UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Antonio Gaudí
precursor de la sostenibilidad en la arquitectura

TESIS DOCTORAL

Carlos Salas Mirat
INGENIERO DE EDIFICACIÓN
MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS

AÑO 2018

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Antonio Gaudí

precursor de la sostenibilidad en la arquitectura

Autor:

Carlos Salas Mirat
INGENIERO DE EDIFICACIÓN
MÁSTER EN CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS

Directores:

César Bedoya Frutos
DR. ARQUITECTO
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

Josep Adell-Argilés
DR. ARQUITECTO
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

AÑO 2018

POLITÉCNICA

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. de la Universidad Politécnica de Madrid, el día.....de.....de 20....

Presidente:_____

Vocal: _____

Vocal:_____

Vocal:_____

Secretario:_____

Suplente:_____

Suplente:_____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día.....de.....de 20...
en la E.T.S.I. /Facultad.....

Calificación

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

*A mi mujer Esther,
por su cariño y apoyo incondicionales.*

Índice

Capítulo 0. RESUMEN - ABSTRACT

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos	9
1.2. Breve acercamiento a la vida y obra de Antonio Gaudí	11
1.3. La arquitectura de Gaudí en su contexto histórico	17

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Origen y evolución de la sostenibilidad	23
2.2. Sostenibilidad en la arquitectura	29
2.3. Calidad del diseño y desarrollo sostenible	39
2.4. El diseño bioclimático como fundamento de la arquitectura sostenible	43
2.5. Ética y sostenibilidad	49

Capítulo 3. NATURALEZA Y SOSTENIBILIDAD

3.1. La naturaleza como modelo de sostenibilidad	53
3.2. La arquitectura biomimética	59
3.3. Geometría y sostenibilidad	63
3.4. Gaudí y la naturaleza	67
3.4.1. La originalidad como vuelta al origen	71
3.4.2. El avance científico gaudiano	75

Capítulo 4. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA DE GAUDÍ

4.1. Ámbito económico: reducción de costes de construcción y mantenimiento	81
--	----

4.1.1. Empleo de materiales del entorno próximo	85
4.1.2. Economía de medios	89
4.1.2.1. Empleo de materiales económicos como ladrillo y azulejos	89
4.1.2.2. Empleo de elementos prefabricados	93
4.1.2.3. Empleo de técnicas constructivas de la arquitectura popular	94
4.1.3. Optimización mecánica del diseño estructural	97
4.1.3.1. El arco parabólico y las superficies regladas	100
4.1.3.2. Otras innovaciones: eliminación de muros de carga, estructuras radiales, vigas reticuladas y forjados nervados	103
4.2. Ámbito medioambiental: reducción del consumo de energía y del impacto medioambiental	107
4.2.1. Eficiencia energética	109
4.2.1.1. Iluminación natural	109
4.2.1.2. Ventilación natural	114
4.2.1.3. Acondicionamiento climático	116
4.2.2. Aprovechamiento de residuos	123
4.2.3. Protección del entorno natural, la vegetación y el paisaje	127
4.2.4. Aprovechamiento de recursos naturales	131
4.3. Ámbito social	133
4.3.1. Confort del usuario	135
4.3.1.1. Ergonomía	135
4.3.1.2. Acústica	136
4.3.1.3. Otras condiciones de confort	137
4.3.2. Salubridad	139
4.3.3. Bienestar social	141

Capítulo 5. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA DE GAUDÍ

5.1. Método VERDE de evaluación de la sostenibilidad	145
5.1.1. Vida útil	159
5.1.2. Parcela y emplazamiento	161
5.1.3. Energía y atmósfera	171
5.1.4. Recursos naturales	177
5.1.5. Calidad del ambiente interior	185
5.1.6. Calidad del servicio	191
5.1.7. Aspectos sociales y económicos	195
5.1.8. Calidad del diseño	203
5.1.9. Innovación	205
5.2. Metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos	207

5.2.1. Criterio I-0. Optimización de la vida útil de la estructura	209
5.2.2. Criterio A-11. Sistema de gestión de escorrentías	210
5.2.3. Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos	211
5.2.4. Criterio A-23. Uso de plantas autóctonas	211
5.2.5. Criterio A-23.2 Consumo de agua para riego de jardines	212
5.2.6. Criterio A-31. Efecto isla de calor a nivel del suelo	212
5.2.7. Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción (energía embebida)	213
5.2.8. Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción	215
5.2.9. Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas	217
5.2.10. Criterio C-02. Retención de aguas de lluvia para su reutilización	218
5.2.11. Criterio C-08. Reutilización de materiales	219
5.2.12. Criterio C-10. Uso de materiales reciclados	221
5.2.13. Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía	223
5.2.14. Criterio C-21. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad	225
5.2.15. Criterio D-11. Eficiencia ventilación en áreas con ventilación natural	227
5.2.16. Criterio D-12. Confort higrotérmico	229
5.2.17. Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria	231
5.2.18. Criterio E-01. Eficiencia de los espacios	233
5.2.19. Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC	235
5.2.20. Criterio F-02. Acceso universal	237
5.2.21. Criterio F-03. Derecho al sol	239
5.2.22. Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados	241
5.2.23. Criterio F-09. Coste de uso	243
5.2.24. Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación	245
5.2.25. Criterio I-01. Innovación en el diseño	247
5.3. Evaluación de la sostenibilidad en la Casa Batlló y la Casa Milá	249
5.3.1. La Casa Batlló	251
5.3.1.1. Evaluación absoluta	281
5.3.1.2. Evaluación ponderada	282
5.3.2. La Casa Milá	287
5.3.2.1. Evaluación absoluta	317
5.3.2.2. Evaluación ponderada	318

Capítulo 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. La Casa Batlló	327
6.2. La Casa Milá	329

Capítulo 7. CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones evaluación de la sostenibilidad de la Casa Batlló y de la Casa Milá	335
7.2. Conclusiones estudio bibliográfico de la sostenibilidad en la arquitectura de Gaudí	337
7.3. Conclusiones generales	343
7.3.1. Valores intrínsecos de la sostenibilidad	345
7.3.2. Diseño bioclimático y arquitectura sostenible	347
7.3.3. Del diseño bioclimático al diseño biomimético	349
7.3.4. El lenguaje de la forma en la arquitectura sostenible	353
7.4. Conclusiones fundamentales	357
7.4.1. La arquitectura biosostenible como propuesta de futuro: un ecosistema para vivir	359
7.4.2. Futuras líneas de investigación	361

GLOSARIO ONOMÁSTICO	365
----------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	373
---------------------	-----

Capítulo 0

RESUMEN – ABSTRACT

Resumen

El arquitecto Antonio Gaudí —autor de siete obras declaradas patrimonio de la humanidad por la UNESCO— ha sido reconocido como un gran artífice de la renovación formal de la arquitectura europea del siglo XIX, a nivel estético y técnico; pero sin embargo, no ha sido reconocido —ni apenas estudiado— su papel como precursor de la sostenibilidad en la arquitectura del siglo XX.

Gaudí, con un siglo de antelación al comienzo de lo que hoy se entiende por sostenibilidad en la arquitectura, ya valora como fundamentales y pone en práctica en sus obras muchos de los principios que hoy se estudian en el ámbito de la sostenibilidad en la arquitectura. Tomando como modelo la sabiduría inagotable de la naturaleza —a la que admira profundamente— optimiza bioclimáticamente sus edificios, busca soluciones ingeniosas de ventilación e iluminación natural, emplea abundantemente el ladrillo y los azulejos —un material muy económico, en aquel momento— emplea piedra del entorno próximo, aprovecha residuos de demolición, chatarra de desguace y azulejos de desecho, optimiza mecánicamente el diseño estructural de sus edificios —mediante el arco parabólico o las superficies regladas— e incorpora diseños ergonómicos en el mobiliario (pasamanos de barandillas y tiradores de puertas o ventanas).

Con el objeto de poder cuantificar, de forma objetiva, el grado de sostenibilidad de la Casa Batlló y de la Casa Milá —como edificios representativos de la arquitectura civil de Gaudí— se desarrolla una nueva metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, basada en el método VERDE del GBCe (Green Building Council España) con la que posteriormente se evalúan dichos edificios.

También se realiza un estudio detallado —a través de ejemplos concretos, documentados con citas bibliográficas y fotografías— de los sistemas desarrollados por Gaudí, que tienen que ver con los objetivos fundamentales de la sostenibilidad en la arquitectura en sus tres ámbitos: económico, medioambiental y social. En este estudio —aparte de la Casa Batlló y la Casa Milá— se analizan otras de sus obras más significativas, como:

- El Capricho.
- El Palacio Güell.
- El Palacio Episcopal.

- La Casa Botines.
- La Casa Calvet.
- La Cripta de la Colonia Güell.
- La Torre Bellesguard.
- El Parque Güell.
- La Catedral de Mallorca.
- El Templo de la Sagrada Familia.
- Las Escuelas de la Sagrada Familia.

Abstract

The architect Antonio Gaudí —the author of seven works designated as World Heritage Sites by UNESCO— has been recognized as a great proponent of the formal renewal of European Architecture in the nineteenth century on the aesthetic and technical levels; nevertheless, something that has not been recognized —nor even studied— is his role as a precursor to sustainability in the architecture of the twentieth century.

Gaudí, a century before the beginning of what today is understood by sustainability in architecture, valued as fundamentals and put into practice in his works many of the principles that today are studied in the field of architectural sustainability. Taking as a model the endless wisdom of nature —something that he admired deeply— he bioclimatically optimized his buildings, seeking ingenious solutions for ventilation and natural lighting, using bricks and tiles abundantly (materials which were very cheap at that moment). He used stone from the immediate surrounding and took advantage of demolition waste, scrap metal, and discarded tiles. He mechanically optimized the structural design of his buildings by using the parabolic arch and ruled surfaces. He incorporated ergonomic designs in furnishings (handrails and handles for doors and windows).

In order to be able to quantify, in an objective way, the degree of sustainability of the Casa Batlló and the Casa Milà —as buildings that are representative of Gaudí's civil architecture— a new methodology has been developed for the assessment of sustainability in historic buildings that is based on the VERDE method by GBCe (Green Building Council España), a methodology with which said buildings have subsequently been assessed.

Likewise, a detailed study has been undertaken —through specific examples, documented with bibliographic citations and photographs— of the systems developed by Gaudí which have to do with the fundamental objectives of sustainability in architecture in terms of three spheres: the economic, environmental, and social spheres. In this study —apart from Casa Batlló and Casa Milà— others of his most significant works are analyzed, such as:

- El Capricho.
- The Güell Palace.
- The Episcopal Palace.

- Casa Botines.
- Casa Calvet.
- The Colonia Güell Crypt.
- The Bellesguard Tower.
- Park Güell.
- The Cathedral of Mallorca.
- The Sagrada Familia Temple.
- The Sagrada Familia Schools.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

Es un hecho reconocido que la obra de Antonio Gaudí Cornet (1852-1926) “*fue decisiva en la renovación formal de la arquitectura europea del siglo XIX*”¹, pero su renovación formal no es solamente estética o estilística, sino también funcional y tecnológica, hundiendo sus raíces en múltiples motivaciones sociales, económicas y medioambientales, precursoras de la ecología y la sostenibilidad modernas.

En las últimas décadas se ha valorado mucho el talento artístico y creativo de Gaudí, la innovación de su estilo arquitectónico naturalista, sus interesantes innovaciones técnicas y constructivas, e incluso las cualidades higienistas y bioclimáticas de su arquitectura, pero aún no ha sido estudiado en profundidad su papel como precursor de la sostenibilidad en la arquitectura.

Los valores estéticos o estilísticos de la arquitectura de Gaudí han sido los primeros en reconocerse —por ser los más aparentes y fácilmente reconocibles— junto con otros valores técnicos o constructivos de su arquitectura, pero ahora es necesario profundizar en los nuevos valores de la arquitectura del siglo XXI, intrínsecamente unidos a los valores de la sostenibilidad en la arquitectura. Por ello, los objetivos fundamentales de este trabajo son los siguientes:

1. Reconocer el importante papel de Gaudí como precursor de la sostenibilidad en la arquitectura:

- Análisis histórico de la sostenibilidad en la arquitectura, desde finales del siglo XIX.
- Documentación bibliográfica y estudio de las obras más importantes de Gaudí, desde el punto de vista de la sostenibilidad.
- Creación de una nueva metodología, para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, basada en el método VERDE del “Green Building Council España” (GBCe), que permita la cuantificación de resultados en edificios concretos seleccionados.
- Aplicación de la nueva metodología de evaluación a dos de sus edificios residenciales más significativos:

¹ González Moreno-Navarro, A. 1990, “Gaudí, constructor (la materialización de una arquitectura singular)”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 5.

-La Casa Batlló, como ejemplo de reforma integral de edificio.

-La Casa Milá, como ejemplo de edificio de nueva planta.

2. Estudiar el papel de la arquitectura de Gaudí —inspirada en la naturaleza y en sus sistemas de funcionamiento— como precursora de la arquitectura bioclimática y de la arquitectura biomimética del siglo XX.

3. Estudiar las enseñanzas que puede proponer la arquitectura de Gaudí, para la arquitectura de hoy en día, y más concretamente, para la sostenibilidad en la arquitectura del siglo XXI.

Algunos autores —como Jordi Cussó Anglés— se dan cuenta de que, a veces, hay que mirar al pasado, para avanzar con mayor firmeza hacia el futuro:

“...queda claro, que únicamente nosotros (a través de nuestro cotidiano comportamiento) siguiendo las pautas de amor y respeto por la naturaleza propuestas por Gaudí, podemos evitar —mientras aún está en nuestras manos— el progresivo calentamiento de la tierra y su destrucción”².

² Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 9.

1.2. Breve acercamiento a la vida y obra de Antonio Gaudí

Antonio Gaudí Cornet nació el 25 de junio del año 1852 en Reus³ —según la opinión de la mayoría de sus biógrafos— siendo el quinto hijo del matrimonio de Francisco Gaudí Serra y Antonia Cornet Bertrán. Solo dos hermanos de Gaudí llegaron a mayores: Francisco y Rosa.

Figura 1. Escultura “Gaudí niño” colocada en las proximidades de su casa natal en Reus, en el año 2002, con motivo del 150 aniversario de su nacimiento
Fuente: C. Salas Mirat

Le gustaba hacer excursiones con sus compañeros y el contacto con la naturaleza. Posteriormente, también comenzó a interesarse por los numerosos monumentos arquitectónicos de la provincia de Tarragona⁴. Según César Martinell⁵ “Gaudí, a los 11 años, no sabía qué quería ser y a los 16 se han manifestado en él sus preferencias por el Arte”⁶. Por otra parte “los ratos que pasó en la calderería de su padre resultaron

³ La mayoría de sus biógrafos sostienen que nació en Reus, entre ellos César Martinell, uno de los primeros y más prestigiosos. Algunos biógrafos sostienen —por la interpretación de algunas afirmaciones de Gaudí— que nació en Riudoms, una población muy cercana.

⁴ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 24.

⁵ Ver el glosario onomástico.

⁶ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 16.

*también muy importantes, porque despertaron en el joven Gaudí un sentido de la visión espacial*⁷. Gaudí era hijo, nieto y biznieta de forjadores de cobre.

Debido a la modesta posición económica de los padres, Gaudí alternó estudios y trabajo, de los 16 a los 26 años⁸, colaborando con distintos arquitectos, como Juan Martorell⁹. Obtuvo el título de arquitecto el 15 de marzo de 1878, a los 26 años de edad.

Figura 2. Primera imagen documentada de Gaudí del fotógrafo Pau Audouard (1878)
Fuente: C. Salas Mirat (museo "Gaudí Centre" de Reus)

Era muy aficionado a la literatura clásica antigua, al teatro de Shakespeare y a las obras del siglo de oro castellano, que citaba frecuentemente. Asistía al teatro, a conciertos y a excursiones arqueológicas. También llegó a interesarle la navegación marítima, la biología y la medicina¹⁰.

⁷ Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 10.

⁸ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 26.

⁹ Ver el glosario onomástico.

¹⁰ Ídem.

Para Juan Bergós¹¹ fue un hombre que *“reflexionó profundamente sobre los problemas del arte y de la vida, actuó rigurosamente de acuerdo con su pensamiento (...) y demostró que la altísima inspiración artística corona el trabajo intenso, sostenido, lento, metódico y disciplinado”*¹².

Don Eusebio Güell Bacigalupi (1846-1918)¹³, primer Conde de Güell, fue el gran *“mecenas a la altura del genio”*¹⁴, que marcó el punto de inflexión en la trayectoria de Gaudí. Ambos se compenetraron e influyeron mutuamente, en especial en los últimos años. Güell era un hombre de gran responsabilidad social y ciudadana, del que Gaudí decía:

*“Es un gran señor; tiene espíritu principesco, parecido al de los Medici de Florencia y los Doria de Génova”*¹⁵.

Se podría decir que la arquitectura de Gaudí escapa a los estereotipos historiográficos, y especialmente en las obras de su madurez. Algunos la han calificado de “modernista”, otros de “pre-modernista”, “historicista” o “eclectica”, aunque ninguna de estas etiquetas profundiza en la realidad de la arquitectura de Gaudí, más allá de sus manifestaciones epidérmicas¹⁶. Él mismo decía que:

*“...la belleza no es exclusiva de determinados estilos, puesto que los artistas de todos los tiempos han querido hacer sus obras, no sólo muy bien, sino mejor que los demás”*¹⁷.

Al hablar de su trabajo y de su arquitectura, Gaudí decía que:

*“A diferencia del tradicionalismo arqueológico utilizado por unos, y de la improvisación arbitraria de otros, he seguido un tradicionalismo vivo, sólidamente razonado”*¹⁸.

¹¹ Ver el glosario onomástico.

¹² *Ibidem*, p. 29.

¹³ Ver el glosario onomástico.

¹⁴ *Ibidem*, p. 49.

¹⁵ *Ídem*.

¹⁶ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 15.

¹⁷ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 112.

¹⁸ *Ibidem*, p. 123.

Figura 3. Diploma del premio del Ayuntamiento de Barcelona a la Casa Calvet
Fuente: C. Salas Mirat (museo "Gaudí Centre" de Reus)

En el año 1899, recibió el premio al mejor edificio del año —del Ayuntamiento de Barcelona— por la Casa Calvet. Gaudí fue un arquitecto muy admirado por unos, a la vez que duramente criticado por otros. Esto, desafortunadamente, ha sido algo habitual —a lo largo de la historia— en muchos de los más destacados personajes del ámbito científico, artístico, político o religioso. El gran arquitecto catalán Juan Bassegoda Nonell¹⁹ —uno de los mayores especialistas de Gaudí del siglo XX, y uno de sus máximos divulgadores, con infinidad de libros, artículos y ensayos— dijo que Antonio Gaudí había sido siempre admirado por las personas sencillas y los niños²⁰. Los más intolerantes, por el contrario, propagaron fuertes acusaciones, como Christian Zervos en *Cahiers d'art* (1929), cuando se refiere a Gaudí como “un excéntrico de gusto máximamente ridículo” y afirma que “Gaudí, es el arquitecto que ha deshonrado la ciudad de Barcelona, con sus numerosas construcciones que llenan de oprobio a todos aquellos que le han confiado su morada”²¹. Pero Gaudí, según Juan Bergós, “no se

¹⁹ Ver el glosario onomástico.

²⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 11.

²¹ Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid, p. 92.

preocupaba de las obras que hacían los otros, ni de las críticas que se hacían de las suyas”, pues afirmaba que:

“El que tenga que hacer las cosas que no critique las obras de los demás ni defienda las suyas, sino que haga y dirija la crítica contra sus propias obras, para depurarlas y mejorarlas”²².

El prestigioso arquitecto Luis Doménech Montaner²³ le dijo a Gaudí, en una ocasión, que *“de haber querido trabajar de cara al cliente hubiera logrado fabulosas ganancias. Le contestó que para ganar dinero se hubiese hecho comerciante, que éstos tienen derecho a ganarlo, más que los industriales y los artistas”²⁴.*

César Martinell dice en las páginas finales de su libro *Gaudí: su vida, su teoría, su obra, que:*

“Como síntesis de la múltiple y fecunda actuación gaudiana, después de analizadas su vida y su obra, destaca la ejemplaridad de ambas (...) Conceptúo difícilísimo hallar un caso parecido de dedicación profesional tan íntegra y equilibrada como el del genial maestro. Su ejemplaridad edificante y la huella de sus pasos sean guía para quienes se sientan dignos de imitarle”²⁵.

Gaudí, apenas dejó nada escrito, tan sólo unas pocas cartas, un artículo y unos apuntes juveniles. Solía decir que no era hombre de letras, sino de obras; no obstante, era un buen orador y exponía con frecuencia sus ideas a sus amigos y colaboradores. Algunos de ellos —entre los que destacan: César Martinell Brunet, José F. Rafols Fontanals²⁶, Isidro Puig Boada²⁷ y Juan Bergós Massó— escribieron y publicaron las frases más célebres de sus exposiciones. Posteriormente Isidro Puig Boada las recopiló en el libro *“El pensament de Gaudí”*, publicado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña en 1981, y reeditado en castellano por la Editorial DUX en 2015.

A partir de mediados del siglo XX, la figura de Gaudí comenzó a ser reivindicada por —entre otros— el pintor Salvador Dalí o el arquitecto José Luis Sert. En 1957 se

²² Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 35.

²³ Ver el glosario onomástico.

²⁴ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 88.

²⁵ *Ibidem*, p. 463.

²⁶ Ver el glosario onomástico.

²⁷ Ver el glosario onomástico.

organizó una importante exposición de su obra en el MOMA (Museum of Modern Art) Museo de Arte Moderno de Nueva York, y posteriormente la figura de Gaudí ha obtenido gran difusión a nivel internacional, incluso en países tan lejanos como en Japón donde su obra es muy conocida y valorada. Hay que tener en cuenta que la filosofía japonesa está profundamente marcada por la admiración y el respeto hacia la naturaleza, así como por la integración del hombre en ella.

En 1969 obtuvieron la catalogación de Monumentos Histórico-Artísticos de Interés Cultural del Ministerio de Cultura español un total de diecisiete obras de Gaudí (RD 1794/1969). En 1984 tres obras, el Parque Güell, el Palacio Güell y la Casa Milá, fueron inscritas en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, y por lo tanto, declaradas Patrimonio de la Humanidad. Posteriormente, el 15 de julio de 2005, el Comité del Patrimonio Mundial —reunido en la ciudad sudafricana de Durban— acordó la inclusión de otras cinco obras de Gaudí en la lista del Patrimonio Mundial: la Casa Vicens, la Fachada de la Natividad del Templo de la Sagrada Familia, la Cripta del Templo de la Sagrada Familia y la Cripta de la Iglesia de la Colonia Güell. Siendo por tanto siete el total los edificios, obra de Gaudí, declarados Patrimonio de la humanidad.

El acuerdo del Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO dice que *“al igual que estas tres joyas arquitectónicas [refiriéndose a las tres obras incluidas en la lista de 1984] los nuevos edificios atestiguan la excepcional contribución de las creaciones de Gaudí a la evolución de la arquitectura y las técnicas de construcción a finales del siglo XIX y principios del XX”*.

1.3. La arquitectura de Gaudí en su contexto histórico

La arquitectura popular ha sido siempre muy sostenible, como consecuencia lógica de la exigencia de supervivencia de la población, y de la necesidad de aprovechamiento de los medios disponibles, pero estas cualidades no han sido reconocidas hasta finales del siglo XX. Hasta ese momento, ha sido considerada como una arquitectura primitiva y poco sofisticada, quizás peculiar o pintoresca, pero no merecedora de investigaciones serias, en el ámbito de la construcción²⁸.

Figura 4. Arquitectura popular (preindustrial)

Fuente: www.turismodecantabria.com/descubre/zonas/6-saja-nansa#.U2DDe4FdO8U

Antonio Gaudí vive en un periodo histórico en el que la revolución industrial había comenzado a degradar las ciudades y su entorno, pero faltaban todavía muchos años para la llegada de lo que hoy conocemos como sostenibilidad en la edificación. Hasta finales del siglo XX no surge el concepto de sostenibilidad en la edificación, y no comienza a ser realmente valorada y estudiada en toda su importancia. Sin embargo Gaudí, con un siglo de antelación, ya valora como fundamentales en su arquitectura muchos de los principios que posteriormente van a configurar la sostenibilidad en la edificación, como por ejemplo:

1. Empleo generalizado de materiales pétreos del entorno próximo.
2. Abundante empleo de materiales económicos como el ladrillo o el azulejo.

²⁸ Steele, J. 2005, *Ecological Architecture: A critical history*, Thames & Hudson, Londres

3. Empleo de técnicas constructivas tradicionales de alta implantación y bajo coste.
4. Prefabricación de elementos constructivos.
5. Optimización mecánica del diseño estructural (o eficiencia estructural).
6. Sistemas de mejora de la iluminación natural.
7. Implantación de sistemas y mecanismos de ventilación natural.
8. Sistemas de mejora del aislamiento térmico.
9. Estudio de la incidencia del sol, para la mejora del sombreado y soleamiento.
10. Reciclaje y reutilización de residuos de la industria y la construcción.
11. Implantación de vegetación autóctona.
12. Integración paisajística en el medio natural.
13. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos.
14. Mejoras para el confort del usuario.
15. Mejoras en salubridad.
16. Diseños ergonómicos.

Alberto T. Estévez —Doctor Arquitecto, fundador y primer director de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Internacional de Cataluña— afirma que Gaudí empleó el *«trencadís» en aprovechamiento de material de desecho recogido directamente de la basura para su reciclaje, mucho antes de inventarse las palabras sostenibilidad o «arte povera»*²⁹.

Juan Bassegoda Nonell —uno de los mayores especialistas en Gaudí del siglo XX, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Director de la Real Cátedra Gaudí, Presidente de la Real Academia de Bellas Artes de San Jordi y autor de numerosos proyectos de restauración de sus obras— anticipó la idea de

²⁹ Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid, p. 36.

interpretar el mensaje gaudiano en clave de ecología y sostenibilidad, en su libro *El gran Gaudí*³⁰, cuando afirmó que:

*“Los arquitectos de mañana puede que lleguen a comprender el sencillo mensaje gaudiano. Será difícil desprenderse de tres milenios de cultura arquitectónica, pero tendrá que hacerse al igual que se está haciendo con la tecnología desenfrenada que causa daños a la naturaleza. Con la ecología se ha comenzado a defender la naturaleza frente a la ciencia y la tecnología. Gaudí predicó una arquitectura adaptada a la naturaleza que nunca puede dañarla...”*³¹.

³⁰ Uno de los más completos y minuciosos trabajos publicados hasta hoy, sobre la vida y la obra de Antonio Gaudí.

³¹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 14.

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE

2.1. Origen y evolución de la sostenibilidad

El concepto moderno de sostenibilidad, y la necesidad de concienciación por parte de la sociedad, surgen de forma evidente en los últimos decenios del siglo XX, como consecuencia de distintos acontecimientos políticos y económicos que van progresivamente desencadenándose a lo largo de dicha centuria. No obstante, de forma restringida al ámbito forestal, *“el término y concepto de «Desarrollo Sostenible» tiene su origen en la Alemania del siglo XVIII cuando la escasez de recursos económicos llevó a la introducción de principios de sostenibilidad en la administración forestal”*³². La crisis de la madera para combustible que amenazó la industria de la plata de Augusto II el Fuerte —Rey de Sajonia y Polonia— tuvo como resultado la aparición, en 1713, de un libro de Hans Carl von Carlowitz, en el que formulaba por primera vez el concepto de sostenibilidad, en alemán “Nachhaltigkeit”³³.

Independientemente de los muchos cambios que van a producirse a partir de la Revolución Industrial, hay que destacar que *“la enorme disponibilidad de energía que aporta el uso de los combustibles fósiles frente a las fuentes tradicionales, supone la sustitución de la base de recursos biosférica por la litosférica, tan enorme que parece prácticamente inextinguible (...) convirtiendo a muchos de los países, hasta entonces agrícolas, en sociedades industriales”*³⁴. La preocupación creciente por las consecuencias de los acontecimientos —que van desencadenándose a lo largo del siglo XX— va concretándose en acciones impulsadas desde el sector público, como en 1980, la Estrategia de Conservación Mundial “World Conservation Strategy” (WCS), que introduce los tres ámbitos del desarrollo sostenible —social, ecológico y económico— y en 1983, la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo “World Commission on Environment and Development” (WCED)³⁵.

³² Soto de Prado y Otero, C. 2010, “Hacia una cultura de la sostenibilidad a través de los textos de Goethe”, *Revista de Filología Alemana*, vol. 18, p. 59.

³³ *Ibidem*, p. 60.

³⁴ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, pp. 22-23.

³⁵ *Ibidem*, p. 24.

A partir de este momento, como consecuencia del aumento progresivo de la industrialización y las necesidades de la población, se produce un nuevo empuje en la concienciación a nivel político y social. En 1972 se celebra, en Estocolmo, la primera conferencia de la Organización de Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo. Posteriormente, estas conferencias —también conocidas como “Cumbres de la Tierra”— van a sucederse en los años 1992, 1997, 2002 y 2012, poniéndose en marcha numerosas políticas y medidas concretas, destinadas a la protección del medio ambiente y al desarrollo sostenible. La Organización de Naciones Unidas también celebra anualmente, desde 1995, las Conferencias Internacionales sobre Cambio Climático o Conferencias de las Partes (COP).

