UNIVERDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EDIFICIOS EXISTENTES, SIGUIENDO ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO 350, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE. CALI, COLOMBIA.

TRABAJO DE GRADO

Presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para optar por el título de Ingeniero Civil.

Autor John Jairo Gil Timaná
Estudiante de Ingeniería Civil

Director Prof. Sandra Liliana Cano
Ingeniera Civil, M.Sc.

Santiago de Cali, 2015

APROBACIÓN

VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EDIFICIOS EXISTENTES, SIGUIENDO ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO 350, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE. CALI, COLOMBIA.

Por:

John Jairo Gil Timaná

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar

al título de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería,

Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Febrero, 2015

Aprobado:

Prof. Sandra Liliana Cano, M.Sc.	Jurado 1
Jurado 2	

A Dios por las bendiciones recibidas, y todas sus fuerzas generosas que me dieron salud, paciencia, sabiduría y fortaleza siempre.

A mis padres y mi hermana que me han brindado siempre su amor y apoyo.

A mis familiares por su apoyo y colaboración durante este proceso de formación.

A la profesora Sandra Liliana Cano, Ingeniera Civil y Directora del proyecto, por su disposición y paciencia durante el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad del Valle por permitirme realizar mis estudios.

A los profesores, compañeros y amigos de la Escuela de Ingeniería Civil, quienes de una manera u otra me han brindado su ayuda.

Para todos a quienes hago mención, mi más sincero y enorme agradecimiento.

RESUMEN

En los últimos años, por las repercusiones de la actividad constructiva sobre el medio ambiente, dentro del sector de la construcción en general y de la edificación en particular, se ha fomentado la inclusión de sistemas de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de edificaciones. Estos sistemas tienen como objetivo la obtención de una valoración de la sostenibilidad del edificio y sus sistemas como un todo u ofrecer resultados parciales por áreas o ámbitos de actuación, y establece criterios de diseño por seguir en el desarrollo de un proyecto sostenible. La rehabilitación sostenible de edificios existentes es el camino a seguir hacia un nuevo modelo constructivo y está creciendo rápidamente en la industria por la introducción y expansión de estos sistemas, logrando dimensionar el importante rol que tienen estos en la reducción del impacto al medio ambiente por las actividades de construcción.

Con el propósito de seguir esta línea, el presente trabajo tiene como objetivo general la evaluación del desempeño ambiental del edificio 350 de la Universidad del Valle, usando como referencia el sistema de indicadores LEED v.3.0 2009 para edificaciones existentes; y proponer mejoras a nivel de eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, y calidad del ambiente interior para optimizar su rendimiento. Para ello, inicialmente se establecen los objetivos de proyecto, se define y analiza la línea base del edificio; seguido se realiza un conjunto de comparaciones con los criterios de sostenibilidad establecidos en LEED v.3.0 2009 para edificaciones existentes por medio del checklist; y por último, se proponen y evalúan estrategias pensadas en alcanzar consumos por debajo de su línea base para obtener un mejor desempeño ambiental del edificio.

El diagnóstico del edificio muestra principalmente una gran oportunidad de ahorro en energía con la implementación de nuevas tecnologías. Se propusieron ocho (8) estrategias para alcanzar en el edificio consumos de energía y agua por debajo de los mínimos requerimientos de LEED, y un mejor grado de sostenibilidad de la edificación. Estas corresponden a intervenciones sanitarias, en iluminación, climatización, energía y envolvente.

Palabras Clave: Sostenibilidad, LEED, Construcción sostenible, Eficiencia energética, Renovación ambiental, Edificios existentes, Edificios universitarios.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN I

Capítulo 1: Introducción 1
1.1 Contexto de la tesis 1
1.2 Descripción del problema 1
1.3 Objetivos 3
1.3.1 Objetivo general 3
1.3.2 Objetivos específicos 3
1.4 Justificación 3

Capítulo 2: Estado del Arte 7
2.1 Desarrollo sostenible y sostenibilidad en la construcción 7
2.1.1 Concepto de sustentabilidad y sus dimensiones 7
2.1.2 Construcción sostenible 9
2.1.3 Edificios de alto desempeño 9
2.1.4 El caso de negocio: desafíos y oportunidades 10
2.1.5 Panorama en Colombia 12
2.1.6 Edificios en Campus Universitarios 12
2.2 Herramientas de estimación y evaluación 17
2.2.1 Análisis del ciclo de vida (ACV) 17
2.2.2 Cradle to Cradle 17
2.2.3 Energy Star 17
2.2.4 Sistemas de calificación en la edificación sostenible 18
2.3 Proceso de toma de decisión 21
2.3.1 Métodos de decisión multi-criterio 22
2.4 Sostenibilidad en la gestión de proyectos de construcción 25
2.4.1 Gestión del ciclo de vida de un proyecto sostenible 25
2.5 Renovación de edificaciones existentes 31

Capítulo 3: Metodología 32
3.1 Objetivos del proyecto y alcance del proceso 32
3.2 Desarrollo de la línea base del edificio 32

3.2.1 Programa 33
3.2.2 Estudio de campo 34
3.3 Evaluación del rendimiento del edificio y diagnóstico 34
3.4 Identificación de estrategias 34
3.4.1 Propuesta y análisis de estrategias 34
3.4.2 Evaluación económica 35
3.5 Estrategias y créditos LEED 35
Capítulo 4: Diagnóstico del edificio 36
4.1 Edificio 350 – Escuela de Ingeniería Civil y Geómatica 36
4.2 Desarrollo de la línea base para los sistemas del edificio 42
4.2.1 Desempeño energético 42
4.2.2 Consumo de agua 44
4.2.3 Fundamentos de arquitectura en el diseño del edificio 47
4.3 Benchmarking: Evaluación con checklist de LEED-EB v.2009 50
Capítulo 5: Estrategias 56
5.2 Definición de propuestas 56
5.2.1 Eficiencia en el uso de agua 56
5.2.2 Energía y atmósfera 57
5.2.3 Calidad del ambiente interior 62
Capítulo 6: Análisis de la inversión 64
6.1 Supuestos y criterios para el cálculo 64
6.2 Análisis económico 68
Capítulo 7: Estrategias y créditos LEED 70
Capítulo 8: Conclusiones 71

Capítulo 1: Introducción

1.1 Contexto de la tesis

El sector de la construcción presenta un amplio abanico de posibilidades para aplicar iniciativas ambientales en las diferentes fases, actividades y operaciones que surgen a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. La incorporación de criterios ambientales, sociales y económicos en la adaptación de medidas que permitan la reducción de impactos ambientales derivados del diseño, la ejecución, mantenimiento y demolición de obras, se proyecta como una medida para avanzar en el camino hacia la sostenibilidad.

Indicadores de consumo de los recursos por parte del sector de la construcción a nivel mundial, muestran la clara interrelación que tienen las actividades del sector con la afectación del medio ambiente y la necesidad de aplicar estos criterios de sostenibilidad en el desarrollo de proyectos, tanto de construcciones nuevas, como la rehabilitación de edificios existentes, que minimicen los impactos ambientales producidos.

En este sentido, es importante considerar la edificación no solo en su fase de construcción, sino también en todas las demás fases que constituyen el ciclo de vida de un producto: el edificio. En una edificación existente, haciendo énfasis en el objeto del trabajo, llevar a cabo una correcta gestión sostenible implica aplicar criterios de sostenibilidad y adoptar buenas prácticas. El uso y conservación de un edificio, debe considerar los aspectos ambientales relacionados tanto con su uso, como con aquellos derivados del funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones auxiliares que dan servicio al mismo (sistemas de climatización, suministro de agua y electricidad, etc.), teniendo en cuenta la necesidad de optimizar al máximo su rendimiento.

Ciertamente el comportamiento del edificio como tal en esta fase va a estar condicionado por las consideraciones que se tomaron en cuenta a la hora de diseñar el proyecto de construcción. Si desde aquí se empieza por definir objetivos claros y concretos hacia la sostenibilidad, se logrará en una mayor medida tener una construcción sostenible.

1.2 Descripción del problema

La construcción, operación y mantenimiento de edificaciones ya sean comerciales, residenciales o institucionales genera grandes beneficios económicos para la población en general pero también produce grandes impactos negativos sobre el medio ambiente (UNEP, 2012). La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estimó en un estudio realizado en 2009 que aproximadamente el 60% de la electricidad consumida en el mundo es consumida en edificios de tipo residencial y comercial, contribuyendo así con significantes cantidades de emisiones contaminantes (GEI) a la atmósfera. Este consumo sin embargo varía

ampliamente de acuerdo a la localización geográfica, clima y patrones de consumo; en Estados Unidos este valor sobrepasa el 70% según datos de la AIE (Krarti, 2011).

Tabla 1.1: Consumo anual de energía eléctrica en Estados Unidos por sector en billones de kWh.

End-Use Sector	1972	1982	1992	2002	2008
Residential	539	730	936	1,265	1,379
Commercial	359	526	850	1,205	1,352
Industrial	641	745	973	990	982

Actualmente este sector es responsable del 40% del consumo de energía a nivel mundial, de equivalentes niveles de emisiones de CO_2, así como del consumo del 30% de las materias primas y del 12% del consumo de agua potable en el mundo (UNEP, 2012).

Como se puede evidenciar por estos indicadores el impacto ambiental a causa del diseño, construcción y operación de edificios es enorme. Es cierto que los proyectos de construcción principalmente buscan satisfacer las necesidades de la sociedad, pero se debe alcanzar un equilibrio a mayor escala entre la actividad humana en el sector y el entorno medioambiental, social y económico. Algunas de las áreas de mayor preocupación hacia un desarrollo sostenible en el sector de la construcción son el consumo de energía, la generación de residuos, el uso eficiente del agua, como el uso y reciclaje de materiales de construcción.

La búsqueda de la sostenibilidad en el sector ha llevado a que se desarrollasen numerosas prácticas de sostenibilidad en la edificación, siendo la más exitosa la estandarización, cuantificación y calificación de los criterios de sostenibilidad. Estas prácticas podrían reducir sustancialmente o eliminar el impacto ambiental negativo a través de implantación de estrategias sostenibles durante todo el ciclo de vida del edificio, no considerando únicamente la fase de construcción y explotación, aplicando criterios de sostenibilidad desde la fase de planificación y diseño mediante la colaboración multidisciplinaria de todos los actores presentes en el proyecto (Fernández, 2010).

De acuerdo a un análisis global del sector de la edificación, la construcción de *edificios verdes* a partir de un diseño integrado, tiene el potencial de reducir entre un 30% y 50% la energía usada, 35% de las emisiones de GEI, la generación de residuos en un 70% y el consumo de agua hasta en un 40% (McGraw-Hill Construction, 2008; citado en UNEP, 2012).

Los primeros sistemas de calificación y certificación para la edificación surgieron en la década del 90, principalmente en Estados Unidos (LEED) y Reino Unido (BREEAM),

siendo el primero desarrollado por USGBC (U.S Green Building Council) y el más utilizado en el mundo como sistema de evaluación. Las cifras expuestas anteriormente muestran por qué fue necesaria la consolidación del sistema LEED (Liderazgo en Diseño Ambiental y Energético) como un instrumento de gestión en la toma de decisiones mediante el cual puede asegurarse la sostenibilidad en las edificaciones, pues involucra muchos aspectos de su ciclo de vida como la selección del sitio y de los materiales, el uso del agua y la energía, la utilización de energías renovables, el manejo de residuos e incluso aspectos relacionados con la calidad de ambiente interior.

La aplicación de criterios en estos aspectos para la evaluación de un edificio permitirá identificar oportunidades para la optimización en el uso de recursos, cuantificar los costes y beneficios asociados a las alternativas que se propongan en busca de alcanzar mayores niveles de rendimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer un conjunto de estrategias sostenibles, con base en sistemas de indicadores de sostenibilidad en la edificación, que permitan optimizar el rendimiento ambiental del edificio 350 de la Universidad del Valle.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer un diagnóstico de la condición actual, en términos de sostenibilidad ambiental, del edificio 350 de la Universidad del Valle siguiendo estándares internacionales de construcción sostenible.

- Proponer un paquete de estrategias sostenibles enfocadas a la optimización en el uso de recursos naturales no renovables en el edificio 350; tendiendo a optimizar el rendimiento ambiental del edificio en la medida de lo posible.

- Realizar un análisis económico de las diferentes alternativas para establecer una relación costo-beneficio.

1.4 Justificación

El diseño, construcción y mantenimiento de edificios causa un gran impacto en el medio ambiente y en los recursos naturales, constituyendo una importante fuente de contaminación que afecta la calidad del aire y que favorece el cambio climático suponiendo una importante cantidad de las emisiones contaminantes (GEI) al planeta. Las casas que habitamos y nuestros lugares de trabajo y ocio son fuente de contaminación, pero este daño

al medio ambiente podría reducirse considerablemente si se siguen ciertas pautas al momento de construir nuevos edificios.

El concepto de *construcción sostenible*, introducido en 1994 al sector de la edificación por parte de las sociedades industrializadas y que surge a raíz de estas alteraciones ambientales, busca minimizar el uso de recursos no renovables en la construcción de edificios, que estos produzcan menos contaminación y residuos, y que resulten más cómodos, económicos, saludables y seguros para quienes viven o trabajan en ellos. Comienzan a surgir así nuevos objetivos (ambiental, social y económico) en búsqueda de un proyecto sostenible donde no solo prime el coste, plazo y calidad como los objetivos específicos dentro de un proyecto de construcción. En este contexto, se han venido desarrollando diversos métodos para la valoración del impacto ambiental de un edificio, estableciendo valores, parámetros y criterios tendientes a identificar la calidad ambiental interior y exterior que genera un edificio en cada etapa de su ciclo de vida, desde la extracción y producción de materiales, construcción y operación, hasta su demolición.

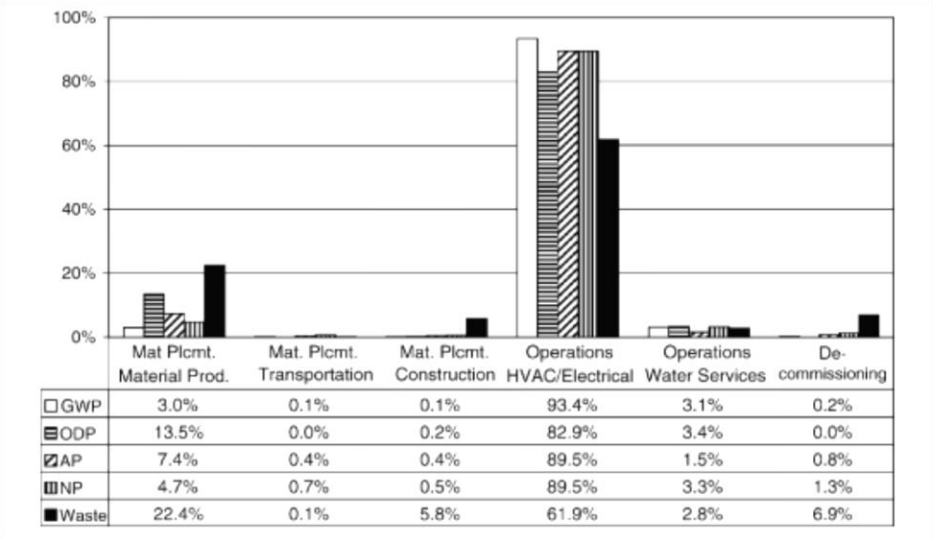


Figura 1.1: Ciclo de vida de un proyecto de construcción. (Fuente: http:// www.arqhys.com)

El análisis del ciclo de vida (ACV) representa un enfoque integral para evaluar el impacto de una edificación en el medio ambiente. En primer lugar la extracción de materia prima para la manufacturación de los materiales usados en construcción como metales y piedras, requiere de grandes cantidades de energía y de extraer grandes volúmenes para obtener el producto final. El proceso de transformación de esta materia prima y confección de los materiales comúnmente usados en los edificios como el acero, el cemento o la cerámica necesita también un alto consumo energético; produce además grandes cantidades de desechos, que en muchas ocasiones son tóxicos. La construcción también demanda grandes cantidades de energía por el montaje de estos materiales y su transporte a la obra que en algunos casos requiere recorridos largos que conlleva a utilizar grandes cantidades de combustible. El uso de la edificación es quizás la etapa que mayor demanda tiene en el uso de recursos naturales si se tiene en cuenta que entre el 80% y 90% del impacto ambiental del edificio por consumos operacionales de energía y agua ocurre en ella.

En un estudio del ciclo de vida de un nuevo edificio universitario en la Universidad de Michigan – Estados Unidos, se dejó en evidencia el impacto ambiental que este tendrá

durante su ciclo de vida (Scheuer, 2003). Se puede apreciar en la Figura 1.2 que es en la etapa de operación del edificio, proyectada para 75 años, donde se genera el mayor impacto al medio ambiente; estos impactos se especifican como: potencial de calentamiento global (GWP), potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP), potencial de acidificación (AP), potencial de nitrificación (NP) y residuos.



	Mat Plcmt. Material Prod.	Mat. Plcmt. Transportation	Mat. Plcmt. Construction	Operations HVAC/Electrical	Operations Water Services	De-commissioning
GWP	3.0%	0.1%	0.1%	93.4%	3.1%	0.2%
ODP	13.5%	0.0%	0.2%	82.9%	3.4%	0.0%
AP	7.4%	0.4%	0.4%	89.5%	1.5%	0.8%
NP	4.7%	0.7%	0.5%	89.5%	3.3%	1.3%
Waste	22.4%	0.1%	5.8%	61.9%	2.8%	6.9%

Figura 1.2: Distribución de las cargas ambientales durante el ciclo de vida del edificio. (Fuente: Scheuer, 2003).

Los *edificios sostenibles* tienen la responsabilidad de preservar la eficiencia del uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida. Los edificios universitarios son grandes consumidores de energía con un constante crecimiento en su consumo energético, y por lo tanto, requieren medidas sostenibles que le permitan alcanzar un mejor rendimiento. La aplicación de medidas sostenibles en los edificios en general, y específicamente en los edificios universitarios, resulta clave para la reducción global del consumo de los recursos y emisiones generadas. Sin embargo, no basta solo con implementar estas medidas en las nuevas edificaciones, los esfuerzos más importantes deben dirigirse a la aplicación en los edificios ya existentes, puesto que la mayor parte de la energía es consumida en ellos por conformar casi la totalidad del parque edificatorio mientras que existe una baja tasa de reemplazo de estos por edificios nuevos cerca de 1-3% al año (Zhenjun Ma, 2012); presentándose así como un escenario privilegiado para la formación de futuras sociedades más sustentables.

Como justificación también de aplicar medidas sostenibles en edificios universitarios, es el ofrecimiento de un espacio para la educación que pueda contribuir al crecimiento de la conciencia general en el cuidado del medio ambiente, y la adopción de medidas sostenibles en la rehabilitación de edificios existentes (Chung M., 2102); siendo las universidades instituciones con gran responsabilidad en la educación, deben estas poder promover el desarrollo sostenible a través de su arquitectura y uso modélico de sus recursos.

La valoración ambiental del edificio 350 de la Universidad del Valle busca identificar oportunidades de optimización en el uso de recursos, la cuantificación de costes y beneficios derivados de las medidas propuestas. Se estima que con ello, el edificio pueda llegar a una reducción en sus costos operacionales, además de reducir el impacto ambiental, promover la sostenibilidad y un mejor aprovechamiento de los recursos.

Este trabajo busca entonces, entregar un protocolo de actuación como herramienta de evaluación que proporcione una visión integral y cuantificable del proceso de rehabilitación del edificio, que pueda ser replicado en edificios de similares características con el fin de facilitar una evaluación costo-beneficio de la implantación de estrategias de sostenibilidad en los edificios de la Universidad del Valle para efectos de su consideración como punto de partida hacia un plan piloto que promueva el desarrollo sostenible de nuestro campus.

Capítulo 2: Estado del Arte

2.1 Desarrollo sostenible y sostenibilidad en la construcción

2.1.1 Concepto de sustentabilidad y sus dimensiones

En una introducción al sector de la economía, el término desarrollo sostenible, no es sino una aplicación del concepto de renta planteado por John Hicks (Premio Nobel en Economía, 1972) en su obra *Value and Capital* en 1939, el cual define el ingreso de una persona como *"el valor máximo que puede consumir durante una semana y encontrarse al final de ésta en una situación tan buena como la que tenía al principio de ella"* con una finalidad práctica en servir de guía a una conducta prudente, representada en nuestro ámbito como la gestión racional de los recursos en los procesos de producción y consumo por causa de las actividades humanas.

Sin embargo el concepto vendría a popularizarse, dentro del marco cultural y político muchos años después. El informe Brundtland, *Nuestro Futuro Común* (Our Common Future, en inglés), elaborado en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED, por su siglas en inglés), acuñaba el término *desarrollo sostenible* y lo define como *"aquel desarrollo que asegura la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades*". Desde entonces, el concepto ha evolucionado de un modo vertiginoso, ganando cada vez más importancia y llegando a ser considerado como uno de los desafíos más importantes del presente siglo (Fernández, 2010).

Desde 1968

En un estudio sobre las tendencias y los problemas económicos que amenazan a la sociedad global, el Club de Roma publicaría en 1972 el informe *Los límites del crecimiento* en el que se expone principalmente que, *"en un planeta limitado, las dinámicas de crecimiento exponencial (población y producto per cápita) no son sostenibles en el tiempo"*. De este modo, empieza a surgir un gran interés por tomar cartas en el asunto con la Declaración de Estocolmo, producto tras una conferencia realizada en Estocolmo, Suecia ese mismo año por la ONU, ratificándose la creciente preocupación por el medio ambiente.

Después de la presentación del informe Brundtland ante la Asamblea General de la ONU en 1987, el siguiente acontecimiento internacional significativo fue la Cumbre de la Tierra, realizada en 1992 en Río de Janeiro en la que se tomó decisiones para combatir el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad y la desertificación. Es en esta Cumbre de la Tierra, cuando aparece la Agenda 21, donde casi 200 países acuerdan un plan detallado de

acciones hacia la sostenibilidad que deben ser acometidas a nivel mundial, nacional y local, por entidades de la ONU, los gobiernos de sus estados miembros y por grupos particulares en todas las áreas en las que sus actividades ejerzan efectos sobre el medio ambiente. Dentro del propio documento se cita que, *"Los indicadores de desarrollo sostenible necesitan ser desarrollados para proporcionar bases sólidas para la toma de decisiones en todos los niveles y para contribuir a una sostenibilidad auto-regulada en el medio ambiente y sistemas de desarrollo"* (Programa 21, 1992; citado en Fernández 2010), proponiendo así que el modo de aplicación de la sostenibilidad sean los indicadores, como herramienta para la evaluación, el control y el monitoreo de las tres dimensiones que enmarcan el concepto de sostenibilidad: social, económica y medioambiental.

