

# Utilización de la Metodología SBTool-Pt para la Evaluación y Optimización del Nivel de Sustentabilidad de un Edificio de Servicios de Grandes Dimensiones

**Luis Bragança**

Universidade do Minho – Portugal  
[braganca@civil.uminho.pt](mailto:braganca@civil.uminho.pt)

**Ricardo Mateus**

Universidade do Minho – Portugal  
[ricardomateus@civil.uminho.pt](mailto:ricardomateus@civil.uminho.pt)

**Oscar Urbina Leal**

Universidade do Minho - Portugal  
[a83410@civil.uminho.pt](mailto:a83410@civil.uminho.pt)

## ABSTRACT

*Sustainable construction seeks to fulfil sustainable development's objectives, which are: to preserve regional cultural identity; minimize energy consumption; protect and preserve resources; use eco-friendly and efficient materials; maintain a healthy and comfortable indoor environment; and reduce the costs of the life cycle of the building. This paper seeks to present the work developed to assess and optimize the sustainability of a service building in Lisbon with the application of a sustainability assessment tool, SBtool<sup>PT</sup>-S. Firstly, the results obtained in each of the categories and indicators are analysed and presented, showing the strengths and weaknesses of the building. Secondly, the proposed solutions that lead towards an increase of the sustainability level of the assessed building are introduced, showing that with a small amount of investment it is possible to achieve high performance in this type of buildings and have a high profit along the life cycle of the building.*

**Keywords:** SBTOOL-PT; Sustainable Construction; Service Buildings.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este estudio promueve y apoya el objetivo de la Estrategia Nacional de Desarrollo Sostenible, para que Portugal sea uno de los países más competitivos y atractivos de la Unión Europea en términos de responsabilidad económica, ambiental y social, con el cual busca posicionarse entre los primeros veinte países del Índice de Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (OLIVEIRA, 2013).

El objetivo principal de este artículo es presentar la evaluación y optimización del nivel de sostenibilidad de un edificio de servicios en Lisboa utilizando la metodología SBTool<sup>PT</sup> para edificios de servicios. Primero, se realizó una evaluación y análisis del estado actual del edificio, identificando los puntos fuertes y débiles del edificio, segundo, fueron propuestas varias medidas para optimizar el nivel de sustentabilidad del edificio, por último, fueron evaluados el conjunto de medidas propuestas en conjunto de la utilidad que estas conllevan.

Teniendo en cuenta que, actualmente no existen estudios previos para discutir en detalle los principios y soluciones aplicables para mejorar el nivel de sostenibilidad de los edificios de servicios de grandes magnitudes en Portugal, la obra propuesta es de gran importancia, pues se constituirá en base para los diseñadores que desean concebir edificios de servicios más sostenibles.

### 1.1. Estado del arte

La industria de la construcción utiliza actualmente cerca del 40% de energía, el 50% de la materia prima y un 25% del agua consumida anualmente en el mundo. Adicionalmente, consume cerca del 30% de la energía eléctrica y emite hasta 30% del total de gases de efecto invernadero (Berardi, 2015). Sin embargo, tiene el potencial de generar grandes reducciones con pequeños cambios en los modos de diseñar, construir y utilizar los edificios, que podrían alcanzar una reducción de hasta un 30% del consumo de energía, una 35% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y hasta un 50% del consumo de agua (MONROY, 2014). Este enfoque en el sector de la construcción y sus impactos comenzó a surgir a finales de la década de 1970, cuando se definió el concepto de sostenibilidad por la Comisión Mundial de las Naciones Unidas en Medio Ambiente y Desarrollo (Brundtland, 1987). Estas preocupaciones tuvieron un gran impulso a principios de los años 90 en Europa y Estados Unidos cuando comenzaron a surgir las primeras certificaciones del nivel de sostenibilidad de los edificios mediante métodos como BREEAM en el Reino Unido, el método HQE (*Haute Qualité Environnementale*) en Francia, y la certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) en los Estados Unidos (Building Research Establishment Ltd, 2015; Haute Qualité Environnementale, 2013; U.S Green Building Council, 2014). A partir de entonces, la preocupación por el uso eficiente de los recursos durante el ciclo de vida de los edificios pasó a integrarse a la lista de principios a adoptar por los diseñadores (WEI et al. 2015). Para tratar el tema de sostenibilidad en las construcciones, es necesario subrayar que esta abarca los impactos sociales, ambientales y económicos que generan las edificaciones. Adicionalmente, las empresas y dueños de estos futuros "edificios verdes" tendrán beneficios económicos y de marketing, pues, además de los ahorros que reciben directamente, su imagen frente al compromiso ambiental y social será mejorada (BARBOSA et al., 2012).