Figura 5. Extracción de carbón a cielo abierto

Fuente: www.diariodeleon.es/noticias/provincia/trabajo-urogallo_666335.html

Hoy en día, la situación ha evolucionado de tal manera que, palabras como “verde y sostenible se han convertido en adjetivos comúnmente utilizados en todas partes, especialmente por periodistas y políticos. Se escribe sobre economía sostenible, tecnología verde, e incluso trabajos verdes (...) Sin embargo, la sobreexplotación del mensaje, sin argumentos contrastados, puede producir que el término se vacíe de contenido y que se confunda con una tendencia pasajera”³⁶, lo que puede ser muy perjudicial, puesto que la sostenibilidad no es una moda pasajera, sino un pilar fundamental de desarrollo y bienestar. La sostenibilidad, lejos de banalizarse, debe consolidarse y desarrollarse en muchos aspectos, especialmente en el ámbito

³⁶ Ibidem, p. 11.

económico y social, puesto que el ámbito medioambiental es actualmente el más desarrollado.

Figura 6. Imagen publicitaria de Economía Verde

Fuente: warningcurvedstation.blogspot.com.es/2012/06/la-economia-verde-generadora-de-empleo.html

El “Informe Brundtland” —de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (WCED), anteriormente mencionada— recoge una de las definiciones de sostenibilidad más ampliamente divulgadas, afirmando que el desarrollo sostenible es aquel que es capaz de satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones³⁷. En el “Informe Brundtland”, se distinguen tres fuentes de recursos, o “capitales”, que deben ser racionalmente gestionados³⁸:

1. El capital económico.
2. El capital medioambiental.
3. El capital social.

Estos “capitales” conforman una “triple línea de base” económica, medioambiental y social, —“Triple Bottom Line”, TBL o 3BL— que genera tres “ámbitos” distintos de la sostenibilidad, también conocidos habitualmente como los “pilares” de la sostenibilidad. Los tres ámbitos de la sostenibilidad, a su vez, están íntimamente relacionadas entre sí, pues una mejora medioambiental siempre aporta mejoras de ámbito social, y —aunque

³⁷ CMMAD , *Informe Brundtland de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* [Homepage of ONU], [Online]. Available: es.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987 [2017, 09/25]

³⁸ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 25.

quizás, no a corto plazo— también mejoras de ámbito económico. De alguna forma, cada ámbito de la sostenibilidad siempre influye en los otros dos.

Figura 7. Ámbitos de la sostenibilidad
Fuente: www.veoverde.com/2009/01/desarrollo-sustentable/

Otro evento importante, en el ámbito de la sostenibilidad, fue la Exposición Universal de Hannover del año 2000, para la que se elaboró un documento —comúnmente conocido como Principios de Hannover³⁹— en el que se proponen, de forma resumida, los siguientes puntos:

1. El derecho a la coexistencia saludable, diversa y sostenible de la humanidad y la naturaleza.
2. La interdependencia mutua de los diseños humanos y la naturaleza.
3. El respeto por las relaciones entre lo espiritual y lo material de los asentamientos humanos en la vivienda, la industria, el comercio y todos los demás aspectos de las comunidades.
4. La responsabilidad por las consecuencias del diseño sobre el bienestar de la humanidad y la preservación de la naturaleza.
5. Preocupación por el diseño y la creación de productos y procesos potencialmente seguros y con valor a largo plazo.

³⁹ Los conocidos como “Principios de Hannover” son los principios generales de un documento —elaborado a comienzos de los años noventa, por el equipo del arquitecto William McDonough— en el que se debatían las principales medidas de diseño a tener en cuenta en la Exposición Universal de Hannover del año 2000, para que los pabellones y los nuevos espacios construidos constituyeran realmente un desarrollo sostenible para la ciudad.

6. Evaluación del ciclo de vida completo de productos y procesos para al igual que en la naturaleza eliminar el concepto de residuo o desecho.
7. Aprovechamiento de la energía natural del sol y de los elementos de manera eficiente y segura al igual que hace la naturaleza.
8. Humildad en la creación y planificación de los diseños creados por la mano del hombre aceptando sus limitaciones y tomando como modelo y consejera a la naturaleza.
9. Buscar la mejora constante compartiendo el conocimiento y fomentando la comunicación entre todos para enlazar la sostenibilidad con la responsabilidad ética⁴⁰.

En definitiva, se puede decir que los Principios de Hannover recogen ya, de forma muy explícita, la importancia de la naturaleza como modelo de sostenibilidad y eficacia, así como la necesidad de la preservación de la misma. En el punto octavo dice textualmente:

“Aquellos que crean y planifican deberían practicar la humildad ante el ejemplo de la naturaleza. Trata la naturaleza como modelo y consejera...”

Esto es, precisamente, lo que dijo Gaudí con un siglo de antelación, y lo que le llevó — en algunas ocasiones— a ser criticado e incomprendido, en un momento histórico en el que el fervor del desarrollismo industrial dejaba al margen el respeto y la protección de la naturaleza. Afortunadamente, hoy en día, nuevas ciencias como la “biomimética” o “biomímesis” toman la naturaleza como fuente de inspiración en el desarrollo de nuevas tecnologías, por considerar que ésta lleva al ser humano muchos millones de años de adelanto. La naturaleza, a lo largo de 3,8 billones de años de evolución, ha dado lugar a estructuras de “diseño inteligente”, que podemos estudiar e imitar —o más bien, reinterpretar— para aprender a diseñar tecnologías más sostenibles. Numerosos edificios como el “Eastgate Centre” de Zimbabwe o el pabellón temático “One Ocean” para la EXPO 2012, en Yeosu (Corea del Sur), consiguen sorprendentes logros, emulando los sistemas y procesos naturales.

⁴⁰ McDonough, W. 1992, *The Hannover principles: design for sustainability*, William McDonough & Partners, Charlottesville.

2.2. Sostenibilidad en la arquitectura

Durante muchos siglos y hasta la Revolución Industrial, *“la elección del emplazamiento de pueblos y ciudades se realiza según cuidadosas consideraciones del microclima local y supone una decisión energética de gran trascendencia, pues si el clima del lugar se aproxima a las condiciones de confort del ser humano, se reducen sus necesidades de calefacción o refrigeración (...) el desarrollo de la arquitectura se realiza teniendo en cuenta las implicaciones energéticas de su construcción, recurriendo a formas de mínimo consumo, adaptadas al clima y ejecutadas con materiales abundantes, próximos y renovables”*⁴¹. La Revolución Industrial transforma rápidamente las ciudades y su entorno construyendo grandes barrios de viviendas insalubres donde la gente vive hacinada y sin las más mínimas condiciones de confort y salubridad.

Figura 8. Barrio pobre de Londres del siglo XIX

Fuente: transeuntenorte.blogspot.com.es/2012_07_01_archive.html

Como reacción a esta situación surgen movimientos como el Estilo Internacional, a principios del siglo XX, que buscan soluciones de diseño universales. Pero todos estos movimientos entienden, cada vez más, el edificio como una pieza aislada que se coloca en cualquier parte, *“en múltiples ocasiones, la arquitectura proyectada en el siglo XX, no ha tenido como concepto prioritario la integración medioambiental. Este hecho ha producido graves distorsiones y encarecimientos”*⁴².

Le Corbusier llegó incluso a proponer *“una sola casa para todos los paisajes y para todos los climas: la casa de la respiración exacta”*. De esta forma, la arquitectura va aislándose progresivamente de la cultura y el entorno natural, *“los edificios continúan*

⁴¹ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, p. 22.

⁴² da Casa Martín, F. 2000, *Adecuación bioclimática en la subregión de Madrid, para el diseño de los edificios y sus elementos constructivos*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 1.

incorporando las nuevas aportaciones tecnológicas (...) pero se construyen ignorando cada vez más las reglas básicas de buena orientación, buen factor de forma, proporción adecuada entre macizo y hueco, aislamiento térmico suficiente, protección solar, etc. En lugar de adaptarse a cada entorno específico (...) se opta por el recurso cada vez mayor del consumo de energía para garantizar las condiciones de confort, convirtiendo los edificios en espacios cerrados y aislados, regulados artificialmente”⁴³.

A mediados del siglo XX empieza a imponerse la construcción de edificios con estructuras de acero u hormigón armado —a base de jácenas y pilares— en vez de los tradicionales muros de carga. A partir de ese momento las fachadas empiezan a actuar, fundamentalmente, como elementos de cerramiento, disminuyendo notablemente su espesor, y permitiendo la apertura de ventanas de mayores dimensiones, para la mejora de la iluminación en el interior de los edificios. Como consecuencia de la difusión de la climatización artificial —introducida por Willis Carrier en la década de los 40— se produjo una *“indiferencia creciente hacia el potencial de la envolvente para generar o conservar energía”⁴⁴*, y el aumento de la superficie acristalada de los edificios se convirtió en *“un desafío tecnológico por la fascinación que produjeron sus cualidades en la sociedad”⁴⁵*. Esta nueva tipología de edificios *“materializada como prismas herméticos acristalados y acondicionados completamente, fue recibida por el sector como un modelo fácilmente industrializable y repetible”⁴⁶*. Son ejemplo de ello tres edificios de Nueva York de los años 50: el Secretariado de Naciones Unidas (Harrison, 1950), Lever House (SOM, 1952) y Seagram Building (Mies van der Rohe, 1958).

Las altas demandas de consumo de energía para la climatización artificial de este tipo de edificios, junto con la alta demanda de iluminación artificial necesaria para contrarrestar el oscurecimiento de los acristalamientos —con tratamientos para la insolación— y la aparición de equipos informáticos y otros dispositivos eléctricos, hicieron que el consumo de energía primaria en edificios no residenciales aumentara a más del doble entre los años 50 y 70⁴⁷.

⁴³ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, p. 23.

⁴⁴ Orondo Iglesias, J. 2015, *Metodología de diseño sostenible de edificios comerciales, con una herramienta de evaluación asociada, para orientar la toma de decisiones en las fases iniciales del proyecto arquitectónico*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 55.

⁴⁵ *Ibidem*, p. 51.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 54.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 60.

Figura 9. Edificio del Secretariado de Naciones Unidas (Nueva York), Harrison

Fuente: www.agromarketing.mx/2017/07/11/las-ventajas-de-plantar-un-arbol-y-mas-si-es-de-aguacate/

Desde principios del siglo XX, la edificación va siendo cada vez más despilfarradora y agresiva con el medioambiente, y aunque esta problemática “se pone de manifiesto en diferentes ocasiones, como en el libro *Silent Spring* o en el informe del Club de Roma, es el embargo sobre el petróleo de la OPEC en 1973, y la crisis energética derivada, lo que supone una llamada internacional de atención sobre la excesiva dependencia de las sociedades industrializadas de los combustibles fósiles, y se produce el nacimiento de la sostenibilidad en la edificación”⁴⁸.

Hoy en día, la construcción de edificios consume, aproximadamente, el 40% de los recursos naturales extraídos y el 40% de la energía, produciendo entre el 30% y el 65% de los residuos enviados a vertederos, y el 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero⁴⁹. Esto convierte a la construcción en una de las actividades menos sostenibles del planeta, por su enorme impacto medioambiental. Al mismo tiempo, la edificación también tiene un extraordinario impacto a nivel económico y social, influyendo de forma decisiva en la calidad de vida de las personas y el desarrollo económico de los países. Nuestra vida cotidiana gira alrededor de una gran variedad de

⁴⁸ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, p. 24.

⁴⁹ *Ibidem*, pp. 13 y 14.

edificios: vivimos en casas, trabajamos en oficinas, y nos relacionamos en bares y cafeterías⁵⁰.

Durante la década de los 70 se intentó aumentar la eficiencia energética de los edificios, a través de normativas como la NBE CT-79. En la década de los 80, se incrementó la preocupación por el impacto medioambiental de la construcción, el ambiente interior de los edificios y la calidad del aire⁵¹. Finalmente, en 2006 se publicó el Código Técnico de la Edificación (CTE), cuyos documentos básicos —incluido el de ahorro de energía (DB-HE)— no han dejado de actualizarse hasta la fecha. En 2013, los objetivos de la directiva europea 2010/31/UE y del Real Decreto 235/2013 —respecto a los edificios de consumo de energía “casi nulo” (EECN) para el horizonte de 2020— han llevado a la actualización del DB-HE, introduciendo un nuevo modelo en las exigencias, que habrán de ir asociadas a una mayor valoración de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico⁵².

A finales del siglo XX, el postmodernismo intenta reducir el impacto en las ciudades de la excesiva estandarización industrial y de las abstractas fachadas de vidrio, con edificios como el AT&T Building de Nueva York (Johnson, 1984), en el que la fachada queda configurada como una sucesión de ventanas de moderado tamaño sobre muros opacos. Sin embargo, la utilización de grandes superficies acristaladas ha seguido cautivando a arquitectos y promotores, que ven en la transparencia de las fachadas un símbolo de la transparencia de sus negocios y empresas, a la vez que, un símbolo de modernidad y prestigio⁵³. Es muy significativo el artículo titulado: *Un muro para todas las estaciones*, “A Wall for all seasons”, de los arquitectos Mike Davies y Richard Rogers, en el que señalaron que a partir de la crisis energética de los años 70, y del reconocimiento del gran impacto medioambiental de la construcción, los arquitectos deberían considerar el vidrio como un componente más de la fachada, y no como el único, puesto que el objetivo fundamental de la misma es minimizar el consumo de energía del edificio, y maximizar la satisfacción y el confort del usuario⁵⁴.

⁵⁰ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 3.

⁵¹ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, p. 24.

⁵² Suárez, R. & Fragoso, J. 2016, “Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo”, *Informes de la Construcción*, vol. 68, no. 541 enero-marzo.

⁵³ Orondo Iglesias, J. 2015, *Metodología de diseño sostenible de edificios comerciales, con una herramienta de evaluación asociada, para orientar la toma de decisiones en las fases iniciales del proyecto arquitectónico*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 61.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 64.

Figura 10. Edificio AT&T Building (Nueva York), Johnson
Fuente: commons.wikimedia.org/wiki/File:Sony_bldg_Manhattan_west_jeh.JPG

Para el arquitecto de hoy en día, la sostenibilidad es un concepto —a veces complejo o indefinido— que tiene que ver con el respeto de la naturaleza, el ahorro energético y el rendimiento económico, pero también significa crear espacios saludables y sensibles a las necesidades sociales⁵⁵. En la actualidad, no existe una definición única de “edificio sostenible”, no obstante, podríamos distinguir dos tendencias claramente diferenciadas. La primera de ellas estaría formada *“por aquellas actuaciones tendentes a recuperar un cierto grado de primitivismo, volviendo a soluciones vernáculas, enfatizando los peligros que acechan al desarrollismo y reivindicando lo natural frente a los desmanes del progreso tecnológico (...) Es un planteamiento acompañado, muchas veces, de cierto fundamentalismo ecológico en el sentido de prohibir o limitar el empleo de muchos materiales de construcción”*⁵⁶.

⁵⁵ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 3.

⁵⁶ Celis D'amico, F. 2000, "Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual", *Ciudades para un futuro más sostenible*, [Online].

Figura 11. Arquitectura de barro

Fuente: www.oyp.com.ar/nueva/revistas/209/1.php?con=2

La segunda tendencia, actualmente muy difundida, tendría que ver con la arquitectura de alta tecnología o “high-tech” —casi siempre de gran repercusión mediática— *“se trata de un modelo exhibicionista que aplica los más espectaculares alardes técnicos en la resolución de edificios, con complejos sistemas activos de control climático (...) sin tener en cuenta otras premisas, como el coste energético de construcción, generalmente elevadísimo. Se trata de un modelo que se extiende como manifiesto de futuro, pero que debido a su elevado coste sólo es asumible por corporaciones privadas de alto nivel económico, que lo exhiben como símbolo de poder y como objeto publicitario dentro de la moda actual por lo ecológico”*⁵⁷. Esta arquitectura, generalmente globalizada —que no tiene en cuenta los condicionamientos del entorno: climáticos, orográficos, etc.— es habitualmente una arquitectura despilfarradora y poco sostenible:

*“El actual y erróneo paradigma dominante se podría, por lo tanto, sintetizar en la creencia generalizada de que la aplicación de las “nuevas” tecnologías podrá resolver, en gran medida, el reto de la sostenibilidad (...) esencialmente, la continuación de nuestros patrones de vida con un poco de tecnología verde añadida para sentirnos un poquito menos culpables”*⁵⁸.

En el punto medio de estas dos tendencias habría una tercera, que podríamos llamar posibilista, según la cual, *“se trata de introducir, paulatinamente, mejoras en el diseño arquitectónico y en la resolución constructiva de los edificios, de tal modo que con un*

⁵⁷ Ídem.

⁵⁸ Wang, W. 2010, “Cambiando los paradigmas: el reto de la sostenibilidad en la arquitectura”, *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 12, pp. 79 y 80.

*pequeño incremento de costes, se obtengan notables beneficios en ahorro energético y adecuación ambiental (...) Además, se trata de un modelo perfectamente adaptable a la idiosincrasia social y económica de cada lugar, y por tanto perfectamente compatible con las necesidades de desarrollo y sostenibilidad*⁵⁹, pudiendo también emplear soluciones de alta tecnología, pero no de forma caprichosa o exhibicionista, sino tan solo, cuando sean realmente necesarias, y se hayan empleado previamente las estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental correspondientes.

Figura 12. Arquitectura high-tech (Edificio BMW-Welt, diseñado por los arquitectos de Coop Himmelb [1] au)
Fuente: www.bmwblog.com/2009/09/04/wallpapers-bmw-welt/bmw-welt-m%C2%9Fnchen-2/

Establecer contradicción entre tecnología y tradición ha sido un error frecuente en los planteamientos teóricos de algunos de los estudiosos de la sostenibilidad en la arquitectura. Por el contrario, es posible aplicar los conocimientos tecnológicos actuales al perfeccionamiento y mejora de los valiosos conocimientos acumulados por la arquitectura popular a lo largo de los siglos⁶⁰. Hoy en día —más que nunca— es preciso *“prestar atención a las culturas locales a la hora de analizar cuestiones relacionadas con el medio ambiente, poniendo en diálogo el lenguaje científico-técnico con el lenguaje popular”*⁶¹.

⁵⁹ Celis D'amico, F. 2000, "Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual", *Ciudades para un futuro más sostenible*, [Online].

⁶⁰ Rivela Carballal, B. 2012, *Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 35-36.

⁶¹ Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid, 143.

Independientemente de las discrepancias en el diseño y construcción de edificios sostenibles, los objetivos fundamentales comúnmente reconocidos son los siguientes:

1. Ámbito económico⁶²:

- Reducción de costes de producción y transporte de materiales de construcción.
- Reducción de costes de construcción del edificio.
- Reducción de consumos de agua y energía.
- Reducción de costes de mantenimiento y reparación del edificio.

2. Ámbito medioambiental:

- Eficiencia energética.
 - Estrategias pasivas de acondicionamiento climático (diseño bioclimático)⁶³.
 - Sistemas activos de acondicionamiento climático (soluciones tecnológicas)⁶⁴.
- Reducción del impacto medioambiental.
 - Empleo de fuentes de energía renovable y no contaminante⁶⁵.
 - Reciclaje y reutilización de residuos.
 - Protección y aprovechamiento de los recursos naturales.
 - Protección del entorno natural, la calidad del aire y el agua, los ecosistemas, la biodiversidad y el paisaje.

⁶² En el mundo anglosajón se conoce como "Building Economics".

⁶³ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1986, *Acondicionamiento y energía solar en arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

⁶⁴ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1996, *Las técnicas de acondicionamiento ambiental: sistemas de acondicionamiento y arquitectura*, ETS de Arquitectura, Madrid.

⁶⁵ Bedoya Frutos, C., Carril García, A., Cembranos Díaz, L., Macías Miranda, M. & Neila González, F.J. 1982, *Las energías alternativas en la arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

3. Ámbito social:

- Confort del usuario (acondicionamiento ambiental, accesibilidad...) ⁶⁶.
- Seguridad y salud del usuario.
- Bienestar social.
- Protección del patrimonio histórico, artístico y cultural ⁶⁷.

Los tres ámbitos de la sostenibilidad —económico, medioambiental y social— están íntimamente relacionados entre sí, de forma que cada uno de ellos influye notablemente en los otros dos. Por ejemplo, los beneficios medioambientales influyen positivamente en los beneficios sociales y tanto unos como otros, en los beneficios económicos a largo plazo. Efectivamente, la arquitectura sostenible no es mucho más cara que la arquitectura convencional —tan solo entre un 0% y un 4%— y además, se calcula que el 50% de los edificios recuperan la inversión en menos de 5 años, a consecuencia de los ahorros de energía y agua, independientemente de los numerosos beneficios en valores intangibles de difícil cuantificación ⁶⁸.

Para poder evaluar el grado de sostenibilidad de un edificio, según unos criterios objetivos, en muchos países se han desarrollado sistemas de evaluación del impacto económico, medioambiental y social de los edificios. Todos estos sistemas de evaluación *“se basan en la cuantificación de los impactos ambientales producidos por el rendimiento de las estrategias implementadas en el diseño del edificio. De acuerdo al informe «Certificación Ambiental de Edificios» (CAE VERDE), un impacto es cualquier cambio en el medioambiente, en las condiciones económicas o en la calidad de vida, tanto parcial o total, adverso o beneficioso, resultante de los efectos de los elementos físicos del proyecto o de la forma en que el proyecto es gestionado”* ⁶⁹.

En el año 1990 se desarrolló en Reino Unido el sistema de evaluación BREEAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method), en el año 1998 apareció en Estados Unidos el sistema de evaluación LEED (Leadership in Energy and

⁶⁶ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1991, *Técnicas de acondicionamiento*, ETS de Arquitectura, Madrid.

⁶⁷ Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid, 143.

⁶⁸ Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid, p. 30.

⁶⁹ Orondo Iglesias, J. 2015, *Metodología de diseño sostenible de edificios comerciales, con una herramienta de evaluación asociada, para orientar la toma de decisiones en las fases iniciales del proyecto arquitectónico*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 83.

Environmental Design) y en el año 2008 apareció en España el sistema de evaluación VERDE (Valoración de la Eficiencia de Referencia De Edificios). Durante las últimas dos décadas se ha producido un gran desarrollo de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad, y en la actualidad, los más habitualmente empleados son los siguientes.

Tabla 1. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad en la edificación de uso más extendido

Fuente: adaptado a partir de Rivela Carballal, B. (2012)

SISTEMA	PAÍS
BREEAM	Reino Unido
HQE	Francia
Verde	España
ITACA	Italia
Nordic Swan	Países Nórdicos
DGNB	Alemania
LEED	EEUU
CASBEE	Japón
Green Star	Australia
SBTool	Internacional
Green Globes	Canadá
Ecoprofile	Noruega
EEWH	Taiwán
Green Mark	Singapur
HK BEAM	Hong Kong
LIDER A	Portugal
MINERGIE	Suiza
PromisE	Finlandia
NABERS	Australia
SBAT	Sudáfrica

2.3. Calidad del diseño y desarrollo sostenible

El diseño de calidad en la arquitectura es algo que no es fácil de definir, ni tampoco de medir o evaluar, sin embargo es evidente que es de suma importancia en muchos aspectos como:

- El impacto medio ambiental.
- La rentabilidad económica de la inversión financiera.
- El impacto estético, cultural y social.
- La calidad de vida de los usuarios, etc.

No obstante, en los últimos años, Reino Unido ha realizado avances importantes en este ámbito de investigación —cada vez más demandado— desarrollando algunas herramientas de análisis de la calidad del diseño arquitectónico, comúnmente conocido como “Design Values” (Valor del Diseño). Evidentemente, es un análisis del diseño arquitectónico en sentido amplio, que va mucho más allá del simple aspecto externo, y en el cual se estudian múltiples valores relacionados con la funcionalidad, la calidad constructiva y el impacto visual⁷⁰.

Habitualmente, se ha invertido muy poco en este campo de investigación, realizándose muchas construcciones de baja calidad. Investigaciones recientes, en Estados Unidos, han demostrado que un gran porcentaje del gasto total de la promoción y construcción de edificios es consecuencia de defectos de proyecto, que podían haberse evitado.

Dos organizaciones en Reino Unido, el Consejo de la Industria de la Construcción, “Construction Industry Council” (CIC) y la Comisión para la Arquitectura y el Entorno Construido, “Commission for Architecture and the Built Environment” (CABE), empezaron hace unos años a trabajar en el desarrollo de metodologías de investigación, que permitieran la evaluación objetiva de parámetros de valoración de la calidad del diseño arquitectónico. El CIC desarrolló en 1999 una herramienta de evaluación denominada, Indicador de la Calidad del Diseño, “Design Quality Indicator” (DQI), basada en el análisis de distintos atributos que objetivamente pueden intervenir en la calidad del diseño arquitectónico. Partiendo del modelo clásico de Vitrubio, que —en su tratado del siglo I a.c., *De Architectura*— hace referencia a los valores “firmitas”, “utilitas”

⁷⁰ Sallette, M.A. 2005, “DesignValues Measuring the economic value of investing in architecture and design”, *URBANLAND*, vol. November-December

y “venustas” (firmeza, funcionalidad y deleite) el DQI reinterpreta estos valores de la siguiente forma:

1. Funcionalidad (utilitas):

- Utilidad y servicio a los usuarios del edificio.
- Accesibilidad y ausencia de barreras arquitectónicas
- Adecuada distribución del espacio.
- Adecuación a las innovaciones.

2. Impacto visual (venustas):

- Diseño y calidades de los materiales empleados.
- Adecuación de la ambientación interior.
- Integración social, urbana y medioambiental.

3. Calidad constructiva (firmitas):

- Prestaciones del edificio y de las instalaciones del edificio.
- Calidad en el diseño y ejecución de las instalaciones del edificio.
- Calidad de los remates y acabados constructivos, y estabilidad estructural.

Los resultados del análisis se representan gráficamente por medio de un diagrama de “radar” de diez ejes concéntricos.

Recientemente, el gobierno británico ha asociado la calidad del diseño —o calidad del proyecto— al desarrollo sostenible, en un documento titulado: “Planning Policy Statement I, Delivering Sustainable Development” (PPSI), donde afirma que *“la calidad del proyecto de los edificios promueve el desarrollo sostenible”*⁷¹. Si la aplicación de las tecnologías encaminadas a la sostenibilidad se incluye en el proyecto, desde sus fases iniciales, disminuye notablemente el coste de construcción y mantenimiento de los edificios. Por el contrario, cuando estas tecnologías intentan incluirse en edificios ya construidos, suponen —en la mayoría de los casos— grandes inversiones para

⁷¹ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 162.

pequeñas mejoras⁷². Esto demuestra la gran importancia de la calidad del diseño para la sostenibilidad en la edificación.

Figura 13. Diagrama DQI "Design Quality Indicator"

Fuente: webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110118161326/http://www.cabe.org.uk/buildings

⁷² Ídem.

2.4. El diseño bioclimático como fundamento de la arquitectura sostenible

Dada la enorme importancia del estudio de la sostenibilidad de los edificios en las fases iniciales del proyecto arquitectónico —tal y como proponen los estudios sobre el Valor del Diseño, “Design Values”, desarrollados en Reino Unido en los últimos años— es necesario sentar las bases del diseño arquitectónico sostenible.

Un diseño arquitectónico, realmente sostenible, no puede dejar en segundo plano las estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental, determinadas por la adaptación del edificio a la climatología de la zona, aunque los sistemas tecnológicos de climatización de hoy en día puedan permitirlo:

“Desde los albores de la humanidad los sistemas pasivos estuvieron presentes en la mente de los hombres (...) mediante hechos constructivos conscientes, fruto de su experiencia, que dieron lugar a la arquitectura pasiva”⁷³.

No se puede construir el mismo edificio —con los mismos materiales, sistemas constructivos, etc.— en un clima frío, en un clima cálido húmedo o en un clima cálido seco⁷⁴. Uno de los principales *“problemas que se presentan con la nueva ola de edificios sostenibles, es que se incluyen soluciones y tecnologías proyectadas para otros entornos y otras condiciones climáticas. Y cuando se adaptan a las condiciones climáticas, los datos de partida proceden de estaciones meteorológicas a mucha distancia”⁷⁵*. En ese sentido, Gaudí afirmaba que:

“La construcción, como la justicia, resuelve siempre cada caso concreto; de modo que no pueden hacerse tipos que sirvan para varios sitios”⁷⁶.

Por tanto, es fundamental que el diseño bioclimático sea la base del diseño arquitectónico, como lo ha sido siempre:

“Desde tiempos inmemoriales la arquitectura vernácula ha ofrecido respuesta al clima de formas muy diversas”⁷⁷.

⁷³ Bedoya Frutos, C., Carril García, A., Cembranos Díaz, L., Macías Miranda, M. & Neila González, F.J. 1982, *Las energías alternativas en la arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 17.

⁷⁴ Coch Roura, H. & Serra Florensa, R. 1995, *Arquitectura y energía natural*, Ediciones UPC, Barcelona.

⁷⁵ Inglés Gosálbez, B. 2015, *Biomimetismo entre los endemismos arquitectónicos y taxones en Cantabria*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 352.

