	Instalación de puertas para baños con madera tropical certificada	778.253	182.553
Prerrequisito MR: Gestión de la Durabilidad	Instalación de desagüe y sifón de piso en cocina	378.384	88.757
Prerrequisito CAI: Ventilación	Instalación de extractor para baños y cocina. Diseño prescriptivo para la ventilación.	11.658.197	1.443.287
Prerrequisito CAI: Ventilación de la Combustión	Instalación de monitor de CO	3.171.059	325.584
Prerrequisito CAI: Construcción resistente al Radón	Instalación de claraboya para ventilación, conducto de ventilación vertical y tomacorriente en techo	241.661	54.039
Prerrequisito CAI: Compartimentación	Instalación de burletes en ventanas y puertas	1.217.592	285.608
Todas las categorías	Certificación por parte de USGBC	4.995.932	-
SUBTOTAL		35.446.810	3.619.188
TOTAL		39.065.998	

*Los costos corresponden a valores constantes del año 2017.



Considerando la implementación de las alternativas planteadas en la Tabla 3, el incremento en el costo por torre es de COP 35.446.810 y un costo del IVA por torre de COP 3.619.188, lo que sumado generaría un total de COP 39.065.998. Este incremento representa un aumento del 5,5% del valor por torre con respecto al costo original.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que el costo por torre original es de COP 714.994.201 y el del m² de construcción original es de COP 667.066, con la implementación de la certificación LEED el costo por torre quedaría en COP 754.060.199 y el del m² de construcción en COP703.513, tal como se observa en las Figuras 4 y 5.

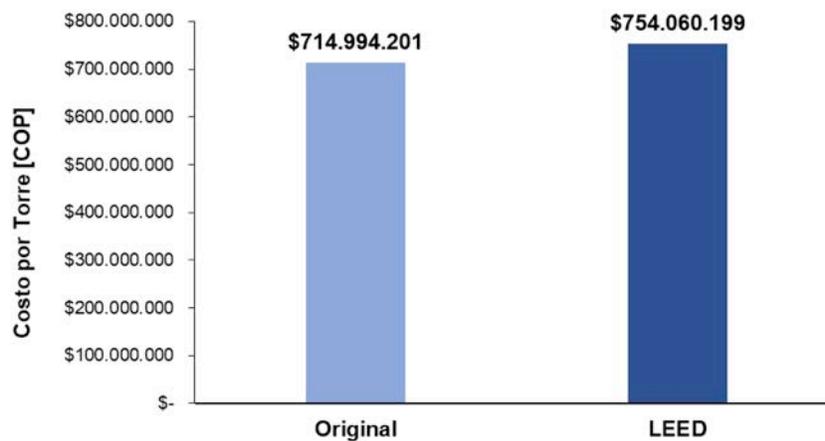


Figura 4. Costos por torre obtenidos para el estudio de caso

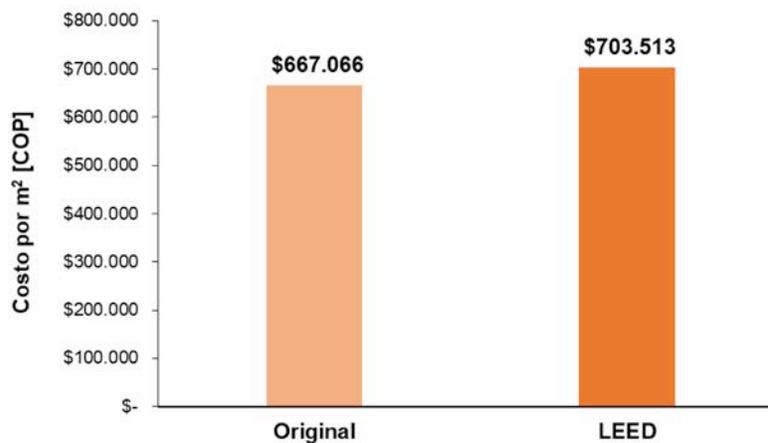


Figura 5. Costos por m² obtenidos para el estudio de caso

5.1 Evaluación de puntaje LEED al implementar alternativas

Posterior a la implementación de las alternativas planteadas, se evaluó nuevamente el puntaje obtenido bajo los criterios aplicables para LEED BD+C Homes Diseño y Construcción de Viviendas Multifamiliares de Altura Media V4.0, y se obtuvo, en este caso, un total

de 44,5 puntos. Por ende, si se construyera la torre analizada implementando las alternativas sostenibles planteadas, esta lograría la obtención del nivel de certificación LEED CERTIFICADO.

SPANISH VERSION.....