## 2. METODOLOGÍA SBTOOL<sup>PT</sup> PARA EDIFICIOS DE SERVICIOS

La versión portuguesa de SBTool, SBTool<sup>PT</sup> fue desarrollada por la Asociación iiSBE de Portugal con apoyo de la universidad de Minho y la compañía privada EcoChoice, en sus comienzos fue adaptada solo para edificios residenciales, pero ha sido ampliada a diversos tipos de edificación, por ejemplo, hoteles, hospitales o el módulo utilizado, de servicios (Bragança, et al., 2011). Esta metodología pretende ser una herramienta para apoyar el diseño del edificio a fin de lograr el equilibrio más apropiado entre las diferentes dimensiones de la sostenibilidad, y que al mismo tiempo sea práctico, transparente y lo suficientemente flexible como para adaptarse fácilmente a diferentes tipos de construcción y tecnología (Mateus et al. 2011).

En el módulo de servicios de la metodología SBTool<sup>PT</sup> se consideran las tres dimensiones del desarrollo sostenible, que se componen por nueve categorías, y veinticuatro indicadores de

sustentabilidad; en este caso de estudio no fueron evaluados cuatro<sup>1</sup>, debido a la falta de información proporcionada para la fase de construcción y también a las características específicas que presenta el edificio en estudio, que es un museo, las cuales hacen que ciertos indicadores no apliquen una evaluación acorde a la realidad del edificio en estudio. Esta metodología sigue cuatro pasos (Martinho et al. 2013): i) Cuantificación del rendimiento del edificio a nivel de cada indicador; ii) Normalización de parámetros; iii) Agregación de parámetros; iv) Cálculo de puntaje de sostenibilidad y evaluación global. La calificación global del edificio depende de la ponderación de los diferentes criterios, teniendo en cuenta prácticas de referencia que se fijan a nivel nacional. Esta ponderación se realiza mediante la comparación del desempeño del edificio con prácticas nacionales de referencia: la mejor práctica, que tiene un valor de 1.0, y la práctica convencional, con un valor de 0.0. El valor de esta normalización está dentro de un rango entre -0.2 y 1.2, tal y como se puede observar en la Figura 1. Posteriormente, con el rendimiento de cada indicador y su correspondiente peso, se calcula el desempeño de la categoría donde éste pertenece, por último, con los desempeños de cada categoría y sus respectivos pesos se calculan los resultados para cada dimensión, obteniendo así al final un nivel de sostenibilidad global para el edificio elegido para el caso de estudio.

**Figura 1. Rangos de desempeño ambiental**

Nivel	Condiciones	Nivel obtenido ( X )
A+	$NS > 1,00$	
A	$0,70 < NS \leq 1,00$	
B	$0,40 < NS \leq 0,70$	
C	$0,10 < NS \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq NS \leq 0,10$	
E	$NS < 0,00$	

### 3. APLICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se describirá el caso de estudio y se presentarán los resultados obtenidos, mostrando los puntos fuertes y débiles de la edificación y, posteriormente, se presenta el conjunto de medidas propuestas para la optimización de la sustentabilidad del edificio con una breve discusión sobre las mismas.