⁷⁶ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 107.

⁷⁷ Larrumbide, E. & Bedoya, C. 2015, “El comportamiento del hueco de ventana en la arquitectura vernácula mediterránea española ante las necesidades de acondicionamiento solar”, *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 539 julio-septiembre, p. 2.

La arquitectura de diseño bioclimático es siempre muy sostenible, puesto que incorpora estrategias pasivas altamente eficaces, que permiten prescindir —en mayor medida— de los sistemas tecnológicos activos, a veces costosos, de complicado mantenimiento y poco saludables para los usuarios. Los sistemas tecnológicos activos son necesarios, y deben emplearse, pero siempre como complemento de las estrategias pasivas, y no para suplir sus carencias o deficiencias. Es erróneo pensar *“que la aplicación de las “nuevas” tecnologías podrá resolver, en gran medida, el reto de la sostenibilidad”*⁷⁸.

Las exigencias de la directiva europea 2010/31/UE y del Real Decreto 235/2013 —respecto a los edificios de consumo de energía “casi nulo”— han conducido a la actualización en 2013, del Código Técnico de la Edificación (DB-HE), introduciendo nuevos conceptos que habrán de asociarse a una mayor valoración de las estrategias pasivas de diseño bioclimático⁷⁹.

Gaudí empleaba, con gran maestría, las estrategias bioclimáticas tradicionales de la arquitectura popular, y en algunos casos —a partir de esas estrategias bioclimáticas— concebía ingeniosos sistemas innovadores⁸⁰:

*“En la Casa Batlló, podemos hablar en mayúsculas de Arquitectura Bioclimática. Puesto que Gaudí echará mano, una vez más, de la arquitectura vernacular, así como de toda una serie de sistemas pasivos, mecánicos de climatización, para un mayor aprovechamiento activo de las energías renovables...”*⁸¹.

Las principales estrategias bioclimáticas empleadas habitualmente son:

1. Por temperatura en invierno.

-Efecto invernadero (captación de energía). La energía solar penetra a través de los ventanales de vidrio, quedando retenida en el interior, y produciendo el calentamiento de la estancia⁸². Esta estrategia se utiliza, por ejemplo, en las galerías acristaladas gallegas.

⁷⁸ Wang, W. 2010, "Cambiando los paradigmas: el reto de la sostenibilidad en la arquitectura", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 12, pp. 79 y 80.

⁷⁹ Suárez, R. & Fragoso, J. 2016, "Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo", *Informes de la Construcción*, vol. 68, no. 541 enero-marzo.

⁸⁰ Bassegoda Nonell, J. 1990, "La construcción tradicional en la arquitectura de Gaudí", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 9.

⁸¹ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 67.

⁸² Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1986, *Acondicionamiento y energía solar en arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

Figura 14. Galería acristalada (efecto invernadero)

Fuente: reportajes.ambassador.es/reportajes/C14090/C14090S04.html

-Inercia térmica (acumulación de energía). Capacidad de almacenamiento de energía térmica de un material, que posteriormente va desprendiendo durante las horas del día en que es demandada⁸³. En las galerías acristaladas gallegas, por ejemplo, los muros de piedra introducen en el interior de la vivienda el calor almacenado por el efecto invernadero de las cristaleras.

-Aislamiento térmico. Se consigue mediante la interposición de materiales de baja conductividad térmica o cámaras de aire en la envolvente del edificio. Por ejemplo, mediante la disminución de la pendiente del alero, para que la nieve quede retenida en la cubierta, o también —en climas no tan fríos— mediante la construcción de estancias deshabitadas bajo cubierta, como trasteros, pajares u otras dependencias.

2. Por temperatura en verano.

-Aislamiento térmico reflectivo. Los colores claros en fachada son capaces de reflejar la luz del sol y disminuir en varios grados la temperatura interior del edificio; estos colores son capaces de reflejar —en mayor medida— la luz solar, en vez de absorberla. Esta estrategia se utiliza mucho en el sur de España, mediante el encalado de las fachadas.

⁸³ Bedoya Frutos, C., Carril García, A., Cembranos Díaz, L., Macías Miranda, M. & Neila González, F.J. 1982, *Las energías alternativas en la arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

Figura 15. Fachadas encaladas (aislamiento térmico reflectivo)

Fuente: blogs.hoy.es/lostesorosdelaraya/2013/08/13/monsaraz-la-pizarra-hecha-ensueno/

-Enfriamiento evaporativo (vulgarmente conocido como “efecto botijo”). El proceso de evaporación del agua necesita un aporte de energía térmica que roba del ambiente, rebajando la temperatura. Esta estrategia se utiliza, por ejemplo, en los patios ajardinados, mediante la colocación de plantas que aporten humedad al ambiente.

-Enfriamiento radiante. Durante la noche, y con cielos despejados, se produce la reirradiación del calor almacenado durante las horas de sol, produciéndose un enfriamiento que —adecuadamente confinado en los patios— puede transmitirse al interior de las estancias durante las primeras horas del día. Esta estrategia se utiliza también en los patios andaluces.

-Enfriamiento conductivo. Los muros de las estancias, cuando están en contacto directo con el terreno, regulan la temperatura en el interior de las mismas. Esta estrategia se utiliza en las construcciones enterradas, como sótanos, semisótanos o bodegas.

-Enfriamiento convectivo. Cuando hay capacidad de ventilación nocturna, y suficiente inercia térmica, se puede almacenar el frescor producido durante la noche.

-Protección de la radiación solar. Se consigue mediante la reducción de la superficie de huecos —en las fachadas más expuestas al sol— o mediante el sombreado de los mismos. También, mediante el autosombrado de patios y fachadas.

3. Por calidad del aire.

-Ventilación natural. Se consigue mediante la adecuada disposición de los huecos de fachada, y la distribución interior, para que pueda producirse una ventilación cruzada, teniendo en cuenta —entre otras cosas— los vientos dominantes. El flujo de aire se produce por diferencia de presión entre dos puntos —circulando hacia la zona de menor presión— o por diferencia de temperatura, mediante un movimiento de convección ascendente del aire caliente, conocido como “efecto chimenea”.

4. Por iluminación.

-Iluminación natural. Se consigue teniendo en cuenta la superficie y orientación de los huecos de fachada, así como su altura —respecto a la calle— y la separación a los edificios próximos.

5. Otras estrategias.

-Orientación y factor de forma del edificio, en función de la zona climática y de los usos previstos en las distintas estancias.

2.5. Ética y sostenibilidad

La sostenibilidad tiene mucho que ver con la austeridad y la solidaridad, pues que lleva implícito el no despilfarro de los bienes de todos en beneficio de unos pocos, teniendo en cuenta las necesidades de las generaciones futuras. Y estos valores son en definitiva valores éticos, más aún, cuando hablamos de sostenibilidad a nivel económico y social.

Por tanto, la sostenibilidad va mucho más allá de la dimensión puramente material o económica, abarcando también una dimensión ética de gran valor e interés social:

“...no podremos afrontar adecuadamente la degradación ambiental si no prestamos atención a causas que tienen que ver con la degradación humana y social”⁸⁴.

Esta relación indispensable entre la ética y la sostenibilidad ha sido ya, en gran medida, entendida y asimilada por la sociedad de hoy en día, hasta el punto de que muchas empresas publicitan, de manera conjunta, sus valores éticos y sus compromisos con la sostenibilidad⁸⁵.

Grandes compañías, como Ferrovial o Acciona, utilizan el denominado Informe Global —“Global Reporting Initiative” (GRI)— para evaluar y dar a conocer los impactos de sus actividades en el ámbito económico, medioambiental y social. El “triple resultado”, o “triple cuenta de resultados”, se emplea actualmente en el ámbito empresarial para hacer referencia a su trabajo con respecto a la Triple Línea de Base —“Triple Bottom Line” (TBL)— y sus tres pilares fundamentales: el económico, el medioambiental y el social, poniendo así de manifiesto la sostenibilidad de la empresa y sus valores éticos.

Todo esto es, en definitiva, lo que actualmente se conoce como Responsabilidad Social Corporativa (RSC), la cual, va mucho más allá del simple cumplimiento de la legislación laboral o medioambiental, abarcando el conjunto de estrategias necesarias para que las actividades de las empresas repercutan de forma positiva en su entorno. La RSC es, realmente, un compromiso ético de las empresas que las hace más sostenibles, puesto que *“la degradación ambiental y la degradación humana y ética están íntimamente unidas”⁸⁶.*

⁸⁴ Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid, 48.

⁸⁵ En la industria del vestido, H&M publicó un comunicado sobre sostenibilidad con el nombre y dirección de todas las fábricas donde se manufactura su ropa, incluyendo información sobre sus códigos éticos y auditorías.

⁸⁶ Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid, 56.

Capítulo 3

NATURALEZA Y SOSTENIBILIDAD

3.1. La naturaleza como modelo de sostenibilidad

Se puede decir que, realmente, existen dos fuerzas creadoras distintas que son la naturaleza y la mano del hombre. La naturaleza tiene unas leyes que no podemos alterar y a las que, irremediablemente, nos vemos sometidos. Además es eminentemente práctica y sus creaciones poseen la finalidad de responder de forma eficaz a las necesidades concretas. El hombre —en sus creaciones— puede intentar respetar las leyes de la naturaleza, apoyándose en ellas o, por el contrario, puede ir contracorriente —luchando contra los elementos— de forma caprichosa u oportunista⁸⁷.

No se trata, por tanto, de limitar la capacidad creativa del hombre, sino de hacer converger ambas fuerzas creadoras para evitar el conflicto entre ellas. Generalmente, el problema no es haber “construido más”, sino haber “construido mal”, pues la sostenibilidad no puede estar reñida con el desarrollo, ni con el disfrute de la naturaleza por parte del hombre. Es más, la naturaleza no puede ser disfrutada en su totalidad sin el adecuado desarrollo, siempre y cuando, sea un desarrollo sostenible⁸⁸.

Pero realmente, el desarrollo más sostenible y equilibrado es el que no solo respeta las leyes de la naturaleza, sino que las toma como modelo de desarrollo. La admiración y respeto hacia la naturaleza, junto con la toma de conciencia de la vital importancia de su protección y conservación, están en el origen de la ecología y la sostenibilidad. Pero, al mismo tiempo, hay que ser conscientes de que la naturaleza es el modelo a seguir en la búsqueda de esa sostenibilidad, puesto que, es la propia naturaleza la que nos enseña cuáles son los modelos de funcionamiento, auténticamente ecológicos y sostenibles, que pueden guiarnos para protegerla y conservarla eficazmente.

Tanto en el ámbito económico, como en el ámbito medioambiental y social, la naturaleza es siempre el mejor modelo de:

1. Eficiencia y versatilidad, con respecto al ámbito económico.
2. Equilibrio e integración, con respecto al ámbito medioambiental.
3. Bienestar y funcionalidad, con respecto al ámbito social.

⁸⁷ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 43 y 44.

⁸⁸ *Ibidem*, p. 44.

A lo largo de la historia, la naturaleza ha estado siempre al lado del hombre, pero éste no le ha prestado siempre la debida atención⁸⁹. A lo largo del siglo XX, se ha experimentado mucho en todos los campos de la ciencia y la tecnología, consiguiendo espectaculares avances científicos y tecnológicos, pero ocasionando también descomunales desastres naturales e innumerables retrocesos. Finalmente, en los albores del siglo XXI, hemos tenido que reconocer que sin la protección y conservación de la naturaleza, y sin el reconocimiento de su magisterio y enseñanza, no hay progreso sostenible, sino retroceso, y a la larga autodestrucción.

Figura 16. La naturaleza modelo de equilibrio, reciclaje y autoregeneración
Fuente: albzort.blogspot.com.es/2010/08/naturaleza-hermosa.html

La naturaleza, por sí sola —en todos sus ciclos de vida y funcionamiento— es el más perfecto ejemplo de sostenibilidad, equilibrio, reciclaje y auto-regeneración. Algo que Gaudí entendió, muchos años antes de que diese comienzo la valoración de la ecología y la sostenibilidad en la sociedad.

⁸⁹ *Ibidem*, p. 47.

A finales del siglo XIX, en plena revolución industrial, la sociedad vive inmersa en un fervor de progreso, e industrialización, al margen de cualquier preocupación por la naturaleza, el medio ambiente o la sostenibilidad. La naturaleza parece inextinguible, y la principal preocupación es el desarrollo industrial.

Figura 17. Gases de efecto invernadero

Fuente: climaticocambio.com/la-ue-aumenta-la-emision-de-gases-de-efecto-invernadero-pero-cumplira-kioto/

En ese contexto, surge la figura de Gaudí poniendo la naturaleza en el centro de gravedad de su trabajo. Ya no es un planteamiento artístico, o romántico, sino un planteamiento rigurosamente científico. Gaudí se da cuenta de la importancia de la naturaleza y de sus enseñanzas, no solo como modelo estético o artístico, sino como modelo de eficacia, resistencia, versatilidad, confort, salubridad y economía. Gustavo García Gabarró afirma que:

“Ante la insensata afición de los arquitectos por «inventar» formas nuevas que luego resultan repetición o combinación de las anteriores (...) el gran mérito de Gaudí reside, precisamente, en volver la mirada hacia la naturaleza para, reconociéndola como maestra generosa y manteniendo un ánimo humilde ante ella, no pretender inventar nada sino descubrirlo todo”⁹⁰.

“Esta inspiración en la naturaleza no se plantea como un sueño romántico, ausente de la realidad cotidiana, sino que consiste en trabajar mediante una profunda observación de los modelos que la naturaleza ensaya desde hace millones de años para, aprovechándonos al máximo de su experiencia, ser

⁹⁰ Ídem.

*capaces de leer sabias lecciones de bienestar, economía o reducción de costes, expresiones tan repetidas en la actualidad*⁹¹.

En aquella época, estos planteamientos son todavía criticados —y en gran medida incomprendidos— por algunos sectores de la sociedad. Ha de transcurrir mucho tiempo —hasta finales del siglo XX— para que se produzca el surgimiento del concepto de sostenibilidad en la arquitectura, y la concienciación social de su importancia.

En 1969, Ian McHarg publicó el libro *Proyectar con la naturaleza*⁹², que fue pionero en el concepto de “proyecto ecológico”; en la actualidad sigue siendo uno de los libros más conocidos en el ámbito del paisajismo, el diseño ecológico y la planificación urbana.

En el año 2000, los Principios de Hannover⁹³ recogen ya, de forma explícita, la importancia de la naturaleza como modelo de sostenibilidad y eficacia, así como su relación con el urbanismo y la arquitectura⁹⁴.

1. En el primer y segundo puntos, se habla de la coexistencia de la humanidad y la naturaleza, así como de la interdependencia de ambas. En el cuarto punto, se habla de las consecuencias del diseño sobre el bienestar de la humanidad, y de la importancia de la preservación de la naturaleza.
2. En el sexto punto, se habla de la imitación de la naturaleza en el ámbito de la eliminación de desechos, o residuos, mediante el estudio y la evaluación de los ciclos de vida. En el séptimo punto, se habla de la imitación de la naturaleza en el aprovechamiento eficiente y seguro de la energía del sol y de los demás elementos.
3. Finalmente, en el octavo punto dice textualmente:

“Aquellos que crean y planifican deberían practicar la humildad ante el ejemplo de la naturaleza. Trata la naturaleza como modelo y consejera...”.

⁹¹ García Gabarró, G. 1994, *Leyes de la naturaleza y composición arquitectónica: el ejemplo de Antonio Gaudí*, Universidad Politécnica de Cataluña, p. 183.

⁹² Mac Harg, I. 1969, *Design with nature*, American Museum of Natural History, New York.

⁹³ Los conocidos como “Principios de Hannover” son los principios generales de un documento —elaborado a comienzos de los años noventa, por el equipo del arquitecto William McDonough— en el que se debatían las principales medidas de diseño a tener en cuenta en la Exposición Universal de Hannover del año 2000, para que los pabellones y los nuevos espacios construidos constituyeran realmente un desarrollo sostenible para la ciudad.

⁹⁴ McDonough, W. 1992, *The Hannover principles: design for sustainability*, William McDonough & Partners, Charlottesville.

En 2008, Brian Edwards afirmó en su libro *Guía básica de la sostenibilidad* que “la «naturaleza» es el principio rector de la sostenibilidad”⁹⁵.

⁹⁵ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 12.

3.2. La arquitectura biomimética

Hoy en día, existe una nueva ciencia denominada “biomimética”, o “biomímesis”, en la que —tal y como preconizaba Gaudí— se toma la naturaleza como fuente de inspiración en el desarrollo de nuevas tecnologías.

Este método tiene como objetivo la mejora de la calidad de vida de las personas, junto con la protección de la naturaleza, y se apoya en los principios de la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

La naturaleza es el resultado de 3,8 billones de años de evolución. La extraordinaria eficacia de sus diseños es consecuencia de un larguísimo proceso de adaptación al medio, al clima y a un sinfín de variables —cuya compleja ecuación ya ha sido resuelta por la naturaleza— dando lugar a estructuras de “diseño inteligente” que podemos estudiar e imitar —o más bien, reinterpretar— para aprender a diseñar tecnologías más sostenibles. Fruto de estas investigaciones nacieron, hace algunos años, realizaciones tan provechosas como las bolsas de plástico biodegradables, las cintas de “velcro”, etc.

En 1960, Jack Steel comenzó a plantearse la imitación de la naturaleza en el ámbito de la biología. Posteriormente comenzó a desarrollarse en el ámbito de la medicina, y empezó a conocerse como “Ingeniería Biónica”, desarrollando mecanismos electrónicos que intentaban imitar organismos biológicos.

Figura 18. Ala aeronáutica con muescas de aleta de ballena (incrementa la aerodinámica y la estabilidad)
Fuente: discovermagazine.com/2008sep15-wind-turbine-that-imitates-flippers-could-increase-efficiency

Hoy en día, se utiliza habitualmente el término “biomimética”, o “biomímesis”, y las investigaciones en el ámbito de la arquitectura intentan imitar —o más bien, reinterpretar— la naturaleza y su funcionamiento a través de sistemas pasivos.

Por ejemplo, el “Eastgate Centre” de Zimbabwe intenta emular a las termitas en su habilidad para mantener constante la temperatura y la humedad de los termiteros del África subsahariana, donde la temperatura varía entre los 2°C y los 45°C. Este edificio es un complejo de oficinas que mantiene el frescor de la temperatura interior, con un consumo de energía de tan solo un 10%, respecto a un edificio convencional⁹⁶.

Figura 19. Esquema de funcionamiento del edificio Eastgate Centre
Fuente: en.wikipedia.org/wiki/Eastgate_Centre,_Harare

⁹⁶ Mokoka, L. , *Architecture's intent: beyond green rating tools in form and aesthetics in green architecture* [Homepage of University of the Witwatersrand (South Africa)], [Online]. Available: src.lafargeholcim-foundation.org/dnl/274164ab-31ec-44fd-88aa-27022b281ec2/2_Architecture's%20intent_Lomile%20Mokoka.pdf [2017, 11/30].

Figura 20. Edificio Eastgate Centre (Zimbabwe) diseñado por Michael Pearce
Fuente: www.bouw-energie.be/blogposts/biomimicking.php

En el pabellón temático “One Ocean” para la EXPO 2012 en Yeosu, Corea del Sur, diseñado por la firma austriaca Soma, se incorporó el sistema de lamas denominado “Flectofin”, que está inspirado en el mecanismo de polinización de la flor Ave del Paraíso. Es un sistema de lamas que son capaces de doblarse hasta 90° sin necesidad de articulaciones, gracias al empuje producido por los cambios de temperatura. De esta forma puede controlarse eficazmente la ventilación y la radiación solar.

Figura 21. Pabellón “One Ocean” de la EXPO 2012 (Corea del Sur) diseñado por Soma
Fuente: www.youtube.com/watch?v=iCAGlu4vPog

La arquitectura biomimética, por tanto, busca soluciones sostenibles en la naturaleza, no a través de la réplica de sus formas —como modelo estético o código estilístico— sino a través de la comprensión de las normas y principios de funcionamiento interno que las rigen. No se trataría, por tanto, de un simple “biomorfismo”, sino de un auténtico “biomimetismo”; entendiendo como “mimetismo” no la simple “imitación”, sino el análisis,

el estudio y la reinterpretación. También podría darse el caso de imitar el funcionamiento de la naturaleza sin imitar su forma —es decir, un biomimetismo sin biomorfismo— como por ejemplo, en la arquitectura textil con lonas fotocatalíticas; la fotocatálisis es un proceso de descontaminación, muy similar al que emplea la naturaleza en la fotosíntesis de las plantas, para descomponer el dióxido de carbono (CO₂), principal causante del calentamiento global. Las lonas fotocatalíticas se consiguen mediante la aplicación de dióxido de titanio en su superficie, el cual, mediante un proceso de oxidación —en presencia de luz solar y humedad— elimina hasta el 85% de los gases de efecto invernadero.

Janine M. Benyus, fundadora en 2005 del “Instituto de Biomímesis”, afirma que *“el primer nivel es imitar la forma natural. Pero se puede acceder a un segundo nivel, que es cuando se imita el proceso natural”*.

En realidad, el acceso a este segundo nivel es la gran aportación que Gaudí anticipó en su arquitectura. El primer nivel —es decir, la imitación de las formas minerales, vegetales o animales, a nivel estético— ya había sido comúnmente utilizado en la arquitectura desde antiguo. Por eso, podemos considerar que Gaudí fue también precursor de la arquitectura biomimética.

3.3. Geometría y sostenibilidad

Se podría decir que la geometría es el lenguaje propio de la arquitectura, al igual que el sonido lo es para la música, o el idioma para la literatura⁹⁷. Gaudí decía que:

“El arquitecto no debe hablar vagamente (...) sino concretamente, su lenguaje es la geometría”⁹⁸.

Tradicionalmente, a lo largo de la historia, los estilos arquitectónicos se han basado sobre todo en formas simples trazadas con regla, escuadra o compás —como el triángulo, el cuadrado o el círculo— que a nivel espacial se traducen, generalmente, en prismas, pirámides, cilindros, cubos, esferas u otros volúmenes básicos. Posiblemente, la dificultad para conocer, controlar y reproducir otras formas —como las presentes en la naturaleza— ha hecho que, generalmente, estas formas tan solo hayan sido empleadas en elementos ornamentales, y no en elementos funcionales o estructurales⁹⁹.

La naturaleza —tal y como se decía anteriormente— es el modelo más perfecto de sostenibilidad y eficiencia. Las variadas y complejas geometrías propias de la naturaleza son el mejor modelo de eficiencia y sostenibilidad, pues sus formas son el resultado de un proceso de adaptación de millones de años, al medio, al clima y a un sinfín de variables, cuya compleja ecuación ya ha sido resuelta por la naturaleza. El problema fundamental reside en la complejidad formal de esas geometrías, y las dificultades de su traslado al campo del diseño arquitectónico.

Sin embargo, Gaudí se da cuenta de que determinadas formas de las que abundan en la naturaleza, pueden ser fácilmente transferidas a la arquitectura, mediante el uso de herramientas sencillas. Tan solo se trata de asimilarlas a las derivadas de la geometría reglada, es decir, a aquellas que pueden generarse mediante líneas rectas que se mueven en el espacio siguiendo sencillas leyes geométricas. Son superficies continuas de doble curvatura, que evitan el empleo de complicadas cimbras o elementos auxiliares¹⁰⁰. El mismo *“Gaudí había comentado en alguna ocasión que los propios albañiles quedaban asombrados al observar el resultado final de estas superficies,*

⁹⁷ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 48.

⁹⁸ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 121.

⁹⁹ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 48-51.

¹⁰⁰ *Ibidem*, pp. 51 y 72.

*después de haberlas levantado exclusivamente con reglas y cordel, que es como siempre habían construido los muros y las bóvedas*¹⁰¹.

Figura 22. Bóvedas de la Sagrada Familia

Fuente: esbocoseprojetos.wordpress.com/2017/04/02/exposicao-gaudi-barcelona-1900/gaudi-vista-gen-voltes-s-f/

No obstante, a pesar de ello, estas figuras son difíciles de imaginar y manejar en el espacio, trabajando con los sistemas ortogonales convencionales de plantas, secciones y alzados, basados en el sistema diédrico. Gaudí también supera este problema, de forma práctica e inteligente, trabajando con maquetas a escala, es decir, proyectando sus edificios en el mismo medio en que van a construirse: en tres dimensiones¹⁰².

La geometría es fundamental en el diseño arquitectónico, determinando decisivamente no solo la estética, sino la funcionalidad y economía de la obra arquitectónica, pues la geometría está íntimamente relacionada con la sostenibilidad.

La buena arquitectura ha dado siempre soluciones formales, es decir geométricas, a todo tipo de problemas arquitectónicos —ya sean, constructivos, funcionales o estructurales— y el tiempo siempre ha demostrado que estas soluciones son mucho

¹⁰¹ *Ibídem*, p. 72.

¹⁰² *Ibídem*, p. 73.

más efectivas que aquellas que no han tenido en cuenta la geometría¹⁰³. En el ámbito del diseño estructural, Eduardo Torroja decía que *"la obra mejor es la que se sostiene por su forma y no por la resistencia oculta de su material"*¹⁰⁴. Igualmente, Gaudí afirmaba que *"la verdadera silueta nace de la propia estructura"*¹⁰⁵.

Figura 23. La Roca (Mont-Roig) y ventanales de la Cripta de la Colonia Güell
Fuente: C. Salas Mirat (museo "Gaudí Centre" de Reus)

Gaudí utiliza eficazmente la geometría consiguiendo importantes innovaciones, como el arco parabólico, las superficies regladas o los pilares ramificados. El esfuerzo de Gaudí por imitar, o reinterpretar, las variadas y complejas geometrías de la naturaleza tiene como objetivo prioritario la mejora de la funcionalidad y el confort de sus edificios, así como la optimización mecánica de sus diseños estructurales; por tanto, la arquitectura de Gaudí no es una "arquitectura formalista", pues la forma no es un objetivo previo, sino tan sólo, el resultado de un proceso constructivo. Como explica Mies Van der Rohe, en un artículo publicado en la revista *G*, en 1923:

¹⁰³ *Ibídem*, p. 48.

¹⁰⁴ Andrés, O. & Ortega, N. 1993, "Extensión de la técnica funicular de Gaudí a la concepción y génesis de superficies estructurales", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 424 marzo-abril

¹⁰⁵ *Ídem*.

“La forma como objetivo es formalismo y lo rechazamos. Nuestra tarea consiste esencialmente en liberar a la práctica de la construcción del control de los especuladores estéticos...”¹⁰⁶.

Para Gaudí la verdad intrínseca de la arquitectura se fundamenta —al igual que en la naturaleza— en conseguir la máxima efectividad con el mínimo esfuerzo, lo que aplicado a la mecánica estructural significa conseguir la máxima resistencia con el mínimo material. Esto confiere, al mismo tiempo, la máxima expresividad plástica¹⁰⁷. Por eso Gaudí decía que:

“...la lógica constructiva están por encima de los estilos”¹⁰⁸.

“...la obra de arte, además de la emoción estética, debe basarse en la verdad; sin ésta la obra es incompleta”¹⁰⁹.

“La belleza es el resplandor de la verdad...”¹¹⁰.

En ese sentido, Le Corbusier también se plantea la búsqueda de la “la verdad interior” de la construcción —por encima de los estilos arquitectónicos— en la introducción del primer volumen de su *Oeuvre complète*, en 1929:

“Lo que intento desentrañar es más profundo, es su sentido constructivo. ¿Acaso no es esta la esencia, el propósito último de la arquitectura? Las diferencias de estilo, las trivialidades (frivolités) de la moda pasajera, que son únicamente ilusiones o bailes de máscaras, no me interesan”¹¹¹.

Para Gustavo García Gabarró, no debemos “hablar ya más de forma abstracta y teórica de belleza, funcionalidad o economía como conceptos contrapuestos, sino como diferentes manifestaciones de una única verdad hecha para todos”¹¹².

¹⁰⁶ Pancorbo Crespo, L. & Martín Robles, I. 2014, "El espacio como membrana. Albert Kahn y Mies Van der Rohe", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 16, p. 51.

¹⁰⁷ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 81.

¹⁰⁸ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 347.

¹⁰⁹ *Ibídem*, p. 114.

¹¹⁰ Almuzara, J.M., Curti, C., Giordani, D., Giussani, C., Faulí, J. & Sotoo, E. 2011, *Sagrada Familia Moved by Beauty. Guía para visitar la mayor obra de Antoni Gaudí*, Catálogo de la Exposición: Sagrada Familia Moved by Beauty, Madrid

¹¹¹ Wigley, M. 2013, "La policía de la moda", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 15, p. 10.

¹¹² Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 76.

3.4. Gaudí y la naturaleza

Desde pequeño, Gaudí tuvo poca salud y empezó a sufrir ataques de reuma, teniendo que retrasar su entrada en la escuela infantil. En esos primeros años *“su madre aprovechó las muchas horas que lo tuvo a su lado para enseñarle a observar la naturaleza (...) Unas imágenes que le inculcaron un enorme interés, estima y respeto por el entorno, marcándole el camino para concebir la arquitectura naturalista, singularmente orgánica de todas sus obras”*¹¹³. Ese *“amor y respeto por la naturaleza que su madre le había despertado durante la infancia, lo cultivó toda su vida”*¹¹⁴, tal y como él mismo manifiesta:

*“Con las macetas de flores, rodeado de viñas y olivos, animado por el cacarear de las aves, el piar de los pájaros y el zumbido de los insectos, y con las montañas de Prades al fondo, me percaté de las más puras y placenteras imágenes de la naturaleza, esa naturaleza que siempre es mi maestra”*¹¹⁵.