Tabla 2.1: Evolución del concepto Desarrollo Sostenible. (Fuente: Fernández, 2010)

Año	Eventos	Desarrollos y conceptos
1968	Creación del Club de Roma	Crecimiento estable de la humanidad "*Los límites del crecimiento*" publicado en 1972
1972	Cumbre de la Tierra en Estocolmo	Posible Cambio Climático Nuevo concepto de Desarrollo
1987	Informe Brundtland	Se acuña el término Desarrollo Sostenible
1992	Cumbre de Río de Janeiro	UNFCCC -United Nations Framework Convention on Climate Change - (189 países lo ratifican) Agenda 21
1997	Cumbre en Nueva York (Río + 5)	Necesidad de realizar progresos concretos Establecer estrategias nacionales de Desarrollo Sostenible
2000	Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas (Nueva York)	Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)
2002	Cumbre de Johannesburgo (Río + 10)	Cumbre del Desarrollo Sostenible Tres pilares: desarrollo económico, social y protección ambiental
2005	Entra en vigor el Protocolo de Kyoto	> 50 % de los países emisores firman el protocolo
2007	Conferencia Internacional Río + 15 en Río de Janeiro	Documento final en Bali, 2007 (Indonesia) 4º Informe de evaluación IPCC – Impacto humano sobre el Cambio Climático

Más recientemente, la conferencia internacional Rio+20 realizada en 2012 en Brasil y en la que se no se alcanzó realmente un avance hacia el desarrollo sostenible al no lograrse un acuerdo para asumir objetivos concretos por parte de los países participantes, terminó con la aprobación de un modesto plan plasmado en el documento final, para avanzar hacia una *economía verde* que frene la degradación del medio ambiente y combata la pobreza en el mundo.

2.1.2 Construcción sostenible

El concepto de construcción sostenible se introdujo en la industria de la construcción en la primera Conferencia Internacional de Construcción Sostenible celebrada en Tampa, Florida en Noviembre de 1994, y fue propuesto para describir la responsabilidad de la industria en lograr el cumplimiento del término sostenibilidad. En esta conferencia Charles J. Kibert (Citado por Alarcón, 2005) propone la construcción sostenible, como *"El construir usando un ambiente sano, empleando los recursos eficientemente en base a principios ecológicos"* mientras que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), define la construcción sostenible como *"una manera de la industria de la construcción de actuar hacia el logro del desarrollo sostenible, tomando en cuenta aspectos medioambientales, socio-económicos y culturales. Específicamente, implica cuestiones tales como el diseño, construcción y administración de edificaciones, rendimiento de materiales y uso de recursos – todas, dentro de la órbita más amplia de la gestión ambiental urbana para el desarrollo urbano sostenible"* (Holcim Foundation for Sustainable Construcción).

Tal como se puede ver el concepto de construcción sostenible lleva implícito la mitigación de los efectos en el medio ambiente a causa de los procesos de construcción, operación y demolición de las edificaciones. En el mundo los esfuerzos dirigidos en esta línea han buscado establecer las bases de una construcción sostenible mediante el uso de indicadores que sirvan como herramientas para adoptar buenas prácticas y evaluar la sostenibilidad, tal como lo propone la Agenda 21 en su documento.

2.1.3 Edificios de alto desempeño

Un *edificio de alto desempeño* (High Performance Building, en inglés) es aquel que utiliza un enfoque de diseño completo e integrado del edificio para alcanzar un desempeño energético, económico y ambiental que es substancialmente mejor que la práctica estándar (Energy Policy Act, 2005; citado en Azari, 2013). Estos utilizan menos recursos, tienen un menor impacto ambiental y ofrecen un mejor lugar para trabajar y vivir, manteniendo alto estándares de desempeño a lo largo de su vida útil, que por lo general es de 50 a 75 años. Edificios sostenibles están llegando a ser conocidos como edificios de alto desempeño porque prometen incrementar su eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto que los edificios tienen en el medio ambiente, sin embargo, los edificios de alto desempeño difieren de estos por alcanzar ejemplares niveles de sostenibilidad mientras alcanzan mejores niveles en cuanto a los objetivos tradicionales del proyecto (costo, tiempo y calidad). Cada vez más son los interesados en que nuevas construcciones sean diseñadas y construidas con características sostenibles en busca de reducir costos durante el ciclo de vida de la instalación, consumo energético, mejorar la salud y productividad de los ocupantes, etc. Estos edificios nacen a partir de dirigir las prácticas comunes en la

construcción de edificaciones hacia un desarrollo sostenible en el sector de la construcción que tiene como objetivo la entrega de bienes construidos que mejoren la calidad de vida y ofrezca satisfacción a los propietarios, ofrezca la flexibilidad y el potencial para atender los cambios del usuario en el futuro, proporcionar entornos naturales y sociales deseables, y maximizar el uso eficiente de los recursos (Raynsford 2000; citado por Pulaski, 2005).

Los proyectos de alto desempeño pueden desarrollarse satisfactoriamente sin un incremento en el costo inicial. Aunque existen desafíos adicionales asociados a estos proyectos, existen muchas más oportunidades para realizar mejoras substanciales en el rendimiento del proyecto y niveles de sostenibilidad.

2.1.4 El caso de negocio: desafíos y oportunidades

La más reconocida barrera para la adopción de un diseño sustentable y práctica de la construcción es el costo inicial. El costo de construir *edificios verdes* es en promedio 2-7% más alto que los proyectos convencionales (USGBC; tomado de Pulaski, 2005). Si bien existe un costo adicional o *green cost premium* se espera la recuperación de este valor a lo largo de un tiempo racional a través de ahorros en operación.

Un estudio realizando a 33 proyectos registrados LEED construidos entre 1995 y 2004, de los cuales 25 corresponden a edificios de oficina y 8 a edificios de educación, sobre los costos y beneficios financieros de la *edificación verde* concluye que una inversión adicional mínima de un 2% sobre los costos de construcción, por lo general, permite un ahorro durante su operación de más de diez (10) veces la inversión inicial adicional (Kats G., 2003).

El informe que resume este estudio argumenta que se existe una percepción equivocada en la industria de que construir *edificios verdes* es significativamente más costoso que construir edificios convencionales y asume esto a la insuficiente información técnica, incompleta integración dentro de los proyectos y la carencia de un análisis costo-beneficio del ciclo de vida (LCCA, Life Cycle Cost Analysis); concluye que se puede llegar a construir un edificio sostenible sin un costo adicional, o muy poco, y con grandes beneficios para los inversionistas. Entonces, desarrollar un análisis costo-beneficio para cada proyecto es crucialmente importante para convencer a propietarios, administradores y equipos de diseño en proceder a implementar medidas de diseño sostenible, e incluso, perseguir la certificación.

La adopción de nuevas tecnologías para edificios de alto desempeño y principios operativos que se encuentran ampliamente disponibles hoy en día representa un gran número de beneficios, entre ellos: mejor productividad de los ocupantes, alcanzar altos niveles de eficiencia energética, un mejor desempeño en general, ahorros operacionales, un menor

impacto en el ambiente, entre otros. Muchos edificios verdes se han diseñado para usar entre 25 y 40% menos energía que los requerimientos de actuales códigos; más de 120 estudios han documentado que un edificio que ahorre energía, propiamente comisionado podría obtener ahorros adicionales entre 10 y 15% en costos por mantenimiento.

Tabla 2.2: Beneficios del caso de negocio de edificios sostenibles. (Fuente: Yudelson, 2008.)

1. Utility cost savings for energy and water, typically 30% to 50%, along with reduced "carbon footprint" from energy savings
2. Maintenance cost reductions from commissioning and other measures to improve and assure proper systems integration and performance
3. Increased value from higher net operating income (NOI) and better public relations
4. Tax benefits for specific green building investments
5. More competitive real estate holdings for private sector owners, over the long run
6. Productivity improvements, typically 3%–5%
7. Health benefits, reduced absenteeism, typically 5% or more
8. Risk management, including faster lease-up and sales and lower employee exposure to irritating or toxic chemicals in building materials
9. Marketing benefits, especially for developers and consumer products companies
10. Public relations benefits, especially for developers and public agencies
11. Recruitment and retention of key employees and higher morale
12. Fund-raising for colleges and nonprofits
13. Increased availability of both debt and equity funding for developers
14. Demonstration of commitment to sustainability and environmental stewardship; shared values with key stakeholders

Un estudio realizado para el Fideicomiso de Preservación Histórica de los Estados Unidos por parte del Instituto Americano de Arquitectos (Assoc. AIA), argumenta los beneficios de la renovación de edificios existentes para alcanzar mejores niveles de rendimiento ambiental. El estudio cuantificó el valor ambiental de los más de 328 billones de pies cuadrados en Estados Unidos, demostró que escoger entre demoler un edificio existente y construir uno nuevo a renovar el edificio existente, en todos los casos, renovar un edificio existente tiene un mejor resultado ambiental; *"reusar el edificio casi siempre ofrece ahorros ambientales sobre la demolición y la nueva construcción".* Comparando edificios de similar tamaño y funcionalidad, los ahorros de edificios usados está en un rango entre 4% y 46% versus edificios nuevos construidos con el mismo nivel de rendimiento energético. Las mejores oportunidades para mejorar el desempeño de energía, operación y servicios pueden encontrarse en el inventario mundial de edificios existentes. Estos representan un objetivo atractivo para mejoras de eficiencia pues consumen cerca de un

tercio de la electricidad que se consume en Estados Unidos y generan entre 18-20% de las emisiones de gas de efecto invernadero (Building Design and Construction, Mayo 2012).

Las *construcciones verdes* representan a nivel global grandes beneficios a las empresas en el mercado de la construcción, permitiendo entre otras cosas, reducciones en la operación de sus edificaciones. En Colombia, cada vez son más las organizaciones conscientes de los beneficios que representa tener construcciones sostenibles, y seguir la metodología que plantea los diferentes sistemas de indicadores se constituye en una garantía para lograrlo; hacerse más eficientes y conseguir retornos de la inversión con mayor rapidez.

2.1.5 Panorama en Colombia

Colombia promueve la construcción sostenible a través del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). Uno de los principales objetivos del CCCS es apoyar a las entidades en la formulación de políticas públicas de producción y consumo responsable para la industria de la construcción. Para alcanzar este propósito, el CCCS junto con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial trabaja en la formulación de una política pública nacional de sostenibilidad para la industria, que promueva las iniciativas -existentes y propuestas- de desarrollo sostenible en el sector.

Los menores costos de operación, la diferenciación competitiva y el interés por la productividad y la salud de los usuarios son aparentemente los motores más importantes para la construcción sostenible en el país. Los beneficios económicos por incentivos para la construcción sostenible (asistencia técnica gratuita, incentivos financieros, exención en impuestos, etc.) aún no son una realidad tangible en el mercado colombiano. Estos incentivos esencialmente viabilizan y ponen en evidencia las ventajas de aproximarse a los proyectos de construcción sostenible y son necesarios para lograr un cambio masivo hacia mejores prácticas. El CCCS trabaja con el gobierno en formular una política que permita avanzar en esta dirección y fomentar el desarrollo de nuevos productos y materiales, y la innovación en métodos y sistemas constructivos.

2.1.6 Edificios en Campus Universitarios

Los edificios dentro de un campus universitario consumen grandes cantidades de recursos para su funcionamiento dado el conjunto amplio de actividades que allí se desarrollan, desde la docencia, investigación hasta actividades administrativas. El estudio presentado anteriormente (Scheuer, 2003), reflejó el gran impacto que este tendría un nuevo edificio universitario en su fase de operación y mantenimiento sobre el medio ambiente a causa de las demandas permanentes del uso de energía en el edificio para su correcto funcionamiento; añadiendo que cada vez con mayores los consumos energéticos en ellos.

Una tendencia en la comunidad educativa para abrazar los principios de sostenibilidad en sus edificios universitarios ha incrementado en los últimos años, comenzando como un medio para educar a la comunidad estudiantil en la conservación de los recursos; este enfoque también proporciona beneficios tales como mejoras en el confort y menores costos de operación. De acuerdo a estadísticas LEED, proyectos en instituciones universitarias comprenden el 7%, o ligeramente más de 250 de los 3,817 proyectos registrados para obtener la certificación LEED. De los 450 proyectos certificados, hay 51 proyectos de educación superior, incluyendo algunas residencias universitarias. Las mejoras ambientales propuestas se deben aplicar tanto en el diseño y construcción de nuevos edificios y campus universitarios, como en la reforma y adaptación de los existentes, dirigiéndose a estos últimos los esfuerzos más importantes en búsqueda de reducir el uso de recursos, mejorar la productividad y la salud, y reducir costos por la operación del edificio.

La sostenibilidad, entonces, debe ir estrechamente unida al desarrollo de los campus y edificios universitarios, como parte del compromiso que las universidades tienen frente a la sociedad, siendo organizaciones que prevén el futuro y gestan el cambio que necesitan las sociedades para su desarrollo (Rivas, 2010).

2.1.6.1 Casos de estudio

2.1.6.1.1 Stanford Green Dorm – Universidad de Stanford, Stanford, CA.

El Stanford Green Dorm fue un proyecto encabezado por la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Stanford ante la iniciativa de construir un edificio sustentable e innovador que albergara una residencia universitaria y un centro de investigación. La iniciativa comenzó con una sesión de lluvia de ideas en Noviembre del 2003 organizada por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (CEE, por sus siglas en inglés) en la que profesores, estudiantes y profesionales invitados propusieron sus ideas. El propósito de su construcción fue desarrollar, probar y mostrar sistemas de agua y energía para un edificio residencial que albergara 50 estudiantes. El edificio sería un banco de pruebas para un diverso portafolio de tecnologías para la gestión de agua y energía a escala del edificio, incluyendo sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises, recolección y almacenamiento de agua de lluvia y sistemas fotovoltaicos. El edificio de tres pisos, con un área total de 21,150 pies cuadrados aloja en su planta baja sistemas de laboratorio con espacios comunes mientras la mayoría de las habitaciones ocupan las dos plantas superiores en una combinación entre habitaciones individuales y dobles.

El proyecto buscaba cumplir con los siguientes objetivos: un ‘Living Laboratory’ que proporcionara oportunidades para los estudiantes para proponer y llevar a cabo proyectos a través de la universidad para mejorar la sustentabilidad del campus; un edificio sustentable con un excepcional y medible desempeño en el consumo de agua y energía, y optimización

en el uso de materiales para su construcción; el más confortable edificio dentro del campus que mejorara la calidad de vida de sus residentes en comparación con los edificios típicos construidos en el campus; y que fuese un proyecto viable en términos de costo-efectividad.



Figura 2.1: Diseño esquemático del edificio, visto desde el suroeste. (Fuente: CCE, 2006)

Se previó que el edificio utilizaría 46% menos electricidad y gas natural que el promedio de uso en los demás edificios del campus (100,000 kWh/año). Sus sistemas de energía renovable ayudarían a neutralizar en su totalidad las emisiones de carbono debido al uso de energía, convirtiéndolo en un *Zero Carbon Building o Edificio Energía Cero*. Un tanque subterráneo para la captación de agua de lluvia permite almacenar hasta 5,500 galones que sería luego tratada y desinfectada para tener la calidad suficiente para ser tratada como agua potable. Junto con la instalación de sistemas hidrosanitarios eficientes en todo el edificio y demás sistemas para la captura del agua permitió un ahorro potencial en el consumo de agua (CEE, 2006).

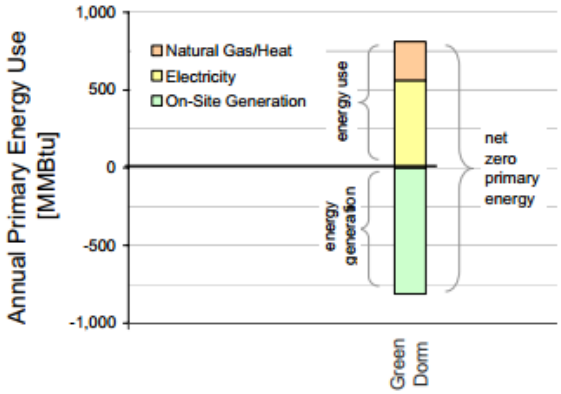


Figura 2.2: Balance en el consumo energético del Green Dorm. (Fuente: CEE, 2006)

2.1.6.1.2 Rockefeller Hall – Escuela de Divinidad de Harvard, Cambridge, MA.

El Rockefeller Hall, en el campus de la Escuela de Divinidad de Harvard, fue originalmente construido en 1970. En 2007-2008, el edificio se sometió a una completa renovación para satisfacer las nuevas necesidades del programa de la Escuela de Divinidad de Harvard. El edificio de cuatro pisos, con un área total de 26,715 pies cuadrados, originalmente alojaba una residencia de postgrado en los tres pisos superiores, con una cocina, comedor, y salones para seminarios en el primer piso. El propósito de la renovación fue modernizar el edificio, actualizando sus sistemas de energía, dando la bienvenida a nuevos espacios en el primer nivel, convirtiendo los dormitorios en espacios para uso de oficinas administrativas y mejorando la accesibilidad en todas partes. La Escuela buscaba crear un edificio con mejor desempeño que pudiese reducir los costos de operación, mejorar el confort y salud de los ocupantes, y también minimizar el impacto ambiental. A fin de esto implementó varias medidas de conservación energética que le permitieron alcanzar la certificación LEED nivel Oro en Noviembre de 2009, alcanzando 49 puntos de 69 posibles en el sistema LEED NC, v.2.2.

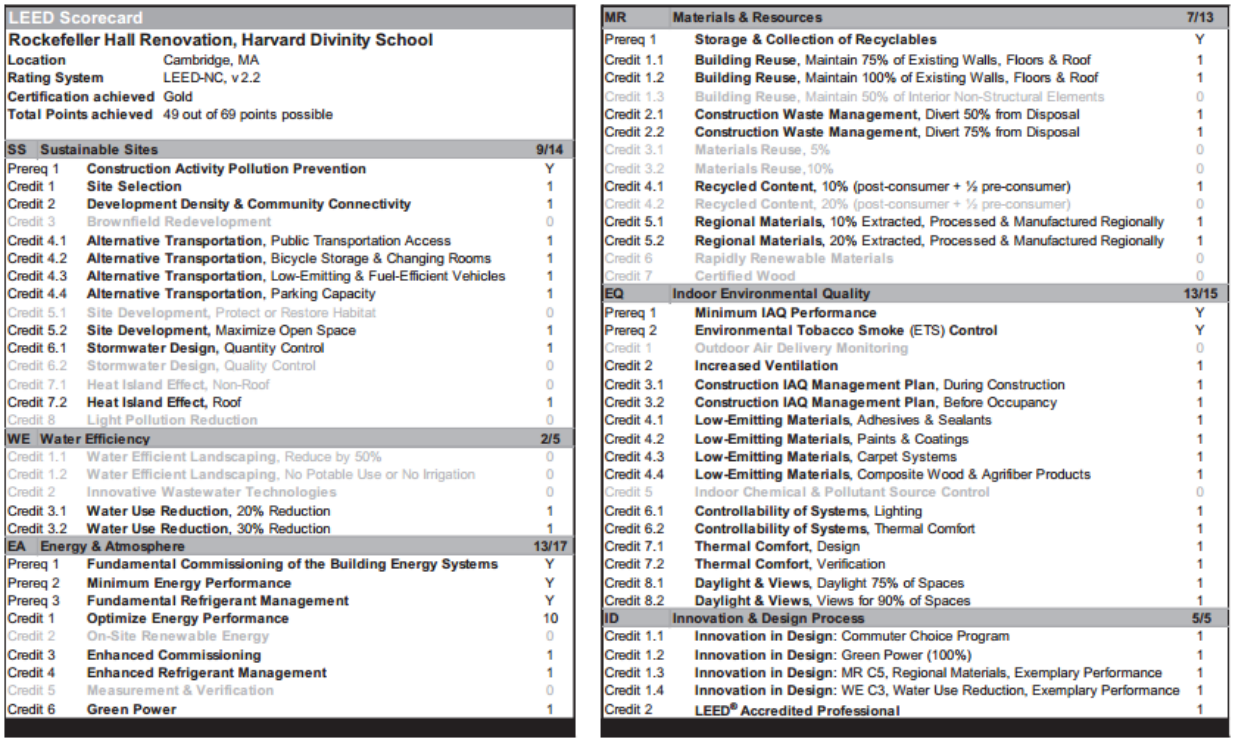


Figura 2.3: Edificio Rockefeller Hall en el campus de la Escuela de Divinidad de Harvard. (Fuente: Vijava Yellamraju, 2011)

En principio el equipo de proyecto no buscaba perseguir la certificación, ellos establecieron la eficiencia operacional y el confort de los ocupantes como sus primeros objetivos para la renovación. Todas las decisiones de diseño fueron tomadas con un beneficio a largo plazo en mente, y el equipo desarrolló un análisis costo-beneficio para tomar las decisiones óptimas. El equipo de diseño utilizó el sistema LEED para tomar decisiones, y la Escuela de Divinidad de Harvard fue activamente involucrada en el proceso. Como el diseño progreso, la Escuela tomó la decisión de buscar la certificación.

El proyecto logró una reducción en el uso de agua potable del 44% aproximadamente por encima del estándar Energy Policy Act de 1992 (EPAct). Esto es el equivalente a 167,000

galones por año. En cuanto al uso de energía, logró usar 42,2% menos energía que la línea base establecida por ASHRAE 90.1, ahorrando así aproximadamente $106,000 USD y 355 toneladas métricas de CO_2 (Vijava Yellamraju, 2011).