#### 3.1. Descripción del caso de estudio

El edificio caso de estudio es un museo en Lisboa, antiguamente era un edificio de la Expo 98, que con el fin del evento quedó inutilizado; este espacio fue remodelado y abierto al público en julio de 1999, cuenta con 98 trabajadores y recibe en media 750 visitantes por día. El museo acoge grandes exposiciones temáticas y módulos interactivos. El edificio tiene condiciones de accesibilidad universal, y consta de 4 pisos: Sótano, suelo, 1º y 2º piso, los cuales suman un área útil de 10.468 m<sup>2</sup>, los cuales están compuestos principalmente por una cafetería, una tienda de recuerdos, múltiples oficinas y las exhibiciones. A continuación, se va a presentar al nivel de cada categoría las principales características tenidas en cuenta para la evaluación, el valor normalizado y el nivel de sustentabilidad obtenidos.

<sup>1</sup> Los indicadores no evaluados son: I3 – Eficiencia en el uso del suelo; I5 – protección de la biodiversidad local en fase de construcción; I6 – Productos de base orgánica certificados; I12 – Residuos sólidos de construcción y demolición.

### 3.2. Presentación y discusión de resultados

La Tabla 1 presenta los valores obtenidos de la evaluación de sustentabilidad para cada indicador, además de los puntos fuertes y débiles que presenta el museo al nivel de cada uno de los indicadores, y la Figura 2 presenta los resultados obtenidos para cada categoría, dimensión y el edificio a nivel global.

**Tabla 1. Evaluación de la sostenibilidad del edificio en estudio**

Dimensión	Categoría	Indicador	Características de cada indicador		Nota	
			Buenas	Malas		
AMBIENTAL (ND <sub>A</sub> )	C1-Alteraciones climáticas y calidad del aire exterior	I1 - Impacto ambiental asociado a la selección de los materiales de construcción	Reutilización total de la estructura existente.	-	A (1.0)	
		I2 - Efecto isla de calor	Posee 87% del área en proyección horizontal con reflectancia >60%	-	A (0.87)	
	C2-Biodiversidad y Uso de suelo	I4 - Localización sustentable	100% Del área utilizada fue previamente contaminada, evitando ocupar suelos vírgenes	-	A+ (1.08)	
	C3-Energía	I7 - Consumo de energía	Es 21% más eficiente en el consumo para la iluminación	Consumo 5.12 kWh/m <sup>2</sup> más que un edificio convencional	E (-0.08)	
		I8 - Energías renovables	-	No posee ningún equipo que genere energía a partir de fuentes renovables	E (-0.02)	
		I9 - Gestión de sistemas mecánicos	Existe un plan de gestión de los sistemas mecánicos	_ Falta calendarización e implementación de ensayos del desempeño de los sistemas del edificio. _ Falta un manual de los sistemas del edificio.	C (0-33)	
	C4-Materiales, residuos sólidos y gestión de recursos	I10 - Materiales reutilizados	Se reutilizó toda la estructura que ya se encontraba construida	-	A (1.0)	
		I11 - Materiales con contenido reciclado	-	No se utilizaron materiales con contenido reciclado	D (0.0)	
		I13 - Gestión ambiental	Existen contenedores para todo tipo de residuos	_ Carece de formación a utilizadores para el correcto uso de los recursos y materiales _ No poseen fichas de información o manuales que eduquen los utilizadores	E (-0.2)	
		I14 - Flexibilidad y adaptabilidad	_ Vigas rasas _ Altura del techo mayor a 3 metros.	-	-	-
			_ Conductas de aire, tubos de agua y sistemas de cableado eléctrico pueden ser reparados sin dañar revestimientos	-	-	A+ (1.03)