Figura 24. Árbol del algodón de la seda (ceiba pentandra) y base de las columnas de la fachada de la pasión
Fuente: Cussó i Anglès, J. (2010)

La familia de Gaudí poseía una Masía en Riudoms, en plena naturaleza —el “Mas de la Calderera”— donde pasaban los fines de semana y las estaciones del año más calurosas. Durante su infancia y adolescencia, Gaudí pasó largas temporadas en la Masía —por prescripción médica— volviendo a menudo, a lo largo de su vida. Dos

¹¹³ Cussó Anglès, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Família*, Milenio, LLeida, p. 10.

¹¹⁴ *Ibídem*, p. 18.

¹¹⁵ *Ibídem*, p. 13.

grandes árboles centenarios, de hoja caduca, envuelven la casa “*recreando cada primavera, verano, otoño e invierno, el microclima más adecuado (...) En verano, protegen del fuerte sol del mediterráneo, creando sombra y humedad. Y en invierno, se desnudan para que el suave sol caliente la casa incidiendo directamente en sus paredes con sus rayos*”¹¹⁶.

Figura 25. Árboles de hoja caduca del “Mas de la Calderera” en distintas estaciones del año
Fuente: J. Adell-Argilés

Gaudí fue miembro del Centro Excursionista de Cataluña, y en dicha asociación realizó numerosos viajes por la geografía catalana y por el sur de Francia. Para él era fundamental la contemplación de “*el gran libro que es la naturaleza*”, como él mismo decía, y de sus equilibradas formas:

*“El gran libro, siempre abierto y que conviene esforzarse en leer, es el de la naturaleza; los demás libros han salido de éste y tienen además las interpretaciones y equívocos de los hombres”*¹¹⁷.

La admiración y respeto de Gaudí por la naturaleza se traducen en un deseo de imitación —a la vez que de protección— de la misma. Por eso, se puede decir que “*Gaudí predicó una arquitectura adaptada a la naturaleza que nunca puede dañarla (...) tuvo la humilde grandeza de saber leer en las formas de los tres reinos de la naturaleza las más puras lecciones arquitectónicas*”¹¹⁸.

Esta particular relación de Gaudí con la naturaleza, no sólo romántica —como para tantos artistas y escritores, a lo largo de la historia— sino científica, técnica e incluso filosófica, desembocan en un modo de pensamiento y una metodología propios.

¹¹⁶ Adell-Argilés, J. 2017, *El principito jamás vivo!* Universo de letras, Madrid, p. 85.

¹¹⁷ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 95.

¹¹⁸ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 14.

Este modo de pensamiento, y metodología de trabajo, quedan muy ilustrados en su célebre frase: “originalidad es volver al origen”¹¹⁹, al tiempo que definen, lo que podría denominarse como, el “avance científico gaudiano”.

Figura 26. Pilares de la Sagrada Família (estructura arbórea ramificada)

Fuente 1: www.juanjosesese.com/emAlbum/albums/1/Barcelona/

Fuente 2: www.ciudadciencia.es/blog/2012/06/alamo-blanco/

¹¹⁹ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 103.

3.4.1. La originalidad como vuelta al origen

Para Gaudí ser original significaba volver al origen —es decir, a la naturaleza— por eso decía con frecuencia:

“Originalidad quiere decir volver al origen”¹²⁰.

Para él, la naturaleza era la obra maestra y el modelo original, pero no sólo a nivel estético o artístico, sino a un nivel mucho más profundo, a nivel técnico y científico. Dice Jordi Cussó i Anglès: *“pensemos en positivo, seamos humildes y utilicemos la perfección y armonía naturales, fruto de millones de años de evolución (...) que es algo de lo que, también nosotros formamos parte”¹²¹.*

Figura 27. Escalera interior de la Sagrada Familia (espiral en forma de Nautilus)
Fuente: blog.quehoteles.info/gaudi-protagonista-en-barcelona.htm

Para Gaudí, la naturaleza —con sus leyes geométricas, mecánicas, físicas, etc.— nos habla permanentemente de la materia, la forma, la luz... En la naturaleza, todo tiene un sentido concreto y está interrelacionado entre sí —nada es caprichoso o gratuito— todo tiene un sentido que hay que descubrir, estudiar e interpretar, para ir encontrando poco a poco las claves de su perfección, belleza, racionalidad y economía. Por eso él decía que:

¹²⁰ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 141.

¹²¹ Cussó Anglès, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 9.

“El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos”¹²².

La ingente cantidad de libros y trabajos publicados, sobre la figura de Gaudí, “no acaban de aclarar las causas de la atracción permanente que ejerce su obra, y menos aún revelan qué valores existen en ella capaces de ejercer una influencia fecunda en la arquitectura posterior (...) Las abundantes razones expuestas, una y otra vez, en torno a sus conocimientos técnicos y constructivos, no llegan al fondo de la cuestión. Menos satisfactorias resultan aun las que se derivan de considerar sus características «sui generis» de creador y artista plástico”¹²³.

Figura 28. Estudio tridimensional de las superficies regladas de las Escuelas de la Sagrada Familia
Fuente: C. Salas Mirat (panel a la entrada de la Sagrada Familia)

Gaudí, afirmaba frecuentemente que:

“Originalidad es volver al origen; de modo que original es aquel que con los nuevos medios vuelve a la simplicidad de las primeras soluciones”¹²⁴.

Esta afirmación, “que podría no tener más valor que el de un comentario agudo, va derecho a la médula de todo su sistema de actuación (...) Es una actitud que conduce

¹²² Gaudí, apenas dejó nada escrito, tan sólo unas pocas cartas, un artículo y unos apuntes juveniles. No obstante era un buen orador y exponía con frecuencia sus ideas a sus amigos y colaboradores. Algunos de ellos escribieron y publicaron las frases más célebres de sus exposiciones, y uno de ellos, Isidro Puig Boada, las recopiló en el libro “*El pensament de Gaudí*”, publicado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña, en Barcelona, en 1981, y reeditado en castellano por la Editorial DUX, en Barcelona, en 2015.

¹²³ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 27.

¹²⁴ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 103.

*a desmenuzar toda cuestión, hasta llegar a las raíces más elementales del problema que son, al mismo tiempo, las más profundas. Partiendo de este análisis de los primeros principios de cada fenómeno —volviendo al origen—, Gaudí es capaz de acceder a soluciones libres de prejuicios, apartadas de cualquier lugar común. Naturalmente que Gaudí no arranca de cero ni inventa, por decirlo así, en cada caso, sus propias soluciones. Él es consciente de la necesidad de un bagaje de conocimientos cuya ampliación por otra parte no descuida*¹²⁵. Por ejemplo, antes de la experimentación con superficies regladas, investiga durante muchos años los estudios publicados por científicos como Charles François Antoine Leroy (tratadista en geometría descriptiva), Karl Hermann Amandus Schwarz (matemático), Ernest Heinrich Haeckel, (filósofo y biólogo), D'Arcy Wentworth Thompson (biólogo y matemático), etc. Es por ello, que *“sus soluciones plásticas, tan desusadas y sorprendentes, pocas veces resultan gratuitas o espontáneas, y menos aún conflictivas frente a cualquier razón constructiva, estructural o de funcionamiento. Gaudí deja, en rigor, muy pocas veces realmente libre su imaginación pese a que, a primera vista, es esto lo que pudiera creerse. Sus personalísimos hallazgos plásticos se encuentran normalmente encadenados a un riguroso discurrir lógico del que sólo constituyen el eslabón final*¹²⁶.

Cuando Gaudí nos habla de que *“original es aquel que con los nuevos medios vuelve a la simplicidad de las primeras soluciones*¹²⁷, nos está hablando de algo muy importante, como es la capacidad de síntesis o simplificación. Es decir, primero analizar y *“desmenuzar toda cuestión, hasta llegar a las raíces más elementales*¹²⁸, y después, ser capaz de sintetizar y simplificar, hasta obtener soluciones realmente prácticas, intuitivas y originales, como las que nos ofrece la naturaleza. Por eso Gaudí decía que:

*“Ser sólo analítico es ser incompleto. La ciencia es análisis y síntesis. El análisis solo, no es un error, pero es una cosa incompleta*¹²⁹.

*“La sabiduría es síntesis...”*¹³⁰.

¹²⁵ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 28.

¹²⁶ *Ibíd*em, p. 90.

¹²⁷ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 103.

¹²⁸ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 28.

¹²⁹ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 167.

¹³⁰ *Ibíd*em, p. 189.

“Los que analizan y luego no hacen síntesis, como han destruido toda relación, lo que hallan no tiene aplicación (...) de la relación viene la fecundidad, de la separación la esterilidad”¹³¹.

Gustavo García Gabarró, en su tesis doctoral sobre las leyes de la naturaleza y la arquitectura de Gaudí —dirigida por Juan Bassegoda Nonell—, afirma que:

“Gaudí supo leer en la naturaleza. Pero ésta no se deja siempre leer a primera vista. Existe un velo entre ella y el raciocinio humano que debe irse apartando a base de análisis, estudio y reflexión”¹³².

Posteriormente, grandes científicos como Einstein (1879-1955) —Premio Nobel de Física, y autor de la teoría de la relatividad— o Lemaître (1894-1966) —primer académico que propuso la teoría de la expansión del universo, el “Big Bang”— han seguido en sus investigaciones planteamientos científicos muy parecidos al de Gaudí, en su búsqueda de las “verdades” de la naturaleza, tal y como explica Eduardo Ríaza Molina:

“Albert Einstein y Georges Lemaître terminaron siendo amigos. No solo porque el físico alemán reconociera finalmente la expansión del universo, sino porque a ambos les movía el mismo afán: la búsqueda de la verdad. No perdieron nunca el frescor juvenil de preguntar a la naturaleza por sus secretos”¹³³.

¹³¹ Ibídem, p. 191.

¹³² García Gabarró, G. 1994, *Leyes de la naturaleza y composición arquitectónica: el ejemplo de Antonio Gaudí*, Universidad Politécnica de Cataluña, p. 2.

¹³³ Ríaza Molina, E. 2014, *Personajes de fe que hicieron historia*, Ediciones Rialp, Madrid, p. 205.

3.4.2. El avance científico gaudiano

Se podría decir que *“la visión que Gaudí tiene del mundo es esencialmente filosófica y esto le lleva a plantearse cada problema, por pequeño que sea, en términos del máximo rigor”*¹³⁴, por eso, afirmaba que:

*“En general la gente, cuando hace una cosa, cuando esta cosa está cerca del bien, renuncia a profundizar y se conforma con el resultado obtenido. Esto es una equivocación: cuando una cosa está en el camino de la perfección, hay que exprimirla hasta que esté bien del todo”*¹³⁵.

Esta forma de pensamiento, que tiende a profundizar —de forma rigurosa— en la verdad y el porqué de las cosas, en filosofía se denomina pensamiento crítico. El pensamiento crítico *“no es un modo de pensar destructivo, o que se entretenga en cuestionar las cosas por una huida de la verdad, sino que es el modo de pensar del hombre que busca la verdad y no se detiene en la superficie, sino que profundiza hasta llegar a los fundamentos y así aprender una verdad más sólida”*¹³⁶. El pensamiento crítico se caracteriza por el reconocimiento de la existencia de realidades objetivas, al alcance de nuestro entendimiento, y por una actitud de apertura a esas realidades *“acompañada de la humildad, que predispone a reconocer el error cuando se encuentra, y a aceptar la verdad cuando se descubre”*¹³⁷. Por eso Gaudí decía, con respecto a las obras de la Sagrada Familia:

*“No soy yo quien construye la Sagrada Familia, es la Sagrada Familia que me construye a mí”*¹³⁸.

En Gaudí hay siempre una plena identificación entre sus ideas y su arquitectura, puesto que el afán *“de replanteamiento de cualquier cuestión, desde su mismo origen, constituye uno de los fundamentos, tanto de su carácter personal, como de su labor”*¹³⁹, teniendo en cuenta que —como él mismo dice— *“todo el mundo debe apoyarse en lo hecho anteriormente y, si no lo hace, no llegará a buen puerto, y caerá en los errores*

¹³⁴ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 29.

¹³⁵ Associació pro Beatificació d'Antoni Gaudí 2007, *Gaudí Arquitecto de Dios 1852-1926*, Associació pro Beatificació d'Antoni Gaudí, Barcelona p. 20.

¹³⁶ Cubillo Gracián, J.M. 2012, "El interés por la verdad", *Familia & Cultura*, no. 297 otoño, p. 3.

¹³⁷ Ídem.

¹³⁸ Almuzara, J.M., Curti, C., Giordani, D., Giussani, C., Faulí, J. & Sotoo, E. 2011, *Sagrada Familia Moved by Beauty. Guía para visitar la mayor obra de Antoni Gaudí*, Catálogo de la Exposición: Sagrada Familia Moved by Beauty, Madrid

¹³⁹ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 89.

*que se han venido repitiendo a lo largo de los siglos*¹⁴⁰. Por lo tanto, Gaudí investiga en profundidad cada problema, tomando como modelo los diseños de la naturaleza —fruto de millones de años de evolución— pero sin “saltos al vacío”, es decir, estudiando de forma rigurosa todos los avances científicos de su época.

Estos planteamientos y esta forma de trabajar, “volviendo al origen” —es decir, a las leyes de la naturaleza— aunque pueda parecer que miran hacia atrás, en realidad, miran hacia el futuro, y son garantía de un auténtico avance científico. Esta es la clave del avance científico gaudiano. El gran arquitecto Norman Foster —adelantado de la arquitectura de alta tecnología— lo expresó con la siguiente frase:

*“Los métodos de Gaudí, un siglo después, continúan siendo revolucionarios”*¹⁴¹.

La Sagrada Familia, como obra fundamental de Gaudí —en la que trabajó durante más de 40 años, esforzándose en aplicar todos sus conocimientos y experiencia— es el ejemplo más ilustrativo del avance científico gaudiano; la Sagrada Familia fue, en su época, un modelo de avance científico, y sigue siendo —hoy en día, transcurridos 100 años— un modelo de constante avance científico y tecnológico; la Sagrada Familia es, en la actualidad, uno de los más importantes ejemplos de evolución tecnológica en el ámbito de la construcción. Carlos Farrás Planas y Ramón Espel Rosell, afirman en la revista CERCHA, del Consejo General de Ingenieros de Edificación y Arquitectos Técnicos de España:

*“...creemos que las obras de la Sagrada Familia pueden ser consideradas como uno de los grandes laboratorios de construcción permanente que existen en el mundo”*¹⁴².

Pero, esta evolución tecnológica no es una casualidad ni una desvirtuación del proyecto original; por el contrario, es fiel reflejo de los propósitos de Gaudí, y de lo que proyectó. Gaudí sabía que las obras de la Sagrada Familia tardarían muchos años en finalizarse, y que durante ese tiempo habría muchos avances científicos y tecnológicos, por ese motivo —fiel a su filosofía— quería que la Sagrada Familia pudiera ir adaptándose a todos esos avances. Así queda recogido en un artículo de la revista “Informes de la

¹⁴⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 27.

¹⁴¹ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 10.

¹⁴² Farrás Planas, C. & Espel Rosell, R. 2010, “Laboratorio Permanente: Obras del Templo de la Sagrada Familia”, *Cercha*, vol. 104, no. mayo, p. 28.

Construcción”, publicado por los miembros del equipo técnico de la Junta Constructora del Templo:

“...Gaudí diseñó para la Sagrada Familia unas formas adaptadas a una distribución de las cargas diferente a los Templos contruidos hasta entonces para que pudiesen ser construidas, tanto con materiales tradicionales, como con las nuevas técnicas constructivas que empezaban en aquel momento”¹⁴³.

Según César Martinell —uno de los más importantes biógrafos de Gaudí, que lo conoció, y trató, personalmente— Gaudí solía decir que:

“...fiaba en la aportación con que sus sucesores enriquecerían la obra”¹⁴⁴.

¹⁴³ Espel, R., Gómez, J., Grima, R. & Aguado, A. 2009, "La evolución de la construcción del Templo de la Sagrada Familia", *Informes de la Construcción*, vol. 61, no. 516 octubre-diciembre, p. 11.

¹⁴⁴ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 116.

Capítulo 4

ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA DE GAUDÍ

4.1. Ámbito económico: reducción de costes de construcción y mantenimiento

Como se decía anteriormente, uno de los ámbitos fundamentales de desarrollo de la sostenibilidad es el ámbito económico. Dentro de este ámbito, podemos decir que el objetivo fundamental es la reducción de costes de construcción y mantenimiento de los edificios durante su vida útil. De esta forma, el propietario, o promotor inmobiliario, puede analizar la relación coste-beneficio de un gasto, o la rentabilidad económica de una inversión inmobiliaria. Hoy en día, son muy importantes estos análisis de viabilidad económica, que en el mundo anglosajón —donde se estudian muy en profundidad— se conocen como “Building Economics”.

Para conseguir estos objetivos de rentabilidad económica, hay que estudiar pormenorizadamente todos los parámetros que influyen en el coste y en la calidad de la edificación, como por ejemplo, los materiales de construcción disponibles, las técnicas constructivas a emplear, el transporte, la mano de obra, etc.

“La teoría de las decisiones sobre el uso de recursos limitados, que se sitúa en el núcleo de la ciencia económica, entronca así con el concepto de construcción sostenible”¹⁴⁵.

Se puede decir que todas las decisiones de proyecto tienen un impacto económico:

- Las decisiones formales.
- Las decisiones estructurales.
- Las decisiones constructivas.
- Las decisiones tecnológicas.

Pero también hay que estudiar otros parámetros, como por ejemplo, las vías de financiación de la inversión. En ese sentido, se puede decir que la Sagrada Familia —la obra con mayor inversión económica proyectada por Gaudí— es un gran ejemplo de planificación financiera, pues, al tratarse de un “templo expiatorio”, su construcción está financiada únicamente con las aportaciones voluntarias de los fieles. Así fue concebido por su promotor, D. José María Bocabella Verdaguer (1815-1892) —fundador de la Asociación de Devotos de San José en 1866— y así fue posteriormente promovido por

¹⁴⁵ García Erviti, F., Armengot Paradinas, J. & Ramírez Pacheco, G. 2015, “El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión”, *Informes de la construcción*, vol. 67, no. 537 enero-marzo, p. 2.

Gaudí. Actualmente, la financiación sigue proviniendo de Donaciones voluntarias, junto con los ingresos producidos por los tres millones de visitantes anuales —unos ocho mil visitantes diarios— que ascienden a más de 35 millones de euros anuales, no recibiendo ningún tipo de subvención de las administraciones públicas¹⁴⁶.

Gaudí estudiaba muy en profundidad la economía de sus obras, e intentaba siempre sacar el máximo partido de los medios materiales disponibles. Reciclaba materiales de desecho, minimizaba los gastos de transporte, utilizando habitualmente materiales del entorno próximo, utilizaba —siempre que era posible— materiales económicos, como el ladrillo o los azulejos, e intentaba optimizar mecánicamente la estructura de sus edificios, entre otras muchas cosas.

En las campanas de la Sagrada Familia, por ejemplo, *“después de múltiples ensayos, Gaudí encontró las formas, longitudes y gruesos convenientes para obtener, con la mitad de metal, la misma intensidad y pureza de sonidos que con los tubos cilíndricos y las campanas corrientes”*¹⁴⁷.

Según Juan Bassegoda Nonell, en 1913, el anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña contenía un artículo en el que se describían las Escuelas de la Sagrada Familia —con un plano de planta y cuatro fotografías de Coll Salietí— que decía que:

*“...Gaudí planteó el problema arquitectónico introduciendo en la construcción el concepto de organismo natural, lo que implica que cada elemento sea del material más adecuado a su función y que su disposición, forma y dimensiones sean las estrictamente precisas para obtener un mínimo coste y esfuerzo. La sustitución de los elementos rectos y verticales por otros que siguen las curvas de presiones (...) consigue un ahorro de materiales y espacio, así como mayor comodidad y estética...”*¹⁴⁸.

Según Bassegoda, *“las 8000 [pesetas] que costó el edificio [de las Escuelas] indican el ahorro que se logró con este sistema”*¹⁴⁹.

También es muy ilustrativa —de la mentalidad de ahorro económico de Gaudí— la anécdota que tuvo lugar con ocasión de una visita al convento de San Jerónimo de

¹⁴⁶ Farrás Planas, C. & Espel Rosell, R. 2010, "Laboratorio Permanente: Obras del Templo de la Sagrada Familia", *Cercha*, vol. 104, no. mayo, p. 34.

¹⁴⁷ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 78.

¹⁴⁸ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 547.

¹⁴⁹ *Ibidem*, p. 548.

Mallorca. Cuando las monjas pidieron consejo a Gaudí, para renovar los tapices o “empaliades” que solían colgar en los muros de la iglesia, en la celebración de las Cuarenta Horas, *“Gaudí les aconsejó que se olvidasen de la idea de comprar costosos tapices o terciopelos y que utilizaran retales sobrantes de los talleres de tapicería para coserlos formando un mosaico polícromo que bordarían las propias religiosas (...) el resultado fue un hermoso tapiz inspirado en temas naturales, compuesto de forma muy galana”*¹⁵⁰.

A continuación, se realiza un estudio detallado —a través de ejemplos concretos, documentados con citas bibliográficas y fotografías— de los sistemas desarrollados por Gaudí, que tienen que ver con los objetivos de la sostenibilidad en la arquitectura en el ámbito económico. Para el análisis de estos objetivos, se van a desarrollar los “ítems” del ámbito económico que se consideran más significativos, como son:

1. Reducción de costes de producción y transporte de materiales de construcción:

- Empleo de materiales del entorno próximo (ver apartado 4.1.1.).
- Aprovechamiento de residuos (ver apartado 4.2.2. del “ámbito medioambiental”).

2. Reducción de costes de construcción del edificio:

- Economía de medios (ver apartado 4.1.2.):
 - Empleo de materiales económicos como el ladrillo y los azulejos (ver apartado 4.1.2.1.).
 - Empleo de elementos prefabricados (ver apartado 4.1.2.2.).
 - Empleo de técnicas constructivas de la arquitectura popular (ver apartado 4.1.2.3.).
- Optimización mecánica del diseño estructural (ver apartado 4.1.3.):
 - El arco parabólico y las superficies regladas (ver apartado 4.1.3.1.).

¹⁵⁰ Ibídem, pp. 579 y 580.

-Otras innovaciones (ver apartado 4.1.3.2.):

-Eliminación de muros de carga.

-Estructuras radiales.

-Vigas reticuladas.

-Forjados nervados.

3. Reducción del consumo de energía y aprovechamiento de recursos naturales:

-Eficiencia energética (ver apartado 4.2.1. del “ámbito medioambiental”):

-Iluminación natural (ver apartado 4.2.1.1.).

-Ventilación natural (ver apartado 4.2.1.2.).

-Acondicionamiento climático (ver apartado 4.2.1.3.):

-Aislamiento térmico.

-Sombreamiento y soleamiento.

-Aprovechamiento de recursos naturales (ver apartado 4.2.4. del “ámbito medioambiental”).

4.1.1. Empleo de materiales del entorno próximo

A finales del siglo XIX, pese a los grandes avances del transporte y la comunicación —sobre todo gracias al ferrocarril— seguía siendo habitual el empleo de materiales de construcción procedentes del entorno próximo. No obstante, en las obras más importantes, o de promotores más acaudalados, podían emplearse piedras o mármoles provenientes de cualquier punto de la geografía.

Gaudí, sin embargo, conocedor de la importancia y envergadura que va a tener el Templo de la Sagrada Familia —al cual dedica los diez últimos años de su vida— emplea, para su construcción, piedras de los entornos más cercanos, como por ejemplo:

1. Arenisca de Montjuïc para el exterior de edificio.
2. Piedra del Garraf para la mampostería de la cimentación y el relleno de los paramentos exteriores.
3. Piedra de Villafranca para los paramentos interiores.

Figura 29. Templo de la Sagrada Familia

Fuente: www.antena3.com/especiales/noticias/en-un-mes-de/marzo/pone-primera-piedra-sagrada-familiabarcelona_2012020800140.html

Gaudí siempre intentaba emplear materiales de construcción del entorno próximo, y especialmente, materiales pétreos del entorno próximo.

Tabla 2. Piedras empleadas en algunas de sus obras más significativas
Fuente: elaboración propia

OBRA	PIEDRA EMPLEADA
CASA BATLLÓ	Arenisca de Montjuïc
CASA CALVET	Arenisca de Montjuïc
CASA MILÁ (parte inferior de la fachada)	Piedra del Garraf (por ser más dura)
CASA MILÁ (parte superior de la fachada)	Caliza de Villafranca del Panadés ¹⁵¹
FACHADA DEL PALACIO GÜELL	Caliza del Garraf
PALACIO EPISCOPAL DE ASTORGA	Granito blanco del Bierzo
CASA BOTINES	Piedra de la montaña leonesa
TORRE DE BELLESGUARD	Pizarra de Collserola

Haciendo referencia al Palacio Episcopal de Astorga, Juan Bassegoda Nonell dice:

“Gaudí manejó con suma habilidad los materiales de aquellas tierras, como el granito blanco del Bierzo y la cerámica roja del pueblo de Jiménez de Jamuz, cerca de Santa Elena de Jamuz y la Bañeza...”¹⁵².

En otros casos, como en el Parque Güell, es el propio solar de la finca el que se convierte en cantera:

“Siguiendo su divisa de respetar los materiales de cada lugar, Gaudí construyó los distintos elementos del parque, entre ellos la muralla, con pizarra y piedra de la propia finca”¹⁵³.

Respecto al Parque Güell, el propio Gaudí afirmaba:

“El objeto es aumentar y hacer cómodas las comunicaciones de los diversos lugares del Parque utilizando únicamente los mismos materiales del terreno. Si éste hubiese estado constituido por tierras, se habrían hecho una serie de excavaciones y terraplenes complementarios, pero, al ver que se había de

¹⁵¹ Ibídem, p. 514.

¹⁵² Ibídem, p. 306.

¹⁵³ Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 37.

*arrancar roca, se vio que era preferible arrancar nada más la piedra necesaria para hacer unos cuantos viaductos...*¹⁵⁴.

Con respecto a la arquitectura popular, Gaudí también decía que:

*“Las construcciones rurales han de hacerse con materiales del propio terreno...”*¹⁵⁵.

¹⁵⁴ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 134.

¹⁵⁵ *Ibíd*em, p. 133.

4.1.2. Economía de medios

Se puede decir que la sostenibilidad siempre implica el no despilfarro de los recursos materiales, económicos y sociales disponibles, es decir, la austeridad o economía de medios. En ese sentido, Juan Bassegoda Nonell, afirmó:

“Hacer maravillas con métodos sencillos, ésta fue la base de la arquitectura de Gaudí...”¹⁵⁶.

4.1.2.1. Empleo de materiales económicos como el ladrillo y los azulejos

Excepto en algunas obras singulares, como el Templo de la Sagrada Familia —o aquellas otras en las que el cliente requiere el empleo de materiales más costosos, como en el Palacio Güell— Gaudí tiene tendencia a emplear materiales económicos, como el ladrillo, los azulejos o materiales cerámicos en general. También, hoy en día, los modernos edificios de las grandes empresas multinacionales obtienen las más altas calificaciones, en la evaluación de la sostenibilidad, independientemente del empleo de mármoles, u otros materiales costosos, acordes a su imagen corporativa.

Figura 30. Viviendas obreras de ladrillo de finales del siglo XIX en Madrid (Tetuán)
Fuente: asl-diver.blogspot.com.es/2012/01/el-barrio-de-salamanca-y-tetuan-en-el.html

Durante siglos, en función de las zonas geográficas, el ladrillo ha sido uno de los materiales de construcción más baratos y ampliamente utilizados. Se trata de un material abundante —puesto que sale de la tierra— de fácil producción, y con

¹⁵⁶ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 419.

importantes cualidades de resistencia al fuego, durabilidad, monolitismo e inercia térmica. De la misma forma, los azulejos —como revestimiento— son un material con grandes cualidades decorativas, gran durabilidad y bajo coste.

La arquitectura industrial de aquella época empleaba, habitualmente, el ladrillo por ser el material más barato y versátil para este tipo de construcciones; en Cataluña, en concreto, el uso del ladrillo y de los materiales cerámicos, en general, se extendió y popularizó, de tal manera, que se hizo popular la “bóveda tabicada a la catalana”, el “baldosín catalán” o el “gres catalán”.

Figura 31. Escuelas de la Sagrada Família
<http://www.gypsynester.com/gaudi.htm>

Por tanto, Gaudí utiliza el material más sencillo y popular de la época y lo adapta a sus necesidades, puesto que *“en Cataluña, como es sabido, el ladrillo contaba con muy buenos operarios. Tal circunstancia le lleva a elegir una cubierta de bóveda tabicada que resultará bien terminada y a bajo precio. Dicha bóveda debería llevar en su cara externa un revestimiento que la proteja de los agentes atmosféricos. Barcelona goza de inviernos suaves y un revestimiento cerámico puede obtenerse con materiales de desecho que, dada su fragmentación, se adaptarán, además, perfectamente a las superficies curvas que van a proteger”*¹⁵⁷. La capacidad creadora de Gaudí —y la de sus

¹⁵⁷ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, pp. 29-30.

colaboradores, como Francisco Berenguer¹⁵⁸— hará posible que tal solución utilitaria alcance gran belleza.