LEED Scorecard

Rockefeller Hall Renovation, Harvard Divinity School

Location	Cambridge, MA
Rating System	LEED-NC, v 2.2
Certification achieved	Gold
Total Points achieved	49 out of 69 points possible

SS	**Sustainable Sites**	**9/14**
Prereq 1	**Construction Activity Pollution Prevention**	Y
Credit 1	**Site Selection**	1
Credit 2	**Development Density & Community Connectivity**	1
Credit 3	**Brownfield Redevelopment**	0
Credit 4.1	**Alternative Transportation**, Public Transportation Access	1
Credit 4.2	**Alternative Transportation**, Bicycle Storage & Changing Rooms	1
Credit 4.3	**Alternative Transportation**, Low-Emitting & Fuel-Efficient Vehicles	1
Credit 4.4	**Alternative Transportation**, Parking Capacity	1
Credit 5.1	**Site Development**, Protect or Restore Habitat	0
Credit 5.2	**Site Development**, Maximize Open Space	1
Credit 6.1	**Stormwater Design**, Quantity Control	1
Credit 6.2	**Stormwater Design**, Quality Control	0
Credit 7.1	**Heat Island Effect**, Non-Roof	0
Credit 7.2	**Heat Island Effect**, Roof	1
Credit 8	**Light Pollution Reduction**	0
WE	**Water Efficiency**	**2/5**
Credit 1.1	**Water Efficient Landscaping**, Reduce by 50%	0
Credit 1.2	**Water Efficient Landscaping**, No Potable Use or No Irrigation	0
Credit 2	**Innovative Wastewater Technologies**	0
Credit 3.1	**Water Use Reduction**, 20% Reduction	1
Credit 3.2	**Water Use Reduction**, 30% Reduction	1
EA	**Energy & Atmosphere**	**13/17**
Prereq 1	**Fundamental Commissioning of the Building Energy Systems**	Y
Prereq 2	**Minimum Energy Performance**	Y
Prereq 3	**Fundamental Refrigerant Management**	Y
Credit 1	**Optimize Energy Performance**	10
Credit 2	**On-Site Renewable Energy**	0
Credit 3	**Enhanced Commissioning**	1
Credit 4	**Enhanced Refrigerant Management**	1
Credit 5	**Measurement & Verification**	0
Credit 6	**Green Power**	1

MR	**Materials & Resources**	**7/13**
Prereq 1	**Storage & Collection of Recyclables**	Y
Credit 1.1	**Building Reuse**, Maintain 75% of Existing Walls, Floors & Roof	1
Credit 1.2	**Building Reuse**, Maintain 100% of Existing Walls, Floors & Roof	1
Credit 1.3	**Building Reuse**, Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements	0
Credit 2.1	**Construction Waste Management**, Divert 50% from Disposal	1
Credit 2.2	**Construction Waste Management**, Divert 75% from Disposal	1
Credit 3.1	**Materials Reuse**, 5%	0
Credit 3.2	**Materials Reuse**, 10%	0
Credit 4.1	**Recycled Content**, 10% (post-consumer + ½ pre-consumer)	1
Credit 4.2	**Recycled Content**, 20% (post-consumer + ½ pre-consumer)	0
Credit 5.1	**Regional Materials**, 10% Extracted, Processed & Manufactured Regionally	1
Credit 5.2	**Regional Materials**, 20% Extracted, Processed & Manufactured Regionally	1
Credit 6	**Rapidly Renewable Materials**	0
Credit 7	**Certified Wood**	0
EQ	**Indoor Environmental Quality**	**13/15**
Prereq 1	**Minimum IAQ Performance**	Y
Prereq 2	**Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control**	Y
Credit 1	**Outdoor Air Delivery Monitoring**	0
Credit 2	**Increased Ventilation**	1
Credit 3.1	**Construction IAQ Management Plan**, During Construction	1
Credit 3.2	**Construction IAQ Management Plan**, Before Occupancy	1
Credit 4.1	**Low-Emitting Materials**, Adhesives & Sealants	1
Credit 4.2	**Low-Emitting Materials**, Paints & Coatings	1
Credit 4.3	**Low-Emitting Materials**, Carpet Systems	1
Credit 4.4	**Low-Emitting Materials**, Composite Wood & Agrifiber Products	1
Credit 5	**Indoor Chemical & Pollutant Source Control**	0
Credit 6.1	**Controllability of Systems**, Lighting	1
Credit 6.2	**Controllability of Systems**, Thermal Comfort	1
Credit 7.1	**Thermal Comfort**, Design	1
Credit 7.2	**Thermal Comfort**, Verification	1
Credit 8.1	**Daylight & Views**, Daylight 75% of Spaces	1
Credit 8.2	**Daylight & Views**, Views for 90% of Spaces	1
ID	**Innovation & Design Process**	**5/5**
Credit 1.1	**Innovation in Design**: Commuter Choice Program	1
Credit 1.2	**Innovation in Design**: Green Power (100%)	1
Credit 1.3	**Innovation in Design**: MR C5, Regional Materials, Exemplary Performance	1
Credit 1.4	**Innovation in Design**: WE C3, Water Use Reduction, Exemplary Performance	1
Credit 2	**LEED® Accredited Professional**	1

Figura 2.4: Rockefeller Hall – LEED scorecard. (Fuente: Vijava Yellamraju, 2011)

2.1.6.2 La Universidad del Valle

La Universidad del Valle dentro del conjunto de estrategias de su política ambiental establece en tema de infraestructura, que las actividades de extensión, administración y gestión que tienen lugar en cada uno sus campus, deben enmarcarse en los principios de sinergia, cultura ambiental, consumo sostenible y viabilidad; esto es disminuir su huella ecológica mediante el diseño y adopción de estrategias enmarcadas en la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, las tendencias de la arquitectura bioclimática, el uso de energías renovables, el manejo adecuado de los residuos sólidos, la ordenación del territorio y el uso digno del espacio público. También establece, en cuanto a la gestión de los recursos y servicios ambientales, optimizar y reducir el consumo y uso del agua en todas sus sedes, aprovechando todas las fuentes posibles, teniendo en cuenta los diversos uso y asegurando un mejoramiento en la calidad y cantidad de los vertimientos de aguas residuales a la red municipal; e igualmente el uso de energía con el desarrollo en especial de las alternativas tecnológica, económica y ambientalmente más sustentables.

2.2 Herramientas de estimación y evaluación

2.2.1 Análisis del ciclo de vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en Inglés), es una metodología proveniente de la caja de herramientas de la ecología industrial e implementada para evaluar el impacto ambiental de cualquier sistema o producto a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos "entradas" (energía, materia prima, agua) y emisiones ambientales "salidas" (residuos, emisiones) asociados con el sistema que se está evaluando desde una perspectiva *de la cuna a la tumba*, tomando de esta manera en cuenta la extracción de materias primas, transporte, producción de los materiales necesarios para la manufactura de componentes y, por último, el producto propio, las emisiones y residuos generados a partir de su uso y disposición final; por lo tanto, puede aplicarse sobre un material o solución constructiva, o bien sobre un edificio o grupo de edificios.

En la actualidad, la metodología del LCA es aceptada como base sobre la que comparar materiales, componentes y servicios. La metodología de aplicación general está totalmente estandarizada a través de la norma ISO 14040:2006 y la norma ISO 14044:2006, y de acuerdo a ellas consta de 4 fases interrelacionadas:

- Definición de objetivos y alcance.
- Análisis de inventario, donde se identifica y cuantifica todos los componentes correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema.
- Evaluación de los impactos, donde se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, relacionándolos con efectos ambientales observables a través de un conjunto de categorías de impactos (energía primaria acumulada, potencial de calentamiento global, huella hídrica, etc.).
- Interpretación, donde los resultados de las fases precedentes son evaluados, de acuerdo al objetivo y alcance definido inicialmente, y se establecen las conclusiones y recomendaciones finales.

2.2.2 Cradle to Cradle

El término *cradle to cradle* (de la cuna a la cuna) representa un nuevo enfoque, basado en tener en cuenta que las corrientes de salida del fin de vida del sistema o producto pueden ser valoradas como materias primas y/o entradas al mismo sistema, o a otro, es decir devolviendo a su estado original los productos empleados.

2.2.3 Energy Star

Portfolio Manager es una herramienta interactiva para la gestión energética que permite realizar un seguimiento y evaluar el consumo de agua y energía a través de una completa cartera de edificios en una plataforma en línea segura mediante la introducción de características del edificio, características operacionales, datos de uso de agua y energía;

crear de esta manera informes personalizados para la evaluación del funcionamiento de la instalación en términos de consumo con el fin de realizar una comparación del rendimiento energético e identificar oportunidades de ahorro.

2.2.4 Sistemas de calificación en la edificación sostenible

Existen para la evaluación de la edificación sistemas de indicadores de sostenibilidad con los que se puede calificar el edificio con diferentes grados de sostenibilidad o referenciarse para la toma de decisiones en la gestión del proyecto. Estos sistemas de evaluación son el método más ampliamente usado en el sector de la edificación; han experimentado un gran auge desde que a comienzos de la década de los 90's apareciese en escena el sistema BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), en el Reino Unido. Algunos de los más importantes aparecen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Sistemas de calificación de la sostenibilidad existentes en la edificación. (Fuente: Fernández, 2010)

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

La evaluación de la sostenibilidad en edificaciones se ha venido adaptando a las realidades locales y a las necesidades más específicas; el panorama actual es muy extenso, ya que habitualmente, cada país ha generado un sistema de evaluación de los edificios en él

construidos, por lo que nos encontramos con una gran oferta de sistemas, muchos de ellos con vocación de universalidad, al haber trascendido su uso de las fronteras nacionales como es el caso de LEED; sin embargo, otros sistemas tienen como meta un uso exclusivamente local, adecuando sus características a las necesidades del lugar y convertirlo en un sistema de referencia únicamente válido para un entorno construido próximo. Todos estos se han desarrollado con la finalidad de actuar como motor en la industria de la construcción y con el fin de crear mecanismos comunes de evaluación para diseñar y evaluar construcciones desde el punto de vista sostenible.

El enfoque de la sostenibilidad dentro de los sistemas de calificación se dirige a medir el grado de sostenibilidad que tiene un proyecto, no estableciendo si un proyecto es o no sostenible sino cuanto de sostenible es este. Así, de acuerdo a una serie de criterios concretos establecer qué proyectos o soluciones tienen un mayor grado de sostenibilidad. De este modo, LEED ofrece cuatro graduaciones según la sostenibilidad que alcanza el proyecto (Certificado, Plata, Oro y Platino); BREEAM, cinco graduaciones (Cumple, Bueno, Muy bueno, Excelente, Sobresaliente; representado gráficamente por una escala de 1 a 5 estrellas). Dado que no existen variables que define un edificio como sostenible o no, resulta más sencillo establecer que tan sostenible es en cumplimiento de los requerimientos ambientales (Fernández, 2010).

2.2.4.1 LEED (Liderazgo en Diseño Ambiental y Energético)

El sistema LEED (Leadership in Energy and Enviromental Design, en inglés) es un sistema internacionalmente reconocido de certificación de la edificación verde. A través de un sistema de puntos, certifica que una edificación fue diseñada y construida utilizando estrategias destinadas a mejorar el rendimiento en todas las métricas más importantes, mediante la calificación del desempeño en categorías clave: sitios sostenibles, uso eficiente la energía y el agua, calidad del ambiente interior y el correcto manejo de los materiales y recursos. Fue desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC). Basado en un sistema de checklist; provee a propietarios y administradores de edificaciones un marco flexible y preciso para la identificación e implementación de soluciones verdes en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de edificios; aplicable a todo tipo de proyecto, incluyendo centros de salud, edificios institucionales, entre otros (USGBC, 2013). LEED v.3.0 2009 entrega el tipo de certificación de acuerdo a los puntos que alcanza el proyecto: Certificado (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos) y Platino (80 o más puntos).

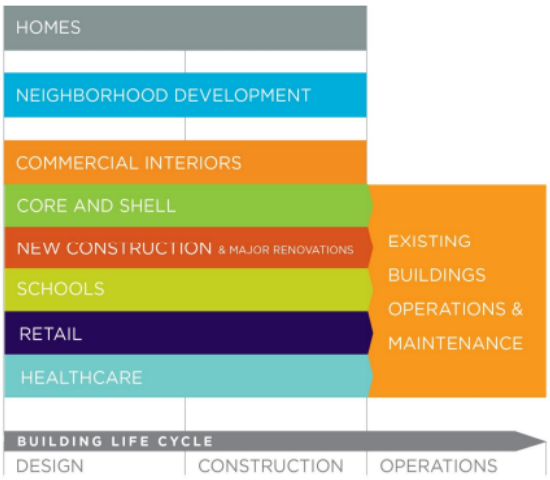


Figura 2.5: Certificación LEED, para diferentes tipos de proyectos. (Fuente: http/www.usgbc.org)

2.2.4.1.1 LEED para Edificios Existentes: Operaciones y Mantenimiento

LEED para edificios existentes: Operaciones y Mantenimiento (LEED EB: O&M) fue diseñado para certificar la sustentabilidad de las operaciones en curso de los actuales edificios comerciales e institucionales. En concreto, el sistema de clasificación se ocupa del ambiente próximo exterior, programas de mantenimiento en el sitio, el consumo de agua y energía, los productos ambientalmente preferibles, las prácticas de limpieza y políticas de compras sostenibles, la gestión de residuos, y de la calidad ambiental interior; prestando atención específicamente a algunos criterios con diferencia a otros sistemas individuales, ej. LEED para Nuevas Construcciones (USGBC, 2009 en LEED EB v.3.0 2009). De esta manera, LEED EB v.3.0 2009 genera para cada área de evaluación mencionada anteriormente una lista de variables o checklist.

2.2.4.2 GBTool

La herramienta GBTool, ahora llamada SBTool, fue desarrollada por IISBE (International Iniciative for a Sustainable Built Environment) en Canadá. Utiliza un marco de trabajo flexible en Excel que puede ser configurado para adaptarse a casi cualquier condición local o tipo de edificación. Se estructura en tres niveles (aspectos, categorías y criterios) de cara a la introducción de datos aportados por el Inventario de un Análisis del Ciclo de Vida (cargas ambientales, consumo energético, calidad de aire interior y otros), y efectuar el cálculo de forma jerárquica. La evaluación del edificio se establece mediante puntuaciones cuya escala oscila de -1 (insatisfactorio) y +5 (mejor práctica posible).

2.2.4.3 VERDE

El modelo de evaluación VERDE, desarrollada por el GBC España, está basada en la cuantificación de la reducción de impactos del edificio y su emplazamiento por la implementación de medidas, tanto en estrategias de diseño como en factores de rendimiento, asociados a varios criterios de sostenibilidad en relación a los impactos que genera un edificio de referencia a lo largo de su ciclo de vida. El edificio de referencia es siempre un edificio estándar que cumple estrictamente las exigencias mínimas fijadas por las normas y la práctica común.

En la herramienta VERDE, la puntuación se establece de 0 a 5 en la forma siguiente: 0, valor de referencia que corresponde a la práctica habitual o mal comportamiento ambiental; 3, que define la calificación de una buena práctica; y 5, que corresponde a la mejor práctica posible (representada gráficamente en número de hojas). El sistema pesa cada uno de los impactos asociados a cada criterio (consumo de energía primaria, consumo de agua potable, emisiones de CO2, etc.) según la extensión, la intensidad y la duración potencial de los efectos. El valor final de la evaluación se obtiene mediante la ponderación de impactos reducidos en relación al edificio de referencia (Macías, M., 2010).

2.3 Proceso de toma de decisión

La toma de decisión es un proceso en el cual una persona o un grupo decisor deben escoger entre distintas alternativas, que corresponden en mayor o menor grado con los objetivos que se desea alcanzar dentro del proyecto. Con frecuencia estas decisiones se convierten en soluciones de gran trascendencia por lo que es conveniente plantearlas adecuadamente.

Existe una variedad de métodos de evaluación para asistir a los equipos de proyecto en la toma de decisiones y evaluación de alternativas; desde métodos simples basados en la opinión y preferencias personales o de grupo a aquellos con un enfoque más estructurado (matrices de valoración, diagramas) que proporciona un mecanismo para evaluar objetivamente múltiples factores (Ulrich and Eppinger, 2004; citado por Pulaski, 2005). Estos últimos, son los métodos más comúnmente usados en general para la toma de decisiones, tomando todos los criterios de evaluación juntos e integrados en un único valor final que permite a un centro decisor escoger entre aquellas soluciones con un índice total más acorde con sus objetivos.

La toma de decisiones en los proyectos de edificación ha de ser tomadas en las etapas iniciales del proyecto y para ello se necesitan herramientas que permitan calificar el edificio en las diferentes dimensiones de la sostenibilidad.

2.3.1 Métodos de decisión multi-criterio

Cuando los problemas de toma de decisiones se conciben en proyectos, en la mayoría de los casos son problemas multi-criterio, por tanto, la toma decisión se enfoca desde esta perspectiva dando lugar a métodos de toma de decisiones con criterios múltiples (Multi-criteria Decisión Making) las cuales tiene en cuenta un conjunto de alternativas, distintos criterios o puntos de vista y la integración de diferentes factores que se logran incluir en el proceso de evaluación. La evaluación de alternativas dentro de un proyecto de construcción sostenible involucra la ponderación de múltiples factores vinculados con la economía, los requerimientos o preferencias de las partes interesadas, la comunidad, el medioambiente, el bienestar, entre otros; de esta manera, encuadramos la evaluación de las alternativas de diseño como un problema de toma de decisión multi-criterio, un tanto complejos por la existencia inherente de alcanzar un equilibrio (trade-offs) entre los factores socio-políticos, ambientales y económicos.

2.3.1.2 Proceso analítico jerárquico

El método analítico jerárquico (AHP, Analityc Hierarchy Process), fue desarrollado por Saaty en 1977. Este método consiste en la estructuración del problema en una estructura jerárquica (esquema del árbol) con tres niveles principales, donde el primer nivel corresponde al objetivo principal definido para la toma de decisiones, los niveles siguientes a los criterios a evaluar para clasificar las alternativas, y el último a cada una de las alternativas o posibles soluciones.

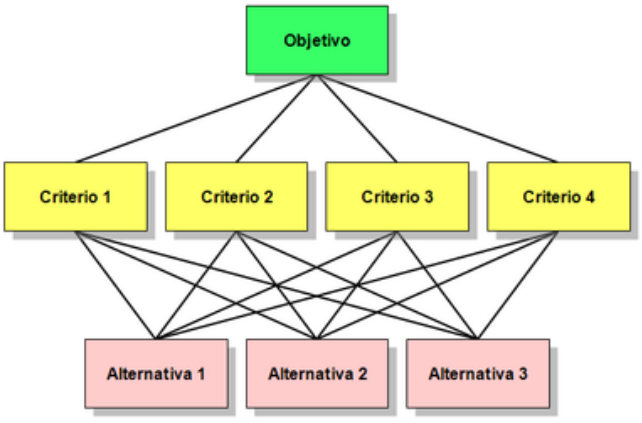


Figura 2.7: Estructura de jerarquía. (Fuente: http://es.wikipedia.org)

Similar al MAUT, el AHP agrega completamente varios factores del problema de decisión en una función que determina que tan buena es una solución de manera objetiva. Sin embargo, el AHP usa un método de comparación cuantitativo que se basa en comparaciones por pares a través de una escala numérica de los criterios de decisión y de

las alternativas de solución según criterios, en lugar de funciones de utilidad y ponderación. Cada uno de los criterios y alternativas se compara contra todos los demás y los resultados se compilan en una matriz de comparación por pares. Luego, la mejor solución se identifica a través de la comparación por pares de las alternativas basadas en su rendimiento relativo frente a los distintos criterios como aquella que posee el mayor valor dentro de un vector de prioridad global.

Tabla 2.3: Escala numérica propuesta por Saaty para efectuar comparaciones. (Fuente: DOE, 2001)

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferida.	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
3	Moderadamente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro
5	Fuertemente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro
7	Preferencia muy fuerte o demostrada.	Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente preferida.	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre otro.
2, 4, 6, 8		Intermedia entre valores anteriores.

2.3.1.1 Multi-Attribute Collective Design Analysis for a Design Iniciative (MACDADI)

Multi-Attribute Collective Design Analysis for a Design Iniciative (MACDADI) es un método de decisión multi-criterio desarrollado e implementado por Haymaker y Chachere junto con el equipo de diseño, con el objetivo de ayudar en el proceso de decisión relacionado a las alternativas de diseño del proyecto Stanford Green Dorm en la Universidad de Stanford, California. De acuerdo a sus desarrolladores el proceso MACDADI está inspirado en métodos establecidos de análisis de decisión, en particular el Multi-Atribute Utility Theory (MAUT).

El método Multi-Atribute Utility Theory (MAUT) emplea puntuaciones numéricas para comunicar el mérito de cada opción sobre una escala simple, a través del uso de la función de valor, transformando así diversos criterios en una escala común. Las puntuaciones se desarrollan a partir de la interpretación de las alternativas con respecto a los criterios individuales y luego agregados en una puntuación global. El MAUT hace parte de este grupo de métodos “trade-offs”, que buscan alcanzar una compensación entre diferentes criterios.

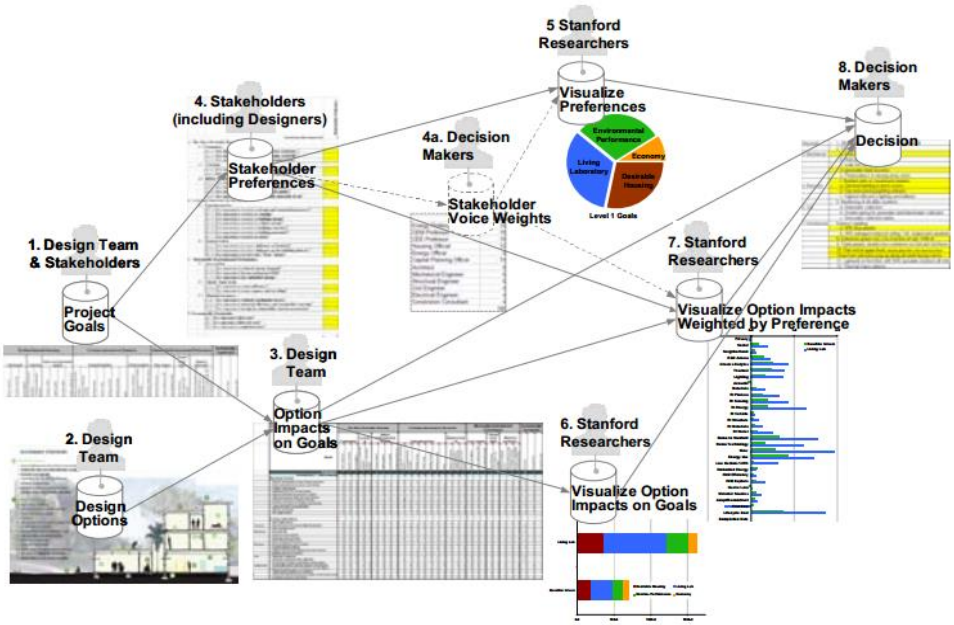


Figura 2.6: Proceso MACDADI. (Fuente: Haymaker, J. 2009)

2.3.1.3 Análisis de costo del ciclo de vida

El análisis del costo del ciclo de vida (LCCA, por sus siglas en inglés) es un indicador económico que mide los flujos de fondos asociados a un proyecto en toda su vida, tomando en consideración la inversión, uso, mantenimiento y por último deconstrucción para su evaluación económica. Puede ser aplicado para cualquier toma de decisión sobre la inversión en activos, orientando a la selección de la alternativa más costo-efectiva. En un proyecto de edificación, por ejemplo, es particularmente adecuado para la evaluación de alternativas de diseño del edificio que satisfacen un nivel requerido de rendimiento en él; se basa en las suposiciones de que múltiples opciones de diseño del edificio pueden satisfacer las necesidades definidas y alcanzar un rendimiento aceptable, y que estas opciones tienen diferentes costos iniciales, costos de operación, costos de mantenimiento y posiblemente diferentes ciclos de vida.