6. Valoración financiera de escenarios

Se llevó a cabo el análisis financiero por medio del cual se identificaron las oportunidades para el constructor de concebir un proyecto VIS con la inclusión de criterios sostenibles con base en la certificación LEED. Dicho análisis se realizó durante dos etapas: la construcción y el uso de la vivienda.

Durante la etapa de construcción se analizaron tres escenarios de viabilidad financiera: (i) exención del impuestos al valor agregado (IVA) para materiales de construcción en VIS; (ii) la implantación del proyecto en terrenos planos; y (iii) la combinación de la implantación del proyecto en terrenos planos más la exención de IVA en ciertos materiales que a continuación se indican. Por otra parte, durante la etapa de uso de la vivienda, se realizó un análisis del flujo de caja del usuario con el fin de determinar las diferencias en costos operacionales entre la vivienda original y la vivienda con certificación LEED.

6.1 Etapa de construcción

6.1.1 Exención de IVA para materiales de construcción en VIS

El Estatuto Tributario Nacional establece los parámetros para la devolución de saldos a favor y el Decreto 2924 de 2013 reglamenta el trámite y procedimiento para la solicitud de la devolución de IVA en VIS. Dicho Estatuto determina que esta devolución puede representar hasta un máximo del 4% del valor registrado en las escrituras de ventas de las viviendas.

Teniendo presente que el proyecto en estudio contó originalmente con una devolución de IVA para materiales como concreto y acero, se analizó la posibilidad de que el Gobierno otorgue una exención de IVA a los materiales que no estaban incluidos en la devolución realizada originalmente, considerando que el proyecto es de VIS y que cuenta con parámetros sostenibles en su construcción.

A partir de este análisis, se determinó que la exención del IVA para el resto de materiales sería de COP39.186.760, con lo que se logra cubrir el costo asociado a la implementación de alternativas sostenibles estipulado en el arriba mencionado numeral 5. Por consiguiente, si la rentabilidad del proyecto original es del 12%, con la aludida exención no se vería afectada la rentabilidad al implementar la certificación LEED.

6.1.2 Implantación del proyecto en terrenos planos

Este escenario considera la distribución de predios residenciales VIS en Bogotá. Para tal fin, se empleó la información reportada por UAECD (2017) para identificar las localidades donde se concentran este tipo de construcciones. Adicionalmente, cada una de estas localidades se caracterizaron según la topografía predominante, parametrizando los terrenos de la siguiente manera: plano (terrenos con pendientes

menores a 4 grados que requieren un mínimo movimiento de tierras para la edificación), ondulado (terrenos con pendientes entre 5 y 15 grados que requieren un moderado movimiento de tierras durante la edificación) y ondulado-montañoso (terrenos de las localidades con características onduladas que llegan a alcanzar pendientes de hasta 50 grados).

Por otra parte, se analizó el costo del movimiento de tierras de proyectos VIS por torre, según la localidad y tipo de terreno, encontrándose que para terrenos planos los proyectos VIS reportan cerca de COP 9.000.000, ondulados COP 13.000.000 y de ondulado-montañoso COP 23.000.000, los cuales se obtuvieron a partir del análisis de una serie de proyectos residenciales de VIS en las localidades mencionadas anteriormente.

Al comparar los COP 23.000.000 que se gastan en promedio las construcciones VIS en el movimiento de tierras por torre en terrenos ondulado-montañoso frente a los COP 9.000.000 en terrenos planos, se tendría una diferencia de COP 14.000.000 que se podría emplear para los gastos en los que se incurre para la construcción sostenible, considerando que la rentabilidad esperada por el constructor en ambos tipos de terreno, en términos de porcentaje es muy similar.

Dicho esto, considerando la necesidad de cubrir los cerca de COP 39.000.000 que se requieren para el cumplimiento de los parámetros sostenibles en terrenos planos, se podría contar con aproximadamente COP 4.000.000, lo que indica que el constructor tendría que incurrir en los gastos para completar los COP 25.000.000 restantes. De esta forma, el análisis de indicadores de bondad económica para el constructor arrojó un valor presente neto (VPN) de COP 73.107.221 frente a un VPN de COP 682.561.000 del proyecto original en terreno ondulado-montañoso y disminución de la rentabilidad de 11.74% frente a una rentabilidad original del 12%.