Las Escuelas de la Sagrada Familia “*son la joya de la arquitectura modernista en ladrillo*”¹⁵⁹ y están construidas, tan solo, con simples rasillas de ladrillo a panderete y vigas de madera. La tecnología empleada es de la máxima sencillez y robustez; Gaudí ya la había empleado diez años antes en la construcción de su estudio-taller. Se trata de la tradicional bóveda a la catalana adaptada a la forma de conoide, puesto que “*esta superficie reglada podía servir verticalmente para dar rigidez estructural a las paredes de cerramiento perimetral del edificio, con el uso mínimo de materiales y mano de obra*”¹⁶⁰. El mismo Le Corbusier quedó impresionado y manifestó públicamente su admiración por este pequeño edificio, cuando lo visitó en 1928. En agosto de 1914, la revista “Ilustración Catalana” publicó un extenso artículo con fotografías de las escuelas en el que afirmaba que era difícil “*encontrar una escuela tan sencilla y al mismo tiempo tan alegre y práctica*”. Además, “*la Asociación de Arquitectos de Cataluña visitó el edificio escolar en 1912, y tal como se señaló en su momento mereció el aplauso unánime de los arquitectos que asistieron, hasta llegar a proponer que sirviera de modelo para las escuelas que proyectaba construir la Mancomunidad en el futuro*”¹⁶¹.

En otros casos, como por ejemplo en El Capricho, la modulación entre el ladrillo (15 x 3 cm) y el azulejo (15 x 15 cm) simplifica y economiza la construcción y la decoración, evitando cortes, empalmes y desperdicios de piezas; al mismo tiempo, consigue el máximo partido del repertorio figurativo, con tan sólo tres modelos de azulejos (dos en relieve y uno liso)¹⁶².

Eladio Dieste y la cerámica estructural

Posteriormente, otros grandes ingenieros y arquitectos, como el uruguayo Eladio Dieste (1917-2000) —mediante el pretensado de la fábrica de ladrillo— también supieron aprovechar las ventajas de la simplicidad y economía de los materiales cerámicos¹⁶³:

¹⁵⁸ Ver el glosario onomástico.

¹⁵⁹ Adell-Argilés, J. & García Santos, A. 2005, “Gaudí y las bóvedas de las Escuelas de la Sagrada Familia”, *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 496 marzo-abril

¹⁶⁰ Bonet i Armengol, J. 2002, *Las Escuelas de la Sagrada Familia*, Escudo de Oro, Barcelona, p. 4.

¹⁶¹ *Ibidem*, p. 14.

¹⁶² Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 64.

¹⁶³ Adell-Argilés, J. & Mas Guindal, A. 2005, “Eladio Dieste y la cerámica estructural en Uruguay”, *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 496 marzo-abril, p. 13.

“Las edificaciones de Dieste pueden considerarse como un manifiesto adelantado de la Arquitectura Sostenible, por su eficacia en el empleo de la materia”¹⁶⁴.

Eladio Dieste estudia detenidamente la fábrica de ladrillo y deduce, entre otras, las siguientes ventajas¹⁶⁵:

1. Las reparaciones, cambios o agregados, se notan menos en una estructura de ladrillo que en una de hormigón visto.
2. Las estructuras de ladrillo poseen un mejor comportamiento acústico que las de hormigón.
3. La capacidad de regulación natural de la humedad ambiente es mayor de lo que podría suponerse.
4. Con las actuales técnicas de fabricación, y con una racionalización global de la industria, se puede obtener un precio —por metro cúbico— no comparable al de ningún otro material de calidad semejante.
5. En las estructuras de ladrillo —al contrario que en el hormigón armado— el poco espesor del mortero de relleno de las juntas disminuye, notablemente, el tiempo de fraguado y endurecimiento, agilizando la velocidad de ejecución, y disminuyendo el coste de ejecución de las obras.
6. Los encofrados empleados en la cerámica estructural son mucho más ligeros que los requeridos para el hormigón armado, y además, ofrecen una reutilización más rápida y económica.

Eladio Dieste distinguía entre lo “aparentemente práctico” y lo “hondamente práctico” —denominado por él “economía cósmica”— que no entendía, tan solo, en sentido financiero, pues este lleva muchas veces aparejado el despilfarro material. Las obras de Dieste compitieron, muchas veces —en su adjudicación— con otras soluciones más modernas ganando, ampliamente, por su menor coste de ejecución¹⁶⁶.

“Podría decirse, pues, que Dieste se constituye con su obra arquitectónica en un pionero de la sostenibilidad, pues se adelanta muchos años a los conceptos

¹⁶⁴ Ídem.

¹⁶⁵ Ibídem, p. 17.

¹⁶⁶ Ibídem, p. 22.

*actuales de la sociedad, que propugna el empleo de los materiales obtenidos de la naturaleza de forma adecuada y sin despilfarrarlos, pudiendo llegar incluso a reutilizarse en etapas posteriores*¹⁶⁷.

4.1.2.2. Empleo de elementos prefabricados

Además, Gaudí también intentó el abaratamiento de costes por otros procedimientos —absolutamente novedosos en aquel entonces— como la prefabricación y armado de elementos constructivos. Juan Bassegoda Nonell dijo del Parque Güell que *“más que construido, está montado”*¹⁶⁸.

Figura 32. Elementos prefabricados
Fuente: Giordano, C. & Palmisano, N. (2010)

Aunque por su apariencia no lo parezca, muchos elementos del Parque Güell fueron contruidos a base de módulos prefabricados, como por ejemplo¹⁶⁹:

1. La basa de las columnas de la sala hipóstila.
2. Las bóvedas de la sala hipóstila.
3. Las columnas y las bóvedas de piedra de los viaductos.
4. La coronación de los hastiales de los pabellones de la entrada.
5. Los recercados de las ventanas de los pabellones de la entrada.

¹⁶⁷ Ibídem, pp. 22-23.

¹⁶⁸ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 419.

¹⁶⁹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 50.

6. Las almenas de los pabellones y la escalinata monumental.
7. El banco ondulante de la gran plaza.
8. Los paneles de los muros almenados de la escalinata.

Agustín Munné —encargado y carpintero de la obra— comenzaba el trabajo preparando los moldes de madera. Después se iban colocando, en el fondo de los moldes, las sucesivas hojas de bóveda tabicada, hasta formar el prefabricado. Posteriormente, se esperaba hasta el fraguado del cemento, y se sacaban del molde las piezas prefabricadas. Finalmente, se hacía el recubrimiento de “trencadís”, y se colocaban las piezas en su lugar de destino¹⁷⁰.

4.1.2.3. Empleo de técnicas constructivas de la arquitectura popular

La experiencia y la sabiduría transmitidas de generación en generación, a través de la arquitectura popular, constituyen un importante legado de conocimientos técnicos para la arquitectura y la construcción.

Brian Edwards afirma, en su libro *Guía básica de la sostenibilidad*, que “*la arquitectura tradicional de todo el mundo es un recurso que puede ayudarnos a comprender los principios del proyecto y la construcción sostenibles*”¹⁷¹. La arquitectura popular es una arquitectura sencilla, y de gran economía de medios, que utiliza los materiales y los medios del entorno próximo, respetando y aprovechando al máximo los recursos.

Gaudí supo aprovechar esta sencillez y economía de la arquitectura popular, empleando muchas de las técnicas y de los materiales tradicionalmente utilizados en Cataluña —como la bóveda a la catalana o los revestimientos con azulejos— además, optimizaba energéticamente sus edificios mediante el empleo de estrategias bioclimáticas tradicionales e ingeniosos sistemas innovadores. A veces, creaba “*formas nuevas e inéditas utilizando los materiales y las técnicas tradicionales*”¹⁷². Gaudí siempre aconsejaba:

¹⁷⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 407.

¹⁷¹ Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona, p. 165.

¹⁷² Bassegoda Nonell, J. 1990, “La construcción tradicional en la arquitectura de Gaudí”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 9.

“...utilizar los obreros del país con los materiales y medios que les son familiares, pues esto permite la competencia entre ellos y, por tanto, una mejor economía”¹⁷³.

¹⁷³ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 108.

4.1.3. Optimización mecánica del diseño estructural

La optimización mecánica de los diseños estructurales —o eficiencia estructural— fue otra de las grandes aportaciones de Gaudí a la arquitectura, a través de importantes innovaciones —como el arco parabólico, las superficies regladas, los pilares ramificados o la estructura metálica de jácenas y pilares de la Casa Milá— consiguiendo economizar gran cantidad de materiales, mejorando el aprovechamiento de los espacios interiores¹⁷⁴, y mejorando la ventilación, iluminación y soleamiento, con el correspondiente ahorro energético.

Ya desde joven, Gaudí mostró un talento especial para la optimización de los diseños estructurales, tal y como queda de manifiesto en la anécdota sobre su mesa de trabajo, reflejada por Juan Bassegoda Nonell en su libro *El gran Gaudí*:

“En lugar de las ocho patas que solía tener este tipo de escritorios, Gaudí dispuso sólo cuatro torneadas, muy ligeras, dotadas de cartelas a media altura y simplemente unidas inferiormente por unos tirantes. La falta de travesaños superiores sorprendió al ebanista, que advirtió a Gaudí de que la mesa no tendría estabilidad. Gaudí le refirió a Bergós que el mueblista no entendió la eficacia de las cartelas y le puso el ejemplo del borrico equilibrado por el peso de las alforjas”¹⁷⁵.

Figura 33. Mesa de trabajo de Gaudí
Fuente: Martinell Brunet, C. (1967)

¹⁷⁴ Vila Rodríguez, R. 1990, "El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 55.

¹⁷⁵ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 124.

Gaudí no improvisa ni busca soluciones fáciles en su trabajo, sino que, por el contrario, estudia detalladamente las ventajas e inconvenientes de cada una de sus innovaciones técnicas. Algunas de estas innovaciones son fruto de muchos años de investigación, pruebas y ensayos.

En una época en la que aún no existían los laboratorios de ensayos de materiales de construcción, Gaudí —con el objetivo de optimizar el diseño de algunos de los elementos estructurales de sus edificios— es pionero en la realización de este tipo de ensayos mecánicos. Para ello, pide ayuda a su amigo, y cliente, Hermenegildo Miralles Inglés —impresor, encuadernador y fabricante de losetas de cartón piedra— utilizando las poderosas prensas de sus talleres para probar la resistencia mecánica de los pilares de la Casa Milá, y si su forma cilíndrica era la más adecuada. En 1970, José Bayó Font¹⁷⁶ relato como llegó a romperse alguna de esas prensas por exceso de presión¹⁷⁷.

Carlos Flores, en su libro *Gaudí, Jujol y el modernismo catalán*, afirma que “*los planteamientos experimentales para el diseño y cálculo de estructuras utilizados por Gaudí suponían un enfoque del problema tan adelantado a su tiempo, que ingenieros y arquitectos posteriores de extraordinario relieve han coincidido, normalmente sin proponérselo, con los métodos y sistemas planteados por Gaudí medio siglo antes*”¹⁷⁸, poniendo como ejemplo las estructuras regladas de doble curvatura del Parque Olímpico de Múnich, construidas por Frei Otto en 1972.

Las nuevas tecnologías informáticas para el cálculo matemático, de finales del siglo XX, han demostrado la exactitud de los diseños y cálculos de estructuras planteados por Gaudí en su tiempo. En 1986, los catedráticos de estructuras de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña, Juan Margarit y Carlos Buxadé, realizaron el cálculo de la estructura del Templo de la Sagrada Familia, y pudieron comprobar que coincidía perfectamente con las previsiones de Gaudí¹⁷⁹.

El nuevo sistema de cálculo desarrollado por Gaudí en la maqueta estereostática funicular de la Iglesia de la Colonia Güell “*es un paso esencial que va más allá de lo logrado por sus antecesores respecto de los experimentos con modelos [colgantes]*. De

¹⁷⁶ Ver el glosario onomástico.

¹⁷⁷ *Ibíd.*, pp. 447 y 513.

¹⁷⁸ Flores López, C. 1982, *Gaudí, Jujol y el modernismo catalán*, Tomo I, Aguilar, Madrid, p. 223.

¹⁷⁹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 222.

acuerdo con los conocimientos de aquel tiempo, Gaudí construyó por primera vez un modelo colgante tridimensional para el diseño de un edificio”¹⁸⁰.

Figura 34. Maqueta funicular de la Iglesia de la Colonia Güell

Fuente: www.viajesconmitia.com/2010/03/02/templo-expiatorio-de-la-sagrada-familia/

Gaudí se interesaba y estaba al día de los nuevos materiales de construcción, como por ejemplo, el hormigón armado, que usó puntualmente en algunos elementos, como en las vigas de los pabellones del Parque Güell¹⁸¹ o en los pináculos de coronación de las torres de la Sagrada Familia; Gaudí llegó a ver acabada la torre de San Bernabé, finalizada en 1926¹⁸².

La primera compañía de fabricación de cemento catalana —Portland (Asland)— la fundó Eusebio Güell en 1901¹⁸³. No obstante, el hormigón es poco utilizado en aquel momento, en Cataluña, no por un excesivo tradicionalismo —como mantienen algunos autores— sino porque no resultaba competitivo frente a las optimizadas —y en pleno apogeo— técnicas tradicionales catalanas¹⁸⁴.

¹⁸⁰ Tomlow, J. 1989, "El modelo colgante de Gaudí y su reconstrucción. Nuevos conocimientos para el diseño de la Iglesia de la Colonia Güell", *Informes de la Construcción*, vol. 41, no. 404 noviembre-diciembre, p. 61.

¹⁸¹ Bergós Massó, J. 1953, *Materiales y elementos de construcción*, Bosch, Barcelona.

¹⁸² Espel, R., Gómez, J., Grima, R. & Aguado, A. 2009, "La evolución de la construcción del Templo de la Sagrada Familia", *Informes de la Construcción*, vol. 61, no. 516 octubre-diciembre, p. 10.

¹⁸³ *Ibidem*, p. 9.

¹⁸⁴ Bassegoda Amigó, J. 1925, *Conferencia publicada en el Anuario de la Asociación de Arquitectos de Catalunya*.

Pero Gaudí sabía que esto cambiaría con el tiempo y, por eso, diseñó la Sagrada Familia de forma que en el futuro pudieran ser empleadas —si convenía— las nuevas técnicas constructivas que estaban desarrollándose¹⁸⁵.

4.1.3.1. El arco parabólico y las superficies regladas

El empleo del arco parabólico y las superficies regladas son el fruto de muchos años de investigación. Para ello, empezó *“recopilando información de los estudios publicados en aquella época por matemáticos, físicos, biólogos, arquitectos y otros científicos; como, por ejemplo, los estudios de geometría descriptiva de C.F.A. Leroy, publicado en 1855; los trabajos del matemático alemán Karl Hermann Amandus Schwarz; las investigaciones del filósofo y biólogo germano Ernest Heinrich Haeckel, que publicó en 1866 un libro sobre la morfología de los organismos con un gran número de ilustraciones de radiolarios, esponjas y medusas; la obra sobre las estructuras espirales de las plantas del biólogo y matemático escocés Arcy W. Thompson y muchas otras publicaciones. Toda esa valiosa información, unida a su propio estudio de la geometría de la naturaleza, empujó a Gaudí a experimentar con las formas regladas”*¹⁸⁶.

En la Cripta de la Colonia Güell, diez años de estudios y maquetas funiculares precedieron el inicio de las obras, durante los cuales, desarrolló un nuevo sistema de cálculo mediante maquetas estereostáticas —a base de cuerdas y pequeños sacos de perdigones— de las que posteriormente sacaba fotografías desde distintos puntos de vista, y al darles la vuelta se obtenía el trazado de los arcos y las bóvedas.

Las propiedades mecánicas de la catenaria son conocidas desde 1691¹⁸⁷, y por tanto, desde ese momento, es posible la construcción de arcos catenarios de diseño mecánico perfecto. Sin embargo, en la historia de la arquitectura, este tipo de arcos han sido muy raramente empleados hasta que son redescubiertos por Gaudí, a finales del siglo XIX¹⁸⁸.

En la Sagrada Familia, Gaudí se propuso crear una arquitectura —con nuevas estructuras más equilibradas y resistentes— que mejorara las estructuras de las catedrales góticas europeas. Para ello, ideó los pilares de estructura arbórea ramificada

¹⁸⁵ Espel, R., Gómez, J., Grima, R. & Aguado, A. 2009, "La evolución de la construcción del Templo de la Sagrada Familia", *Informes de la Construcción*, vol. 61, no. 516 octubre-diciembre, p. 11.

¹⁸⁶ Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 36.

¹⁸⁷ Los primeros matemáticos confundían la curva de la catenaria con la de la parábola por su similitud, fue el holandés Christiaan Huygens, quien con 17 años de edad, demostró que eran dos curvas distintas. La ecuación matemática de la catenaria fue obtenida por Gottfried Leibniz, Christiaan Huygens y Johann Bernoulli en 1691.

¹⁸⁸ Bassegoda Nonell, J., Bassegoda Musté, B. & Lloveras Montserrat, J. 1992, *Aproximación a Gaudí*, Doce Calles, Madrid, p. 64.

—a partir del complejo estudio empírico de cordeles y pesos, empleado en la cripta de la colonia Güell— que le permitía determinar el diámetro e inclinación de los pilares, y las cargas transmitidas al núcleo central. De esta forma, conseguía que la mayor parte de la estructura trabajara a compresión —en vez de a flexión— y que la distribución de cargas fuera más equilibrada, desplazándose hacia los pilares interiores, y no sólo hacia los elementos perimetrales. Así pudo eliminar los enormes arbotantes y contrafuertes del gótico, con el consiguiente ahorro de material y espacio en planta.

Figura 35. Pilares y contrafuertes de la Catedral de Colonia y de la Sagrada Familia
Fuente: www.sagradafamilia.cat/sf-cast/docs_instit/estructura1.php

La estructura arbórea ramificada de los pilares de la Sagrada Familia —a modo de bosque auto-portante— consigue eliminar esos arbotantes y contrafuertes, a los que Gaudí llamaba las “muletas del gótico”¹⁸⁹. A Gaudí le gustaba comparar las condiciones de estabilidad y resistencia de las naves de la Catedral de Colonia con las de la Sagrada Familia, teniendo en cuenta que, con unas luces similares, la sección de los pilares de esta última es tres veces menor, y la de los contrafuertes cuatro veces menor¹⁹⁰.

¹⁸⁹ Tomlow, J. 1989, "El modelo colgante de Gaudí y su reconstrucción. Nuevos conocimientos para el diseño de la Iglesia de la Colonia Güell", *Informes de la Construcción*, vol. 41, no. 404 noviembre-diciembre, p. 63.

¹⁹⁰ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwergr, Barcelona, p. 78.

César Martinell explica en su libro *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, que:

“Al encargarse Gaudí de la Sagrada Familia, empezada en estilo gótico —que era entonces casi obligado para las construcciones religiosas— fue su primera preocupación la de disminuir las fuerzas inclinadas, que obligan a construir contrafuertes, arbotantes y chapiteles que actúan de puntales y de pesos muertos para verticalizar las fuerzas. Su espíritu de síntesis no podía admitir el complejo de fuerzas centrífugas que actúan en un templo gótico y favorecen la disgregación de sus elementos compensada por superestructuras parásitas de pesos muertos y empujes contrarios tendentes a compensar aquellos esfuerzos disgregantes”¹⁹¹.

Además, en la Sagrada Familia los campanarios parabólicos de sección circular, diseñados por Gaudí, reducen en más de la mitad el empuje del viento —uno de los principales problemas de las construcciones en altura— con respecto a los campanarios de sección cuadrada continua —diseñados por Francisco de Paula del Villar¹⁹²— del proyecto primitivo. A eso también contribuyen las aberturas, diseñadas por Gaudí, en la superficie de los campanarios¹⁹³.

Según Martinell, la teoría de síntesis de Gaudí unía tres principios fundamentales —antes divorciados— la mecánica, la geometría y la construcción, para producir una arquitectura lógica, en la que cada elemento cumple su función con el mínimo esfuerzo. El hecho “mecánico” se manifiesta “geométricamente”, y se concreta en el elemento “constructivo” adecuado¹⁹⁴. De esta forma, Gaudí crea una escuela fácilmente imitable¹⁹⁵.

¹⁹¹ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 142.

¹⁹² Ver el glosario onomástico.

¹⁹³ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 78.

¹⁹⁴ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 142.

¹⁹⁵ *Ibidem*, p. 207.

4.1.3.2. Otras innovaciones: eliminación de muros de carga, estructuras radiales, vigas reticuladas y forjados nervados

En la Casa Milá, “adelantándose a su época, Gaudí ubicó en el sótano de la Pedrera uno de los primeros garajes para automóviles de Barcelona”¹⁹⁶. Con el objeto de conseguir un espacio más diáfano, y mejorar la maniobrabilidad de los coches, diseñó una novedosa estructura metálica con vigas radiales en forma de rueda de bicicleta, que fue posteriormente imitada en el pabellón de Estados Unidos de la Exposición Universal de 1958, donde recibió numerosos elogios¹⁹⁷. Se trata de una estructura radial de vigas metálicas triangulares unidas en el extremo central a un anillo metálico, y apoyadas sobre pilares metálicos en el extremo externo¹⁹⁸.

Figura 36. Estructura metálica con vigas radiales del sótano de la Casa Milá
Fuente: Martinell Brunet, C. (1967)

Además, en la Casa Milá, la innovadora estructura metálica formada por jácenas y pilares permitía —a diferencia de los habituales muros de carga¹⁹⁹— grandes luces y plantas casi diáfanas²⁰⁰, es decir, “la planta libre «lecorbusiana», que Gaudí anticipará en esta obra”²⁰¹. Esta configuración posibilitaba una gran libertad en la distribución

¹⁹⁶ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 25.

¹⁹⁷ *Ibíd.*, p. 62.

¹⁹⁸ Vila Rodríguez, R. 1990, “El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 56 y 57.

¹⁹⁹ Adell-Argilés, J. 2000, *Arquitectura sin fisuras*, Munilla-Lería, Madrid, p. 25.

²⁰⁰ Vila Rodríguez, R. 1990, “El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 56.

²⁰¹ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 113.

interior, y una perfecta adaptación a la programación requerida, pues *“todas las plantas tenían configuraciones diferentes, y todas las viviendas ofrecían una diversidad y variabilidad inexistente hasta el momento”*²⁰².

La eliminación de los muros de carga suponía un considerable ahorro económico:

*“...[Gaudí] pensando en que su coste será cuantioso decide prescindir de muros de carga, que además de encarecer imponen parecidas soluciones en cada piso, y adopta el procedimiento de pilares y jácenas (ya utilizado en la planta baja y sótanos de la casa de León)”*²⁰³.

Figura 37. Estructura de jácenas y pilares de la Casa Milà
Fuente: C. Salas Mirat (exposición “Espai Gaudí” en Barcelona)

En la Casa de los Botines, la estructura *“en planta de sótano y planta baja es de pilares de hierro colado sin ninguna clase de muros de carga, con lo cual Gaudí anticipó soluciones que no se utilizaron hasta muchos años después”*²⁰⁴.

²⁰² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milà*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 71.

²⁰³ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 399.

²⁰⁴ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 329.

En el Palacio Güell, el artesonado de la sala de visitas es “*sorprendente tanto por su belleza como por su audacia mecánica*”²⁰⁵, puesto que, está formado por una “*estructura espacial de gran eficacia resistente, que anuncia las futuras estructuras de este tipo*”²⁰⁶ a base de vigas reticuladas. De la misma manera, el techo del comedor y las salas contiguas están formados por vigas y jácenas reticuladas de inspiración hispano-musulmana²⁰⁷.

En la Torre Bellesguard, Gaudí anticipa los forjados nervados mediante un original diseño de fábrica de ladrillo, cuya solidez permite prescindir de las viguetas²⁰⁸.

²⁰⁵ González Moreno-Navarro, A. & Lacuesta Contreras, R. 2013, *Palacio Güell Gaudí, itinerario de visita*, Diputación de Barcelona, Barcelona, p. 66.

²⁰⁶ *Ibídem*, p. 69.

²⁰⁷ *Ibídem*, p. 74.

²⁰⁸ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 165.

4.2. Ámbito medioambiental: reducción del consumo de energía y del impacto medioambiental

El otro ámbito fundamental de desarrollo de la sostenibilidad es el ámbito medioambiental. Dentro de este ámbito es muy importante la reducción del consumo de energía, con el objeto de minimizar el impacto medioambiental, así como el respeto hacia el entorno natural, la vegetación y el paisaje.

Para ello, es muy importante el uso de medidas pasivas —o de diseño bioclimático— para la eficiencia energética, así como la optimización en el empleo de los recursos naturales, el reciclaje y la gestión de residuos.

Gaudí optimizaba energéticamente sus edificios, y aprovechaba los recursos naturales disponibles, mediante el empleo de estrategias bioclimáticas tradicionales y sistemas innovadores concebidos por él.

Al mismo tiempo, recicla todo tipo de materiales —aprovechando ingeniosamente multitud de residuos de construcción u otros sectores— y, cuando sus obras se encuentran en entornos naturales, las integra paisajísticamente.

A continuación, se realiza un estudio detallado —a través de ejemplos concretos, documentados con citas bibliográficas y fotografías— de los sistemas desarrollados por Gaudí, que tienen que ver con los objetivos de la sostenibilidad en la arquitectura, en el ámbito medioambiental. Para el análisis de estos objetivos, se van a desarrollar los “ítems” del ámbito medioambiental que se consideran más significativos, como son:

1. Reducción del consumo de energía (eficiencia energética):

- Iluminación natural (ver apartado 4.2.1.1.).
 - Iluminación natural en la Sagrada Familia.
 - Iluminación natural en la restauración de la Catedral de Mallorca.
 - Iluminación natural en la Casa Batlló y en la Casa Milá.
 - Iluminación natural en otras obras de Gaudí.
- Ventilación natural (ver apartado 4.2.1.2.).
- Acondicionamiento climático (ver apartado 4.2.1.3.):
 - Aislamiento térmico.

-Sombreamiento y soleamiento.

-Impermeabilización.

2. Reducción del impacto medioambiental:

-Aprovechamiento de residuos (ver apartado 4.2.2.).

-Protección del entorno natural, la vegetación y el paisaje (ver apartado 4.2.3.).

-Aprovechamiento de recursos naturales (ver apartado 4.2.4.).

4.2.1. Eficiencia energética

Gaudí optimiza la eficiencia energética de sus edificios mediante ingeniosos sistemas bioclimáticos, estudiando y aprovechando minuciosamente la luz natural, la ventilación natural y las condiciones del ambiente interior, en función de la climatología de la zona, la orientación del edificio y los usos de cada estancia; estudia el sombreado y soleamiento de las diferentes partes del edificio, y los vientos dominantes.

4.2.1.1. Iluminación natural

Gaudí, tan unido a la luz del mediterráneo —y denominado por algunos como “el arquitecto de la luz”— era un arquitecto en el que la luz jugaba un papel fundamental. Gaudí decía habitualmente:

“El sol del mediterráneo es el gran pintor”²⁰⁹.

Cuando recibía el encargo de un proyecto, lo primero que hacía era estudiar detalladamente la orientación del edificio, según los puntos cardinales, en función de la intensidad de la luz solar y de la climatología. La luz era una preocupación constante en la arquitectura de Gaudí; en muchas de sus obras, las persianas y los múltiples mecanismos que utiliza para introducir y controlar la luz eran objeto de un estudio particular²¹⁰. Gaudí afirmaba que:

“La luz que consigue la máxima armonía es la inclinada a 45°, que incide en los cuerpos ni perpendicular ni horizontalmente. Esta luz, que es la mediana, da la más perfecta visión de los cuerpos y la más matizada valoración. Esta luz es la mediterránea”²¹¹.

En la naturaleza, la luz es fundamental y todo gira en torno a ella: los ritmos biológicos, las cosechas y todas las actividades humanas. Gaudí se da cuenta de la importancia de la luz y la estudia en profundidad en todos sus proyectos; por eso, afirmaba:

“Toda excelencia proviene de la luz. La arquitectura es el ordenamiento de la luz”²¹².

²⁰⁹ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 40.

²¹⁰ Martí Audí, N. 2005, *Les persianes de Gaudí, eines de la llum: la llum en el seu aspecte més sensible i subordinada a criteris constructius*, Universidad Politécnica de Cataluña.

²¹¹ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 100.

²¹² Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 28.

El Templo de la Sagrada Familia —que a Gaudí le gustaba comparar con un bosque horadado por los rayos de luz que se filtran a través de los árboles— es un buen exponente de su preocupación por la iluminación natural.

Iluminación natural en la Sagrada Familia

Gaudí —en su afán por superar y perfeccionar el gótico— ideó las bóvedas de la Sagrada Familia, formadas por hiperboloides. Estas superficies regladas son huecas en el centro —donde las antiguas bóvedas góticas tenían la clave— y esto permite aportar una gran cantidad de luz natural a las naves.