**Tabla 1. (Cont.) Evaluación de la sostenibilidad del edificio en estudio**

Dimensión	Categoría	Indicador	Características de cada indicador		Nota	
			Buenas	Malas		
AMBIENTAL (ND <sub>A</sub> )	C5-Agua	I15 - Consumo de agua	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ No existen sistemas eficientes para el uso del agua (retretes, orinales, grifos)</li> <li>_ Consumo de 4300 m<sup>3</sup> de agua por año (como un edificio convencional)</li> </ul>	D (0.0)	
		I16 - Reciclaje y tratamiento de agua	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ No existen sistemas para el tratamiento y reciclaje del agua, ni para recolectar agua lluvia</li> </ul>	D (0.0)	
		I17 - Sistema de Gestión de aguas lluvias	El museo posee un buen sistema de drenaje de aguas lluvia	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ 87% del área en proyección horizontal del museo es impermeable aumentando el caudal en el drenaje</li> </ul>	C (0.4)	
SOCIAL (ND <sub>S</sub> )	C6- Comodidad y salud de los utilizadores	I18 - Calidad del aire interior	Los valores reales al ser medidos in situ pueden ser mejores que los convencionales	Las concentraciones asumidas de los contaminantes son iguales a los valores convencionales	D (0.0)	
		I19 - Confort térmico	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Temperaturas operativas fuera del rango de confort</li> <li>_ El museo no posee aislamiento térmico</li> </ul>	E (-0.1)	
		I20 - Confort lumínico	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Iluminación natural casi nula</li> <li>_ Iluminación artificial por medio de lámparas fluorescentes (nivel medio de lux)</li> </ul>	C (0.33)	
		I21 - Confort acústico	-	No existe aislamiento acústico	D (0.0)	
	C7- Accesibilidad	I22 - Plan de movilidad	Existen rutas para ciclistas y peatones	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Informan cómo acceder utilizando transporte público</li> <li>_ Acceso a todas las áreas para personas con movilidad reducida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ No existen duchas para que los ciclistas puedan utilizar después del recorrido.</li> </ul>	A (0.88)
			C8- Seguridad	I23 - Seguridad de los ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sistema generador de energía en caso de emergencia</li> <li>_ Tanque de agua para uso en caso de incendio</li> <li>_ Vigilancia 24 horas al día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Adicionar extintores para que la distancia máxima a cualquier punto del edificio sea de 10 metros</li> <li>_ Resistencia al fuego de elementos estructurales mínima</li> </ul>
	ECONÓMICA (ND <sub>E</sub> )	C9-Costos de ciclo de vida			I24 - Costos de ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Costos de construcción bajos debido a la reutilización de toda la estructura</li> <li>_ Tarifa para el consumo de agua reducida en relación con edificios no residenciales</li> </ul>

**Figura 2. Desempeño obtenido por categoría, dimensión y a nivel global**

Categoría / Dimensión / Nivel	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9	ND <sub>A</sub>	ND <sub>S</sub>	ND <sub>E</sub>	NG
Valor obtenido	0.95	1.08	0.06	0.33	0.04	0.10	0.88	0.58	0.47	0.51	0.22	0.47	0.41
A+		•											
A	•						•						
B								•	•	•		•	•
C				•							•		
D			•		•	•							
E													

Para optimizar la sustentabilidad del edificio se mejoraron los indicadores con mayor peso y peor desempeño, para que así, al ser aplicadas las propuestas, estas aumenten significativamente el nivel de sustentabilidad del edificio. Con la implementación de las medidas presentadas en la Tabla 2, fue posible obtener un nivel A (0.81) tal y como se puede observar en la Figura 3.