Proyectos para la conservación de la energía en nuevas construcciones o renovación de edificios existentes son excelentes ejemplos para la aplicación del LCCA. Existen muchas alternativas para sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) que pueden mantener condiciones aceptables de confort a lo largo del año, algunas de las cuales son considerablemente más eficientes energéticamente que otras, de igual manera muchas oportunidades para mejorar el comportamiento térmico de la envolvente del edificio (cerramiento, ventanas, cubierta).

El LCCA proporciona una mejor evaluación de la rentabilidad a largo plazo de un proyecto que métodos de análisis económico alternativos, y típicamente aplicados, que se enfocan solo en los costos iniciales o en costos relacionados a su operación a corto plazo; realizando así un balance de la inversión inicial y los gastos a largo plazo de poseer y operar el edificio. Sin embargo, el porcentaje de proyectos que siguen este enfoque es todavía pequeño; el costo asociado con la operación de los sistemas en un edificio a lo largo de su ciclo de vida, típicamente 20 a 30 años, es raramente tomado en consideración cuando se asigna el capital de inversión a un proyecto.

Edificios sustentables usan energía, agua y otros recursos naturales eficientemente y proporcionan un ambiente interior sano y productivo; el LCCA tiene una relación estrecha con la sostenibilidad como una herramienta de aseguramiento de la calidad para alcanzar un balance entre las inquietudes del ser humano (costo, salud, confort) y las preocupaciones medioambientales (uso eficiente de los recursos).

2.4 Sostenibilidad en la gestión de proyectos de construcción

2.4.1 Gestión del ciclo de vida de un proyecto sostenible

La revisión del estado del arte indica que existen numerosos métodos para gestionar un proyecto de manera sostenible en cada una de las etapas de su ciclo de vida, desde su concepción y durante su operación, a fin de mejorar su desempeño e incrementar los niveles de sostenibilidad. Parece existir también un fuerte vínculo entre estos métodos y las prácticas para mejorar la constructabilidad de un proyecto, sin embargo, pocos procesos en la gestión de un proyecto existen que tomen ventaja de esto.

Esta sección hace énfasis en conseguir edificios de alto desempeño por la perfecta integración de los objetivos sostenibles en un proyecto a través de estrategias bien establecidas para la gestión de su constructabilidad.

2.4.1.1 Proceso de Diseño Integrado en Edificios Sostenibles

El diseño integrado en términos generales es un método para diseñar edificios que hace hincapié en el desarrollo de un diseño holístico. De acuerdo al Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés), el diseño integrado es un proceso en el que múltiples disciplinas y aspectos de diseño aparentemente no relacionados son integrados en una forma que permite alcanzar beneficios sinérgicos. Una definición más completa, resultado de un taller nacional realizado en Toronto, Canadá; Kibert (2008), citado por Azari (2013), lo define como un proceso colaborativo multi-disciplinario enfocado en el diseño, construcción, operación y ocupación de un edificio durante su completo ciclo de vida a fin de que todas las partes involucradas en el proyecto participen

en la construcción de soluciones integradas en busca de alcanzar los objetivos del proyecto. La implementación en el proceso de diseño de un diseño integrado permitirá superar las complejidades inherentes en un proyecto de construcción sostenible que cumpla con los requerimientos de sistemas de calificación sostenible como LEED y mantenga costos de construcción en niveles comparables a los proyectos convencionales.

El proceso tiene lugar principalmente en la fase de diseño como el punto crucial en el desarrollo de un proyecto que necesita la participación temprana de diversas disciplinas en la toma de decisiones. Cuanto antes este sea implementado, mayor será el potencial de ahorro y menor el costo de realizar modificaciones en el diseño del edificio; futuras modificaciones solo se pueden hacer a costa de mayores costos y menores efectos (Azari, 2013), tal como lo representa el gráfico de la Figura 2.8.

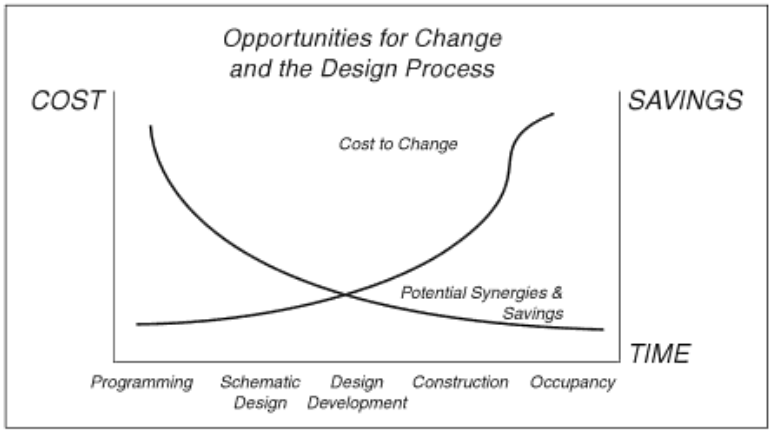


Figura 2.8: Influencia en el proyecto de un diseño integrado. (Fuente: Azari, 2013)

Mitropoulos and Tatun (2000), citado por Azari (2013), argumenta que la integración es crítica en el diseño de edificios por dos razones: (1) evitar problemas en las fases siguientes y (2) seleccionar alternativas de diseño que optimicen el desempeño en general del proyecto. Entonces, un proyecto sostenible necesita contar con la integración de los esfuerzos de diseño de diversas especialidades y disciplinas por lo que es imprescindible aplicar el concepto de diseño integrado, fundamentado en el *integrated thinking* que evalúa el impacto de una decisión de diseño sobre un aspecto del edificio en todos los demás aspectos (eficiencia en el uso de agua y energía, sitio, calidad del ambiente interior, etc.) en un intento de optimizar la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto (Barkley, 2006; tomado de Azari, 2013).

2.4.1.2 Modelado de información para la edificación

Modelado de información para la edificación (BIM, Building Information Modeling) es un proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida, que utiliza

software dinámico de modelado de edificios en 3D y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. El modelo del edificio contiene en gran detalle información del edificio por medio de representaciones y el seguimiento de las partes y elementos que lo componen; concierne tanto su geometría, relaciones espaciales, información geográfica, cantidades y propiedades de sus componentes.

Esta plataforma permite entonces coordinar, modelar, simular y optimizar en un sistema 3D de ingeniería el ciclo de vida completo del proyecto, desde su diseño, construcción hasta su operación y desconstrucción.

En la práctica de la industria de la construcción se presta una atención cada vez mayor a la gestión en la ejecución de proyectos de manera integrada, por ello se empiezan a adoptar herramientas que faciliten esta gestión. Hablar de BIM es también hablar de diseño integrado (Moretti en Green BIM, McGraw-Hill Construction, 2010). BIM es una tecnología que ha hecho de este método de diseño en los proyectos algo factible permitiendo el intercambio de información y el trabajo conjunto entre todas las partes a través del modelo del edificio.

Derel Cunz, vicepresidente y gerente general de Morteson Construction en Minneapolis, explica como BIM se ha convertido también en una herramienta crítica para alcanzar los objetivos en la adopción de principios Lean; "las herramientas son más eficientes, el nivel de detalle es cada vez mejor; su evolución ha entregado a los diseñadores y contratistas maneras más eficaces de llevar a cabo tareas comunes", explica en una entrevista por McGraw Hill Construction para su informe Green BIM (McGraw Hill Construction, 2010).

Su implementación también permite alcanzar más efectivamente algunas de las prácticas y estrategias promovidas por LEED a través del diseño y análisis de varios aspectos del edificio en relación a sus desempeño energético: sistemas de iluminación y luz natural, sistemas HVAC y ventilación natural, uso de energía renovable. Si bien las herramientas BIM no permiten del todo aún una optimización completa del edificio, herramientas BIM para el modelado energético, usadas tempranamente en el proceso de diseño, permite a los diseñadores entender las implicaciones de sus decisiones sobre el rendimiento energético del edificio.

2.4.1.3 Ingeniería del Valor en Proyectos Sostenibles

El Oxford English Dictionary define la Ingeniería del Valor como un método para analizar y aplicar medidas correctivas a un bien o servicio en el cual se busca maximizar los recursos, disminuir los costos y tiempos de producción manteniendo su funcionalidad, calidad y confiabilidad o mejorándolas; sin dejar de lado las expectativas del cliente.

Austin y Thomson (1999) describen su proceso como un proceso continuo e íntegro a lo largo del diseño y construcción del proyecto. Este utiliza un ambiente de trabajo colaborativo para facilitar la introducción de la experiencia de los miembros en la cadena de suministro y garantizar soluciones de diseño que entreguen mayor valor al propietario. Sesiones periódicas fueron encontradas útiles hasta que el proyecto alcanza el diseño esquemático. A partir de allí al comienzo de la construcción, más frecuentes y detalladas sesiones son necesarias debido al incremento del nivel de detalle en las decisiones (Austin y Thomson, 1999; tomado de Pulaski, 2005).

La ingeniería de valor proporciona un estructurado enfoque para identificar soluciones del proyecto que mejoren el desempeño e incrementar los niveles de sostenibilidad en proyectos de construcción. "Si estas enfocado solo en colectar puntos LEED, estás perdiendo cosas que tienen un impacto real sobre lo que un verdadero diseño sostenible debería ser", explica Derek Cunz en Green BIM (McGraw Hill Construction, 2010). Cada proyecto que se diseña y construye es diferente a todos los demás, es singular. Existen diferentes tipologías, actividades, actores, situaciones, emplazamientos y con unas prestaciones distintas que hacen de cada proyecto un proyecto único. Si bien un sistema de indicadores es una herramienta muy válida y que ayuda a tomar decisiones ante un análisis de alternativas, no es un proceso metodológico completo donde se analicen todas las oportunidades de sostenibilidad, valorando su rentabilidad de aplicación a un proyecto dado (Fernández, 2010).

Ante esto, Pulaski y Horman proponen en su investigación *The Alignment of Sustainability and Constructability: A continuous value enhancement process, una herramienta (CVEP, Continuous Value Enhancement Process)* para tratar de gestionar la sostenibilidad de los proyectos de edificación, a fin de gestionar un proyecto de manera construible además de sostenible.

2.4.1.4 Sostenibilidad y Lean Construction

Con un enfoque en reducir desperdicios haciendo un uso eficiente de los recursos, métodos de construcción Lean son inherentemente sostenibles. "Si buscas un diseño sustentable necesitas incorporar elementos de Lean Construction", dice Derek Cunz. Contratistas Generales Asociados de América (AGC, por sus siglas en inglés) definen Lean Construction como un conjunto de ideas basadas en el seguimiento holístico de alcanzar un continuo mejoramiento minimizando costos y maximizando el valor del producto al cliente en todas las dimensiones del entorno construido y ambiental: planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y desconstrucción. Lean Construction está conceptualmente basado en la filosofía *Lean Manufacturing*, desarrollada para mejorar la eficiencia con la que los productos eran creados, por despojo de las actividades que no añaden valor dentro del proceso para dejar solo aquellas que sí generan valor, de esta

manera menos recursos de producción son necesarios. Entonces, con un enfoque en las actividades de valor añadido de proyectos sostenibles, decisiones sostenibles de mayor calidad se pueden hacer.

Los objetivos sostenibles de eficiencia energética y reducción en el uso de recursos necesitan integrarse con los objetivos tradicionales de un proyecto (tiempo, costo y calidad) maximizando el valor y minimizando los desperdicios a través de los principios Lean, para hacer frente al desempeño productivo y ambiental de los proyectos (Huovila y Koskela, 1998; tomado de Horman, 2004).

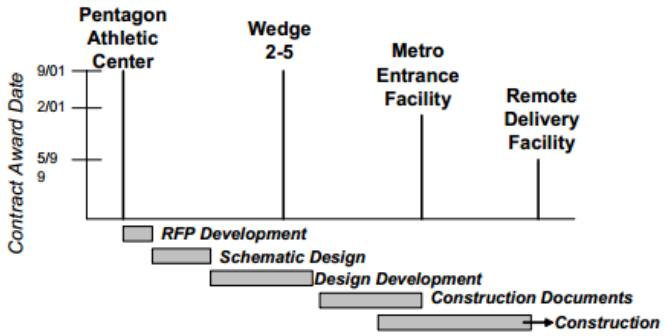
Por un lado, la sostenibilidad hace énfasis en la reducción del consumo energético, uso del agua, materiales empleados en los edificios para reducir el impacto sobre el medio ambiente, mientras que por otro lado, Lean se enfoca en la reducción de desperdicios en términos de uso eficiente de materiales y personal mediante la búsqueda de caminos más fáciles para emprender la construcción; entonces, ambos conceptos enfocados a reducir desperdicios de los recursos (la sostenibilidad desde el diseño del edificio y Lean desde los procesos usados para construir el edificio), la integración de estas dos iniciativas tiene un gran potencial para mejorar ambas (Horman, 2004).



Figura 2.9: Integración entre Lean Construction y Sostenibilidad. (Fuente: Horman, 2004)

Edificios sostenibles significativamente superiores pueden ser creados mejorando los procesos con que son diseñados y construidos. La integración de los procesos de diseño y construcción tempranamente en el proyecto permitirá mejorar la eficiencia y costo-efectividad de alcanzar proyectos de alto desempeño. Resultados para un caso de estudio (programa de renovación del Pentágono en Estados Unidos), muestra que los equipos de

proyectos que abordan la sostenibilidad tempranamente desarrollan mejores soluciones de diseño, gastando menos dinero y obteniendo mejores calificaciones en el proyecto.



Project Delivery Timeline -
Indicates when LEED was introduced to the project

Proyecto	Nivel de Certificación LEED	Implicación de Costos
PAC	Oro	LEED fue incluido en los requerimientos del contrato. No se reportan costos adicionales
W2-5	Oro	LEED fue incluido como objetivo, pero no como un requerimiento. No se reportan costos adicionales
MEF	Plata	Total costos adicionales: $110,000
RDF	Certificado	No se completó Cx dos años después de construcción

Figura 2.10: Implementación de LEED en algunos proyectos dentro del programa de renovación del Pentágono, Estados Unidos. (Fuente: Horman, 2004)

2.4.1.5 Comisionamiento de edificios y auditorías energéticas

Comisionamiento del edificio es definido como el proceso sistemático de asegurar que el complejo conjunto de sistemas del edificio se ha diseñado, instalado y verificado para funcionar de acuerdo a las intenciones del diseño y las necesidades operacionales del propietario del edificio. El proceso de comisionamiento inicia desde el comienzo del diseño hasta la ocupación del edificio e involucra el establecimiento de las expectativas para el desempeño de los sistemas del edificio (envolvente, iluminación y sistemas HVAC) y también procedimientos para determinar si se han cumplido tales expectativas. El proceso general incluye la revisión de planos, inspección durante construcción u ocupación, entrenamiento del personal de mantenimiento, etc. El comisionamiento es un prerrequisito para proyectos LEED, y debe ser documentado para demostrar cumplimiento.

Una auditoría energética es un proceso para detectar problemas operacionales, y dirigido a identificar oportunidades para mejorar el confort de los ocupantes y optimizar el uso de energía en una edificación existente. El proceso es periódico en naturaleza y evalúa cambios en el uso del edificio, las condiciones de los sistemas, y la aplicabilidad de nuevas tecnologías de energía eficientes. En este sentido la Sociedad Americana de Ingenieros de

Sistemas de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, en inglés), ha introducido un estándar (ANSI/ASHRAE/IESNA 100-2006) que describe el procedimiento de una auditoría energética para aplicar a edificios existentes. El desarrollo de una auditoría energética también es un prerrequisito, como alternativa al comisionamiento para construcciones existentes que buscan cumplimiento con los criterios LEED.

2.5 Renovación de edificaciones existentes

Durante la última década, mucho gobiernos y organizaciones internacionales han dirigido esfuerzos significantes hacia mejorar la eficiencia energética en los edificios existentes. Por ejemplo, el gobierno del estado de Queensland – Australia invirtió en 2009 US$8 millones de dólares del presupuesto del estado en la renovación de edificios gubernamentales existentes para incrementar su eficiencia energética. Por sus resultados y teniendo en cuenta que en el sector de la construcción más energía es consumida por el parque edificatorio existente, y que se construye de 1 a 3 edificios nuevos por 100 edificios existentes al año, la rehabilitación de estos últimos está siendo considerada a nivel mundial como uno de los principales enfoques para lograr la reducción en el consumo de energía y emisiones de GEI aportando a la sostenibilidad.

Actualmente existe un gran número de tecnologías para la rehabilitación de edificios disponibles en el mercado. Sin embargo, la decisión en cuanto a qué tecnologías o medidas implementar en un proyecto particular está sujeta a múltiples restricciones y limitaciones, tales como las características del edificio, presupuesto disponible, los objetivos del proyecto, estructura del edificio, etc. (Zhenjun Ma, 2012).

El proceso general de renovación de un edificio existente consiste básicamente en las siguientes fases, descritas en la Figura 2.11. El presente trabajo se desarrolla dentro de un enfoque sistemático resumido en las fases I - III, previo a la renovación del edificio.

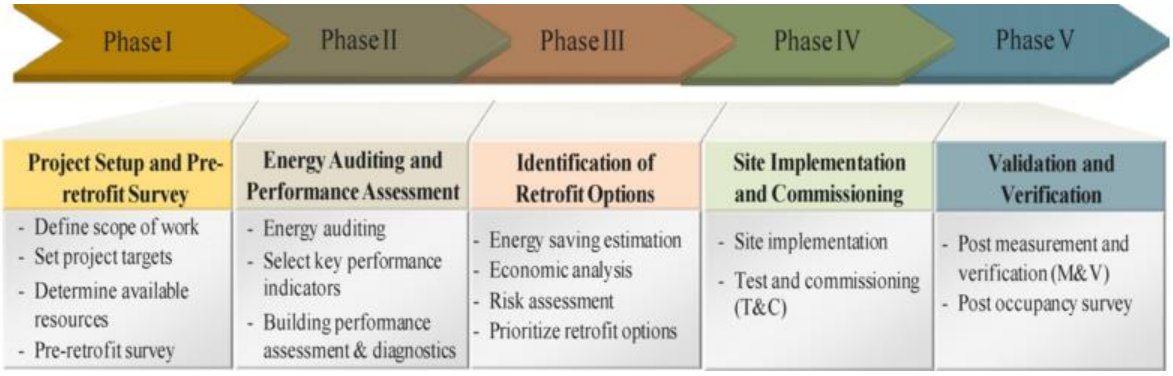


Figura 2.11: Fases de un programa para la renovación ambiental de un edificio. [Fuente: Zhenjun Ma, 2012]

Capítulo 3: Metodología

Se adoptó una metodología de trabajo con base a la revisión del estado del arte realizada anteriormente. La metodología de trabajo desarrollada en esta tesis se ha estructurado en las siguientes fases, resumidas de la siguiente manera:

3.1 Objetivos del proyecto y alcance del proceso

Integrando este trabajo dentro de un programa de rehabilitación del edificio, se necesita establecer primero los objetivos del proyecto: que se desea conseguir con su rehabilitación. Seguido, a fin de definir el proceso para la evaluación del edificio, se establece su alcance; ello es establecer los aspectos para evaluar y analizar de acuerdo a las necesidades e intereses del proyecto.

De acuerdo a esto, se desea que el edificio alcance mejores niveles de rendimiento energético y ambiental con la adopción de estrategias en que la inversión pueda ser retribuida en medida de lo posible a través del ahorro en los costos operacionales; sin comprometer el confort de los ocupantes y tener un mayor impacto en la estructura y espacios del edificio. Además, contribuir al desarrollo sostenible y ser una herramienta educacional para otros, que muestre lo fácil y relativamente económico que puede resultar la implementación de nuevas tecnologías. Con ello, se seleccionaron puntos específicos para desarrollar. Ellos son:

De la categoría Eficiencia en el uso de agua:

- Reducir el consumo de agua potable.

De la categoría Energía y atmosfera:

- Dirigir los esfuerzos a reducir y suplir las necesidades de energía en el edificio con la optimización de los sistemas y el uso de tecnologías innovadoras.

De la categoría Calidad del Ambiente Interior:

- Mejorar y controlar los sistemas que inciden en el confort de los ocupantes (visual, térmico, acústico).

3.2 Desarrollo de la línea base del edificio

Como punto de partida para el cumplimiento del objetivo del trabajo, es necesario estudiar las características del edificio y analizar su desempeño ambiental a manera de determinar una línea base para su comparación con respecto a estándares de construcción sostenible previo a definir las mejoras necesarias. El análisis de su estado actual va a permitir describir y caracterizar el desempeño del edificio mediante el reconocimiento de sus características y sistemas: arquitectura, uso, ocupación y sistemas del edificio (iluminación, climatización, etc.).

3.2.1 Programa

Adquisición de documentación:

Previo al levantamiento de los datos se recoge toda la documentación posible en referencia al edificio a manera de poder definir un modelo teórico del edificio y realizar un análisis exhaustivo de su comportamiento ambiental. Información sobre la gestión adoptada del uso y ocupación en el edificio (horario de los espacios, calendario académico, días de operación, etc.) son también muy importantes en orden de entender como el edificio es usado por los ocupantes.

Se obtuvieron los planos arquitectónicos (edificio original y renovación), hidrosanitarios y eléctricos del edificio con el profesor Director de la Escuela y la Oficina de Planeación y Desarrollo Físico de la Universidad. Se obtuvo copia y se revisó un estudio realizado anteriormente en el marco del Plan de Desarrollo Físico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle que resume un diagnóstico de los edificios que alberga actualmente la Facultad, entre ellos el edificio 350, y las propuestas para el re-ordenamiento de los espacios con la adecuación de los edificios existentes y la construcción de nuevos edificios.

Nivel de la auditoría:

Se define el nivel de operación de la auditoría. El enfoque de la auditoría debía ser efectivo y dirigido a alcanzar los objetivos del trabajo. Se prevé la realización de una auditoría Nivel 2 – Auditoría Estándar, dentro de los tres niveles de auditorías definidas por ASHRAE 100-2006, considerando que alcanza el nivel de esfuerzo necesario para cumplir con los requerimientos dados por el alcance del trabajo.

Una auditoría Nivel 2 involucra en resumen una inspección del sitio para la descripción del edificio, revisión e inventario de los equipos del edificio, análisis detallado del consumo energético, establecer un conjunto de indicadores de rendimiento para benchmarking, identificar estrategias para mejorar el desempeño energético del edificio, estimar ahorros en el consumo y económicos para cada una de las estrategias, y finalmente, un análisis económico simple es desarrollado para determinar la costo-efectividad de las medidas propuestas. Se sigue una serie de pautas y entregables preestablecidas en la literatura.

El enfoque que proporciona ASHRAE dirige el proceso de auditoría a alcanzar objetivos de reducción del consumo energético. Realizando una interpretación diferente del proceso, podemos dirigirlo no sólo hacia reducir el consumo energético, sino hacia un objetivo mucho más importante: contribuir a un mejoramiento en general de la sostenibilidad del edificio.