Al mismo tiempo, en la intersección de las bóvedas —donde en el gótico se situaban los nervios— los hiperboloides abren nuevos vanos de pequeño tamaño, que en la Sagrada Familia consiguen la sensación de cielo estrellado.

Figura 38. Bóvedas de la Sagrada Familia

Fuente: blogdelaurac.blogspot.com.es/2013/05/sagrada-familia.html

Por otro lado, Gaudí consigue que la luz natural llegue a la cripta elevando el espacio central sobre las capillas laterales, para poder abrir grandes ventanales en todo el perímetro²¹³:

“una de las principales modificaciones que Gaudí decidirá al hacerse cargo de las obras del templo expiatorio sería la de dotar a la cripta de una iluminación natural directa (...) Sus criptas y plantas de sótano o semisótano compartirán, en general, esta cualidad de contar con ventanas e iluminación directas;

²¹³ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 224.

*recordemos los casos de la cripta de la colonia Güell, de las plantas subterráneas del palacio Güell, del palacio episcopal de Astorga, de la casa Figueras, etc.*²¹⁴.

Iluminación natural en la restauración de la Catedral de Mallorca

Según Juan Bassegoda Nonell, la recuperación de los rosetones y vidrieras fue una de las más espectaculares realizaciones de Gaudí en la Catedral de Mallorca. Estos rosetones y vidrieras eran ciegos —pues tenían las tracerías pero no los cristales— y, al recuperar las vidrieras, Gaudí consiguió potenciar de forma majestuosa la iluminación natural²¹⁵.

Figura 39. Iluminación natural de la Catedral de Palma de Mallorca tras la intervención de Gaudí
Fuente: javifields.blogspot.com/2009/10/la-catedral-de-la-luz.html

Además, en los nuevos vitrales, inventa un nuevo sistema de coloración de vidrios —denominado en “tricromía”— consistente en la superposición de tres vidrios, con colores primarios, que iluminados por la luz del sol, en función del grueso de cada uno, producen los colores secundarios. Este sistema lo empleará posteriormente en las vidrieras de la Sagrada Familia, y —aparte de sus novedosos efectos ópticos— también le permitirá el aprovechamiento de vidrios de desecho.

²¹⁴ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 114.

²¹⁵ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 457.

Iluminación natural en la Casa Batlló y en la Casa Milá

La Casa Batlló —edificio civil construido originariamente en 1877 para Luis Sala Sánchez— es transformado profundamente por Gaudí, por encargo de José Batlló Casanovas²¹⁶. La transformación —desde el punto de vista funcional— afectó, en gran medida, a la ventilación e iluminación del edificio, puesto que una parte fundamental de la reforma fue el ensanchamiento del patio interior, y la apertura de grandes ventanales en la fachada y el patio²¹⁷.

Gaudí revistió el patio interior de azulejos en distintos tonos azules, que son más intensos en la parte superior, y más claros en la parte inferior, para conseguir una mejor distribución de la luz; además, las ventanas van haciéndose más grandes en las plantas más bajas, donde llega menor cantidad de luz natural. Al contemplar el patio desde abajo, el color de los azulejos se ve de un tono azul uniforme, debido a la perfecta distribución de la luz²¹⁸.

Figura 40. Patio de la Casa Batlló

Fuente: virginianapracticashistoria.blogspot.com.es/2013/05/casa-batllo-antonio-gaudi.html

²¹⁶ Ver el glosario onomástico.

²¹⁷ *Ibíd.*, p. 483.

²¹⁸ Bassegoda Nonell, J., Bassegoda Musté, B. & Lloveras Montserrat, J. 1992, *Aproximación a Gaudí*, Doce Calles, Madrid, p. 173.

Gaudí también incorporó gran cantidad de fijos acristalados en las puertas de distribución interior y en las ventanas —tanto en la fachada, como en el patio interior— con el objeto de aumentar la superficie acristalada y la luminosidad del edificio.

En la Casa Milá, el acceso a las viviendas se articula a través de dos grandes patios de luces —que permiten una amplia iluminación y ventilación para todos los pisos— y las ventanas también van achicándose hacia los pisos superiores, para compensar la mayor cantidad de luz que reciben.

Por otro lado, la fachada ya no es un pesado muro de carga, como era habitual hasta entonces²¹⁹, sino un muro de cerramiento no estructural, en el que se pueden abrir grandes ventanales. En algunos balcones el suelo es acristalado, para permitir el paso de luz a los pisos inferiores²²⁰.

Figura 41. Patios de la Casa Milá
Fuente: C. Salas Mirat (exposición "Espai Gaudí" en Barcelona)

Iluminación natural en otras obras de Gaudí

En una de sus primeras obras, El Capricho, Gaudí distribuye las habitaciones de acuerdo con la trayectoria del sol —como los girasoles— quizás por eso, el girasol es el

²¹⁹ Adell-Argilés, J. 2000, *Arquitectura sin fisuras*, Munilla-Lería, Madrid, p. 25.

²²⁰ Collins, G.R. 1966, *Antonio Gaudí*, Bruguera, Barcelona, p. 23.

motivo fundamental de su decoración. En el dormitorio principal el sol da a primera hora de la mañana, en el comedor al medio día y por la tarde en la sala de juegos.

En el Parque Güell, Gaudí concibió todas las viviendas orientadas al sur y escalonadas, para recibir el máximo de luz solar.

En la Casa Botines y en el Palacio Episcopal de Astorga, Gaudí diseñó un foso exterior rodeando el edificio, con la finalidad de ventilar e iluminar el sótano.

Además, en la Casa Botines las torres funcionan como lucernarios, para que las esquinas del edificio no sean zonas oscuras, y los patios van ampliándose progresivamente hasta la cubierta, con el objeto de captar una mayor cantidad de luz cenital²²¹.

4.2.1.2. Ventilación natural

Gaudí utilizaba, en muchos de sus edificios, la ventilación natural como estrategia bioclimática para aumentar el confort y la salubridad de los usuarios, mejorando la calidad del aire, regulando la humedad y refrescando las estancias en verano.

Figura 42. Sistemas de regulación de ventilación de la Casa Batlló
Fuente: C. Salas Mirat

²²¹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 119.

En el patio interior de la Casa Batlló, hay ventanas de doble uso: la parte superior para iluminación y la parte inferior para ventilación²²².

El edificio está dotado de un sistema de control de la ventilación cruzada de las viviendas, mediante palancas de regulación del caudal de entrada y salida de aire, en puertas y ventanas. El patio funciona como una gran chimenea de ventilación natural²²³.

Además, en el gran ventanal del Paseo de Gracia, los mecanismos de subida y bajada de las hojas —de tipo guillotina— están accionados mediante contrapesos, sin jambas ni montantes, de manera que al levantar todas las cristaleras se obtiene una abertura panorámica, en toda la anchura del salón y, por tanto, una gran superficie de ventilación²²⁴.

Gaudí incorporaba siempre sistemas de ventilación en los sótanos de sus edificios, algo inusual en aquella época. En el Palacio Güell se consigue una eficaz ventilación cruzada gracias al patio interior y a unas aberturas de ventilación en la fachada opuesta²²⁵.

Figura 43. Aberturas de ventilación del sótano del Palacio Güell

Fuente: C. Salas Mirat

²²² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 56.

²²³ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 73.

²²⁴ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 488.

²²⁵ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 250.

4.2.1.3. Acondicionamiento climático

A Gaudí le preocupan mucho las condiciones del ambiente interior de los edificios y, por ello, estudia detenidamente la climatología de la zona y la forma de acondicionar adecuadamente sus edificios.

En la Casa Batlló, los innovadores sistemas de ventilación del edificio —como el control de la ventilación cruzada, mediante palancas de regulación del caudal de aire en puertas y ventanas— combinados con sistemas bioclimáticos —como el cerramiento acristalado del patio para la captación de energía solar, o los conductos de aportación de aire fresco del sótano— configuran un extraordinario sistema de climatización natural regulable²²⁶:

Aislamiento térmico

Gaudí estudia la forma de conseguir el aislamiento térmico de sus edificios, y especialmente en las zonas más expuestas al frío y al calor, como son las azoteas y cubiertas. Por eso, decía frecuentemente que la cubierta tenía que ser “sombrero y sombrilla”, para referirse a que tenía que ser doble²²⁷.

En la Casa Milá, *“Gaudí diseñó la planta desván como una estructura independiente, para que actuara como cámara aislante y de protección del edificio frente al frío y al calor exterior. Esa estructura se completó con un sistema de ventilación compuesto por dos tipos de ventanas, las pequeñas en la parte alta de las paredes y las grandes en la*

Figura 44. Planta ático de la Casa Milá (cámara aislante)
Fuente: C. Salas Mirat

²²⁶ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 73-75.

²²⁷ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 330.

*parte baja, que debían abrirse en verano para crear corriente de aire y cerrarse en invierno para conservar el microclima generado por el sol y los ladrillos*²²⁸.

En El Capricho de Comillas —localidad cántabra muy alejada del benigno clima mediterráneo— los ventanales de la fachada norte son de doble cristalera, con el objeto de mejorar el aislamiento térmico de las estancias. Este perfeccionamiento es algo prácticamente insólito para la arquitectura de la época²²⁹.

Figura 45. Ventanales con doble cristalera en El Capricho

Fuente: www.cosasdearquitectos.com/2014/03/la-idea-arquitectonica-de-gaudi-y-sus-inicios-en-el-capricho/

Sombreamiento y soleamiento

El soleamiento del edificio, en función de la orientación, es muy importante para Gaudí y lo estudia detalladamente en todas sus obras. Su preocupación “*por el control solar (...) derivó en ingeniosas soluciones para los huecos de fachada, como la galería del Palacio Güell (1886-1888), con control de las lamas desde el interior mediante engranajes, cadenas y ruedas de gusano, o las galerías de la Casa Calvet (1898-1900), en la fachada al patio de manzana, con persianas de librillo guiadas con un pasamanos*

²²⁸ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 88.

²²⁹ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 52.

ondulado, a semejanza de la patente francesa Cheyne²³⁰. En 1906, Gaudí instala en la Casa Batlló las primeras persianas enrollables mecanizadas desde el interior²³¹.

En la Casa Milá, la fachada de la calle Provenza *“presenta un juego de ondas y movimiento más acentuado y vibrante que el de las otras dos. Antonio Gaudí consideró que los balcones debían sobresalir más para generar sombras, y así proteger las viviendas, ya que por su ubicación esta fachada es la que recibe más luz del sol”*²³².

Figura 46. Juego de ondas de fachada de la Casa Milá (protección solar)

Fuente: C. Salas Mirat

Además, la Casa Milá incluía también unas novedosas persianas enrollables mecanizadas desde el interior, con un ingenioso sistema de proyección de los faldones hacia el exterior y doble persiana con doble tambor, para multiplicar las posibilidades de control solar, ventilación e iluminación:

“Gaudí propone, no solamente la proyección de los faldones dividiendo la guía, para que pueda realizarse el movimiento de compás por encima de la barandilla, sino que dobla la persiana: el hueco dispone de dos persianas independientes, cada una con sus sistemas de cinta y bombo, un faldón cubre la parte superior de la balconera siguiendo la composición del despiece de la carpintería de la

²³⁰ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 6.

²³¹ *Ibidem*, p. 9.

²³² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 40.

ventana, y el otro cubre la parte inferior. Esta solución de faldón fragmentado permite multiplicar las posibilidades de control sin complejidad añadida”²³³.

En El Capricho, Gaudí diseña una vivienda, en forma de “U”, que rodea un invernadero orientado hacia el sur. De esta forma, consigue aprovechar con gran efectividad los escasos rayos de sol de esta localidad de Cantabria, e introducirlos en la vivienda, para captar la energía térmica producida por el efecto invernadero²³⁴. El sentido último de la forma de la vivienda es conseguir la máxima captación de energía solar, a través del invernadero, pues cada habitación está dispuesta —con respecto a esta fuente de energía— de la forma más apropiada a sus funciones y usos²³⁵. Para Antonio Sama García, los girasoles de los azulejos que decoran el edificio son el símbolo de una arquitectura solar, diseñada en función del sol, a semejanza de estas plantas heliotrópicas —que se orientan según la posición del sol— y, por lo tanto, El Capricho es una arquitectura heliotrópica²³⁶.

Figura 47. Invernadero de El Capricho

Fuente: <http://www.reharq.com/2013/05/el-capricho-de-gaudi-comillas-cantabria.html>

²³³ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

²³⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 28.

²³⁵ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 40.

²³⁶ *Ibídem*, p. 74.

En el Parque Güell, el banco de obra situado en la parte alta de la escalinata del mercado fue diseñado de modo que recibiera sombra en verano y sol en invierno, al tiempo que está protegido del viento²³⁷. Además, los viaductos y pórticos construidos para seguir las rasantes de los viales —en lugar de simples terraplenados o muros de contención— tienen la finalidad práctica de guarecerse del sol o de la lluvia²³⁸.

Figura 48. Zonas con revestimiento de azulejos en El Capricho

Fuente: www.lasimagenesqueyoveo.com/2016/08/descubre-gaudi-en-su-capricho-de.html

Impermeabilización

En El Capricho, situado en la húmeda y lluviosa villa cántabra de Comillas, el edificio está revestido de azulejos en las zonas más expuestas al viento, la lluvia y la retención

²³⁷ Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 55.

²³⁸ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 375.

de humedades, como la torre, la cornisa, las ménsulas, las embocaduras de puertas y ventanas, los antepechos, los conductos de las chimeneas o el encuentro del ladrillo con el zócalo de piedra²³⁹. Esto también lo hace en otros edificios situados en latitudes similares, aunque de menor pluviosidad, como la Casa Vicens o la Casa Batlló.

²³⁹ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 58.

4.2.2. Aprovechamiento de residuos

Gaudí fue pionero en la reutilización y reciclaje de residuos de construcción procedentes de desecho o demolición, algo que, en aquella época, era incomprendido e incluso criticado.

Es muy conocido su empleo de trozos de vidrio o azulejo en el revestimiento de fachadas, técnica popularmente conocida como “trencadís”, que en catalán significa “roto”. El material *“procedía, mayoritariamente, de depósitos sobrantes y defectuosos de fábricas de cerámica”*²⁴⁰. Otras veces, buscaba industrias o negocios que le facilitaran los desechos, como la Vidriería Pelegrí de Barcelona, que le proporcionaba restos de cristales de colores. Juan Matamala Flotats²⁴¹ dejó testimonio de que —tanto en la Sagrada Familia como en la Casa Milá o el Parque Güell— los albañiles tenían la orden de recoger todas las botellas, platos o tazas, que encontraran en la basura, camino de sus casas, para entregárselos a Jujol²⁴², que los empleaba en la confección de los mosaicos²⁴³.

Figura 49. Desechos de vidrio empleados en las chimeneas de la Casa Milá
Fuente: C. Salas Mirat

²⁴⁰ Aguado Martínez, M.L., Ribas Seix, A. & Hosta Calderer, C. 2002, "La restauración de los pabellones de entrada del Park Güell", *Informes de la construcción*, vol. 54, no. 481/482 septiembre-octubre/noviembre-diciembre, p. 26.

²⁴¹ Ver el glosario onomástico.

²⁴² Ver el glosario onomástico.

²⁴³ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 415.

En la Casa Milá, los pilares de ladrillo se construyeron reutilizando los ladrillos procedentes de la demolición de un chalet existente, la casa Ferrer-Vidal²⁴⁴. Además, las barandillas de los balcones de fachada están realizadas con planchas, cadenas, mallas, perfiles, tornillos y otros elementos de chatarra para desguace, que Gaudí seleccionaba y reciclaba para su trabajo²⁴⁵.

Figura 50. Balcones de la Casa Milá (realizados con chatarra de desguace)
Fuente: www.pasarlascanutas.com/gaudi/casa_mila_la_pedrera/casa_mila.htm

En la Casa Batlló, el pavimento de la azotea se realizó con los azulejos de desecho del edificio anterior, a modo de “trencadís”, aunque con el tiempo fue sustituido.

En el revestimiento exterior de la aguja cónica del Palacio Güell, Gaudí empleó pequeños fragmentos de piedra arenisca roja vitrificada, procedentes de las paredes interiores de los hornos de cal, ya inservibles, situados en los terrenos de los Güell en el macizo de Garraf²⁴⁶. La última chimenea en construirse fue revestida con desechos de loza de diferentes vajillas, especialmente con vajillas de la fábrica Pickman de Sevilla²⁴⁷.

Para las rejas de los ventanales de la Cripta de la Colonia Güell, se reciclaron agujas inservibles de los telares de la fábrica²⁴⁸. En los muros, Gaudí utilizó ladrillos “recochos”

²⁴⁴ Ibídem, p. 513.

²⁴⁵ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 44.

²⁴⁶ González Moreno-Navarro, A. & Lacuesta Contreras, R. 2013, *Palacio Güell Gaudí, itinerario de visita*, Diputación de Barcelona, Barcelona, p. 121.

²⁴⁷ Ibídem, p. 129.

²⁴⁸ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 369.

de desecho —demasiado quemados, retorcidos o alabeados—²⁴⁹, escoria y residuos de fundición.

Los bancos de la Cripta de la Colonia Güell fueron realizados reciclando las tablas de roble de los embalajes de maquinaria de la fábrica. Gracias a ello, el coste final de cada banco fue tan sólo de 20 pts. En mayo de 2011, Sotheby's París subastó uno de estos bancos, y fue vendido a un comprador desconocido por alrededor de 400.000 euros.

Figura 51. Banco de la Cripta de la Colonia Güell
Fuente: www.gaudicoloniaguell.org/es/crypta-gaudi

En el Parque Güell, se reciclaron los flejes de acero de las balas de algodón de la fábrica de Santa Coloma de Cervelló, como refuerzos metálicos en el interior de los grandes capiteles de hormigón de la sala hipóstila, adelantándose en el tiempo a la invención del hormigón armado²⁵⁰. Además, con los flejes entrelazados, de dos en dos, se formaron los balaustres de las barandillas de hierro de algunas escaleras accesorias²⁵¹.

Al templo de la Sagrada Familia llegaban, habitualmente, carros con los desperdicios de los hornos de ladrillo —fundamentalmente ladrillos recochos— que se utilizaban para el relleno de los machones de las torres²⁵².

²⁴⁹ Ídem, p. 369.

²⁵⁰ Adell-Argilés, J. 2000, *La fábrica armada*, Munilla-Lería, Madrid, pp. 20 y 22.

²⁵¹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 416.

²⁵² Matamala Flotats, J. 2011, *Antoni Gaudí. Mi itinerario con el arquitecto*, Editorial Claret, Barcelona.

4.2.3. Protección del entorno natural, la vegetación y el paisaje

La admiración de Gaudí por la naturaleza iba acompañada de una constante preocupación por la protección y conservación de la misma. Esto le llevaba a un estudio pormenorizado de las actuaciones a realizar, del entorno, de la vegetación, del paisaje... Alberto T. Estévez afirma que:

“...para una inspiración tan eficaz (...) hace falta una fascinación sincera, sólo posible con la mirada realmente amorosa y sensible [de Gaudí] sobre la naturaleza. Detrás de la cual late un gran respeto por el entorno, y por el medio ambiente, hasta el punto de poder calificarlo como el primer arquitecto ecologista, cuando esta palabra ni existía”²⁵³.

Gaudí intenta —cuando le es posible— integrar sus construcciones en el paisaje natural, utilizando la piedra y los materiales del entorno, como por ejemplo, en la Cripta de la Colonia Güell, el parque Güell o los jardines de Artigas²⁵⁴. En algunos casos —como en la Cripta de la Colonia Güell— la rusticidad de los materiales y la peculiaridad de las formas es tan grande que, podría decirse que, parecen más formaciones geológicas que obras humanas²⁵⁵. Los ladrillos recochos de color pardo oscuro, y las formas alabeadas y retorcidas, combinaban perfectamente con la piedra basáltica negra, consiguiendo una gran integración paisajística:

“La parte inferior de la cripta tiene el color parduzco propio de las hojas de pino caídas en el suelo del bosque circundante. (...) La iglesia, que nunca se construyó, debía tener tonos azulados, blancos y dorados, para estar en armonía con el cielo, la luz y el sol por encima de las copas de los pinos”²⁵⁶.

Además, en la Cripta de la Colonia Güell, Gaudí cambió la forma de una escalera para salvar un gran pino que se interponía en el trazado de la misma y, posteriormente, comentó:

“Yo puedo hacer una escalera en tres semanas, pero necesito veinte años para tener un pino como éste”²⁵⁷.

²⁵³ Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid, p. 86.

²⁵⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, pp. 129 y 192.

²⁵⁵ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 371.

²⁵⁶ *Ibidem*, p. 369.

²⁵⁷ *Ibidem*, p. 370.

En el Parque Güell —situado en la denominada “Muntanya Pelada” (Montaña Pelada) del barrio del Carmelo de Barcelona— la vegetación estaba constituida, básicamente, por hierbas y arbustos, puesto que su matriz geofísica —con pronunciadas pendientes y substrato rocoso— favorecía los procesos erosivos que impiden la formación de suelo estable para albergar estructuras vegetales desarrolladas²⁵⁸. Sin embargo, Gaudí insistió en conservar los pinos, algarrobos y matorrales existentes, añadiendo otras especies autóctonas, para crear un entorno natural resistente y con pocos requerimientos de agua. Se plantaron más algarrobos, y además, romero, tomillo, retama, pitas, palmeras, yedra y glicinias²⁵⁹. Además, en las excavaciones y movimiento de tierras, Gaudí se preocupó de recoger cuidadosamente todos los fósiles encontrados para que, posteriormente, fueran adecuadamente estudiados y catalogados por Mosén Font Sagué y el Canónigo de Almera²⁶⁰.

Claudio Lisias da Silva, en su tesis doctoral sobre la gestión hídrica del Parque Güell, demuestra que todo el parque es un captador de agua de lluvia destinado a controlar la erosión y apoyar la reforestación de la zona, puesto que toda ella se encontraba en estado de desertización²⁶¹:

“Frenar la velocidad del agua, dividirla, filtrarla, recogerla de nuevo, todo forma parte de la estrategia de gestión hídrica destinada a evitar la erosión y poner el agua a disposición de las plantas, para transformar una situación erosiva en un proceso de generación de suelo y vegetación (...) La mayoría de los elementos usados por Gaudí en la urbanización del Park —camino, escaleras, viaductos...— adquieren así funcionalidad dentro de una estrategia global frente al flujo del agua (...) cambiando una dinámica que producía un desierto por una nueva dinámica que generase un oasis”²⁶².

²⁵⁸ Cuchí Burgos, A. *La percepción del territorio desde el análisis de los flujos materiales* [Homepage of Universidad Politécnica de Cataluña], [Online]. Available: mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/informes/la-percepcion-del-territorio-desde-el-analisis-de-los-flujos-materiales.pdf [2016, 03/08].

²⁵⁹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 420.

²⁶⁰ *Ibidem*, p. 413.

²⁶¹ da Silva, C. 2007, *Park Güell: arquitectura conformada por el agua: gestión hídrica para la reforestación de la Montaña Pelada en Barcelona*, Universidad Politécnica de Cataluña

²⁶² Cuchí Burgos, A. *La percepción del territorio desde el análisis de los flujos materiales* [Homepage of Universidad Politécnica de Cataluña], [Online]. Available: mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/informes/la-percepcion-del-territorio-desde-el-analisis-de-los-flujos-materiales.pdf [2016, 03/08].

Al mismo tiempo, para intentar respetar al máximo la topografía del terreno, Gaudí diseñó los famosos pórticos y viaductos, que salvan los acusados desniveles de algunas zonas, consiguiendo finalmente una red viaria de 3 km —entre caminos y senderos— con una pendiente máxima del 6%. Los pórticos cumplían la función de muro de contención y paso cubierto, y los viaductos permitían circular por el carril superior o pasear a la sombra por el inferior²⁶³.

Figura 52. Vegetación autóctona del Parque Güell
Fuente: www.acharvat.at/barcelona/barc41.html

²⁶³ Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 108.

4.2.4. Aprovechamiento de recursos naturales

En realidad, el Parque Güell, además de obra artística y creativa, es una gran obra de ingeniería. En el diseño del Parque Güell *“demostrando una sensibilidad especial con el problema de la escasez de agua, Gaudí concibió un ingenioso sistema de drenaje con el fin de aprovechar para riego la lluvia que caía sobre la gran plaza (...) Para facilitar el drenaje, el pavimento de la plaza está compuesto de varias capas de piedras cuyo grosor aumenta con la profundidad, de manera que el agua se va filtrando sin arrastrar demasiadas impurezas”*²⁶⁴.

Figura 53. Cisterna inferior del Parque Güell
Fuente: za.pinterest.com/pin/440438038543700768/

Las robustas columnas de la sala hipóstila, huecas en su interior, son en realidad grandes bajantes de piedra que conducen el agua de la plaza, hasta la cisterna inferior, con una capacidad de 1.200 metros cúbicos de agua. La cisterna *“constituye en sí*

²⁶⁴ Ibidem, p. 76.

*misma una estructura extraordinaria: múltiples columnas y arcos redondeados (...) cuidadosamente acanalados para recibir el agua que entra en la cámara, han sobrevivido —con un mínimo mantenimiento hasta la fecha— el continuo goteo de décadas de drenaje*²⁶⁵. La famosa fuente del reptil de la escalinata es, en realidad, el desagüe del depósito.

²⁶⁵ Kent, C. & Prindle, D. 1992, *Hacia la arquitectura de un paraíso*, Hermann Blume, Madrid, p. 86.

4.3. Ámbito social

El tercer ámbito de desarrollo de la sostenibilidad es el ámbito social, menos desarrollado que los ámbitos económico y medioambiental, pero no por ello menos importante. Hay que tener en cuenta que la sostenibilidad social —cada vez más demandada— influye de forma determinante en la economía y el medioambiente.

A Gaudí le preocupaba mucho el bienestar y confort de los usuarios, y por ello estudiaba con detenimiento hasta los más pequeños detalles. En general, en la gran mayoría de sus edificios, la preocupación “*por el control solar, la salubridad del espacio interior y el confort, derivó en ingeniosas soluciones*”²⁶⁶. También le preocupaba el bienestar social y la protección del patrimonio histórico, artístico y cultural.

A continuación, se realiza un estudio detallado —a través de ejemplos concretos, documentados con citas bibliográficas y fotografías— de los sistemas desarrollados por Gaudí, que tienen que ver con los objetivos de la sostenibilidad en la arquitectura, en el ámbito social. Para el análisis de estos objetivos, se van a desarrollar los “ítems” del ámbito social que se consideran más significativos, como son:

1. Confort del usuario:

- Ergonomía (ver apartado 4.3.1.1.).
- Acústica (ver apartado 4.3.1.2.).
- Otras condiciones de confort (ver apartado 4.3.1.3.).

2. Salubridad (ver apartado 4.3.2.).

3. Bienestar social (ver apartado 4.3.3.).

²⁶⁶ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 6.

4.3.1. Confort del usuario

4.3.1.1. Ergonomía

En la Casa Batlló, el diseño de la barandilla de madera está perfectamente estudiado para su adaptación a la anatomía de la mano, y para su deslizamiento por ella.

Figura 54. Diseños ergonómicos de Gaudí para la casa Milá

Fuente 1: C. Salas Mirat

Fuente 2: C. Salas Mirat (exposición "Espai Gaudí" en Barcelona)

Gaudí diseña el mobiliario de las casas Vicens, Calvet, Batlló y Milá, así como del Palacio Güell y de la Torre Bellesguard, junto con el mobiliario litúrgico de la Sagrada Familia. En todos los casos efectúa cuidadosos estudios, de tipo funcional-ergonómico —antes incluso de inventarse tal palabra— para la perfecta adaptación del mobiliario a la anatomía humana, obteniendo diseños ergonómicos sumamente innovadores²⁶⁷.

En la Casa Milá, todos los herrajes de puertas y ventanas —como tiradores, manillas y pomos— fueron diseñados por Gaudí a partir de modelos de barro aplastados con los dedos, para el estudio de su ergonomía antes de ser fundidos en bronce.

²⁶⁷ Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid, p. 71.

En el Parque Güell, Gaudí pidió a uno de los trabajadores que se sentara sobre una maqueta de yeso del banco que pensaba construir —cuando el yeso blanco aún no había endurecido— para sacar un molde del cuerpo humano, y poder hacer un banco con diseño ergonómico.

Figura 55. Estudio ergonómico del banco del Parque Güell
Fuente: C. Salas Mirat (museo "Gaudí Centre" de Reus)

4.3.1.2. Acústica

En el Palacio Güell, los adoquines con que está pavimentada la entrada de carruajes eran de madera de pino tea, para atenuar el ruido de caballos y carruajes²⁶⁸.

En la Sagrada Familia, realizó profundos estudios de acústica para la mejora de la misma en el interior del templo. Fruto de esos estudios es, por ejemplo, el innovador claustro-fachada que rodea todo el templo, y cuya función es no sólo la deambulación de los visitantes, sino también el aislamiento del ruido exterior²⁶⁹. Al mismo tiempo, las pequeñas viseras con inclinación graduada hacia abajo, que envuelven profusamente las torres de los campanarios, están diseñadas para que el sonido de las campanas pueda escucharse en toda la ciudad²⁷⁰.