**Tabla 2. Evaluación de la sostenibilidad del edificio optimizado**

Categoría	Indicador	Medidas propuestas	Nota
C3-Energía	17 - Consumo de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Sustitución parcial de los sistemas de climatización: Sustituir los 8 equipos existentes en las oficinas, los cuales tienen eficiencias de COP=3.0 y EER=2.9, por aires acondicionados marca DAIKIN, modelo FXTM, de clase energética A++ con eficiencias SCOP=8.53 y SEER=5.10.</li> <li>_Sustitución de todas las lámparas fluorescentes por lámparas LED T8 de 22 W de potencia, clase energética A+</li> </ul>	C (0.13)
	18 - Energías renovables	Implantación de paneles fotovoltaicos: 690.1 m <sup>2</sup> cubiertos por 67 Kits de 6 paneles cada uno, marca LG NeOn Bifacial, los cuales van a generar 233.000 KWh por año	A (0.80)
	19 - Gestión de sistemas mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Desenvolver un manual de los sistemas del edificio proporcionando información para operar y mantener los sistemas del edificio.</li> <li>_Fijar reuniones mensuales donde se evalúan los desempeños de los equipos y los consumos energéticos que el edificio presenta, definiendo objetivos y presupuestos</li> <li>_Realizar auditorías de desempeño de cada uno de los sistemas verificando y monitorizando los objetivos mensuales.</li> </ul>	A+ (1.06)
C4-Materiales, residuos sólidos y gestión de recursos	I13 - Gestión ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Definir un depósito para el almacenamiento de los aceites utilizados en la cafetería</li> <li>_Destinar un local para el desecho de pilas</li> <li>_Destinar un depósito para residuos orgánicos para compostaje</li> <li>_Destinar un depósito de residuos eléctricos y electrónicos</li> <li>_Adquirir solamente papel reciclado con rotulo ecológico</li> <li>_Crear un manual para la formación y sensibilización de los utilizadores en función de los diferentes departamentos y medidas a tomar por cada persona</li> </ul>	A (0.93)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>_Sustitución de dispositivos para el consumo del agua, reduciendo el consumo en 2200 m<sup>3</sup> por año:</li> <li>_Grifo marca Erix, referencia ET010, clase A+, con temporizador que reduce el consumo a 0.5 L/uso. Reduciendo en 50% el consumo de los grifos.</li> <li>_Retrete marca Erix, referencia K120, clase A++, descarga dupla de 3 L/descarga, reduciendo el consumo en 53%.</li> </ul>	A (1.0)
C6-Comodidad y salud de los utilizadores	I15 - Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Instalación de un reservatorio de agua lluvia de 124 m<sup>3</sup>, para abastecer el 65% del agua utilizada por los retretes (una vez sustituidos), con una reducción de 756 m<sup>3</sup> de agua potable al año</li> </ul>	C (0.65)
	I18 - Calidad del aire interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Optimización del sistema de monitorización global del edificio con la adición de: <ul style="list-style-type: none"> <li>_Sensor combinado RFTM-LQ-CO2-W, para el interior que mide la concentración de CO<sub>2</sub>, CO, COV de 0 a 5000 ppm, humedad relativa de 0 a 100%, temperatura en el rango de 0 a 50°C.</li> <li>_Filtro BOX FILTER D, con caudal de 6000 a 8000 m<sup>3</sup>/h, con pre filtro G4 y filtro F8.</li> </ul> </li> <li>_En conjunto estas dos medidas disminuyen la cantidad de contaminantes al mínimo requerido y establecen las temperaturas entre un rango deseado de 21-22°C para invierno y 24,5-25,5°C para verano.</li> </ul>	A (1.00)
	I19 - Confort térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Sustitución de la iluminación artificial, de lámparas fluorescentes a lamparas LED, pasando de una cantidad media 562 luxes a aproximadamente 800 luxes (para espacios de oficinas)</li> </ul>	A+ (1.2)
C8-Seguridad	I23 - Seguridad de los ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Adición de extintores en todo el museo para obtener una distancia máxima de 10 metros desde cualquier punto hasta el extintor más cercano.</li> </ul>	A (0.75)
C9-Costos de ciclo de vida	I24 - Costos de ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>_Uso de equipos eficientes para el suministro de agua (grifos y retretes)</li> <li>_Instalación de paneles fotovoltaicos para el consumo de energía generada a partir de fuentes renovables</li> <li>_Instalación de un depósito de aguas lluvias para disminuir el consumo de agua potable</li> <li>_Sustitución de lamparas fluorescentes por lamparas LED disminuyendo el consumo para la iluminación.</li> </ul>	A (0.71)



**Figura 3. Desempeño obtenido por categoría, dimensión y a nivel global para el edificio optimizado**

Categoría / Dimensión / Nivel	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9	ND <sub>A</sub>	ND <sub>S</sub>	ND <sub>E</sub>	NG
Valor original (•)	0.95	1.08	0.06	0.33	0.04	0.10	0.88	0.58	0.47	0.51	0.22	0.47	0.41
Valor optimizado (•)	0.95	1.08	0.59	0.62	0.78	0.92	0.88	0.75	0.71	0.82	0.90	0.71	0.81
A+		•/•											
A	•/•				•	•	•/•	•	•	•	•	•	•
B			•	•				•	•	•		•	
C				•							•		•
D			•		•	•							
E													