Selección de indicadores de rendimiento:

Será necesario seleccionar indicadores de rendimiento dentro un conjunto de indicadores cualitativos y cuantitativos de diversos objetivos prescritos en los sistemas de calificación para la evaluación de edificios. Ello nos va a permitir encaminar la auditoria en la dirección correcta: que debe ser hecho, las áreas afectadas y aquellas excluidas.

3.2.2 Estudio de campo

La inspección y visitas al sitio son una parte importante dentro del proceso para la obtención de toda la información del edificio en relación a su comportamiento que nos permita establecer una línea base de su estado y consumo; tendrán el propósito de revisar y recolectar información sobre los componentes mecánicos e instalaciones en el edificio, y sobre sus características operacionales: horarios de uso de los espacios y operación. Los datos se recogerán utilizando formularios simples para el registro, organización y documentación de toda la información pertinente al edificio y sus sistemas. Mediante la evaluación de estos datos se consigue tener una idea ciertamente completa del desempeño ambiental del edificio.

3.3 Evaluación del rendimiento del edificio y diagnóstico

El sistema de evaluación LEED adopta una evaluación holística del impacto en general del edificio en el medio ambiente, sin dejar de mencionar que es el sistema más utilizado en el mundo por su precisión y flexibilidad. Estas son las razones por las que se consideró LEED como el protocolo de referencia para la evaluación del edificio. Se utilizó en este trabajo la versión 3.0 del 2009 para edificaciones existentes.

LEED para edificios existentes: operación y mantenimiento v.3.0 va a representar la base de comparación para evaluar el desempeño del edificio y establecer un diagnóstico en relación al conjunto de indicadores prescritos en LEED y definidos anteriormente. Ello nos permitirá considerar opciones para elevar estos indicadores a los niveles deseados y propuestos en los objetivos del proyecto.

3.4 Identificación de estrategias

3.4.1 Propuesta y análisis de estrategias

Esta fase del trabajo corresponde a la identificación y propuesta de las medidas a implementar en el edificio, analizadas dentro su aplicabilidad técnica y rentable. El ahorro en el consumo y ahorro económico para cada intervención serán determinados a través del cálculo de la diferencia entre el consumo actual medido (o estimado) del edificio y el consumo, también medido (o estimado), por la implementación de las propuestas. El

cálculo es estimado, alcanzar un valor real supondría considerar dentro del período de cálculo la variación continua de factores no energéticos pero con incidencia, tales como las condiciones climáticas, horarios de ocupación, etc.

3.4.2 Evaluación económica

Esta fase rige la evaluación hacia los indicadores económicos, que permitirá dar una visión integrada y cuantificable del proceso de rehabilitación sostenible del edificio. Se desarrollará un cuadro económico asociado a las mejoras definidas para el edificio.

El capítulo 6 resumirá los supuestos y criterios adoptados para el cálculo de la inversión de capital inicial, valor a tiempo presente, el período de retorno y la tasa de rentabilidad como los indicadores económicos seleccionados para el análisis de inversión de cada una de las medidas propuestas.

Los resultados van a permitir determinar la viabilidad económica de las acciones propuestas y el grado de relación coste-beneficio.

3.5 Estrategias y créditos LEED

Con la propuesta de un modelo sostenible del edificio, el siguiente paso es la evaluación del grado de mejora de sostenibilidad que puede alcanzar con la implementación conjunta de todas las medidas definidas para su mejor rendimiento; tales medidas no necesariamente generan una ventaja en términos de un solo criterio por la correlación no biunívoca entre ambos elementos, también pueden generar muchas ventajas con respecto a otros. Es decir, una intervención para cumplir un criterio específico en Energía y Atmósfera, directa o indirectamente puede contribuir al cumplimiento de otro criterio, en otra categoría, un ejemplo: Sitios Sustentables.

La matriz presentada en esta sección correlaciona las intervenciones propuestas con el checklist de LEED para edificaciones existentes v.3.0 dando una visión global del proyecto y el grado de sostenibilidad que puede alcanzar con la implementación de las medidas propuestas.

Capítulo 4: Diagnóstico del edificio

4.1 Edificio 350 – Escuela de Ingeniería Civil y Geómatica

Descripción general y características estructurales

El edificio 350 de la Escuela de Ingeniería Civil y Geómatica se encuentra localizado en el campus de la Universidad del Valle, Cali – Colombia (la localización dentro del campus se muestra en la Figura 4.1). El edificio fue construido en 1971 y alberga en sus dos plantas varias oficinas, aulas de clase y laboratorios enfocados a la investigación, entre otros espacios (servicio, depósitos, corredores), abarcando un área total construida de 2511 metros cuadrados.



A. B.

Figura 4.1: A. Localización dentro del campus de la Universidad del Valle. **B.** Vista general del edificio.

El edificio es una estructura en concreto reforzado (7.2 m entre ejes de columna) con dos losas reticulares y una losa adicional de cubierta. La primera losa está a una altura de 3.2 m, la segunda a 6.4 m y la tercera a 8 m. La entrada al edificio se encuentra en la fachada principal orientada hacia el norte.

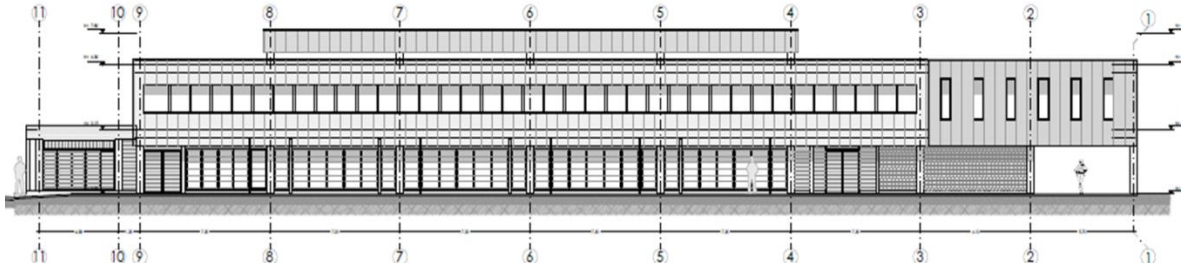


Figura 4.2: Fachada principal (Norte).

Tipos de espacios

Se categorizó el uso del espacio en el edificio dentro de cuatro tipos: salas de clase, oficinas, laboratorios y áreas comunes. El área de oficinas incluye oficinas administrativas y oficinas de profesores, el área de laboratorios incluye las instalaciones de laboratorio (LABESTRUS, LABISPA, LINSE, MAP-H, MERO y Biomecánica) y espacios para la investigación, las áreas comunes incluye corredores, lobby y baños. El primer nivel alberga la mayoría de espacios de laboratorio y un espacio de oficinas administrativas para la Dirección y Secretaría del Programa, y la Coordinación de Postgrados. El segundo nivel alberga todas las oficinas de profesores y salas de clase, algunas oficinas administrativas y otros espacios (investigación y comunes).



Figura 4.3: Plantas generales del edificio. **A.** Planta primer piso. **B.** Planta segundo piso.

Tabla 4.1: Distribución del espacio.

Espacio Tipo	Cantidad	Area (m^2)	Area Total (%)
Salones de clase	4	224	9
Sala de cómputo	1	54	2
Laboratorios	6	486	19
Oficinas	28	488	19
Zonas Comunes	-	1258	50
Total		2511	100

Ocupación y uso de los espacios

El edificio, como un edificio académico de educación superior se caracteriza por su peculiar uso: horas diarias y semanales de ocupación y diferentes usos durante el día. El edificio funciona normalmente de lunes a viernes, de 7:00 am a 8:00 pm y ocasionalmente, algunas oficinas de profesores y espacios de laboratorio los días sábados en la mañana, de 8:00 am a 12:00 pm. En promedio 364 personas usan el edificio durante el período académico dentro los horarios lectivos programados.

Aunque en el período de receso académico (Julio-Agosto y Diciembre-Enero) la ocupación total del edificio decrece, muchos espacios siguen en uso por actividades de investigación y administrativas en horario de lunes a viernes de 8:00 am a 5:00 pm.



Figura 4.4: Espacios dentro del edificio.

Actualizaciones recientes en los sistemas del edificio y condiciones existentes

Se realizó una inspección del sitio o *walk-through audit*. Se encontró que en los últimos años, el edificio 350 ha tenido algunas renovaciones. La mayor renovación fue completada en el 2011 con importantes cambios en el diseño del espacio. En el presente año los sistemas de climatización tipo ventana en las aulas de clase fueron reemplazados por sistemas tipo Split más eficientes.

A continuación se describe los sistemas existentes en el edificio.

- **Climatización**

Respecto al sistema de climatización, este posee interdependencia por recinto. Las aulas de clase son climatizadas con unidades tipo Split con control de temperatura, y algunas oficinas con unidades tipo ventana y mini Split, con un total de área acondicionada de 479 m². La Tabla 4.2 resume todos los artefactos de climatización presentes en el edificio.

Tabla 4.2: Equipos de climatización.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)
Split Confortfresh - 36000 Btu/h	3	3650
MiniSplit LG - 18000 Btu/h	7	1375
Split LG Mod. S242CL - 24000 Btu/h	1	2350
Split Piso Techo - 36000 Btu/h	1	3650
Tipo Ventana - 18000 Btu/h	4	1800



A. B.

Figura 4.5: A. Espacio acondicionado con AA tipo Split. **B.** Espacio acondicionado con AA tipo ventana.

Generalmente, se prefieren los sistemas centrales de refrigeración, que permiten conseguir un ahorro en la potencia instalada.

- **Sistema eléctrico e iluminación**

La electricidad es la fuente de energía utilizada en el edificio. La alimentación eléctrica es del tipo monofásica y trifásica de 120/220 V. La iluminación en todo el edificio es principalmente proporcionada por lámparas fluorescentes tipo T-8, además de tipo T-12 sobrepuestas en techo. Las instalaciones son típicamente dos (2) lámparas fluorescentes de 39 W y 75 W, con reflectores en algunos espacios. Estas lámparas son eficientes, produciendo una media de 3550 lúmenes. Toda la iluminación del edificio es manualmente controlada por interruptores en las paredes.

Tabla 4.3: Especificaciones de las lámparas en el edificio.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)
Tubo Fluorescente T8 Phillips	182	39
Tubo Fluorescente T12 Sylvania	127	75

En cuanto a los equipos eléctricos, cada aula de clase cuenta con un proyector, la sala de sistema cuenta con varios computadores y un proyector, los espacios para investigación cuentan también con varios computadores. Además, las oficinas administrativas y de profesores cuentan con equipos eléctricos tales como impresoras, fotocopiadoras, también otros computadores, entre otros artefactos. Se puede encontrar también algunas pantallas LED en el edificio.

Tabla 4.4: Equipos de consumo eléctrico.

		No. de Elementos por Espacio Tipo						
Espacio Tipo	No. Espacios	PC escritorio	Proyector	Impresora	Ventilador	Pantalla LED	Refrigerador	Microondas
Salones de clase	4	0	4	0	0	0	0	0
Sala de cómputo	1	30	1	0	0	0	0	0
Laboratorios	6	33	0	1	0	1	0	0
Oficinas	28	39	0	17	6	0	2	0
Otros	-	0	0	0	0	1	1	1
Total	**-**	**102**	**5**	**18**	**6**	**2**	**3**	**1**

El edificio alberga también equipos pesados de laboratorio para el desarrollo de pruebas e investigaciones dentro del Área de Mecánica de Sólidos de la Escuela con relación a estudios de resistencia de materiales, estudios de clasificación de suelos, estudios dinámicos, entre otros. Dentro de las instalaciones de laboratorio enunciadas anteriormente, se pueden encontrar equipos como: máquina universal de ensayos, equipo triaxial, marco de ensayos y simulador sísmico como los más destacados, entre otros.



Figura 4.6: Equipos y elementos de prueba de laboratorio. De izquierda a derecha: marco de ensayos, simulador sísmico, máquina universal de ensayos y equipo triaxial.

Para reducir el consumo energético por iluminación y equipos eléctricos una de las medidas usuales en todo espacio es apagarlos mientras no se utilice este. En cuanto a las salas de clase durante la inspección se pudo observar que se solicitaba a quienes estaban encargados (profesores y monitores) apagar las luces y los equipos para cuando se dejara de hacer uso del espacio. Se puede considerar reducir la potencia de las lámparas con su reemplazo en algunos espacios por lámparas más eficientes a fin de consumir menos energía. En resumen, la inspección general indicó que existía un cierto potencial de ahorro en la electricidad con la adición de sensores de ocupación o sistemas de control que regule los niveles de iluminación en función del aporte de luz natural.

- **Plomería**

El edificio cuenta con cuatro baños. Los dos baños principales (para estudiantes) se encuentran en el primer piso y los otros dos en el segundo piso. Todos los equipos sanitarios, inodoros de fluxómetro y orinales, son unidades convencionales (1.6 y 1.0 gpd, respectivamente). Los lavamanos de los baños están equipados con grifos de tipo convencional de 2.2 gpm. La Tabla 4.5 resume en detalle la cantidad de artefactos y sus respectivos consumos.

Tabla 4.5: Accesorios sanitarios.

Descripción	Cantidad	Consumo
Sanitario	10	1.6*
Orinal	4	1.0*
Lavamanos	10	2.2**
Grifo Pileta Cocineta	1	2.5**
Grifo Pileta Lab. Suelos	1	2.5**

* galones por descarga, gpd.

** galones por minuto, gpm.





A. B. C.

Figura 4.7: Áreas del edificio con requerimiento de suministro de agua. **A.** Baños primer piso. **B.** Baños segundo piso. **C.** Laboratorio de suelos y pavimentos.

- **Envolvente**

El edificio tiene una orientación estricta en sentido oeste-este con entrada principal en la fachada norte. Los cerramientos son de ladrillo. Las ventanas y puertas que dan al exterior son de carpintería metálica sin rotura de puente térmico, con una hoja de vidrio (acristalamiento simple) de 4 mm de tipo fijas, correderas o abatibles. En cuanto a las divisiones interiores para las oficinas y espacios de investigación, estas son de tabiquería vidriada.

Índices de consumo y benchmarking.

Intensidad de Uso Energético (EUI, en inglés) es una unidad de medida que describe el consumo energético de un edificio. El EUI es calculado dividiendo el consumo total de energía por un edificio en un año (medida en kW o GJ) entre el área total del edificio (kWh/m²-año). El EUI se utiliza generalmente para comparaciones (benchmarking). Otro importante indicador para comparación es el Índice de Costo Energético, ECI que es el costo total de energía del edificio en un año por unidad de área ($/m²-año). El consumo del agua estará dado en gal/año.

Se establecen los anteriores indicadores, necesarios para la determinación de la línea base del edificio. Posteriormente, serán el punto de referencia para medir las mejoras en el rendimiento por implementación de las propuestas.

4.2 Desarrollo de la línea base para los sistemas del edificio

4.2.1 Desempeño energético

Los diferentes consumidores de energía en el edificio son los sistemas de aire acondicionado, sistemas de iluminación, equipos eléctricos y de laboratorio. Para

determinar una estimación del consumo energético, el número y potencias nominales de los sistemas y equipos fueron recogidos. La potencia total instalada en el edificio es 127868 W.

Ya que no había un medidor para continuamente medir las cargas eléctricas dentro del edificio, se utilizó algunos supuestos en orden de estimar el consumo energético anual. El consumo por iluminación, climatización y equipos es basado en el inventario de todos los equipos y la estimación del tiempo de operación anual del equipo (en función del horario de uso de los espacios y horas de trabajo diarias). El consumo energético anual teórico del edificio es 337,237 kWh.

Tabla 4.6: Distribución del consumo y costo anual de electricidad.

Uso	Consumo (kWh)	Porcentaje del consumo total (%)	Costo total ($)
Iluminación	38,199	11	$ 16.686.113
Equipos eléctricos	53,678	16	$ 23.447.786
Climatización	113,734	34	$ 49.681.131
Equipos de fuerza	131,626	39	$ 57.496.983
Total	**337,237**	**100**	**$ 147.312.013**

La distribución de los distintos consumos permite una compresión de la participación que cada uno de los principales usos tiene en el consumo total anual. La tarifa en Colombia de electricidad para instalaciones comerciales es COP $436.82 por kWh (EPM). Los equipos de laboratorio y otros equipos consumen la mayor parte de la energía comprendiendo el 39% del costo energético anual. Los equipos de aire acondicionado llegan a consumir el 34% del consumo total. Ambas categorías de uso representan equipos con altas potencias nominales y de regular uso en el edificio. La iluminación y equipos de oficina (computadores, impresoras, etc.) apenas consumen el 11% y 16% del consumo total, respectivamente.

El índice EUI se calcula para la comparación de la intensidad del uso de electricidad con otros edificios de similares características (clima, ocupación, tipos de espacio y uso). El EUI del edificio es igual a 134.3 kWh/m²-año.

De acuerdo a los requerimientos del prerrequisito 2 y el crédito 1 de Energía y Atmósfera, se debe comparar el edificio con la media de consumo nacional de acuerdo al tipo de edificación o con la media de al menos tres edificios similares. No se encontraron datos en el ámbito local reportados por alguna entidad nacional energética. No se tienen datos tampoco sobre el consumo en edificios similares, esto es similar localización geográfica y uso. Para efectos de comparar el rendimiento energético del edificio, con el fin de evaluar los créditos, se tomaron datos del consumo eléctrico de edificios universitarios reportados

en algunos estudios (Acosta, L. 2010 y Chung, M. 2014); y también el EUI promedio en Estados Unidos para edificios de tipo educación. Los datos de los trabajos mencionados se tomaron considerando que más allá de ser edificios universitarios, albergan también espacios de ingeniería para la investigación con múltiples laboratorios, salones de clase y oficinas.

Tabla 4.7: Datos de Intensidad de Uso Eléctrico (EUI), varios casos de estudio.

Edificio	Localización	Uso	Referencia	EUI (kWh/m^2-año)
B07	Chung-Ang University, Corea del Sur.	Salones de clase e investigación	Chung, M., 2014.	166,0
D4C	Universidad de Cataluña, España.	Salones de clase, oficinas e investigación	Acosta, L., 2009.	88,6
C4C	Universidad de Cataluña, España.	Salones de clase, oficinas e investigación	Acosta, L., 2009.	77,0
	Estados Unidos	**Educación**	**CBECS 2011, U.S. DOE.**	**71,0**
			Promedio B07, DC4, C4C.	**82,9**

Comparando el EUI del edificio con los dos datos promedio de la Tabla 4.7, tenemos que es un valor relativamente alto, esto indica un gran potencial para alcanzar grandes ahorros energéticos.

- **Emisiones de dióxido de carbono (CO_2)**

Con un factor para la cantidad de emisiones de carbono por kWh de 0.7495, las emisiones de CO_2 por consumo de energía en el edificio ascienden a 252,752.13 kgCO_2 al año. Normalizado en unidad de área, tenemos 100.66 kgCO_2/m2-año.

4.2.2 Consumo de agua

Se realiza el cálculo estimado del consumo de agua potable en el edificio tomando como referencia el documento LEED EB v.3.0. El documento especifica que para conocer el consumo real de un edificio, se debe realizar estimaciones respecto al número total de ocupantes diarios de las instalaciones. LEED EB v.3.0 exige tener un consumo igual o por debajo de una línea base calculada de acuerdo a los requerimientos en las tasas de consumo máximas de accesorios e instalaciones sanitarias, para este caso comerciales, establecidas en los códigos internacionales actuales de fontanería. La Tabla 4.8 describe los valores estándar para los diferentes accesorios e instalaciones sanitarias comerciales.

Tabla 4.8: Tasas máximas de consumo para accesorios sanitarios por la UPC e IPC. [Fuente: LEED 2009]

Fixture	UPC and IPC Standards
Water closets (gallons per flush, gpf)	1.60
Urinals (gpf)	1.00
Showerheads (gallons per minute, gpm*)	2.50
Public lavatory faucets and aerators (gpm**)	0.5
Private lavatory faucets and aerators (gpm**)	2.2
Public metering lavatory faucets (gallons per metering cycle)	0.25
Kitchen and janitor sink faucets	2.20
Metering faucets (gallons per cycle)	0.25
*When measured at a flowing water pressure of 80 pounds per square inch (psi). **When measured at a flowing water pressure of 60 pounds per square inch (psi).	

Como primer paso, se determinó el tipo y número de ocupantes que trabajan o hacen uso del edificio. Seguido se realizó un listado de los accesorios e instalaciones sanitarias en el edificio y se recopilaron sus respectivas tasas de consumo de agua (ver Tabla 4.5). En la primera variable se debía establecer el número de mujeres y hombres, pues la frecuencia de uso en cada caso es diferente. Teniendo esas variables consideradas, podremos realizar una estimación del consumo de agua en el edificio, y posteriormente, determinar y calcular el ahorro que se producirá utilizando los accesorios sanitarios seleccionados con características de ahorro en comparación con los convencionales. Los cálculos deben incluir sólo los siguientes artefactos: sanitarios, orinales, grifos de lavamanos, duchas y grifos de la cocina.

La Tabla 4.9 describe la frecuencia de uso de los accesorios por los diferentes tipos de ocupantes y género. Para ocupantes transitorios (estudiantes y visitantes) LEED asume que la mitad de estos usan un (1) inodoro y un (1) lavamanos durante el día en el edificio y no se espera que utilicen una ducha o fregadero de la cocina.

Tabla 4.9: Uso predeterminado de accesorios, por tipo de ocupación. [Fuente: LEED 2009]

Fixture Type	FTE	Student/Visitor	Retail Customer	Resident
	Uses/Day			
Water Closet				
— Female	3	0.5	0.2	5
— Male	1	0.1	0.1	5
Urinal				
— Female	0	0	0	n/a
— Male	2	0.4	0.1	n/a
Lavatory Faucet — duration 15 sec; 12 sec with autocontrol — residential, duration 60 sec	3	0.5	0.2	5
Shower — duration 300 sec — residential, duration 480 sec	0.1	0	0	1
Kitchen Sink, — duration 15 sec — residential, duration 60 sec	1 n/a	0 n/a	0 n/a	n/a 4

- **Estimación de los ocupantes de tiempo completo del edificio (FTE)**

Los cálculos están basados en un día típico de trabajo de ocho (8) horas. Actualmente la Escuela cuenta con 18 profesores nombrados de tiempo completo: 7 profesores titulares, 7 profesores asistentes y 4 profesores auxiliares; 7 personas del personal administrativo y 25 personas, entre laboratoristas y monitores de investigación, del personal de laboratorio e investigación. Para el número de ocupantes transitorios, se establece el número máximo de estudiantes en un período pico, equivalente a la ocupación máxima de las salas de clases.