Está previsto que el templo tenga unas 60 campanas fijas tubulares, que puedan tocarse mediante martillos accionados por mecanismos eléctricos, desde un teclado con todas las notas musicales, para dotar al templo de un dispositivo musical de grandiosos efectos²⁷¹. Gaudí hizo múltiples ensayos, durante varios años, auxiliándose en los

²⁶⁸ González Moreno-Navarro, A. & Lacuesta Contreras, R. 2013, *Palacio Güell Gaudí, itinerario de visita*, Diputación de Barcelona, Barcelona, p. 48.

²⁶⁹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Basílica de la Sagrada Familia*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 48.

²⁷⁰ Collins, G.R. 1966, *Antonio Gaudí*, Bruguera, Barcelona, p. 26.

²⁷¹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Basílica de la Sagrada Familia*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, pp. 110-111.

especialistas que él creía más cualificados, como el maestro Francisco Pujols (segundo director del “Orfeó Catalá”) o el industrial metalista Miguel Carreras²⁷².

4.3.1.3. Otras condiciones de confort

En la Casa Vicens, hay puertas que cierran solas mediante una pequeña inclinación en el eje de giro de los goznes, y además, en muchas de ellas sustituyó las pesadas fallebas por pequeñas lengüetas²⁷³.

En el salón principal de la Casa Batlló, Gaudí diseñó un ingenioso sistema de cerramiento desplegable de seis hojas, que permite la configuración del espacio en función de las necesidades, tal y como, hoy en día, se hace con las tabiquerías móviles²⁷⁴.

Todas las viviendas de la Casa Milá contaban con un moderno sistema de calefacción por radiadores de agua caliente e incluso calentadores de agua en los baños. La instalación fue realizada por la ingeniería Casa Muntadas de Barcelona²⁷⁵. Gaudí había previsto también un sistema de riego automático para las plantas, que debía confundirse con los remates decorativos de hierro de los balcones²⁷⁶.

Se puede decir también que la Casa Milá *“fue el primer caso en Barcelona, y posiblemente de los primeros mundiales, con sistemas de rampas, después tan usados en garajes de varios pisos”*²⁷⁷.

Para Gaudí, es tan importante el confort de los usuarios —y la satisfacción de los gustos de sus propios clientes— que llega a detalles tan sorprendentes como el de las “ventanas armónicas” de El Capricho, en las que los contrapesos son tubos de metal afinados, que al subir o bajar las hojas chocan entre sí, produciendo agradables sonidos

²⁷² Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 195.

²⁷³ Bassegoda Nonell, J., Bassegoda Musté, B. & Lloveras Montserrat, J. 1992, *Aproximación a Gaudí*, Doce Calles, Madrid, p. 195.

²⁷⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 75.

²⁷⁵ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, pp. 520 y 525.

²⁷⁶ *Ibidem*, p. 522.

²⁷⁷ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 400.

musicales²⁷⁸. El abogado Máximo Díaz de Quijano, que le había hecho el encargo de construir la casa, era muy aficionado a la música.

²⁷⁸ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 135.

4.3.2. Salubridad

Para Gaudí, una de las principales condiciones de la comodidad —y determinante en la toma de decisiones— es la salubridad²⁷⁹. A modo de ejemplo, la Casa Botines fue la primera casa en León que tuvo cuartos de baño²⁸⁰.

Por otro lado, en el año 1900 la Casa Calvet recibió el premio al mejor edificio del año del Ayuntamiento de Barcelona, y según Juan Bassegoda Nonell el jurado se mostró particularmente impresionado por *“la buena ventilación y sifonaje de las conducciones de aguas residuales, que daban al edificio excelentes condiciones higiénicas”*²⁸¹.

La Casa Calvet tenía, además, una fuente con agua filtrada y refrescada a 13° —para uso de los vecinos— en un patio con acceso desde el primer rellano de la escalera. El agua de la fuente provenía directamente del curso de agua Riera de la Malla, que atravesaba la parte posterior del solar²⁸².

²⁷⁹ Ibídem.

²⁸⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 331.

²⁸¹ Ibídem, p. 358.

²⁸² Ibídem, p. 359.

4.3.3. Bienestar social

A Gaudí le preocupaba la protección del medio ambiente y la naturaleza, pero también el bienestar social y el de las personas que trabajaban a su cargo:

“Sus obreros sentían por él especial veneración; se identificaban materialmente con él, y se convertían en una prolongación del maestro en la ejecución de sus proyectos. Gaudí nunca los abandonó en el momento supremo de la vida, y los visitaba en sus enfermedades...”²⁸³.

En la Sagrada Familia, las Escuelas fueron financiadas por Gaudí —el coste total de la obra fue de 9.000 pesetas— para que pudieran estudiar de forma gratuita los hijos de los obreros²⁸⁴. Las Escuelas acogían entre 120 y 150 alumnos, y disponían de un amplio patio exterior para actividades al aire libre, jardinería, etc. Además, Gaudí proporcionaba gran estabilidad laboral a los industriales, albañiles y artesanos que trabajaban con él, y que, normalmente, eran siempre los mismos en todas las obras²⁸⁵.

Figura 56. Clase de jardinería en las Escuelas de la Sagrada Familia
Fuente: Bonet Armengol, J. (2002)

²⁸³ González-Cremona, J.M. 2017, *Hacia la Beatificación de Antoni Gaudí, desde 1992*, Asociación pro Beatificación de Antoni Gaudí, Barcelona, p. 179.

²⁸⁴ Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida, p. 40.

²⁸⁵ Bassegoda Nonell, J., Bassegoda Musté, B. & Lloveras Montserrat, J. 1992, *Aproximación a Gaudí*, Doce Calles, Madrid, p. 267.

Capítulo 5

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA DE GAUDÍ

5.1. Método VERDE de evaluación de la sostenibilidad

Como se explica en el apartado 2.2, hoy en día existen múltiples sistemas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios, de los cuales podemos destacar:

- BREEAM (Reino Unido).
- HQE (Francia).
- VERDE (España).
- ITACA (Italia).
- Nordic Swan (Países Nórdicos).
- DGNB (Alemania).
- LEED (EEUU).
- CASBEE (Japón).
- LIDER A (Portugal).
- MINERGIE (Suiza).

No obstante, de todos estos sistemas de evaluación, se podría decir que los más habitualmente empleados en España son:

- BREEAM (British Research Establishment Environmental Assessment Method).
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).
- VERDE (Valoración de la Eficiencia de Referencia De Edificios).

También existen otras herramientas, comúnmente empleadas en España, para la evaluación o el análisis de la sostenibilidad de los edificios, como son:

- HADES (Herramienta de Ayuda al Diseño para una Edificación más Sostenible) que es una herramienta del Green Building Council España (GBCe), al igual que el método VERDE.
- MIVES (Método Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles) que es una herramienta basada en el análisis multicriterio, para el desarrollo de aplicaciones;

entre ellas, el cálculo del ICES (Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad) de las Instrucciones de Hormigón y Acero Estructural.

Las opciones —hoy en día— son múltiples, sin embargo se ha elegido el método VERDE, como modelo para el desarrollo de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, por las siguientes razones:

-Los sistemas de evaluación más habitualmente empleados en España son BREEAM, LEED y VERDE; no obstante, el método VERDE presenta importantes ventajas como son:

1. Un fuerte desarrollo de su implantación en España, desde su inicio.
2. Una mejor adaptación al entorno económico, medioambiental y social que los otros sistemas de evaluación.
3. Una mejor adecuación de los criterios de evaluación a los efectos potenciales de los impactos, conforme a los indicadores de sostenibilidad del perfil ambiental de España.

-HADES es una herramienta más enfocada a la evaluación de la sostenibilidad en la fase de redacción de los proyectos, que al estudio de los edificios ya construidos.

-MIVES es una herramienta, en la actualidad, más empleada en la evaluación de la sostenibilidad de la estructura del edificio, por lo que su empleo para una evaluación más generalista supondría un desarrollo más complejo y una menor fiabilidad.

En España, desde el año 2008, ha ido progresivamente implantándose el método VERDE de evaluación de la sostenibilidad, hasta conseguir un desarrollo exponencial del número de metros cuadrados evaluados en los últimos años. En la actualidad, el método VERDE ha desarrollado múltiples herramientas de análisis, tanto para rehabilitación, como para nueva edificación, y sigue en proceso de evolución. Antes de comenzar el estudio de la sostenibilidad en la arquitectura de Gaudí, utilizando la herramienta VERDE como modelo para la metodología de análisis, se hace una exposición detallada de en qué consiste dicha herramienta, cómo es su funcionamiento, y cuáles son sus contenidos fundamentales.

VERDE (Valoración de la Eficiencia de Referencia De Edificios) es una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los edificios del “Green Building Council España” (GBCe) que permite medir y evaluar, de modo objetivo, los impactos más importantes generados por el edificio —en el ámbito medioambiental, social y económico— en las distintas fases de su ciclo de vida. El método VERDE trata de proporcionar al sector de la edificación en España una metodología —actualizada y homologable internacionalmente— que permita la evaluación de la sostenibilidad de los edificios de forma objetiva, al mismo tiempo que la difusión de principios y prácticas que sirvan para mejorar la calidad del diseño y construcción de edificios²⁸⁶.

Figura 57. Página web del método VERDE
Fuente: www.gbce.es

La Asociación GBCe es una organización vinculada a la Asociación Internacional “World Green Building Council” (WGBC), cuyas finalidades son, entre otras:

1. Ser portavoz de la sociedad en todo lo relativo a la sostenibilidad en la edificación en España.
2. Proporcionar al sector de la edificación español, las metodologías y herramientas, homologables internacionalmente, que permitan la evaluación objetiva y certificación de la sostenibilidad de los edificios.

²⁸⁶ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 20.

3. Desarrollar actividades de investigación y cooperación, a nivel nacional e internacional, para la difusión de la sostenibilidad en la edificación.

Los impactos del proceso edificatorio, que por considerarse más importantes, han sido estudiados y evaluados por VERDE son los siguientes:

1. Cambio climático.

Actualmente está considerado como el principal problema medioambiental de la humanidad, y se origina por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera —como el dióxido de carbono (CO₂)— que son capaces de elevar la temperatura del planeta y de modificar su equilibrio climático²⁸⁷, pudiendo ocasionar, entre otras, las siguientes consecuencias para el planeta²⁸⁸:

- Peligro de extinción de numerosas especies animales.
- Alteraciones en gran cantidad de especies animales y vegetales.
- Modificaciones en la disponibilidad de agua dulce y en la salinidad del agua del mar.
- Modificaciones en la agricultura y en el rendimiento de las cosechas en muchas regiones del planeta.
- Aumento de lluvias torrenciales, de inundaciones y de periodos de sequía en muchas regiones del planeta.
- Subida del nivel del mar por deshielo de los glaciares, y alteraciones en playas y costas.

2. Pérdida de fertilidad.

El vertido a la atmósfera de dióxido de azufre (SO₂) —principalmente por el uso de combustibles fósiles— se combina con el oxígeno del aire, generando ácido sulfúrico, que posteriormente origina la lluvia ácida²⁸⁹.

²⁸⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2013, *Guía informativa: VERDE un método de evaluación ambiental de edificios*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

²⁸⁸ Macías, M. & García, J. 2010, "Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios", *Informes de la Construcción*, vol. 62, no. 517 enero-marzo, pp. 92-93.

²⁸⁹ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2013, *Guía informativa: VERDE un método de evaluación ambiental de edificios*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

3. Pérdida de vida acuática.

La contaminación de los ríos por vertidos con alta cantidad de nutrientes —como excrementos animales, fertilizantes agrícolas o efluentes urbanos— provoca la eutrofización de las aguas, que es un crecimiento incontrolado de algas que agota el oxígeno del agua, e impide la penetración de la luz²⁹⁰.

4. Emisión de compuestos foto-oxidantes.

El ozono que constituye la conocida “capa de ozono” se encuentra situado en la estratosfera, que está separada de la superficie terrestre por la troposfera. Pero la emisión de contaminantes precursores de ozono troposférico (volátiles orgánicos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno...) genera nubes de ozono al entrar en contacto con la atmósfera y la luz solar. Estas nubes de ozono están situadas en las capas más bajas de la atmósfera —en la troposfera— y se denominan “smog fotoquímico”²⁹¹.

El “smog fotoquímico” —habitualmente conocido como la “boina”— se da, generalmente, en núcleos urbanos densamente poblados, y puede llegar a producir importantes problemas de salud.

5. Cambios en la biodiversidad

La introducción de especies invasoras animales o vegetales y, en general, la alteración del medio natural está reduciendo paulatinamente las especies autóctonas y, por lo tanto, la biodiversidad del planeta.

6. Agotamiento de energía de fuentes no renovables.

Las fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas —como los combustibles fósiles: el carbón, el petróleo o el gas natural— y cuyas reservas, inevitablemente, acabaran agotándose, puesto que la velocidad del ser humano en consumirlas es mucho mayor que la velocidad de la naturaleza en regenerarlas.

²⁹⁰ Ídem.

²⁹¹ Ídem.

7. Agotamiento de recursos no renovables distintos de la energía primaria.

Aparte de los recursos naturales no renovables —que son fuentes de energía primaria, como los combustibles fósiles— existen otros recursos no renovables como los minerales, los metales o los depósitos de agua subterránea.

Se estima que la construcción consume cerca del 40% de los recursos naturales y contribuye de manera irreversible a su agotamiento²⁹².

8. Agotamiento de agua potable.

El consumo excesivo de agua potable puede provocar la alteración de los depósitos de agua naturales —e incluso su desecación— lo que puede acelerar el proceso de desertificación de algunas regiones²⁹³.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, España es el país de la costa norte del Mediterráneo con mayor riesgo de desertificación, especialmente en el litoral mediterráneo²⁹⁴.

9. Generación de residuos “no peligrosos”.

Se llaman residuos “no peligrosos” a todos aquellos que no presentan riesgo de daño para la salud de las personas o del medio ambiente, por su toxicidad, reactividad química, corrosividad, radioactividad, inflamabilidad, explosividad o cualquier otro posible peligro.

La generación de residuos es uno de los retos más importantes a que se enfrenta la sociedad de hoy en día, por su continuo incremento a escala mundial. Por ello, resulta fundamental la adecuada gestión y reciclaje de los mismos, para su incorporación —en la medida de lo posible— a los sistemas productivos²⁹⁵.

10. Pérdida de salud y confort para los usuarios.

La seguridad, salubridad, confort de los usuarios y, por tanto, el acondicionamiento ambiental de los edificios —es decir, su adecuada

²⁹² Ídem.

²⁹³ Ídem.

²⁹⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 37.

²⁹⁵ Ministerio de Medio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2014, "Diagnóstico del Sector Residuos en España nº 7", *Publicaciones de la Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación*, vol. abril.

ventilación, iluminación, aislamiento acústico, etc.— es fundamental en la arquitectura de hoy en día, no sólo en beneficio de la sociedad o el medioambiente, sino como beneficio económico a largo plazo. El bienestar y confort de los usuarios no sólo mejora la salud y el equilibrio psicológico de los mismos, sino también su productividad en el trabajo.

11. Riesgo para los inversores.

Tal y como se decía anteriormente, un edificio sostenible debe serlo en el ámbito medioambiental, social y económico, y por lo tanto, debe ser rentable económicamente para el inversor inmobiliario.

A cada uno de estos impactos, el método VERDE le asigna un peso relativo —en función de la extensión, intensidad y duración de los efectos potenciales— una vez analizados los correspondientes indicadores de sostenibilidad del perfil ambiental de España²⁹⁶. El peso relativo asignado a cada impacto se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 3. Peso relativo de los impactos evaluados
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

IMPACTOS	PESO RELATIVO	INDICADOR
1 Cambio climático	27%	kg CO ₂ eq
2 Aumento de las radiaciones UV a nivel del suelo	0%	kg CFC11 eq
3 Pérdida de fertilidad	5%	kg SO ₂ eq
4 Pérdida de vida acuática	6%	kg PO ₂ eq
5 Emisión de compuestos foto-oxidantes	8%	kg C ₂ H ₄ eq
6 Cambios en la biodiversidad	4%	%
7 Agotamiento de energía no renovable	8%	MJ
8 Agotamiento de recursos no renovables	9%	kg SB eq
9 Agotamiento de agua potable	10%	m ³
11 Generación de residuos no peligrosos	6%	kg
16 Pérdida de salud y confort para los usuarios	12%	%
19 Riesgo para los inversores	5%	€/m ²

²⁹⁶ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2013, *Guía informativa: VERDE un método de evaluación ambiental de edificios*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

Por otro lado, las fases del ciclo de vida del proceso edificatorio —recogidas en la norma UNE-EN 15978:2012— y el peso relativo asignado a cada una de ellas, se recogen en la tabla siguiente²⁹⁷:

Tabla 4. Fases del ciclo de vida de un edificio
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

CODIGO	FASE	
A 1	Producción materiales (25%)	Suministro de materias primas
A 2		Transporte
A 3		Fabricación
A 4	Transporte (5%)	Transporte a obra
A 5	Construcción (5%)	Proceso de construcción instalación
B 1	Uso (60%)	Uso
B 2		Mantenimiento
B 3		Reparación
B 4		Sustitución
B 5		Rehabilitación
B 6		Uso de energía en servicio
B 7		Uso de agua en servicio
C 1	Fin de vida (5%)	Uso de agua en servicio
C 2		Deconstrucción y demolición
C 3		Transporte
C 4		Tratamiento de residuos
C 5		Vertido

Para que un edificio pueda obtener la Certificación VERDE, el Comité Técnico de GBCe ha formulado una serie de criterios —asociados a uno o varios impactos, y a una o varias fases del ciclo de vida— que evalúan las prestaciones del edificio conforme a distintos requerimientos, entre ellos, los regulados en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y en las correspondientes Directivas Europeas.

Los criterios evaluados en VERDE son parte de la lista de criterios elaborada por el “Work Group 4” (WG4), de la asociación “Sustainable Building Alliance” (SBA), extraídos en función de la normativa española, u otros aspectos que puedan considerarse

²⁹⁷ Ídem.

esenciales en el contexto español²⁹⁸. Los criterios, y las áreas en las que se agrupan, son los siguientes:

1. Vida útil.

-I 0 Optimización de la vida útil de la estructura.

2. Parcela y emplazamiento.

-A 05 Proximidad al transporte público.

-A 08 Acceso a equipamiento y servicios públicos.

-A 11 Sistema de gestión de escorrentías.

-A 14 Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos.

-A 19 Transporte peatonal.

-A 20 Políticas para promover el uso de la bicicleta.

-A 21 Política de gestión del transporte privado.

-A 23 Uso de plantas autóctonas.

-A 23.2 Consumo de agua para riego de jardines.

-A 24 Uso de árboles para crear áreas de sombra.

-A 27 Gestión o restauración del hábitat.

-A 31 Efecto isla de calor a nivel del suelo.

-A 32 Efecto isla de calor a nivel de la cubierta.

-A 33 Contaminación lumínica.

3. Energía y atmósfera

-B 01 Uso de energía no renovable en los materiales de construcción.

²⁹⁸ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 21-23.

- B 02 Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción.
- B 03 Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas.
- B 04 Demanda de energía eléctrica en la fase de uso.
- B 06 Producción de energías renovables en la parcela.
- B 07 Emisión de sustancias foto-oxidantes en procesos de combustión.
- B 08 Emisión de sustancias que reducen el ozono estratosférico y producen calentamiento global.

4. Recursos naturales.

- C 01 Consumo de agua potable en aparatos sanitarios.
- C 02 Retención de aguas de lluvia para su reutilización.
- C 04 Recuperación y reutilización de aguas grises.
- C 07 Uso de materiales durables.
- C 08 Reutilización de materiales.
- C 10 Uso de materiales reciclados.
- C 11 Uso de productos obtenidos de recursos sostenibles.
- C 12 Uso de adiciones al cemento.
- C 16 Planificación de una estrategia de demolición selectiva.
- C 17 Gestión de los residuos de la construcción.
- C 18 Prevención de la contaminación en actividades de construcción
- C 20 Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía.
- C 21 Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES).
- C 22 Eco-etiquetado de producto.

5. Calidad del ambiente interior.

- D 02 Toxicidad en los materiales de acabado interior.
- D 03 Realización de un proceso de purga.
- D 04 Control de fuentes contaminantes interiores. Migración de los contaminantes.
- D 07 Concentración de CO₂ en el aire interior.
- D 08 Monitorización de la calidad del aire.
- D 09 Limitación de la velocidad del aire en las zonas de ventilación mecánica.
- D 11 Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural.
- D 12 Confort termo-higrométrico.
- D 13 Confort térmico en espacios con ventilación natural.
- D 14 Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria.
- D 15 Deslumbramiento en las zonas de ocupación no residencial.
- D 16 Nivel de iluminación y calidad de la luz en los puestos de trabajo.
- D 17 Protección de los recintos protegidos frente al ruido procedente del exterior.
- D 18 Protección de los recintos protegidos frente al ruido generado en los recintos de instalaciones.
- D 19 Protección de los recintos protegidos frente al ruido generado en recintos no pertenecientes a la misma unidad funcional de uso.
- D 20 Confort acústico.

6. Calidad del servicio.

- E 01 Eficiencia de los espacios.
- E 03 Disponibilidad de un sistema de gestión del edificio.

-E 04 Capacidad de funcionamiento parcial de las instalaciones y sistemas técnicos.

-E 05 Capacidad de control local de los sistemas de iluminación en áreas de ocupación no residencial.

-E 06 Capacidad de control local de los sistemas de HVAC en áreas de ocupación no residencial.

-E 13 Desarrollo e implementación de un plan de gestión de mantenimiento.

7. Aspectos sociales y económicos.

-F 02 Acceso universal.

-F 03 Derecho al sol.

-F 04 Acceso a espacios abiertos privados desde las viviendas.

-F 05 Protección del interior de las viviendas de las vistas desde el exterior.

-F 06 Acceso visual desde las áreas de trabajo.

-F 08 Coste de construcción.

-F 09 Coste de uso.

8. Calidad del diseño

-H 06 El edificio como una herramienta para la educación.

9. Innovación

-I 01 Innovación en el diseño.

El método VERDE evalúa, en cada criterio, un aspecto concreto de la edificación, estableciendo un procedimiento de análisis y un marco de referencia (benchmarking), para la comparación del edificio con el resto de edificaciones de hoy en día, teniendo en

cuenta las prácticas habituales de diseño y construcción. Los valores de referencia para la comparación son²⁹⁹:

-Práctica habitual (valoración 0): valor mínimo exigido por la normativa, valor medio estadístico o buenas prácticas contrastadas.

-Mejor práctica (valoración 5): aplicación de las mejores técnicas disponibles, económicamente viables.

De esta forma, se obtiene una valoración adimensional, de intervalo 0 a 5, en cada criterio, y posteriormente la valoración final, ponderada en función del peso relativo de los impactos y de las fases del ciclo de vida asociados a cada criterio³⁰⁰.

La valoración final se traduce en una calificación global de 0 a 5 “HOJAS VERDE”.

Figura 58. Valoración del método VERDE de evaluación de la sostenibilidad
Fuente: Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

Tal y como se decía anteriormente, el método VERDE evalúa en cada criterio un aspecto concreto de la edificación. A continuación, del total de criterios del método VERDE, se analizan aquellos que pueden ser trasladados —de forma coherente— a la arquitectura de finales del siglo XIX, o principios del XX, para establecer la comparación entre la arquitectura de Gaudí y la arquitectura habitual de la época.

²⁹⁹ *Ibídem*, p. 40.

³⁰⁰ *Ibídem*, p. 29.

5.1.1. Vida útil

Criterio I-0. Optimización de la vida útil de la estructura

El objetivo de este criterio es evaluar la vida útil de la estructura, puesto que de ella depende directamente la vida útil del edificio. Se entiende por vida útil de una estructura al periodo de tiempo, tras la finalización de la obra, durante el cual la estructura debe mantener las condiciones de seguridad y funcionalidad, de acuerdo con el plan de conservación y mantenimiento establecido³⁰¹.

La *Guía para los Evaluadores Acreditados GEA VERDE NE, Residencial y Oficinas* del GBCe, adjunta una tabla, en base a la normativa de aplicación, donde se especifica la vida útil mínima de los diferentes tipos de edificios.

Tabla 5. Vida útil nominal de las estructuras de los edificios
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

TIPO DE ESTRUCTURA	VIDA ÚTIL NOMINAL
ESTRUCTURAS DE CARÁCTER TEMPORAL	Entre 3 y 10 años
ELEMENTOS ESTRUCTURALES INDEPENDIENTES DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL (barandillas, apoyos de tuberías...)	Entre 10 y 25 años
EDIFICIOS AGRÍCOLAS O INDUSTRIALES Y OBRAS MARÍTIMAS	Entre 15 y 50 años
VIVIENDAS, OFICINAS, U OBRAS PÚBLICAS DE POCA ENVERGADURA	50 años
EDIFICIOS PÚBLICOS (salud, educación...)	75 años
EDIFICIOS DE CARÁCTER MONUMENTAL	100 años
OBRAS PÚBLICAS DE ALTA REPERCUSIÓN ECONÓMICA	100 años

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, la vida útil mínima de la estructura del edificio será igual o superior a la vida útil mínima reglamentaria.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio I-0.

³⁰¹ *Ibidem*, p. 73.

Tabla 6. Impactos asociados al criterio I-0

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.2. Parcela y emplazamiento.

Criterio A-11. Sistema de gestión de escorrentías

El objetivo de este criterio es evaluar el incremento de las aguas de escorrentía recogidas por la red de saneamiento, como consecuencia del aumento de las zonas urbanizadas y la disminución de la permeabilidad del terreno. El agua de escorrentía contiene sedimentos y otros contaminantes que tienen efectos negativos, y además el exceso de agua supone un esfuerzo adicional para las infraestructuras de saneamiento municipales³⁰².

La mejor manera de minimizar el volumen de aguas de escorrentía es reducir la superficie de pavimentos impermeables, para incrementar la infiltración del agua en el terreno. De esta forma, la mayor parte de los contaminantes que arrastra el agua son descompuestos por los microorganismos del terreno. También pueden utilizarse cisternas o estanques para la retención del agua y su posterior reutilización como agua de riego, o en otros usos que no requieran agua potable³⁰³.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se establece en función de las medidas adoptadas para la reducción del agua de escorrentía. Para la evaluación, se considera como mejor práctica la gestión del 90% del agua de escorrentía —en función de las precipitaciones medias anuales— y la eliminación del 80% de los sólidos en suspensión.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 7. Valores de referencia del criterio A-11

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Gestión de menos del 90% del agua de escorrentía o eliminación de menos del 80% de sólidos en suspensión

³⁰² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 47.

³⁰³ *Ibidem*, p. 48.

Mejor práctica	Gestión del 90% del agua de escorrentía y eliminación del 80% de sólidos en suspensión
-----------------------	--

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio A-11.

Tabla 8. Impactos asociados al criterio A-11

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos

El objetivo de este criterio es evaluar la aplicación de medidas que consigan el reciclaje de los residuos del edificio, como por ejemplo, la existencia de locales destinados a la separación y almacenamiento temporal de residuos no peligrosos —plásticos, cartones, papeles, vidrios, pilas e incluso muebles o enseres— hasta su traslado, para el posterior reciclaje. Esto supone una mayor eficiencia en la gestión de estos residuos y, por lo tanto, una reducción de los residuos enviados a vertedero³⁰⁴.

³⁰⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 79 y 82.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza a través de las medidas adoptadas en el edificio para la separación y reciclaje de los residuos sólidos urbanos generados³⁰⁵:

-A 14.0.1 Recogida y transporte hasta punto de recogida municipal de todos aquellos residuos que no tengan recogida selectiva pública en la puerta del edificio.

-A 14.0.2 Existencia de un espacio separado del cuarto de basuras, donde puedan almacenarse muebles o enseres durante un tiempo limitado, hasta su recogida.

-A 14.0.3 Sistemas de reciclaje de residuos orgánicos propios, como por ejemplo los sistemas de compostaje para el abono de zonas verdes de la propia parcela.

-A 14.0.4 Instalación de contenedores de residuos en cada planta del edificio.

En función de las estadísticas y del Plan Nacional de Residuos Urbanos (2000-2006), el método VERDE considera que el porcentaje de residuos que podría ser destinado a las Plantas de Reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos (PRSU) es el siguiente³⁰⁶:

-El 90%, en edificios residenciales, según el siguiente desglose:

-El 31%, para las medidas del tipo A-14.0.1.

-El 19%, para las medidas del tipo A-14.0.2.

-El 40%, para las medidas del tipo A-14.0.3.

-El 80%, en edificios de oficinas, según el siguiente desglose:

-El 50%, para las medidas del tipo A-14.0.1.

-El 20%, para las medidas del tipo A-14.0.2.

³⁰⁵ *Ibídem*, pp. 82 y 83.

³⁰⁶ *Ibídem*, pp. 82-85.

-El 5%, para las medidas del tipo A-14.0.3.

-El 5%, para las medidas del tipo A-14.0.4.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 9. Valores de referencia del criterio A-14 en edificios residenciales
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING (edificios residenciales)	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	90%

Tabla 10. Valores de referencia del criterio A-14 en edificios de oficinas
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING (edificios de oficinas)	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	80%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio A-14.