En la Tabla 2 y la Figura 3 se puede observar que el consumo de agua y energía son significativamente menores en un edificio sostenible, como se evidencia en el aumento del desempeño de la dimensión ambiental, la cual aumentó de un nivel B a un nivel A; Además, el caso del edificio con las medidas de mejora implementadas presenta un alto nivel de confort para los utilizadores del museo, lo que conllevó a una mejora de la categoría de un nivel D a un nivel A;

Con el fin de obtener una mejor comprensión del trabajo desarrollado y la clasificación optimizada lograda del edificio, después del análisis de sostenibilidad se desarrolló un análisis económico comparando las medidas propuestas y el edificio original. La Tabla 3 representa los costos del ciclo de vida del edificio para los dos escenarios analizados, que consta de 50 años, el original y el edificio con las soluciones propuestas. Observando la Tabla 3 es posible concluir que el conjunto de medidas propuestas genera una reducción del 33% al consumo total de operación a lo largo del ciclo de vida del museo, lo que significa un ahorro de € 1.235.480.

Cabe resaltar que los ahorros energéticos que genera la adición de sensores (por ejemplo, la reducción del consumo de energía al apagar las luces cada que el sensor indique niveles normales de CO<sub>2</sub>), pues no fue posible generar un modelo con estas condiciones. Además, para cada una de las soluciones en el escenario del edificio original no se tuvieron en cuenta costos adicionales, pues el edificio ya existe, sin embargo, se cuantificó el costo de mantenimiento una vez que cada medida cumpla con su ciclo de vida, como es el caso de las lámparas fluorescentes que cuentan con una duración de 10.000 horas (que se estiman sean 4 años de uso).

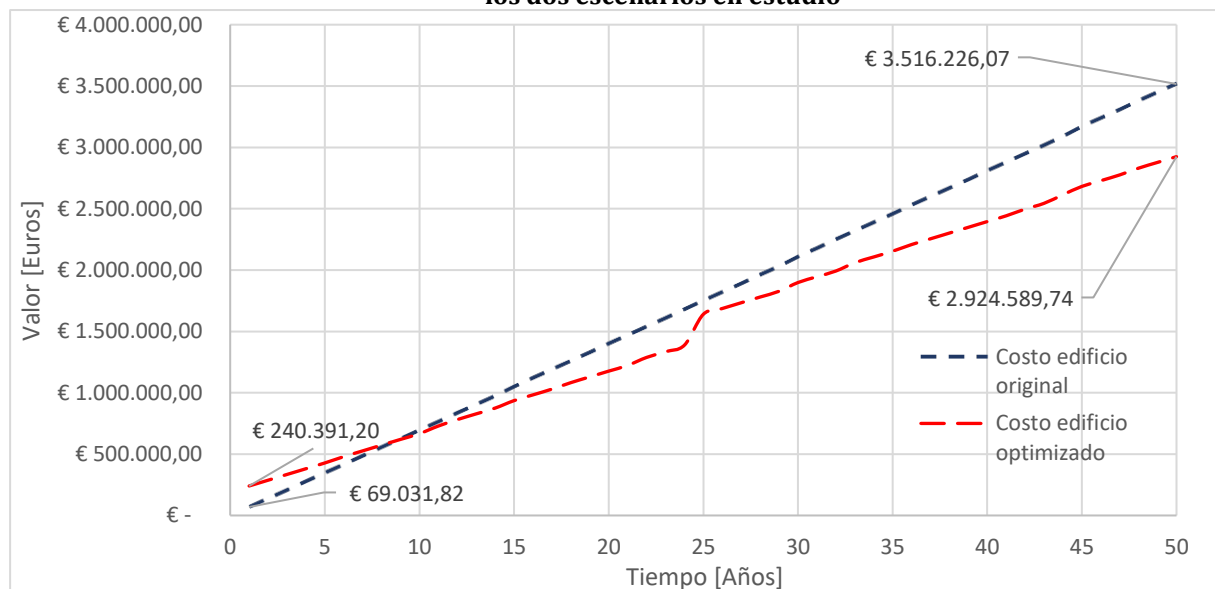
También se analiza de acuerdo con la Tabla 3, que el conjunto de medidas de paneles, lámparas LED y los nuevos sistemas de climatización generan una reducción al consumo energético de 18.792,35€ por año. Asimismo, los grifos, retretes, y la adición de un reservatorio de agua lluvia reducen el consumo de agua hasta 4700,0€ por año. En la Figura 4 se puede observar la evolución de la inversión total durante todo el ciclo de vida para cada uno de los escenarios.