De acuerdo a LEED, FTE (full-time equivalent occupants) corresponde a la octava parte de las horas totales de ocupación de todos los usuarios del edificio (personal de tiempo completo, estudiantes, visitantes, etc.). Se asume un índice de masculinidad, IM, de 3.74 (3,74 hombres por cada mujer) dentro de la población total del edificio, considerando el hecho que en ingeniería civil prevalece la matrícula masculina. El dato fue tomado de un estudio del índice de masculinidad realizado para la facultad de ingeniería en la UAE en México (Adolfo López Suárez), ante la ausencia de datos locales.

Tabla 4.10: Número estimado de ocupantes de tiempo completo (FTE) en el edificio.

Tipo de ocupante	Número de ocupantes	Horas de ocupación al día por ocupante	Horas totales de ocupación al día por ocupante	Ocupantes FTE
Personal tiempo completo				
Administrativo	4	8	32	4
Laboratorio e investigación	25	8	200	25
Profesores	18	8	144	18
Total FTE				47
Ocupantes transitorios				
Estudiantes (Ocupación máxima durante período pico)				180

La Tabla 4.11 resume el cálculo de la línea base para el consumo de agua potable actual en el edificio, con base a la cantidad de usuarios, la frecuencia de uso por género de los artefactos de acuerdo a LEED y las tasas de consumo de los artefactos instalados. Se estima un consumo anual de 98,333 gal/año, considerando el tiempo regular de funcionamiento de la instalación en el año por clases (175 días) y durante vacaciones (65 días).

Este valor equivale a 371.69 m³/año. Calculando la línea base de LEED, como el rendimiento mínimo que exige del consumo de agua, esta es igual al consumo de agua asumiendo que todos los accesorios cumplen con los códigos actuales citados anteriormente. Esto es 97,487 gal/año, lo que nos permite establecer que el consumo del edificio está un poco por encima, cerca del 1%.

Tabla 4.11: Estimación del consumo de agua potable en el edificio.

Accesorio Tipo	Usos Diarios		Consumo Accesorio (gal/uso)	Ocupantes		Consumo (gal)
	Ocupantes FTE	Estudiantes		Ocupantes FTE	Estudiantes	
Período acádemico						
Sanitario						
WC - Hombre	1	0,1	1,6	34	132	76
WC - Mujer	3	0,5	1,6	13	48	101
Orinal	2	0,4	1,0	34	132	121
Lavamanos - 15 seg	3	0,5	0,6	47	180	127
Grifo cocineta - 15 seg	1	0	0,6	47	180	29
Consumo total diario (gal)						454
Días regulares de funcionamiento en el año						175
Consumo total período (gal)						79370
Período de vacaciones						
Sanitario						
- Hombre	1		1,6	34		54
- Mujer	3		1,6	13		62
Orinal	2		1,0	34		68
Lavamanos	3		0,6	47		78
Grifo cocineta	1		0,6	47		29
Consumo total diario (gal)						292
Días regulares de funcionamiento en el año						65
Consumo total período (gal)						18962
Consumo total anual (gal)						**98333**

4.2.3 Fundamentos de arquitectura en el diseño del edificio

Varios de los aspectos en la categoría Calidad del Ambiente Interior de LEED obedecen a un diseño bioclimático del edificio que permita alcanzar el aprovechamiento máximo de los recursos naturales disponibles en el lugar del proyecto para reducir el impacto en el medio ambiente, principalmente por consumo de energía; y controlar y mejorar las condiciones de habitabilidad y confort de los ocupantes, de manera que se puedan reproducir estas condiciones dentro del edificio sin llegar a depender en su totalidad de sistemas eléctricos o mecánicos.

La ciudad de Cali, con latitud 3°27’00’’N y longitud 76°32’00’’O, se caracteriza por tener un clima de sabana tropical (cálido y húmedo), con altas temperaturas a lo largo del año y corrientes de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico. Su temperatura promedio es de 25 °C, precipitación media de 1,000 mm y 139 días de lluvia en el año. Las estaciones secas van de diciembre a febrero y de julio a agosto, mientras que la estación de lluvias va de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

Ventilación natural

Se debe mencionar primero que el edificio es sólo ventilado naturalmente y no posee sistemas mecánicos de ventilación.

Para determinar si la ventilación natural es una estrategia efectiva para el edificio, se analizó su diseño de acuerdo a las recomendaciones de la Guía de Buenas Prácticas 237 del CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers), considerando su orientación, las condiciones climáticas del lugar, calidad del aire y la dirección predominante del viento.

El diseño del edificio presenta una característica particular que permite su ventilación, la cual es una losa central, apoyada en columnas sobre la losa principal, quedando un espacio de ventilación entre ellas; el corredor en la fachada sur, directamente expuesto al exterior abierto sin obstáculos, permite el ingreso de corrientes de aire al centro del edificio; y los espacios vacíos en su centro o atrios permiten la circulación del aire a la primera planta. Con la combinación de todos estos elementos en su diseño arquitectónico el edificio logra ventilarse naturalmente.

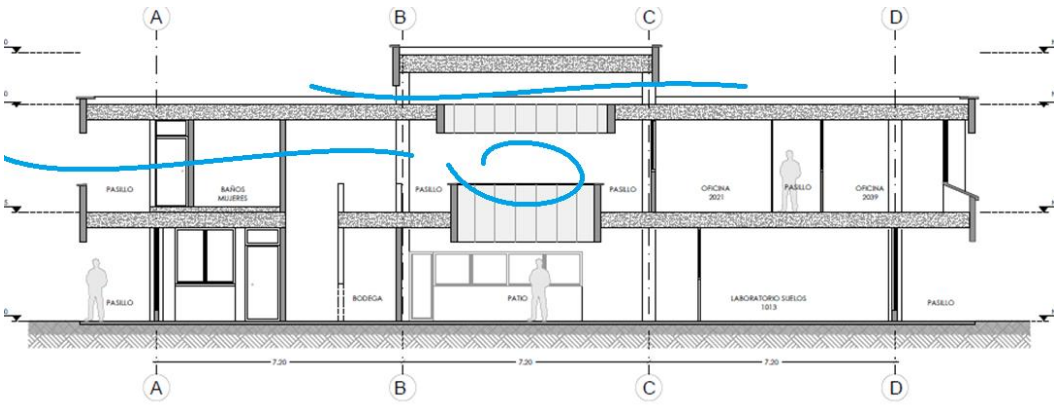
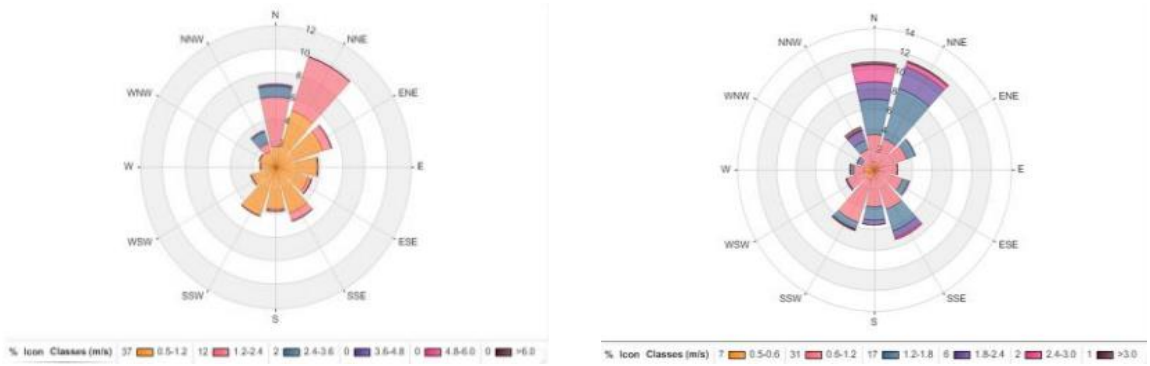


Figura 4.8: Corrientes de aire en el edificio. Corte transversal (a la derecha hacia el Norte).

Como se puede ver en la Figura 4.9, en el período más seco o cálido (julio) los vientos predominantes provienen en su mayoría principalmente del Noreste, y en el período más frío o lluvioso (octubre) los vientos predominantes provienen del Noreste y Sureste, formando así un eje Sureste-Noreste que permite una adecuada ventilación del edificio por corrientes cruzadas de aire, así como también la ventilación por un solo costado. Los gráficos fueron tomados de informes mensuales de la calidad del aire de Santiago de Cali en el último año elaborados por el DAGMA. Los informes también muestran aceptables niveles de contaminación de la calidad del aire, con un ICA (índice de calidad del aire) entre 50 y 100.



A. B.

Figura 4.9: Rosa de vientos estación de monitoreo Univalle – Meléndez. **A.** Julio. **B.** Octubre. Destacan las componentes Noreste y Sureste.

La distribución en planta de los espacios alrededor de su centro de tal forma que prácticamente todos ellos tienen contacto con el exterior, con ventanas que permiten su ventilación e iluminación, es otro aspecto a favor en el diseño del edificio. Sin embargo, la mayoría de ellos utilizan ventanas fijas puesto que son climatizados de manera mecánica con el uso de aires acondicionados. Se podría considerar aprovechar más este aspecto de manera que los espacios en el edificio puedan refrigerarse naturalmente.

En Cali, por sus condiciones climáticas, una ventilación adecuada, sin refrigeración mecánica es posible para mantener un adecuado grado de confort térmico.

Iluminación natural

De la misma manera, la arquitectura del edificio favorece la entrada de luz natural a los corredores a través de las aberturas entre la separación de las losas y las aberturas en la fachada sur.

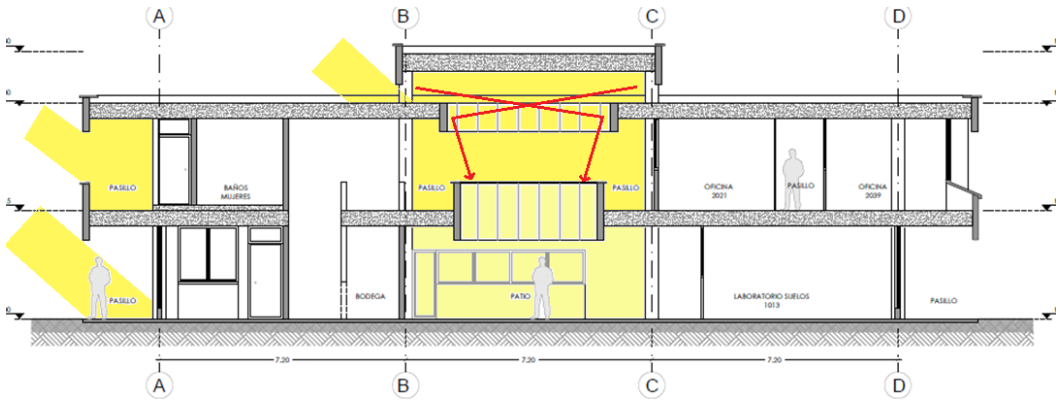


Figura 4.10: Luz solar, directa y ambiental. Corte transversal (a la derecha hacia el Norte).

LEED proporciona un método relativamente simple como alternativa a realizar una simulación energética o mediciones de los niveles de luz natural en sitio, para determinar si los requerimientos de luz natural en el edificio se cumplen, con base en las dimensiones de las ventanas en el espacio, el área del espacio iluminado y el factor de transmisión de luz visible del cristal (VLT). Se debe alcanzar un valor, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$0.15 < VLT * WFR < 0.18$$

Donde, WFR es la relación entre el área de la ventana y el área del piso iluminado, con profundidad a la pared de enfrente que delimita el espacio. Así, el cálculo para los espacios con iluminación natural en el edificio se resume en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Cálculo del rendimiento de luz natural en el edificio.

Espacio	Whh	Wsh	Ww	Bay depth	Aw	Af	WFR	VLT	VLTxWFR
Auditorio	2,4	0,9	3,6	7,2	5,4	25,9	0,21	0,9	0,18
2015	2,7	1,1	8,0	5,0	12,8	40,0	0,32	0,9	0,28
Sala de cómputo	2,7	0,2	4,7	6,9	11,8	32,6	0,36	0,9	0,31
2017	2,7	1,1	7,0	9,0	11,6	63,0	0,18	0,9	0,16
Oficina Dirección del Programa	2,6	0,2	6,8	7,2	16,0	49,0	0,33	0,9	0,28
2013	2,7	0,2	3,8	6,9	9,4	25,9	0,36	0,9	0,31

Donde,

Whh: *dimensión superior del vano desde el piso;* ***Wsh:*** *dimensión inferior del vano desde el piso;* ***Ww:*** *ancho del vano;* ***Bay depth:*** *profundidad del espacio;* ***Aw:*** *área de ventana;* ***Af:*** *área de piso.*

Si bien en algunos espacios se alcanzan buenos niveles de iluminación natural, en otros espacios no pasa lo mismo, siendo los corredores el espacio que más recibe luz natural en el edificio.

Se puede concluir que la arquitectura del edificio responde a principios de iluminación y ventilación natural, y fue diseñado utilizando criterios de arquitectura bioclimática. Aunque parece un concepto nuevo, no lo es, su aplicación en la arquitectura ha tenido lugar desde hace muchísimos años a manera de establecer una relación entre el hombre, la arquitectura y el medio ambiente.

4.3 Benchmarking: Evaluación con checklist de LEED-EB v.2009

En esta fase del proyecto se resume la evaluación del estado actual del edificio por medio del checklist para definir la conformidad con los criterios de LEED EB: O&M v.3.0. Los requerimientos de cada crédito fueron revisados y comparados con base en los siguientes

criterios: si el edificio cumple o no con los requerimientos que exige el crédito; y si es desarrollable, tal vez o no el crédito con la adopción de medidas, dentro de las capacidades del edificio, para cumplir con ellos.

La evaluación se realizó de acuerdo a los objetivos definidos para el proyecto, desarrollando con mayor profundidad los aspectos relacionados con el consumo energético y agua del edificio, y parámetros de confort, que inciden en cierta medida en los niveles de demanda energética dentro del edificio.

Tabla 4.13: Evaluación de los requisitos para la categoría eficiencia en el uso del agua.

Eficiencia en el uso del agua			
Prerrequisito 1	**Puntos mínimos de salida de agua y eficiencia de accesorios.** Requerimiento: Reducir el consumo de agua potable de accesorios de plomería interior a un nivel igual o menor a la línea base de LEED, calculada asumiendo que el 100% de los accesorios e instalaciones sanitarias cumplen con los estándares de consumo definidos en los códigos actuales.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	NC	Sí
Crédito 1	**Medición del consumo de agua** Requerimiento: Tener en función permanente un medidor de agua que mida el consumo de agua potable en todo el edificio. Adicionalmente, puede optarse por usar medidores de consumo de agua para los diferentes subsistemas del edificio. Los datos medidos deben ser registrados para la elaboración de informes mensuales y anuales.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-2	NC	Sí
Crédito 2	**Puntos adicionales de salida de agua y eficiencia de accesorios** Requerimiento: Implementar estrategias y sistemas que en conjunto produzcan una reducción en el consumo de agua por accesorios sanitarios por debajo de la línea base establecida en el prerequisito 1.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-5	NC	Sí
Crédito 3	**Eficiencia en el uso de agua para riego de paisajismo** Requerimiento: Reducir el uso de agua potable u otras fuentes naturales superficiales de agua disponible en el sitio o cerca del edificio para irrigación por medios convencionales de riego. Si el edificio no dispone de un contador de agua independiente para los sistemas de riego, el porcentaje de reducción se puede demostrar a través de cálculos. Observación: El edificio no dispone de un sistema de riego de paisajismo.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-5	NA	-
Crédito 4	**Gestión del agua en torres de enfriamiento** Requerimiento: Desarrollar e implementar un plan de gestión del agua para la torre de enfriamiento dirigido al tratamiento químico, de purga, control biológico y entrenamiento del personal en relación al mantenimiento de la torre. Opcionalmente, utilizar al menor un 50% de agua potable con uso agua recogida de agua lluvia, condensado de aire acondicionado u otra fuente adecuada. Observación: El edificio no utiliza torres de enfriamiento.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-2	NA	-

C: Cumple; NC: No cumple; NA: No aplica

Tabla 4.14: Evaluación de los requisitos para la categoría energía y atmósfera.

Energía y atmósfera - EA			
Prerrequisito 1	**Mejores prácticas de gestión de la eficiencia energética - Planeación, documentación y evaluación de oportunidades.**		
	Requerimiento:		
	Realizar un plan de operaciones que detalle como el edificio ha de ser operado y mantenido, realizar una descripción de los sistemas eléctricos y mecánicos del edificio, crear un plan de mantenimiento preventivo de estos sistemas y conducir una auditoría energética Nivel 1 según ASHRAE.		
	Observación:		
	En la Universidad se cuenta con el Área de Mantenimiento Institucional que elabora un plan de mantenimiento anual para la reparación, mantenimiento y conservación de la infraestructura y dotación en todos los espacios y edificios de la Universidad.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	C	-
Prerrequisito 2	**Mínimo consumo energético**		
	Requerimiento:		
	Realizar benchmarking frente a edificios similares. Para información de consumo energético nacional disponible, demostrar eficiencia energética de al menos un 19% mejor que el promedio otorgado por una agencia nacional de energía. Si la información no está disponible, demostrar eficiencia energética de al menos un 19% mejor que el promedio de consumo energético de al menos tres edificios de caracteristicas similares (clima y uso).		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	NC	Sí
Prerrequisito 3	**Gestión en el uso de refrigerantes**		
	Requerimiento:		
	Cero uso de gases refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC) en los sistemas de climatización y refrigeración (HVAC&R) del edificio a menos que una auditoría de terceros muestre que el reemplazo del sistema no es economicamente viable o se demuestre que se está en marcha un plan para la eliminación de estos refrigerantes.		
	Observación:		
	Los equipos de aire acondicionado en el edificio no utilizan ningun tipo de refrigerante CFC.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	C	-
Crédito 1	**Optimización del consumo energético**		
	Requerimiento:		
	Realizar benchmarking frente a edificios similares. Para información de consumo energético nacional disponible, demostrar eficiencia energética de al menos un 21% o mayor que el consumo promedio nacional. Si la información no está disponible, demostrar eficiencia energética de al menos un 21% o mayor que el promedio de consumo energético de al menos tres edificios de caracteristicas similares (clima y uso).		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-18	NC	Quizás
Crédito 2.1	**Comisionamiento del edificio - Investigación y análisis**		
	Requerimiento:		
	Llevar a cabo un proceso de comisionamiento o bien una auditoría energética Nivel 2 según ASHRAE para conocer el consumo energético del edificio, identificar desperdicios en el consumo y conocer los costes, y documentar los beneficios asociados a la adopción de medidas de ahorro.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	2	NC	Sí
Crédito 2.2	**Comisionamiento del edificio - Implementación**		
	Requerimiento:		
	Implementar mejoras operativas de bajo o ningún costo y crear un plan de inversión para modificaciones o actualizaciones importantes. Proporcionar capacitación al personal de mantenimiento para crear conciencia y desarrollar habilidades en tema de operaciones sostenibles en edificios. Documentar los costos y beneficios de medidas que han sido implementadas. Actualizar el plan de operación del edificio cuanto sea necesario para reflejar cualquier cambio en el horario de ocupación, horario de uso de los equipos o diseño de iluminación (puntos de luz y niveles de iluminación).		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	2	NC	Sí
Crédito 2.3	**Comisionamiento continúo del edificio**		
	Requerimiento:		
	Implementar un programa de comisionamiento continúo que incluya elementos de planeación, evaluación de los sistemas, verificación del desempeño, acciones correctivas en respuesta a problemas, mediciones continúas y documentación para abordar de manera proactiva problemas operacionales.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	2	NC	Quizás

Crédito 3.1	**Medición del desempeño - Sistema de automatización del edificio** Requerimiento: Contar con un sistema computarizado de automatización del edificio (BAS) para monitorización del funcionamiento general del edificio que supervise y controle los principales sistemas, incluyendo como mínimo, sistemas HVAC e iluminación.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	No
Crédito 3.2	**Medición del desempeño - Sistema de submedición** Requerimiento: Desarrollar un desgloce del consumo energético en el edificio por los diferentes sistemas, ya sea a través del cumplimiento de los créditos 2.1 y 2.2 o por uso de facturas de energía, la medición puntual u otra medición. Implementar sistemas de submedición en el edificio que cubra al menos el 40% u 80% del total del consumo anual estimado del edificio para medición y registro permanente de los consumos.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-2	NC	Sí
Crédito 4	**Uso de energías renovables** Requerimiento: Satisfacer un poco o toda la demanda energética del edificio con sistemas de energía renovable (geotérmica, solar, eólica, biomasa, etc) en sitio o fuera del edificio. Esta última puede obtenerse de un proveedor de energía certificado o acreditado con Green-e Energy por la CRS (Center for Resource Solutions).		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1-6	NC	Quizás
Crédito 5	**Mejoramiento en la gestión de uso de refrigerantes** Requerimiento: No utilizar refrigerantes en los sistemas HVAC&R del edificio o utilizar refrigerantes que minimizen o eliminen la emisión de componentes que contribuyen al agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global. La contribución máxima conjunta de estos equipos por uso de refrigerantes debe ser menor a 100, según fómula. No operar o instalar sistemas contra incendio que usen refrigerantes CFC, hidroclorofluorocarbonos (HCFC) o halones. Observación: Los equipos de aire acondicionado en el edificio utilizan refrigerantes tipo HCFC-22 y HFC-410A con muy bajo factor de OPD, pero su contribución conjunta a la átmosfera por el uso de estos refrigerantes es mayor que 100.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	No
Crédito 6	**Reporte de reducción de emisiones** Requerimiento: Identificar parámetros de desempeño que reducen el uso de energía convencional en el edificio y emisiones, cuantificar estas reducciones por uso de energía renovables, eficiencia energética y reportarlas a un programa de seguimiento formal. Ej. Agencia de Protección Ambiental (EPA), ENERGY STAR, Organización Internacional de Estandarización (ISO), etc.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	No

Tabla 4.15: Evaluación de los requisitos para la categoría calidad del ambiente interior.