6.1.3 Implantación del proyecto en terrenos con bajas pendientes más exención de IVA para materiales de construcción

Para el análisis de este escenario, se determinó la diferencia de costos asociada a la elección de un terreno plano y el terreno en el cual se construyó el proyecto (el cual está dado por pendientes muy elevadas). Si escogiéramos un terreno plano para realizar la construcción de las viviendas, podríamos ahorrar un valor aproximado de COP 13.754.720, con lo que se cubriría aproximadamente un 35% del valor requerido para implementar los criterios sostenibles establecidos por LEED.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con la intención de no afectar la rentabilidad del proyecto, se puede combinar esta medida asociada a la elección del terreno, con la exención de IVA de los materiales que generen un mayor costo, como son aquellos relacionados con el urbanismo interno del proyecto, las instalaciones hidrosanitarias, eléctricas y de gas, la carpintería metálica, y los aparatos sanitarios. Dicha exención implicaría una disminución por un total de COP 26.115.098 que, al sumarse con el ahorro



asociado a la elección del terreno, generaría un total de COP 39.869.818, y cuyo valor supera el de COP39.065.998 requerido para implementar las medidas sostenibles establecidas por la certificación. En consecuencia, con este escenario no se vería afectada la rentabilidad al implementar la certificación LEED.

6.2 Etapa de uso de la vivienda

Este escenario contempló los costos asociados al uso de la vivienda para determinar las diferencias

durante la operación en condiciones originales y la operación de la vivienda con certificación LEED. Para ello, se consideró lo establecido en la Tabla 4. Adicionalmente, se asumió que el ingreso mensual de una familia que reside en una de las viviendas del proyecto en estudio es de 2 SMLMV, ya que este ingreso es el mínimo que deben tener para optar por la compra de este tipo de viviendas de acuerdo con lo prefijado en el Decreto 428 de 2015.

Tabla 4. Consideraciones generales para el Flujo de Caja de una vivienda que opera en condiciones originales y una vivienda con certificación LEED

DESCRIPCIÓN	ORIGINAL	LEED
Período [años]	10	10
Ingresos anuales [COP]	17.705.208	17.705.208
Administración [COP]	516.000	516.000
Subsidio en acueducto y alcantarillado para Estrato 1 [%]	70	70
Costo anual del agua ^(*) [COP]	149.397	106.376
Ahorro anual de agua por uso de aparatos con eficiencia en consumo [m ³]	-	64,75
Costo anual del alcantarillado ^(*) [COP]	203.943	203.943
Subsidio en energía para Estrato 1 [%]	50	50
Costo anual de gas y energía ^{(**)(**)} [COP]	370.993	373.148
Costo anual de aseo [COP]	50.297	50.297
Impuesto Predial [COP]	45.000	45.000
Mantenimiento de equipos instalados para cumplimiento LEED [COP]	-	49.375
Incremento anual del Impuesto Predial [%]	20	20
Incremento anual del costo de servicios públicos [%]	5	5
Tasa de Descuento [%]	5,32	5,32

* Incluye subsidio por Estrato 1

**Valor obtenido de la modelación con el software eQUEST (2016).

***Valores constantes del año 2017

Se consideró un flujo de caja en el que los egresos están determinados por los gastos de administración, impuestos, alcantarillado, aseo, gas, energía, mantenimiento de equipos instalados para el cumplimiento de los criterios LEED, y los costos de acueducto que resultan de la resta entre los costos

originales y el ahorro que se genera a partir de la implementación de las medidas sostenibles.

Teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4, se obtuvo un VPN de COP 168.130.392 para el flujo de caja efectuado bajo las condiciones de operación originales, y un VPN de COP 168.435.908 para el flujo



SPANISH VERSION.....

de caja bajo las condiciones de operación de una vivienda con certificación LEED. En consecuencia, aunque la desviación entre el VPN de ambos flujos es baja, se comprobó que la operación de una vivienda con certificación LEED es más eficiente para el usuario desde el punto de vista económico.

7. Discusión

Para dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Qué tan viable es, en términos de rentabilidad financiera, emplear tecnologías de sostenibilidad con criterios LEED para la construcción de proyectos VIS en la ciudad de Bogotá?, se debe considerar que la iniciativa para emplear tecnologías de sostenibilidad en VIS es aún una decisión del sector privado, quien debe disponer de recursos que afectan su rentabilidad al no contar con subvenciones para la implementación de estas prácticas. En consecuencia, aunque el Gobierno garantice la demanda por medio de subsidios para los usuarios y facilidades para adquirir este tipo de edificaciones, para el constructor no es atractiva la construcción de VIS con criterios sostenibles, por lo que se vuelve imperativo considerar aspectos que incentiven la implementación de estos criterios.