Como se observa en la Figura 4, la inversión inicial de 69.031,82€ tiene un tiempo de retorno de nueve años. Además, al final del ciclo de vida del edificio optimizado obtiene un ahorro de €648.699,21 con respecto a la solución inicial, concluyendo así que este conjunto de medidas de mejora es rentable y presenta una alta utilidad al final del ciclo de vida.

**Tabla 3. Costos de ciclo de vida del museo para los dos escenarios**

Ítem	Edificio original		Edificio optimizado	
	Costo inicial (€)	Costo ciclo de vida (€)	Costo inicial (€)	Costo ciclo de vida (€)
		Inversión		Mantenimiento
Grifos y retretes, vida útil de 25 años (Tasa de inflación de 2%)	- €	2.619,53 €	5.943,70 €	14.859,25 €
Aires acondicionados, vida útil de 15 años (Tasa de inflación de 2%)	- €	26.399,52 €	10.904,18 €	63.244,24 €
Reservatorio de aguas lluvia, bomba de agua vida útil de 25 años	- €	- €	30.000,00 €	31.000,00 €
Reemplazo de lámparas cada: 10000h para fluorescentes y 30000h LED (Tasa de inflación de 2%)	- €	0,24 €	12.450,40 €	28,00 €
Paneles fotovoltaicos, vida útil de 25 años (Tasa de inflación de 2%)	- €	- €	128.130,80 €	320.327,00 €
Sensores combinados, vida útil de 6 años (Tasa de inflación 2%)	- €	- €	4.284,00 €	4.284,72 €
<b>Total</b>	<b>- €</b>	<b>29.019,29 €</b>	<b>191.713,08 €</b>	<b>433.743,21 €</b>
Costos de operación (área útil de 10468 m2)	Costo unitario	Costo total	Costo unitario	Costo total
	€/m <sup>2</sup> . año	€/año	€/m <sup>2</sup> . año	€/año
Consumo energético	6,04	63.214,88 €	4,24	44.422,53 €
Consumo de agua	0,64	6.664,29 €	0,18	1.930,44 €
Costos de operación, con tasa Euribor de -0.193% (50 años)	350,77	3.669.712,00 €	232,67	2.434.231,72 €

**Figura 4. Evolución de los costos de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida para los dos escenarios en estudio**



Como se puede observar en la Figura 4 y en la Tabla 3. Costos de ciclo de vida del museo para los dos escenarios, en este análisis llevado a cabo, se presentaron las propuestas de mejora para optimizar el nivel de sustentabilidad del edificio, donde se evidencia que el conjunto de medidas para la disminución del consumo energético a pesar de su alto costo inicial presenta una utilidad significativa a lo largo del ciclo de vida, disminuyendo el costo de consumo energético en 18.792,35€ por año;



#### 4. CONCLUSIONES

Para comenzar se concluye que con el trabajo desarrollado fueron alcanzados con éxito los objetivos trazados, ya que fue realizada la evaluación del desempeño ambiental del edificio en estudio, consiguiendo analizar su situación e identificar sus puntos débiles y fuertes, posteriormente, fue optimizado el desempeño de la sostenibilidad del edificio en estudio, proponiendo un conjunto de medidas que fueron evaluadas utilizando nuevamente la metodología SBTTool<sup>PT-S</sup>.