Calidad el ambiente interior - IEQ			
Prerrequisito 1	**Rendimiento mínimo de calidad del ambiente interior** Requerimiento: Edificios ventilados naturalmente: Demostrar que el rendimiento del sistema cumpla con los requerimientos mínimos del Estándar ASHRAE 62.1-2007, Parágrafo 5.1, para tasas de ventilación en los espacios. Un código local se puede utilizar en lugar de ASHRAE 62.1-2007, cuando este sea más estricto.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	C	-
Prerrequisito 2	**Control del uso de cigarrillo** Requerimiento: Prohibir fumar cigarrillo dentro del edificio.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	C	-

Prerrequisito 3	**Política de limpieza verde**		
	Requerimiento:		
	Contar con una política de limpieza verde para el edificio y el sitio que aborde compra de productos y equipos de limpieza 'verdes'; establecer un procedimiento de operación estándar que aborde una limpieza efectiva; capacitar al personal de limpieza y mantenimiento sobre los peligros del uso, eliminación y reciclaje de productos químicos de limpieza.		
	Observación:		
	Tanto este prerequisito, como los créditos referidos a la limpieza del edificio (Sección 3 - IEQ) no son evaluados.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	Requerido	-	-
Crédito 1.1	**Mejores prácticas para la gestión de la calidad del ambiente interior - Programa de gestión de la calidad del ambiente interior**		
	Requerimiento:		
	Desarrollar e implementar un programa para la gestión de la calidad del ambiente interior basado en el Modelo Integrado de Evaluación de la Calidad del Ambiente Interior en Edificios (I-BEAM, en inglés) de la EPA, disponible en su página web.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	Quizás
Crédito 1.2	**Mejores prácticas para la gestión de la calidad del ambiente interior - Monitoreo del suministro de aire exterior**		
	Requerimiento:		
	Instalar sistemas de monitoreo constante para asegurar que los sistemas de ventilación mantengan los niveles mínimos de suministro de aire exterior. Además, para el CASO 3: Sistemas de ventilación natural, localizar sensores de CO_2 en la zona de respiración de cada espacio densamente poblado y cada zona con ventilación natural. Permanentemente los espacios abiertos deben cumplir los requerimientos de ASHRAE 62.1-2007, Sección 5.1.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	No
Crédito 1.3	**Mejores prácticas para la gestión de la calidad del ambiente interior - Incremento de ventilación**		
	Requerimiento:		
	CASO 2: Espacios naturalmente ventilados, determinar si la ventilación natural es una estrategia efectiva para el proyecto siguiendo el proceso que describe el diagrama de flujo en la Figura 2.8 del Manual de Aplicaciones 10:2005 del CIBSE, Ventilación natural en edificios no residenciales y seguir las recomendaciones de la Guía de Buenas Prácticas 237. Opcionalmente, usar un modelo analítico multizona para predecir espacio por espacio si serán efectivamente ventilados naturalmente, de acuerdo a las tasas mínimas de ventilación requeridas por ASHRAE 62.1-2007, Capítulo 6, para al menos el		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	C	-
Crédito 1.4	**Mejores prácticas para la gestión de la calidad del ambiente interior - Reducir las partículas en la distribución del aire**		
	Requerimiento:		
	Cada sistema de ventilación que supla aire exterior deberá cumplir con lo siguiente: 1. Posser filtros o dispositivos para la limpieza del aire exterior; 2. Estos deben estar clasificados con un valor de eficiencia mínimo de 13 de acuerdo con el Estándar ASHRAE 52.2; y 3. Establecer y seguir un programa regular para el mantenimiento y reemplazo de estos dispositivos de acuerdo a los intervalos recomendador por el fabricante.		
	Observación:		
	El edificio no posee sistema de ventilación mecánica.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NA	-
Crédito 1.5	**Mejores prácticas para la gestión de la calidad del ambiente interior - Gestión de la calidad del aire interior durante actividades de renovación**		
	Requerimiento:		
	Desarrollar un plan de gestión de la calidad del ambiente interior para la ocupación del edificio durante proyectos de renovación que ayude a mantener el confort y el bienestar de los empleados y ocupantes del edificio.		
	Observación:		
	El crédito esta dirigido a actividades de renovación del edificio.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NA	-
Crédito 2.1	**Confort de los ocupantes - Encuesta a ocupantes**		
	Requerimiento:		
	Desarrollar una encuesta anónima de confort a los ocupantes, al menos el 30% de ellos, sobre confort térmico, acústico, niveles de iluminación, limpieza del edificio y otras cuestiones relacionadas con la satisfacción general en relación al confort dentro edificio. Documentar los resultados y las acciones correctivas para abordar los problemas identificados.		
	Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
	1	NC	Sí

Crédito 2.2	**Control de los sistemas - Iluminacion** Requerimiento: El uso de controles de iluminación para realizar ajustes de acuerdo a las necesidades de trabajo y preferencias de los individuos para al menos el 50% de los espacios de trabajo individuales, y para los grupos que comparten un espacio de trabajo (aula, salón de conferencias) para al menos el 50% de estos espacios. Los ocupantes deben poder al menos encender y apagar el

Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
1	C	-

Crédito 2.3	**Confort de los ocupantes - Monitoreo del confort térmico** Requerimiento: Implementar un sistema de monitoreo para el registro continuo y optimización de los sistemas de climatización. Registro continuo de al menos la temperatura del aire y humedad relativa en espacios ocupados, en intervalos que no excedan 15 minutos, y una evaluación periódica de la velocidad del aire y temperatura radiante; pueden usarse medidores portables.

Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
1	NC	Quizás

Crédito 2.4	**Luz natural y vistas** Requerimiento: Alcanzar los requerimientos ya sea para vista o luz natural. LUZ NATURAL: proveer de luz natural al menos el 50% de todos los espacios regularmente ocupados. Demostrar a través de un modelo computacional, métodos de cálculo o mediciones en sitio de los niveles de iluminación de luz natural. VISTA: alcanzar una línea de visión directa con el exterior a través del cristal entre 0.8 y 2.3 m por encima del piso terminado para los ocupantes del edificio en 45% de todos los espacios regularmente ocupados.

Puntos	Cumplimiento	Desarrollable
1	NC	No

Algunas de las medidas desarrollables para alcanzar el crédito no son consideradas en absoluto porque no tienen un impacto directo en los propósitos del proyecto, principalmente orientadas a una gestión ambiental y no afectan directamente los costos de operación por reducción en el consumo.

Capítulo 5: Estrategias

5.2 Definición de propuestas

Se establecen estrategias en orden de alcanzar los objetivos del proyecto. Las estrategias son escogidas dentro del alcance de su aplicabilidad técnica y práctica.

5.2.1 Eficiencia en el uso de agua

De acuerdo al análisis realizado por medio del checklist, el edificio no cuenta con métodos implementados para lograr eficiencia en el consumo de agua potable. Al realizar el levantamiento de la cantidad y tipos de accesorios e instalaciones sanitarias, el edificio cuenta con accesorios e instalaciones sanitarias convencionales, exceptuando el grifo de la cocina, que apenas cumplen con los estándares de consumo. La utilización de sistemas ahorradores, o un sistema de aguas lluvias o grises tratadas para suplir el agua usada en sanitarios y orinales podrían ayudar en la reducción del consumo de agua potable y por tanto a cumplir con el Crédito 2 de la categoría. Un medidor del consumo de agua para el edificio se podría considerar si se buscara la certificación, no siendo el caso, no se considera entre las alternativas.

- **Accesorios eficientes**

Se propone el reemplazo de las instalaciones sanitarias existentes en el edificio por accesorios de fábrica, con tasas de consumo que excedan los estándares establecidos en el Código Internacional de Plomería (IPC) y el Código Uniforme de Plomería (UPC). Sólo se considera el reemplazo de los sanitarios en los baños de mujeres. Se proponen accesorios con las siguientes especificaciones.

Tabla 5.1: Especificaciones de accesorios propuestos.

Descripción	Especificación	Consumo
Fluxómetro – Válvula de descarga	Helvex	1.2 gpd
Orinales sin agua	Sloan/WES-5000	0.0 gpd
Grifería en lavamanos con temporizador – 12 segundos	Docol/AC-0361	0.5 gpm

Los resultados para el caso de diseño, utilizando instalaciones sanitarias más eficientes en el edificio son mostrados en la Figura 5.1. El ahorro económico está basado en una tasa de COP $4,531.37/m³ por suministro de agua y disposición de aguas residuales para edificios comerciales (Emcali).

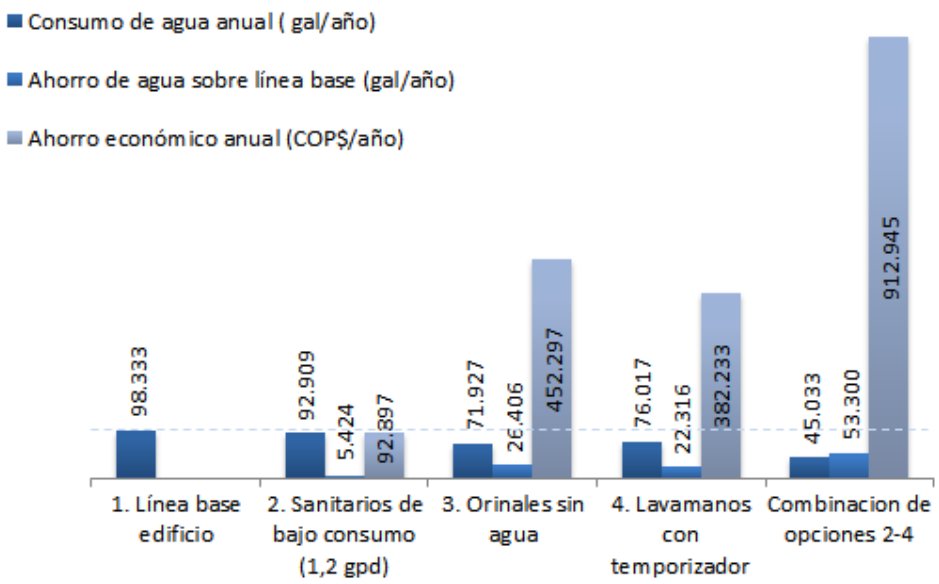


Figura 5.1: Evaluación de los ahorros por estrategia en consumo de agua.

Con la combinación de sanitarios de bajo consumo, orinales que no utilizan agua y lavamanos con temporizador se puede alcanzar un ahorro anual en el uso del agua de 53,300 galones, lo que corresponde a una reducción del 54% por debajo de la línea base, y con ello un ahorro de COP $912,945 en el gasto anual. Cabe mencionar que el gasto anual por el consumo actual de agua en el edificio asciende a COP $1’684.305.

5.2.2 Energía y atmósfera

Realizado el diagnóstico por medio del checklist, se puede observar que el edificio no cumple con estándares de eficiencia energética. Ciertamente cumple con dos de los créditos de la categoría, sin embargo, el cumplimiento de estos créditos no permite direccionarnos hacia reducir el consumo de energía como uno de los objetivos del proyecto.

Habiendo identificado los consumo y su incidencia dentro del edificio (ver Tabla 4.6) se analizan distintas opciones, dentro de un amplio abanico de posibilidades. Cabe destacar que previo a la definición de las propuestas, se analizan el amplio conjunto de opciones que existen que no signifiquen un impacto en la estructura del edificio, dado que la finalidad es mejorar de manera eficiente los sistemas existentes.

Iluminación

Del cálculo del consumo energético por los sistemas de iluminación, se puede deducir tres opciones para reducir el consumo atribuido a estos sistemas: (1) Reducir la potencia instalada de las lámparas y balastros; (2) Reducir el tiempo de uso sólo cuando sea necesario a través de controles de iluminación; y (3) Reducir el número de luminarias en

casos donde los niveles de iluminación estén por encima de los requeridos para el tipo de espacio.

El sistema de iluminación del edificio es viejo debido a los años de construcción del proyecto; se podría pensar en una renovación o rediseño de las acometidas de iluminación. Algunos espacios presentan luminarias más innovadoras con reflectores y lámparas fluorescentes T8 de 39 W, pero la iluminación en gran porción de los espacios de oficina, sala de cómputo, áreas de trabajo y corredores, es proporcionada por luminarias viejas con lámparas fluorescentes T12 de 75 W. Existen nuevas lámparas disponibles que pueden proporcionar niveles comparables de iluminación con una potencia muy reducida. Se podría considerar mantener las luminarias con lámparas T8, y solo reemplazar las luminarias existentes en aquellos espacios que no utilicen lámparas T12.

Se propone reemplazar las lámparas existentes T12 de 75 W por T8 de 32 W más eficientes; también instalar sensores de ocupación en áreas como corredores y baños, y sistemas de control de iluminación natural en grandes y regularmente ocupados espacios de trabajo en el edificio a manera de desarrollar una solución integral para solucionar estas deficiencias.

- **Lámparas eficientes**

La primera propuesta, supondría también el reemplazo de las luminarias existentes que contienen estas lámparas por nuevas luminarias con balastro electrónico, pues estos no son compatibles con la potencia reducida. Se estima el reemplazo de 130 tubos fluorescentes T12 de 75 W.

Para estimar los ahorros energéticos por el reemplazo de las luminarias, se realiza el mismo cálculo para el consumo de la energía con la implementación de esta propuesta. La diferencia entre estas dos estimaciones representará este valor. Con esta propuesta se logra un ahorro del 18% en el consumo por iluminación, lo que deriva en un consumo total de 31225 kWh y un ahorro económico de COP $3’046.382 al año.

- **Sensores de ocupación**

Hay cuatro baños localizados en el edificio. En estos espacios la iluminación es proporcionada con luminarias con dos (2) lámparas T8 de 39 W y controlados por interruptores en las paredes. También se propone la instalación de estos dispositivos en los corredores del edificio. La instalación de sensores de ocupación con tecnología infrarrojo reducirá significativamente el tiempo de operación de las lámparas, principalmente en los baños durante el día y en corredores interiores en la primera planta donde algunas lámparas permanecen encendidas sin necesidad alguna.

Para efectos de cálculo se asume un 10% de reducción en el consumo por iluminación como lo especifica el apéndice G de ASHRAE 90.1. El mismo método de cálculo descrito para el ahorro de energía atribuido al reemplazo de las lámparas se utiliza con una reducción del 10% en la carga de iluminación en corredores y baños. El ahorro de energía se estima en 1,108 kWh/año lo que se traduce en un ahorro económico de COP $483,976.

TABLE G3.2 Power Adjustment Percentages for Automatic Lighting Controls

Automatic Control Device(s)	Non-24-h and ≤ 5000 ft^2	All Other
1. Programmable timing control	10%	0%
2. Occupancy sensor	15%	10%
3. Occupancy sensor and programmable timing control	15%	10%

Figura 5.2: Factores de reducción para simulación de diferentes dispositivos de control. [Fuente: ASHRAE, 2010]

Climatización

El edificio no utiliza un sistema centralizado que puede entregar mayor funcionalidad y eficiencia al sistema de climatización en el edificio. Los espacios son climatizados por unidades individuales del tipo Split y ventana. El consumo en el edificio por estos sistemas de aire acondicionado individuales es 34% del consumo total.

El comportamiento de un sistema de climatización depende tanto de las demandas y utilización de los espacios como de las características propias del sistema, y de su sistema de distribución. El comportamiento de este tipo de mecanismos es tan diverso como cantidad de combinaciones y sistemas exista. Una de las novedosas alternativas para la climatización de espacios es un sistema de climatización central del tipo Volumen de Refrigeración Variable (VRV).

La implementación de un sistema VRV en el edificio en reemplazo de los sistemas actuales, permitiría reducir el consumo de energía asociado a este ítem. Esta tecnología controla la distribución del aire refrigerado de manera proporcional a través de un circuito de conductos en base a la demanda, y por lo tanto, entrega la cantidad adecuada para cada necesidad de temperatura sin que el circuito se encuentre operando permanentemente; además pueden seleccionarse estas condiciones ambientales de manera individualizada en cada espacio. Mientras que un sistema tradicional entrega una potencia constante en función de la demanda, independientemente de donde se origine el VRV responde a demandas específicas, minimizando la operación y en consecuencia, menor consumo eléctrico (en un rango estimado entre el 11% y el 17% en comparación con unidades

convencionales). Teniendo varias ventajas sobre los sistemas individuales, no obstante, la implementación de un nuevo sistema de climatización, aunque podría amortizar su costo inicial en algunos años, implicaría un elevado costo y un reacondicionamiento estético puesto que el edificio no cuenta con cielos falsos en los espacios que alberguen el sistema. Ante tal contexto, no se considera una opción viable para el edificio.

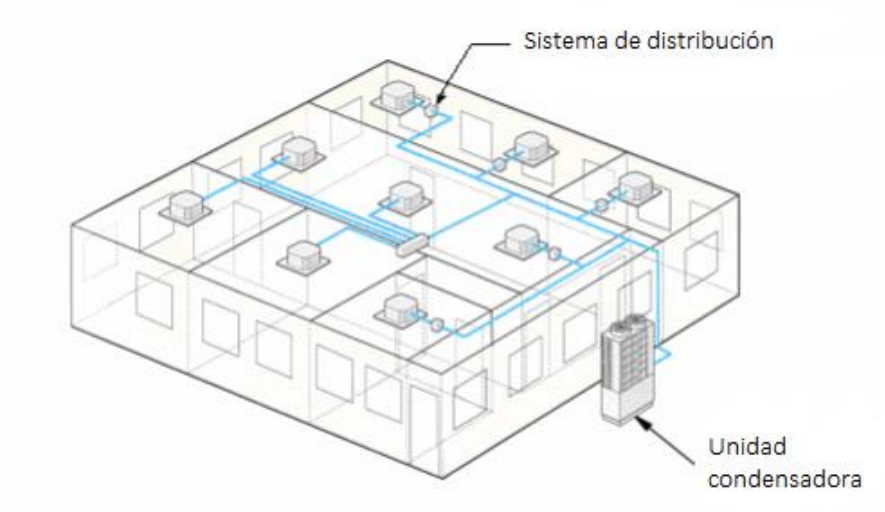


Figura 5.3: Sistema VRV con múltiple unidades evaporadoras. [Fuente: http://www.seedengr.com]

Ciertamente en el edificio el uso de sistemas individuales permite mayor flexibilidad de instalación, mantenimiento y reparación por tratarse de sistemas un poco menos complejos; los sistemas centralizados requieren controles constantes del funcionamiento del sistema para evitar sobreconsumos y fugas de gas refrigerante.

Se proyecta reemplazar sólo los aparatos de aire acondicionado tipo ventana, por equipos del tipo mini Split que consumen menos energía. Con ello se logra reducir el consumo anual por climatización en 14,044 kWh (aprox. un 12%), lo que representa un ahorro económico de COP $6’134.864 en los costos anuales.

Energía renovable

Dentro del diagnóstico eléctrico se hizo evidente que el edificio 350 alberga una serie de laboratorios pesados del Área de Mecánica de Sólidos en que se utilizan equipos y elementos de prueba de enorme dimensión. Estos incluso llegan a representar el 39% del consumo eléctrico en el edificio. El consumo dado el uso de equipos eléctricos y equipos de fuerza resulta un poco difícil de mejorar con la sustitución de equipos, en el caso de los equipos eléctricos, sustituyendo al menos el 40% de ellos por equipos certificados ENERGYSTAR como lo exige LEED.

Se propone la instalación de un sistema de energía renovable, específicamente un sistema de paneles fotovoltaicos, que ayude a suplir la demanda de energía convencional en el edificio con la generación de electricidad a través de energía solar.

Esta propuesta se alinea con los fines de la Universidad establecidos en su política ambiental, donde busca adoptar el uso de energías renovables dentro de las actividades de extensión, administración y gestión de su infraestructura con el fin de optimizar y reducir el consumo energético, además de promocionar el uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Un panel fotovoltaico policristalino del tipo On-grid puede llegar a aportar 240 W a plena capacidad y ocupa aproximadamente 1,3 m² de superficie. Este tipo de panel permite que la energía eléctrica producida sea inyectada a la red, de este modo no requiere de baterías de ciclo profundo para almacenar energía.

A manera de realizar una propuesta práctica que nos permita estimar cuanta electricidad puede aportar un sistema fotovoltaico al edificio, se plantea el siguiente ejercicio teniendo en cuenta varias de las variables en el diseño de un sistema fotovoltaico:

Se considera la utilización de la superficie de cubierta del edificio para su instalación. El diseño de sistemas fotovoltaicos recomienda la orientación de los módulos hacia el plano ecuatorial, por lo que se plantea ubicar los módulos sobre la superficie con inclinación hacia el sur en el sector norte de la cubierta; tenemos entonces una superficie útil aproximada de 320 m2. Para establecer la inclinación óptima de los paneles de manera que logren la máxima captación de energía solar a lo largo del año se utilizó una fórmula con base en datos estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones en función de la latitud del lugar; esto es 24.4°. La irradiación global anual que recibe un panel con esta inclinación es 1852,28 kWh/m², mucho mayor a la irradiación que recibe en horizontal. La estructura de soporte que cargará los paneles tendrá un área de 350 m² e inclinación hacia el sur de 24.4°, de esta manera podemos ubicar en ella 265 paneles. Para calcular la energía que puede aportar el sistema a lo largo de un año, se emplea la siguiente fórmula con un rendimiento estimado del sistema del 75% por pérdidas de temperatura, conductores eléctricos, inversores y otros elementos del sistema.

$$E = 0.75 * I_{global} * P_{panel} * N = 0.75 * 1852{,}28 * 0{,}24 * 265 = \mathbf{88{,}354\ kWh}$$

Esto equivale a aproximadamente 26% de la electricidad que se consume en el edificio, lo que permitiría un ahorro anual del COP $38’594.794.

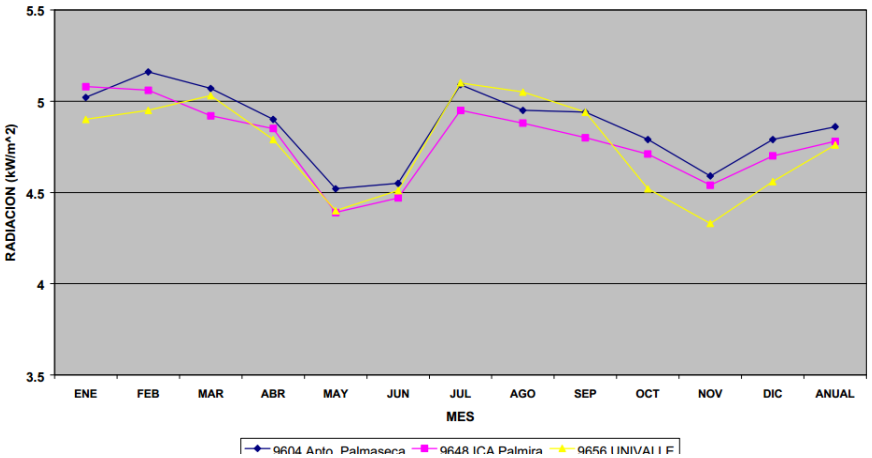


Figura 5.4: Radiación solar global promedio en Cali. [Fuente: www.solutecnia.com.co]

5.2.3 Calidad del ambiente interior

Los aspectos sobre la calidad ambiental interior tienen una correlación directa con el rendimiento energético del edificio. Mantener los niveles óptimos de confort, específicamente en iluminación y climatización, puede requerir un uso adicional de la energía. Sin embargo, la necesidad adicional de energía puede ser mitigada por la implementación de económicas medidas que pueden contribuir a reducir la dependencia de estos sistemas.