Con respecto a los resultados obtenidos a partir del análisis de viabilidad ambiental, se puede indicar que es posible obtener la certificación LEED para las VIS en Bogotá, tal como lo señalaron Pulido, *et al.* (2013). Por otra parte, se analizó el incremento en el costo de la construcción VIS que se generaría al implementar la certificación LEED, y de acuerdo con Cabas, *et al.* (2014) y Ribero, *et al.* (2016), el incremento en la inversión adicional es de 6,4% y de 3,2%, respectivamente. En consecuencia, los resultados de la presente investigación se ajustan a estos valores, al obtener un incremento del 5,5%.

Bajo los diferentes escenarios financieros planteados, se determinó que es poco atractivo para el constructor realizar la construcción de VIS con criterios sostenibles, debido que su utilidad se ve afectada al incorporar los parámetros sostenibles en la construcción de las viviendas.

Es por esto que, con las condiciones del marco legal actual que no contempla incentivos para la

construcción sostenible en este tipo de viviendas, se rechaza la hipótesis de que el proyecto en estudio ubicado en la ciudad de Bogotá con la inclusión de tecnologías sostenibles, logre la certificación LEED con indicadores de bondad económica atractivos para el constructor.

8. Conclusión

Durante el análisis de viabilidad ambiental se verificó el cumplimiento de los prerrequisitos obligatorios y de los créditos de la certificación LEED y se identificaron, para cada una de las categorías, las alternativas susceptibles a ser implementadas junto con sus costos asociados. Esto implicó seleccionar únicamente aquellas alternativas que pudieran implementarse con mayor facilidad en el proyecto de VIS para lograr el nivel de certificación LEED CERTIFICADO, y prescindiendo de las alternativas ambientales que afectaban negativamente los costos. A partir de esta selección, se determinó que los constructores pueden adoptar criterios de sostenibilidad basados en lo establecido por la certificación LEED realizando ajustes desde la fase del diseño de un proyecto VIS y, de esta forma, lograr la obtención de la certificación, sin generar costos altos asociados a la implementación de estos criterios. No obstante, para el estudio de caso, se determinó que se requiere un aumento en la inversión del 5,5% con respecto al costo original, para realizar un proyecto VIS con la certificación LEED.

Parametrizar criterios de localización e identificar posibles suministros para exención de impuestos son alternativas que podrían fomentar tanto al constructor como a la industria VIS a implementar criterios de sostenibilidad. Además, los ahorros en consumos y, por ende, la reducción de los costos de operación durante la etapa de uso de la edificación, son alternativas atractivas financieramente para que la sociedad demande por el perfil de estos proyectos. A pesar de ello, para el estudio de caso se determinó que, a la fecha, no es económicamente atractivo para los constructores VIS en Bogotá D.C. optar por la certificación LEED.

9. Referencias

- Barragán A., Ochoa P. (2014)**, Barragán, A. E., Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo. *Maskana*, 5 (1), 81-98.
- Boeri A., Antonini E., Longo D. (2011)**, The redevelopment of the heritage of social housing in Italy: Survey and assessment instruments. The case study of Pilastro neighborhood in Bologna. *Procedia Engineering*, 21, 997-1005.
- Cabas G., Garrido M. (2011)**, Análisis comparativo de costos para un proyecto de hotel y oficinas LEED certificado 3.0-2009 en la ciudad de Bogotá. (Tesis de Pregrado). Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- EPA WaterSense. (2014)**. Water Budget Tool V1.2 [software].
- eQUEST [software]. (2016)**, California: James J. Hirsch.
- Fundación Compartir. (2016)**, Piamonte: primer proyecto VIS en Colombia certificado HQE. From www.fundacioncompartir.org:<https://fundacioncompartir.org/noticias/piamonte-primer-proyecto-vis-colombia-certificado-hqe>
- Indoor Water Use Reduction Calculator V03 [software]. (2012)**. U.S. Green Building Council.
- Jun M. Cheng, J. (2017)**, Selection of target LEED credits based on project information and climatic factors using data mining techniques. *Advanced Engineering Informatics*, 32, 224-236.



- Pulido J., Yepes, L. (2013)**, Certificación LEED en Viviendas de Interés Social: Aplicada al Barrio Yomasa - Bogotá. Universidad Católica de Colombia, (Tesis de Pregrado).
- Ribero O., Garzón D., Alvarado Y., Gash I. (2016)**, Beneficios Económicos de la certificación LEED. Edificio Centro Ático: caso de estudio. Revista Ingeniería de Construcción , 31 (2), 139-146.
- UAECD. (2017)**, Análisis Inmobiliario 2016-2017. Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, Sistema Integrado de Información Catastral, Bogotá D.C.
- US Green Building Council (USGBC). (2017)**, LEED Green Building Certification System. From <https://new.usgbc.org/>