Por otro lado, se puede evidenciar que el edificio en estudio tomó pocas precauciones en cuanto a las medidas implantadas para un buen desempeño sustentable desde la fase del diseño; esto se puede evidenciar en la ausencia de aislamientos térmicos y acústicos que mejoren el nivel de *confort* de los utilizadores; sistemas eficientes para el consumo de recursos, como grifos y retretes para el agua; y sistemas de climatización con clases energéticas y eficiencias altas para disminuir el consumo energético. Asimismo, en la arquitectura evidencia la falta de iluminación natural, afectando el confort lumínico de los utilizadores y aumentando el consumo energético pues se recurre a la iluminación artificial. Sin embargo, se tiene en cuenta la iniciativa que tomó la dirección del museo para realizar una evaluación del nivel de sustentabilidad actual del edificio, siendo un primer paso para reconocer cuales son los puntos altos y bajos que se tienen, y así tomar decisiones acertadas a futuro que mejoran el desempeño del edificio no sólo en términos ambientales y de confort, pero también reduciendo los costos de operación que actualmente posee el museo. Por otra parte, el museo tomó una decisión acertada con la reutilización de la estructura ya existente, utilizando un espacio previamente edificado, utilizando menos recursos para la construcción, y reduciendo los costos para la misma. Sin embargo, el nivel de sustentabilidad global alcanzado fue B, con un valor de 0.41, siendo un poco mejor que el convencional, pero también se subraya que, si el museo desmejora algún aspecto, puede fácilmente caer en un nivel global C. En general, el conjunto de medidas propuestas además de tener una alta rentabilidad a lo largo del ciclo de vida, generan un aumento en el desempeño global del edificio de 0.4 en su valor normalizado, subiéndolo del nivel B al nivel A.

Por último, se concluye que este trabajo demuestra la importancia de la evaluación y certificación de la sustentabilidad en la construcción, para así asegurar una continuación y mejoramiento de la calidad de los edificios, lo cual genera una reducción en el impacto ambiental y económico y un aumento en la calidad de vida de los usuarios de estos.

#### REFERENCIAS

- BARBOSA, J.A. BRAGANÇA, M; MATEUS, R. Contabilizando a reabilitação na avaliação da sustentabilidade de edificios de serviços. In: **Seminário Reabilitação Energética de Edifícios**. Universidade do Minho. pp. 93-102, 2012.
- BERARDI, U. **Sustainability assessments of buildings, communities, and cities**. In: University of Toronto (Ed.). *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*. Toronto: Elsevier. pp. 497-539, 2015.
- BRAGANÇA, L., MATEUS, R. Improving the design of a residential building using the Portuguese rating system SBTToolPT. **International Conference Sustainability of Constructions : Towards a Better Built Environment**, p. 197–204, 2011.
- BRUNDTLAND, Comisión. “Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo: Nuestro futuro común. Universidad de Oxford. Nueva York, 1987.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT LTD, BRE. (2015). Home Quality Mark - Technical Manual SD232: 1.0 (Beta Edition) - 2015. United Kingdom: BRE.



- HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE, (2013). HQE for Non-Residential Building. Disponible en: <<https://www.behqe.com/offers/non-residential-building>>. Acceso en: 14 abril. 2018.
- MARTINHO, S; RIGUEIRO, C; MATEUS, R. Cost/benefit analysis in the implementation of sustainable construction principles in a residential building. 2013. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/26161>>
- MATEUS, R. & BRAGANÇA L., 2011. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT, **Building and environment**, 46, 1962-1971, Elsevier.
- MONROY, J. Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. Ingeniería Civil - Universidad católica de Colombia, Bogotá, 2014.
- U.S GREEN BUILDING COUNCIL, (2014). LEED v4 for Homes Design and Construction. Disponible en: <<http://www.usgbc.org/articles/getting-know-lead-homes-design-and-construction>>. Acceso en: 14 abril. 2018
- OLIVEIRA, M. Adaptação da Metodologia SBTool Geral para Edifícios de Turismo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Instituto Superior de Engenharia de Porto, Porto, 2013.
- URBINA, O. Medidas para a otimização do nível de sustentabilidade de edifícios de serviços – estudo de caso. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade do Minho, Guimarães, 2018.
- WEI, W.; RAMALHO, O.; MANDIN, C. Indoor air quality requirements in green building certifications. **Building and Environment**, V. 92, pp. 10-19, 2015.