Incremento de la ventilación natural

Se propone optimizar la ventilación cruzada del edificio con el reemplazo de las ventanas fijas por operables del tipo proyectante que permitan la entrada y flujo de las corrientes cruzadas de aire en los espacios de la fachada norte y sur del edificio. Cuando se utiliza la ventilación natural, en el contexto de su efecto en el confort, cabe mencionar que el factor más importante es la velocidad del aire sobre el cuerpo humano. Se establece que la velocidad del aire en el interior de un espacio por encima de 1 m/s produce incomodidad por exceso de movimiento del aire y por debajo de 0.5 m/s produce incomodidad por la estabilidad del aire en el espacio. Los informes de calidad del aire en Cali también reflejan datos sobre la velocidad del aire, para una velocidad promedio de 2.5 m/s registrada en Cali el último año. Si bien está sobre el rango mencionada, la ventana por ser del tipo proyectante permitirá que el aire entre al espacio a una reducida velocidad.

También es importante los patrones de flujo del aire cuando circula el espacio de manera que pueda abarcar la mayor parte de él y que este dirigido hacia las personas. En este caso, para los espacios de oficinas y salas de clase la mejor posición de las ventanas es a la altura del plano de trabajo.

En orden de estimar los ahorros en el consumo de aire acondicionado por la implementación de esta estrategia, se asume que tiene un impacto sobre este consumo cerca de 7.31%, de acuerdo a un estudio realizado en un edificio de similares características con el apoyo de una simulación energética para establecer el cálculo del ahorro energético por varias propuestas (Rahman, M., 2010). Con esto, su implementación podría generar cerca de 8,302.58 kWh/m²-año de ahorro energético por reducción de la demanda de los aires acondicionados, lo que representa un ahorro económico anual de COP $3’631.721.

Capítulo 6: Análisis de la inversión

Existen diferentes criterios para evaluar la viabilidad económica de las estrategias, desde métodos simples a métodos más sofisticados. El período simple de retorno (SPP) es el indicador más frecuentemente usado a pesar de sus limitaciones para realizar inversiones de capital en edificios comerciales debido a su simplicidad. El SPP es definido como el costo de la inversión, dividido entre el ahorro económico anual, por ahorros en el consumo y mantenimiento. El SPP trae todos los costos y ahorros durante el ciclo de vida de la estrategia a su valor presente sin la consideración de futuros cambios o riesgos; típicamente es favorable una inversión con un SPP de 2 a 3 años o menos, aunque a veces se prefiera invertir en un proyecto con mayores períodos de retorno. Por otra parte, el análisis del costo de ciclo de vida (LCCA) un nivel de sofisticación a la evaluación por considerar el valor temporal del dinero, variación en las tasas de costos de energía, impuestos, incentivos, y un irregular programa de mantenimiento, entre otros.

Otros muchos indicadores económicos también pueden usarse para la evaluación de las medidas, como la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN) y relación ahorro-inversión (SIR).

Para evaluar la viabilidad económica de las estrategias propuestas, se escogieron los siguientes criterios: VPN, SPP y TIR, considerándolos los más comunes y que pueden darnos un indicador confiable de si las medidas son eficientes y costo-efectivas. Es decir, un sólo indicador no nos permite emitir un juicio de valor sobre qué tan costo-efectiva es una medida si queremos realizar una inversión, por lo que el SPP y la TIR podrían decirnos en cuanto tiempo recuperaremos la inversión y qué tan rentable es su implementación.

6.1 Supuestos y criterios para el cálculo

Área: Sanitaria

- **WE01: Reemplazar válvulas de descarga para menor consumo en sanitarios (1.2 gpd)**

La estimación incluye el costo de reemplazar simplemente la válvula de descarga (compra e instalación) sólo en los sanitarios de los baños de las mujeres. Se propuso inicialmente implementar la estrategia a los cuatro baños del edificio, pero no pareció rentable y se verificó con el cálculo; ciertamente, realizando un análisis de los estándares de uso en LEED, la tasa de uso de los sanitarios en los baños de hombres es muy reducida en comparación con el de las mujeres, contando que sólo el 10% de estos hacen uso del

sanitario una vez al día y que usualmente usan más el orinal. Se estima también costos de mantenimiento por limpieza y averías en el sistema durante su período de vida útil (8 años).

Tabla 6.1: Resumen WE01.

WE01: Reemplazar válvula de descarga para menor consumo en sanitarios					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 535.000		20,5		$ 92.893	5,8

- **WE02: Reemplazar orinales por orinales que no utilizan agua**

Con base en lo expuesto anteriormente, el edificio 350 podría reducir su consumo de agua considerablemente si se reemplazan los orinales con una alternativa para el menor consumo, en este caso orinales que no utilicen agua. La estimación incluye el costo del orinal e instalación.

Tabla 6.2: Resumen WE02.

WE02: Implementar orinales que no utilicen agua					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 2.211.200		96,2		$ 435.918	5,1

- **WE03: Utilizar en lavamanos grifos con temporizador**

El uso de controles de flujo en los grifos de los lavamanos puede ayudar a conseguir grandes ahorros en el consumo de agua en el edificio. Se optó por grifos con tecnología *push*, con 0.1 galones para una descarga de 12 segundos, como una alternativa más económica y apropiada que otros grifos con tecnología de sensor infrarrojo, más frecuentes en otro tipo de edificios. La estimación de sus costos incluye el costo de comprar e instalar diez (10) grifos.

Tabla 6.3: Resumen WE03.

WE03: Implementar en lavamanos grifos con temporizador					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 1.242.840		84,5		$ 382.765	3,2

Área: Iluminación

- **EA01: Reemplazar tubos fluorescentes T12 75 W por T8 32 W**

El reemplazo de las lámparas que se propone supone reemplazar también las luminarias que las contienen y el balastro electrónico que sea compatible con la potencia requerida. Se tomó para el cálculo un período de útil de 20 años de la instalación. La estimación incluye el costo de 130 lámparas T8 de 32 W marca Sylvania, 65 luminarias y 65 balastros (2 por 32W) marca Sylvania, el costo total de su instalación y costos periódicos por mantenimiento y reemplazo de las lámparas y balastros para cuando cumplen su vida útil de 15,000 y 25,000 horas respectivamente.

Tabla 6.4: Resumen EA01.

EA01: Reemplazar tubos fluorescentes T12 75 W por T8 32 W					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 8.102.500	6974,00		5227,01	$ 3.046.383	2,7

- **EA02: Instalar sensores de ocupación**

Se define el número de sensores considerando ciertas recomendaciones del proveedor para su ubicación, su cobertura radial y puntos de paso. Se deben programar de tal manera que minimicen la longitud de tiempo en el que el espacio es desocupado y las lámparas se apagan. La estimación incluye el suministro e instalación de 13 sensores de ocupación en los cuatro (4) baños y corredores. El ahorro estimado está en base al porcentaje que define el método de cuantificación del desempeño energético en ASHRAE 90.1, aplicado sobre el consumo sólo de las luminarias en los baños y corredores que afectan directamente los dispositivos, y no sobre el consumo total de iluminación.

Tabla 6.5: Resumen EA02.

EA02: Instalar sensores de ocupación					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 687.700	1108,00		830,45	$ 483.997	1,4

Área: Climatización

- **EA03: Reemplazar equipos tipo ventana por tipo mini Split**

La estimación incluye el costo de reemplazo e instalación de los cuatro (4) equipos tipo ventana en el edificio por equipos tipo mini Split, marca Samsung con una capacidad de enfriamiento de 9000 Btu/hr, considerando que es apropiado a la dimensión de los pequeños espacios que debe refrigerar, y un consumo de 900 W, la mitad de lo que consumen los equipos tipo ventana y mucho menor que los equipos mini Split instalados en el edificio.

Tabla 6.6: Resumen EA03.

EA03: Reemplazar equipos tipo ventana por tipo mini Split					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 4.920.000	14044,00		10525,98	$ 6.134.700	0,8

Área: Energía

- **EA04: Instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos en la cubierta**

La estimación incluye la compra de 265 paneles fotovoltaicos On-grid de 240 W, costos por el estudio de ingeniería, estructura de soporte, inversores e instalación. Se considera una vida útil del sistema de 25 años, durante la cual prácticamente no requiere ningún tipo de mantenimiento correctivo por avería, sólo supervisión general y limpieza que puede llevar a cabo el propio personal de mantenimiento de la Universidad.

Tabla 6.7: Resumen EA04.

EA04: Instalar sistema de paneles fotovoltaicos en cubierta					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 260.652.276	88354,00		66221,32	$ 38.594.794	6,8

Área: Envolvente

- **IEQ1: Instalar ventanas de tipo proyectante con vidrio templado 5mm**

Las ventanas serán del tipo proyectante con vidrio templado de 5 mm y profundidad del marco de 61 mm, para mejor aislación acústica y térmica, lo que permitiría disminuir el traspaso del ruido hacia el interior de los espacios, ganancias de calor y mantener por más tiempo el efecto del aire acondicionado. La estimación incluye el costo por suministro e instalación de la cantidad de ventanas a instalar en el segundo piso del edificio (17 ventanas).

Tabla 6.7: Resumen IEQ1.

IEQ1: Instalar ventanas operables del tipo proyectante con vidrio templado					
Costo de implementación	Ahorro anual		Reducción CO_2	Ahorro económico anual	Período de retorno
	Electricidad	Agua			
COP $	kWh	m^3	kgCO2	$	Años
$ 3.692.995	8314,00		6231,34	$ 3.631.721	1,1

El período de retorno en las tablas corresponde al cálculo considerando nada más el costo por implementación y ahorro económico anual, y no otros costos durante la vida útil de la estrategia, costos que sí se consideraron en la evaluación económica en la siguiente sección.

6.2 Análisis económico

La Figura 6.1 resume en un cuadro económico los resultados del análisis económico realizado. Todas las estrategias consideradas son económicamente viables; generalmente para que una medida sea costo-efectiva su SPP debe ser menor a 5 años. Como se puede ver en el cuadro, la estrategia EA03 tiene un "casi inmediato" período de retorno, menor a un año, y el menor de todas debido al ahorro potencial que se puede alcanzar durante la vida útil de los equipos de aire acondicionado con una pequeña inversión de capital. Considerar primero su implantación sobre todas las demás propuestas sería sin duda una buena decisión.

El ahorro total y costo total en el cuadro corresponden al ahorro y costo durante toda la vida útil estimada para la alternativa. Concretamente, estos dos valores representan el VPN de ingresos y el VPN de egresos, respectivamente, y su diferencia nos arroja el VPN de la estrategia, el cual debe ser mayor a cero para que sea factible su implementación.

Figura 6.1: Cuadro económico de las alternativas.

CÓD.	ESTRATEGIA	TIPO DE ESTRATEGIA	AHORRO ANUAL		COSTO TOTAL ($)	AHORRO TOTAL ($)	VPN	TIR	SPP (Años)
			ELECTRICIDAD (kWh)	AGUA (m^3)					
WE01	REEMPLAZAR VÁLVULA PARA MENOR CONSUMO EN SANITARIOS	SANITARIA		20,5	$ 574.917	$ 595.564	$ 20.647	6,15%	7,4
WE02	IMPLEMENTAR ORINALES QUE NO UTILICEN AGUA	SANITARIA		96,2	$ 2.275.067	$ 2.794.791	$ 519.724	10,76%	6,3
WE03	IMPLEMENTAR EN LAVAMANOS GRIFOS CON TEMPORIZADOR	SANITARIA		84,5	$ 1.562.173	$ 2.454.012	$ 891.839	21,18%	4,2
EA01	REEMPLAZAR LÁMPARAS T12 75 W POR T8 32 W	ILUMINACIÓN	6974,0		$ 10.344.101	$ 37.329.027	$ 26.984.927	36,37%	2,8
EA02	INSTALAR SENSORES DE OCUPACIÓN	ILUMINACIÓN	1108,0		$ 687.700	$ 4.241.803	$ 3.554.103	70,26%	1,5
EA03	REEMPLAZAR EQUIPOS TIPO VENTANA POR TIPO MINI SPLIT	ILUMINACIÓN	14044,0		$ 6.296.511	$ 46.913.792	$ 40.617.281	120,99%	0,8
EA04	INSTALAR SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	ENERGÍA	88354,0		$ 260.652.276	$ 533.214.510	$ 272.562.234	14,28%	6,9
IEQ1	INSTALAR VENTANAS DEL TIPO PROYECTANTE DE VIDRIO Ttemplado	ENVOLVENTE	8314,0		$ 3.692.995	$ 50.174.813	$ 46.481.818	98,34%	1,1
	TOTAL		118794,0	201,17	$ 286.085.739	$ 677.718.312	$ 391.632.573		
	% REDUCCIÓN SOBRE CONSUMO TOTAL		35%	54%					
	CONSUMO ACTUAL		337237,0	371,7					

Capítulo 7: Estrategias y créditos LEED

Con el objetivo de analizar el impacto ambiental de las medidas propuestas en el edificio, se correlaciona cada una de ellas con las diferentes categorías y criterios en LEED para conocer el grado potencial de sostenibilidad que puede alcanzar el edificio implementando las medidas propuestas. El análisis se realiza ante la necesidad de conocer aquellos beneficios con un valor objetivo cuantificable, no en dinero, sino en indicadores ambientales, objetivamente verificables cuando realizamos la evaluación con el checklist de LEED, para establecer una relación coste-beneficio.

Tabla 7.1: Relevancia de las estrategias sobre créditos LEED.

Área LEED	Créditos LEED EB 2009	Puntos posibles	Estrategias								
			WE01	WE02	WE03	EA01	EA02	EA03	EA03	EA04	IEQ1
SS	Crédito 7.1: Reducción efecto isla calor - Techo	1								●	
WE	Prerrequisito 1: Puntos mínimos de salida de agua y eficiencia de accesorios.	Cumple	●	●	●						
WE	Crédito 2: Puntos adicionales de salida de agua y eficiencia de accesorios	5	●	●	●						
EA	Prerrequisito 2: Mínimo consumo energético	No cumple				●	●	●	●	●	●
EA	Crédito 1: Optimización del consumo energético	0				●	●	●	●	●	●
EA	Crédito 4: Uso de energías renovables	6								●	
IEQ	Crédito 1.3: Incremento de ventilación	1									●
IEQ	Crédito 2.4: Luz natural y vistas	1									●

Se define el grado de sostenibilidad que podría alcanzar el edificio de acuerdo a la escala de puntos establecida en LEED para cada criterio evaluado. Podemos concluir que con la implementación de todas las estrategias propuestas el edificio alcanzaría 15 puntos, sólo dentro de las áreas y criterios evaluados, lo que sería que de 59 puntos posibles el edificio obtiene el 25% de ellos, y sobre el puntaje mínimo para alcanzar la certificación que es 40 puntos, obtiene el 38%.

La implementación de las medidas propuestas no permiten que el edificio alcance niveles de rendimiento energético iguales o por debajo de los que establece LEED, para ello se podría considerar empezar por optimizar el diseño del sistema fotovoltaico a fin de que pueda suplir de mayor energía al edificio y conseguir este propósito; Sin embargo, se logra reducir el EUI del edificio a 86.9 kWh/m²-año lo que refleja una disminución considerable del gasto de energía, y 89,036 kgCO_2 al año (aprox. 35%) se dejan de emitir a la atmósfera.

Capítulo 8: Conclusiones

Utilizar parámetros LEED dentro de un proyecto específico, de acuerdo al tipo de edificación y etapa del ciclo de vida, permite la evaluación de un diseño, o más concretamente en nuestro caso, una edificación; ofreciendo un amplio abanico de posibilidades para mejorar el rendimiento ambiental de un edificio, desde medidas a coste cero a otras medidas más costosas, aun cuando no sea la certificación el objetivo final del proyecto.

Las medidas propuestas en este trabajo demuestran que es factible realizar mejoras que generen beneficios (ahorro económico, confort, etc.), sin generar con ello una intervención mayor en la estructura y distribución de los espacios en el edificio. Tomando en cuenta que su implantación conjunta en el edificio es poco probable, contar con estos tres indicadores (VPN, TIR y SPP) nos permite establecer un criterio para priorizarlas dentro de un programa de inversión para la renovación ambiental del edificio.

En cuanto hacer uso de energía renovable, aunque la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica permite ahorros anuales en su consumo de 88,354 kWh, contribuye al desarrollo de otros créditos y su implantación sería viable a largo plazo; no permite que sea una opción a considerar en un corto plazo por los altos costos iniciales asociados a ella. Su implantación estaría condicionada a un análisis más exhaustivo, como llevar a cabo una auditoría Nivel 3 que proporcione un cálculo detallado de los costos y ahorros del proyecto con un alto grado de confiabilidad suficiente para estas grandes decisiones de inversión, y que su implantación sea realizable en la medida de que la inversión sea retribuida por medio del ahorro generado; además, que dé criterios fuertes para su consideración e introducción dentro de un plan de inversión que rige la asignación de presupuesto en la Universidad.

Ante ello, una alternativa puede ser optar por la *compra de energía verde o green power purchase* que ha emergido en los últimos años como una estructura de financiación dentro del portafolio de servicios de empresas certificadas comercializadoras de energía, para el uso de energías renovables, en que los propietarios pueden adquirir energía renovable a un precio fijo de una empresa externa, dueña y encargada de la instalación, mantenimiento y operación del sistema en el edificio o sitio definido por el cliente.

De la metodología se reconocen diversos factores para obtener un valor real de consumo de energía anual. La estimación del consumo se realizó con base en la estimación del tiempo de operación de los equipos de acuerdo los horarios de ocupación de los espacios. Si bien esta caracterización es adecuada, los consumos reales varían en cierta medida. Si se quieren obtener valores muy precisos, se debe recurrir a una simulación energética del edificio perfectamente calibrada (entre un 5 y 10 % en el porcentaje de error según investigaciones)

con la implementación de sistemas de medición y control de cada uno de los elementos consumidores en el edificio para un seguimiento in situ que permita obtener una caracterización correcta y de mayor detalle en la utilización de espacios y sistemas (iluminación, climatización y equipos de cómputo).

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, Leonel. *Metodología para el análisis del consumo teórico de energía en edificios universitarios: Caso campus de Baix Llobregat.* Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. 2009.

Ahn, Changbum. *An Integrated Framework for Sustainable Construction Processes: Understanding and managing the environmental performance of construction operations.* Thesis, Doctor of Philosophy in Civil Engineering. University of Illinois. Urbana, Illinois. 2012.

Álvarez, L. *Edificación y desarrollo sostenible. GBC: Un método para la evaluación ambiental de edificios.* Informes de la Construcción, vol. 55, No. 486, pp. 63-70. Agosto, 2003.

ASHRAE. *ASHRAE 90.1-2007: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings.* 2007.

ASHRAE. *ASHRAE 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.* 2007.

Azari, R. and Kim, Yong-Woo. *Evaluating Integrated Design Process of High-Performance Green Buildings.* 49th ASC Annual International Conference Proceedings, Seattle, Washington. 2013.

Chung, M. and Rhee, E. *Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea.* Energy and Buildings, vol. 78, pp. 176-182. January, 2014.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCSS). http://www.cccs.org.co.

Dall'O', G., Specchер A., & Bruni, E. *The Green Energy Audit, a new procedure for the sustainable auditing of existing buildings integrated with the LEED Protocols.* Sustain Cities Soc., vol. 3, pp. 54-65. July, 2012.

Department of Civil and Environmental Engineering (CEE). *Stanford Green Dorm: Feasibility Report*. Stanford University. Stanford, CA. USA. 2006.

Department of Energy (DOE), USA. *Guidebook to Decision-Making Methods.* USA. 2001.

Deru, M., ASHRAE. *Procedures for Commercial Building Energy Audits.* Second Edition. Atlanta. 2011.

Fernández, Gonzalo. *Ingeniería Sostenible: Nuevos objetivos en los proyectos de construcción.* Revista Ingeniería de Construcción, vol. 25, No. 2, pp. 147-160. Agosto, 2010.

Fernández, Gonzalo. *Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de Ingeniería Civil.* Tesis doctoral Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 2010.

Haymaker, J. & Chachere, J. *Coordinating goals, preferences options, and analyses for the Stanford Living Laboratoyry.* CIFE Technical Report No. TR181, Center for Integrated Facility Enginerring (CIFE). Stanford University, Stanford, CA. 2009.

Horman, M., Riley, D. & Pulaski, M. *Lean and Green: Integrating Sustainability and Lean Construction.* CIB World Building Congress, Toronto, Canada. 2004.

Kats, G. *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings.* California's Sustainable Building Task Force. October, 2003.

Krarti, M. *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach.* CRC Press, Second Edition. 2011.

Kubba, S., LEED AP. *LEED: Practices, certification and accreditation handbook.* Elsevier. Burlington, Ma, USA. 2010.

Macías, M. *Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios.* Informes de la Construcción, vol. 62, No. 517, pp. 87-100. Marzo, 2010.

McGraw-Hill Construction. *Green BIM: How Building Information Modelling is contributing to green design and construction.* 2010.

North American Insulation Manufacturers Association (NAIMA), USA. *High-Performance Reconstructed Buildings: The 99% Solution.* Building Desing and Construction. 2012.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). *Buildings Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development*. June, 2012.

Pulaski, M. *The alignment of sustainability and constructability: A continuous value enhancement process.* Thesis, Doctor of Philosophy. Deparment of Architectural Engineering, Pennsylvania State University. 2005.

Rahman, M., Rasul, M. and Khan, M. *Energy conservation measures in a institutional building in sub-tropical climate in Australia.* Applied Energy, vol. 87, pp. 2994-3004. May, 2010.

Scheuer, G., Keoleian, G. and Reppe, P. *Lyfe cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications.* Energy and Buildings, vol. 35, pp. 1049-1064. May, 2003.

Tantisevi, K. & Sornsuriya, K. *Building information model for evaluating the building energy performance: a case study.* Department of Civil Engineering, University of Technology. Bangkok, Thailand.

U.S. Green Building Council (USGBC). http://www.usgbc.org.

U.S. Green Building Council (USGBC). *LEED for Existing Buildings: Operations and Maintenance Rating System With Alternative Compliance Paths for Projects Outside the U.S.* 2009 (Updated November 2011). Washington, DC. 2011.

USGBC. *LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction for Design, Construction and Major Renovations of Commercial and Institutional Buildings.* Washington, DC. 2009.

Varela, Sergio Adrián. *Evaluación de un edificio para oficinas, según requerimiento de la norma ASHRAE 90.1-2007, para tres zonas climáticas de chile.* Tesis de pregrado, Ingeniería Civil. Santiago de Chile. Universidad de Chile. 2011.

Vijaya Yellamraju, LEED AP. *LEED – New Construction Project Management.* McGraw-Hill's Green Source, McGraw-Hill Construction. 2011.

Yudelson, J. *Marketing Green Building Services: Strategies for Success.* First Edition 2008, Elsevier. Burlington, Ma, USA. 2008.

Zhenjun Ma, Cooper, P., Daly D., and Ledo, L. *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art.* Energy and Buildings, vol. 55, pp. 889–902. December, 2012.