Tabla 11. Impactos asociados al criterio A-14
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable

8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio A-23. Uso de plantas autóctonas

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de plantas autóctonas en edificios con parcelas o espacios verdes superiores a 40 m². Las plantas autóctonas son las plantas nativas, u originarias de una zona, y son muy importantes para la biodiversidad local. Entre sus muchas ventajas destacan las siguientes³⁰⁷:

- Perfecta adaptación a la climatología local.
- Menor requerimiento de agua de riego.
- Poca exigencia en el uso de productos químicos, fertilizantes, etc.
- Bajo mantenimiento en general.

De esta forma, el uso de plantas autóctonas contribuye al equilibrio ecológico, la calidad ambiental y la sostenibilidad del medio construido.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo de la superficie ajardinada ocupada por plantas autóctonas, con respecto a la superficie ajardinada total del edificio.

En la actualidad, no existen datos estadísticos para establecer valores de referencia de las superficies ajardinadas con plantas autóctonas. El método VERDE considera que en un edificio convencional la superficie ajardinada con plantas autóctonas es del 30% de la superficie total ajardinada, y que la mejor práctica sería la utilización de plantas autóctonas en la totalidad de la superficie ajardinada³⁰⁸.

³⁰⁷ *Ibídem*, p. 89.

³⁰⁸ *Ibídem*, p. 91.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 12. Valores de referencia del criterio A-23

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio A-23.

Tabla 13. Impactos asociados al criterio A-23

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio A-23.2 Consumo de agua para riego de jardines

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia de los sistemas de riego y el empleo de plantas xerófitas —es decir, de escaso consumo de agua y adaptadas a la sequía—

en edificios con superficies ajardinadas superiores a 40 m² sobre el terreno natural. No se evalúan las superficies ajardinadas sobre cubiertas, terrazas o forjados en general³⁰⁹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza mediante la comparación del consumo de agua con respecto a una zona verde de referencia de iguales dimensiones y la siguiente distribución de riego³¹⁰:

- Un 30% de riego por aspersión, en zonas de pradera.
- Un 30% de riego localizado, o por goteo, en zonas con plantas tapizantes.
- Un 40% de riego localizado, o por goteo, en zonas arboladas.

Los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 14. Valores de referencia del criterio A-23.2

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Jardín de referencia
Mejor práctica	Reducción del 25% de consumo de agua respecto al jardín de referencia

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio A-23.2

Tabla 15. Impactos asociados al criterio A-23.2

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático

³⁰⁹ Ibídem, p. 93.

³¹⁰ Ibídem, pp. 95 y 97.

2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio A-31. Efecto isla de calor a nivel del suelo

El objetivo de este criterio es evaluar el efecto térmico “isla de calor”, a nivel del suelo, que se produce como consecuencia de la eliminación de la vegetación y el asfaltado o pavimentación masivos. Estos materiales almacenan la energía térmica del sol y producen una gran acumulación de calor, elevando la temperatura de las zonas urbanas, y aumentando las necesidades de refrigeración de los edificios³¹¹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

Este criterio se evalúa dentro del procedimiento de evaluación del criterio B 03 (consumo de energía no renovable durante el uso del edificio), mediante la utilización de programas informáticos de simulación energética³¹².

Para Nueva Edificación, Equipamiento y Rehabilitación, Equipamiento, se considera como práctica habitual que el 50% de la superficie libre de la parcela sea zona verde o sombreada (de 10:00 a 16:00 horas del 21 de junio) y como mejor práctica que lo sea el 90%³¹³.

³¹¹ *Ibídem*, p. 109.

³¹² *Ibídem*, p. 110.

³¹³ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 65 y 66.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio A-31.

Tabla 16. Impactos asociados al criterio A-31

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.3. Energía y atmósfera

Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción (energía embebida)

El objetivo de este criterio es evaluar el consumo de energía no renovable, asociado al proceso de extracción y transformación de los materiales de construcción de un edificio. Se calcula que la energía no renovable, consumida en la fabricación de los materiales utilizados en la construcción de un edificio, supone aproximadamente un 20% de la energía no renovable consumida durante todo el ciclo de vida del edificio³¹⁴.

La minimización del consumo de energía no renovable, asociado a la fabricación de los materiales de construcción, incluye también la reutilización y reciclaje de materiales de construcción.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza mediante la comparación de la energía consumida por el edificio a analizar (en MJ) con respecto a la consumida por el edificio de referencia, mediante el empleo del programa de simulación energética CALENER³¹⁵.

Los valores de referencia para la comparación (benchmarking), son los siguientes:

Tabla 17. Valores de referencia del criterio B-01

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	MJ consumidos por el edificio de referencia
Mejor práctica	Reducción en un 20% de los MJ consumidos por el edificio de referencia

³¹⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 123.

³¹⁵ *Ibidem*, p.125.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio B-01.

Tabla 18. Impactos asociados al criterio B-01

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción

El objetivo de este criterio es evaluar la cantidad de energía no renovable utilizada en el transporte de los materiales de construcción, teniendo en cuenta que el uso de materiales locales es la principal medida para reducir el consumo de energía en el transporte y las emisiones asociadas. El sector del transporte depende, fundamentalmente, de los combustibles fósiles, y es el principal responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero³¹⁶.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo del porcentaje (en peso) de los materiales de producción local, respecto al total de materiales del

³¹⁶ *Ibidem*, p. 127.

edificio, teniendo en cuenta como producción local, a aquella que está situada en un radio de 200 km respecto al emplazamiento de la obra³¹⁷. Para la evaluación, se considera que en un edificio convencional se emplea un 30% de materiales de producción local, y que la mejor práctica sería la utilización de un 100% de estos materiales.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 19. Valores de referencia del criterio B-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%*

* 60% para Nueva Edificación, Equipamiento y Unifamiliar

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio B-02.

Tabla 20. Impactos asociados al criterio B-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios

³¹⁷ Ibídem, p. 128.

Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción del consumo de energía no renovable empleada en la climatización, iluminación y ACS del edificio, aplicando medidas pasivas de diseño, y aumentando la eficiencia de los diferentes sistemas. El Código Técnico de la Edificación (CTE) establece en el Documento Básico de “Ahorro de energía” (DB HE) las exigencias básicas para la reducción del consumo de energía no renovable, y los procedimientos para acreditar su cumplimiento. El método está basado en la herramienta informática de simulación energética CALENER³¹⁸.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza de forma conjunta con otros criterios del área de energía y atmósfera, mediante el empleo de programas informáticos de simulación energética³¹⁹.

Para Rehabilitación, Equipamiento, existe una opción en la que se calcula —mediante un programa de simulación energética— el consumo de energía del edificio a evaluar, con respecto al de un edificio de referencia que cumpla todos los requisitos del CTE, considerando como práctica habitual el consumo de energía del edificio de referencia, y como mejor práctica la reducción en un 50% de dicho consumo. Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 21. Valores de referencia del criterio B-03

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2014)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Consumo de energía igual al del edificio de referencia
Mejor práctica	Reducción en un 50% del consumo de energía del edificio de referencia

³¹⁸ *Ibíd.*, p. 131.

³¹⁹ *Ibíd.*, p. 145.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio B-03.

Tabla 22. Impactos asociados al criterio B-03

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.4. Recursos naturales

Criterio C-02. Retención de aguas de lluvia para su reutilización

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de depósitos, aljibes, cisternas u otros sistemas de retención de aguas de lluvia, para su acumulación y posterior utilización en distintos usos domésticos, como el riego o la limpieza.

El agua de lluvia ha sido históricamente un recurso fundamental para la subsistencia. Hoy en día, pese a los modernos sistemas de embalsado, canalización y potabilización, el agua sigue siendo un recurso fundamental para el desarrollo y el medio ambiente. En España, un edificio con una cubierta de 100 m², y un aprovechamiento del 80% del agua de lluvia, podría disponer de aproximadamente 48.000 litros de agua gratuitos al año³²⁰.

En función de los materiales empleados en la superficie de captación, y del sistema de filtración, obtendremos una mayor o menor calidad del agua. Al mismo tiempo, los espacios de almacenamiento enterrados pueden evitar la proliferación de algas (por la menor luz) y de bacterias (por la menor temperatura)³²¹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo del consumo efectivo de aguas pluviales en el edificio. Se considera como práctica habitual la no recuperación de aguas de lluvia, y como mejor práctica la recuperación de aguas de lluvia para el 60% de las necesidades de consumo (excluido el consumo de agua potable)³²².

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 23. Valores de referencia del criterio C-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	0%

³²⁰ Ibídem, p. 175.

³²¹ Ibídem, p. 176.

³²² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento*, V. 1.g, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 162.

Mejor práctica

60%*

* 50% para Nueva Edificación, Unifamiliar

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio C-02.

Tabla 24. Impactos asociados al criterio C-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio C-08. Reutilización de materiales

El objetivo de este criterio es evaluar la reutilización de materiales de construcción para reducir el consumo de materias primas y energía, durante el proceso de fabricación o reciclado de dichos materiales³²³.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo del porcentaje (en coste) de los materiales reutilizados, respecto al total de materiales del edificio, sin contar la mano de obra, y excluyendo todas las instalaciones con sus

³²³ *Ibidem*, p. 177.

diferentes equipos y mecanismos³²⁴. Para la evaluación, se considera como práctica habitual el empleo de un 5% de materiales reutilizados, y como mejor práctica el empleo de un 10% de dichos materiales.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 25. Valores de referencia del criterio C-08

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	5%
Mejor práctica	10%

* Práctica habitual 10% y mejor práctica 20% para Nueva Edificación, Unifamiliar

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio C-08.

Tabla 26. Impactos asociados al criterio C-08

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

³²⁴ Ídem.

Criterio C-10. Uso de materiales reciclados

El objetivo de este criterio es evaluar la utilización de materiales reciclados para reducir el consumo de materias primas³²⁵.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento y Unifamiliar).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo del porcentaje —en coste— de materiales reciclados, respecto al total de materiales del edificio, sin contar la mano de obra, y excluyendo todas las instalaciones con sus diferentes equipos y mecanismos. Para la evaluación, se considera como práctica habitual el empleo de un 10% de materiales reciclados, y como mejor práctica el empleo de un 20% de dichos materiales³²⁶.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 27. Valores de referencia del criterio C-10

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	10%
Mejor práctica	20%*

* 30% para Rehabilitación, Equipamiento

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio C-10.

Tabla 28. Impactos asociados al criterio C-10

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad

³²⁵ Ibídem, p. 179.

³²⁶ Ibídem, pp. 179 y 180.

4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción de los impactos asociados a la producción de los materiales de construcción, durante su proceso de extracción y transformación. Para ello, el ciclo de vida de los materiales será lo más largo posible, pudiendo incluso ser aprovechados para su reutilización o reciclaje, en una nueva construcción, una vez finalizado el ciclo de vida del edificio. El ahorro de materiales es también muy importante y, por lo tanto, se debe evitar el sobredimensionado innecesario de las estructuras y de otros elementos constructivos del edificio³²⁷.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece mediante la comparación del edificio objeto de estudio, con un edificio de referencia idéntico al evaluado, pero definido con los sistemas constructivos utilizados por el programa CALENER para su edificio de referencia. Se consideran como práctica habitual los impactos asociados al edificio de referencia, y como mejor práctica la reducción de dichos impactos en un 20%³²⁸.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

³²⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 191.

³²⁸ *Ibidem*, p. 193.

Tabla 29. Valores de referencia del criterio C-20

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Impactos generados por el edificio de referencia
Mejor práctica	Reducción en un 20% de los impactos generados por el edificio de referencia

Debido a la dificultad de definir una estructura portante de referencia, válida para cualquier edificio, el Método VERDE no incluye este elemento en el cálculo del criterio. No obstante, deja abierta la posibilidad de valorarlo, por un sistema análogo al anterior, basado en el cumplimiento de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE 08³²⁹.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio C-20.

Tabla 30. Impactos asociados al criterio C-20

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

³²⁹ *Ibíd*em, p. 192.

Criterio C-21. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES)

El objetivo de este criterio es evaluar la incorporación de medidas de sostenibilidad a la estructura del edificio, de acuerdo con el Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad (ICES), de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE 08) y de la Instrucción de Acero Estructural (EAE). Es aplicable a estructuras de hormigón, de acero y mixtas.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento y Unifamiliar).

Para comprobar el cumplimiento de este criterio, se calcula el ICES conforme a la normativa. Para la evaluación, se considera como práctica habitual la obtención de un ICES menor de 0.20, y como mejor práctica la obtención de un ICES de entre 0.80 y 1.00³³⁰.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 31. Valores de referencia del criterio C-21

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	ICES $\leq$ 0.20
Mejor práctica	0.80 < ICES $\leq$ 1.00

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio C-21.

³³⁰ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 196.

Tabla 32. Impactos asociados al criterio C-21

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.5. Calidad del ambiente interior

Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia de la ventilación natural en los edificios, de forma independiente a la ventilación mecánica —en caso de existir— y la capacidad de regulación de su caudal y funcionamiento, por parte de los usuarios. Para que la ventilación natural sea más eficaz, las aberturas de los huecos deben situarse en fachadas opuestas, que a su vez sean transversales a la dirección del viento dominante³³¹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cálculo del porcentaje de viviendas que cumplen con los requisitos de ventilación cruzada y unilateral establecidos.

Los requisitos pueden justificarse de forma prestacional —mediante el empleo de algún programa de simulación de ventilación— o de forma prescriptiva, mediante el cumplimiento de las siguientes condiciones³³²:

- Superficie de huecos al exterior de, al menos, un 5% de la superficie útil de cada estancia.
- Recorrido de circulación de la corriente de aire:
 - Menor o igual de 5 veces la altura libre entre plantas, para aberturas en fachadas opuestas (ventilación cruzada).
 - Mayor o igual a 1.5 metros entre aberturas de entrada y salida del aire, para ventilación unilateral.
- Profundidad del espacio menor o igual a 2 veces la altura libre entre plantas, para ventilación unilateral.

Para la evaluación, se considera como práctica habitual que un 25% de las viviendas cumplan con las condiciones de ventilación natural, y como mejor

³³¹ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 217.

³³² *Ibíd.*, p. 218.

práctica que cumplan el 75% de las viviendas. Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 33. Valores de referencia del criterio D-11

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	25%
Mejor práctica	75%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio D-11.

Tabla 34. Impactos asociados al criterio D-11

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio D-12. Confort higrotérmico

El objetivo de este criterio es evaluar el confort higrotérmico del edificio, para garantizar el bienestar a los ocupantes.

Los criterios de confort exigidos por la normativa española, en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), especifican las condiciones de confort higrotérmico que debe contemplar el espacio interior de un edificio. Existen seis factores primarios que definen las condiciones de confort higrotérmico, que son:

- El factor metabólico de los ocupantes.
- El aislamiento de la vestimenta de los ocupantes.
- La temperatura del aire.
- La temperatura radiante.
- La velocidad del aire.
- La humedad.

El RITE aporta tablas y da indicaciones para calcular los rangos de temperatura y humedad relativa, en función de diferentes parámetros, y del PPD (porcentaje estimado de usuarios insatisfechos). En el informe CR 1752 se definen tres categorías (A, B y C) del ambiente térmico, en función de los índices PPD y PMV (sensación térmica)³³³.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se establece mediante la determinación del grado de confort conseguido por los sistemas de climatización, conforme al informe CR 1752. Para la evaluación, se considera como práctica habitual una categoría de confort inferior a la categoría B, y como mejor práctica la categoría B de confort³³⁴.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

³³³ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento*, V. 1.g, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 221 y 222.

³³⁴ *Ibidem*, p. 223.

Tabla 35. Valores de referencia del criterio D-12

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Inferior a la categoría B
Mejor práctica	Categoría B

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio D-12.

Tabla 36. Impactos asociados al criterio D-12

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de la iluminación natural en los espacios de ocupación primaria del edificio. La luz natural es una alternativa válida a la luz artificial, con innumerables ventajas como³³⁵:

³³⁵ *Ibíd.*, p. 225.

- Ahorro de energía y de consumo de recursos no renovables.
- Niveles de iluminación más elevados en horas diurnas.
- Mejor adaptación del ojo humano a la luz natural.

Por otro lado, los sistemas de redireccionado de la luz natural, y de protección frente al sol directo y el deslumbramiento, son muy variados y relativamente sencillos.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se puede realizar mediante la simulación con programas informáticos, o a través de métodos de cálculo manuales. Para la evaluación, se considera como práctica habitual que el 50% de las superficies de ocupación primaria alcancen el Factor de Luz Natural “Daylight Factor” (DF) establecido, y como mejor práctica que lo alcancen el 75% de las mismas³³⁶.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 37. Valores de referencia del criterio D-14

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	50%
Mejor práctica	75%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio D-14.

Tabla 38. Impactos asociados al criterio D-14

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático

³³⁶ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas*, V. 1.c, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 233.

2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.6. Calidad del servicio

Criterio E-01. Eficiencia de los espacios

El objetivo de este criterio es evaluar el aprovechamiento de la Superficie Útil Funcional (SUF) de la edificación, con respecto a la Superficie Construida Total Sobre Rasante (SCTSR), para rentabilizar de forma eficiente el espacio disponible, reduciendo la superficie empleada en elementos constructivos, estructurales o de distribución interior. No se considera SUF a las zonas comunes, cuartos técnicos u otros usos complementarios³³⁷.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza mediante el cálculo de la Ratio de Superficie Útil Funcional (RSUF)³³⁸:

$$RSUF = SCTSR / SUF$$

Los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 39. Valores de referencia del criterio E-01 en edificios residenciales
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	RSUF $\geq$ 1,40
Mejor práctica	RSUF $\leq$ 1,20

Tabla 40. Valores de referencia del criterio E-01 en edificios de oficinas
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	RSUF $\geq$ 1,25
Mejor práctica	RSUF $\leq$ 1,15

³³⁷ Ibídem, p. 261.

³³⁸ Ibídem, p. 262.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio E-01.

Tabla 41. Impactos asociados al criterio E-01
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC en áreas de ocupación no residencial

El objetivo de este criterio es evaluar la zonificación térmica del edificio, y la capacidad de los usuarios de ajustar con facilidad los sistemas HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) en los distintos espacios. Las demandas requeridas vendrán condicionadas por el soleamiento, la presión del viento, las cargas internas y otras múltiples variables ³³⁹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza analizando el porcentaje de áreas térmicas diferenciadas —ya sea por orientación, uso o diseño— que están provistas con sistemas de control del confort térmico. Para la evaluación, se

³³⁹ *Ibidem*, p. 269.

considera como práctica habitual la disposición de un sistema de control del confort térmico en un 25% de las áreas térmicas diferenciadas, y como mejor práctica la disposición de un sistema de control en un 75% de las mismas³⁴⁰.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 42. Valores de referencia del criterio E-06

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	25%*
Mejor práctica	75%*

* Práctica habitual 50% y mejor práctica 90% para Nueva Edificación y Rehabilitación, Equipamiento

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio E-06.

Tabla 43. Impactos asociados al criterio E-06

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

³⁴⁰ *Ibídem*, p. 270.

5.1.7. Aspectos sociales y económicos

Criterio F-02. Acceso universal

El objetivo de este criterio es evaluar el grado en el que el edificio permite, o mejora, la accesibilidad de personas con limitaciones de movilidad, comunicación o de otra índole, eliminando las posibles barreras arquitectónicas³⁴¹.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se realiza mediante la valoración de las medidas de accesibilidad incorporadas en el edificio. Cada una de las medidas descritas, a continuación, sumará un punto en la valoración³⁴²:

- Señalización para personas con discapacidad visual en los espacios comunes del edificio.
- Señalización en servicios o dispositivos concretos (por ejemplo: en los interfonos, para personas con discapacidad auditiva).
- Itinerarios practicables para personas con movilidad reducida, en todas las viviendas del edificio.
- Itinerarios practicables para personas con movilidad reducida, en todo el edificio, incluidos los cuartos de instalaciones.
- Alguna otra mejora sustancial en la accesibilidad, cuyo interés quede justificado.

Para la evaluación, se considera como práctica habitual el cumplimiento de la normativa vigente sobre accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas, y como mejor práctica el cumplimiento de las cinco medidas descritas anteriormente³⁴³.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

³⁴¹ *Ibídem*, pp. 279-280.

³⁴² *Ibídem*, p. 280.

³⁴³ *Ibídem*, p. 281.

Tabla 44. Valores de referencia del criterio F-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	0 puntos
Mejor práctica	5 puntos

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio F-02.

Tabla 45. Impactos asociados al criterio F-02

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio F-03. Derecho al sol

El objetivo de este criterio es evaluar la radiación solar directa, a través de los huecos de fachada de las estancias principales de la vivienda, durante las horas centrales del día. Es importante la radiación solar de los edificios, puesto que facilita el calentamiento de las estancias en invierno, potencia la iluminación natural, controla la aparición de

ácaros, y mejora el estado de ánimo de las personas, pudiendo ser fácilmente regulada, mediante la instalación de sencillos mecanismos de sombreadamiento³⁴⁴.

En España, ya existen algunos municipios que han regulado el “derecho al sol”, a través de sus ordenanzas, reconociéndolo como un importante factor de calidad de las viviendas³⁴⁵.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece calculando el porcentaje de viviendas cuyas estancias principales (salón y dormitorio principal) tienen el día 22 de diciembre un soleamiento mínimo de 120 minutos, entre las 11:00 y las 16:00 horas. Para la evaluación, se considera como práctica habitual que un 30% de las viviendas cumplen los requisitos descritos anteriormente, y como mejor práctica que los cumplen el 100% de las viviendas³⁴⁶.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 46. Valores de referencia del criterio F-03

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio F-03.

³⁴⁴ Ibídem, p. 283.

³⁴⁵ Ibídem, p. 283.

³⁴⁶ Ibídem, p. 284.

Tabla 47. Impactos asociados al criterio F-03

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados

El objetivo de este criterio es evaluar la existencia de espacios abiertos privados en los edificios, como terrazas, balcones o patios. Los espacios abiertos privados fomentan la relación de los usuarios con el ambiente exterior, la climatología y el entorno natural, mejorando las condiciones de habitabilidad del edificio³⁴⁷.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio se establece calculando el porcentaje de viviendas que disponen de acceso directo a espacios abiertos privados, con una dimensión mínima de 0,5 x 1 m. Para la evaluación, se considera como práctica habitual que un 25% de las viviendas cumplen los requisitos descritos anteriormente, y como mejor práctica que los cumplen el 100% de las viviendas³⁴⁸.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

³⁴⁷ Ibídem, p. 287.

³⁴⁸ Ibídem, p. 288.

Tabla 48. Valores de referencia del criterio F-04

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	25%
Mejor práctica	100%

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio F-04.

Tabla 49. Impactos asociados al criterio F-04

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

Criterio F-09. Coste de uso

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción en los costes de explotación del edificio, a partir de los gastos más fácilmente cuantificables, como los correspondientes al consumo de agua, gas o electricidad³⁴⁹.

³⁴⁹ *Ibidem*, p. 301.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

La evaluación de este criterio está basada en los datos obtenidos en la evaluación de los criterios:

- B 03 Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio.
Demanda y eficiencia de los sistemas.
- B 04 Demanda de energía eléctrica en la fase de uso.
- B 06 Producción de energías renovables en la parcela.
- C 01 Consumo de agua potable en aparatos sanitarios.
- C 02 Retención de aguas de lluvia para su reutilización.
- C 04 Recuperación y reutilización de aguas grises.

El coste de explotación, por m² de superficie construida, se corresponde con la estimación del coste de los consumos de agua, gas, electricidad y otros combustibles, en función de los valores de consumo de los criterios B 03, B 04, B 06, C 01, C 02 y C 04. Para la evaluación, se consideran como práctica habitual los consumos de los edificios de referencia, y como mejor práctica los consumos correspondientes a la mejor práctica en dichos criterios³⁵⁰.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 50. Valores de referencia del criterio F-09

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Coste de explotación de referencia
Mejor práctica	Coste de explotación de la mejor práctica

³⁵⁰ *Ibidem*, p. 302.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio F-09.

Tabla 51. Impactos asociados al criterio F-09

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2015)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.1.8. Calidad del diseño

Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de las buenas prácticas de diseño y construcción de edificios, como herramienta de concienciación social y educación en los valores de la sostenibilidad³⁵¹. La *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento*, afirma que:

“Con el claro objetivo de transformar el mercado de la edificación hacia unas prácticas más sostenibles, todo edificio diseñado y construido con parámetros de sostenibilidad, puede suponer un ejemplo a seguir para otros casos. Divulgar sus experiencias, resultados y proceso de diseño y construcción servirán como acicate para nuevos promotores, proyectistas y constructores extendiendo y normalizando una práctica eficiente y responsable con el entorno y los usuarios”³⁵².

1. Procedimiento de evaluación (Rehabilitación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se realiza mediante el cumplimiento de una serie de medidas, encaminadas a la difusión de unas prácticas más sostenibles en el diseño y construcción de edificios³⁵³:

1. Plan de comunicación a través de revistas especializadas, congresos y exposiciones.
2. Publicidad de los datos de consumo de agua y energía del edificio.
3. Información técnica a instituciones educativas públicas o privadas.
4. Difusión del conocimiento en general.

Para la evaluación, se considera como práctica habitual la no difusión de los valores de sostenibilidad del edificio, conforme a las medidas anteriormente

³⁵¹ Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (Diez, R., Huerta, D., Rivas, P.) 2014, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento*, V 1.0, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

³⁵² Ídem.

³⁵³ Ibídem, p. 287 y 288.

expresadas, y como mejor práctica el cumplimiento de alguna de dichas medidas³⁵⁴.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 52. Valores de referencia del criterio H-06

Fuente: adaptado a partir de Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (2014)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	Ninguna medida cumplida
Mejor práctica	Alguna medida cumplida*

* Para Nueva Edificación, Equipamiento, se evaluará como única medida, la realización de un curso específico de al menos 1 crédito ECTS (30 horas) de duración

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio H-06.

Tabla 53. Impactos asociados al criterio H-06

Fuente: adaptado a partir de Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (2014)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

³⁵⁴ *Ibíd*em, p. 287.

5.1.9. Innovación

Criterio I-01. Innovación en el diseño

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia innovadora del diseño, en aspectos no regulados en los criterios anteriores.

1. Procedimiento de evaluación (Rehabilitación, Equipamiento).

La evaluación de este criterio se establece mediante el cumplimiento de tres medidas³⁵⁵:

1. Las mejoras supondrán un beneficio medioambiental, social o económico, en comparación con las prácticas de diseño y construcción habituales.
2. El sistema será aplicable a todo el proyecto, y no solo a una parte del mismo.
3. Las propuestas de innovación podrán ser aplicadas a otros proyectos, obteniendo mejoras sustanciales.

Para la evaluación, se considera como práctica habitual el no cumplimiento de ninguna de estas medidas, y como mejor práctica el cumplimiento de las tres³⁵⁶.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación (benchmarking) son los siguientes:

Tabla 54. Valores de referencia del criterio I-01
Fuente: adaptado a partir de Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (2014)

BENCHMARKING	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	60% (20% cada medida cumplida)

³⁵⁵ *Ibidem*, p. 291.

³⁵⁶ *Ídem*.

2. Impactos asociados.

En la siguiente tabla aparecen sombreados los impactos que se consideran asociados al criterio I-01.

Tabla 55. Impactos asociados al criterio I-01
Fuente: adaptado a partir de Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (2014)

Nº	IMPACTO
1	Cambio climático
2	Aumento de radiaciones UV a nivel del suelo
3	Pérdida de fertilidad
4	Pérdida de vida acuática
5	Emisión de compuestos foto-oxidantes
6	Cambios en la biodiversidad
7	Agotamiento de energía no renovable
8	Agotamiento de recursos no renovables
9	Agotamiento de agua potable
11	Generación de residuos “no peligrosos”
16	Pérdida de salud y confort para los usuarios
19	Riesgo para los inversores

5.2. Metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos (1900-1915)

Con el objeto de evaluar la sostenibilidad en la arquitectura de Gaudí —de forma objetiva y dentro del contexto histórico en que se desarrolla— va a utilizarse el método VERDE, como modelo para el desarrollo de una metodología de análisis, con la cual poder estudiar algunas de las obras más significativas de Gaudí.

El contexto histórico al que va a ceñirse esta metodología está comprendido entre los años 1900 a 1915, puesto que los edificios que van a estudiarse están construidos en dicho periodo:

-Casa Batlló: 1904 a 1906.

-Casa Milá: 1906 a 1910.

De la totalidad de criterios del método VERDE, se han seleccionado aquellos que pueden ser trasladados —de forma coherente— a la arquitectura del periodo histórico señalado, y a las obras de los arquitectos más significativos —contemporáneos de Gaudí— que protagonizaron dicho periodo, como por ejemplo:

-José Vilaseca Casanovas (1848-1910)³⁵⁷.

-Luis Doménech Montaner (1850-1923).

-Louis Henry Sullivan (1856-1924)³⁵⁸.

-Hendrik Petrus Berlage (1856-1934)³⁵⁹.

-Víctor Horta (1861-1947)³⁶⁰.

-Henry Van de Velde (1863-1957)³⁶¹.

Los procedimientos de evaluación y los valores de referencia de cada criterio están adaptados a los sistemas constructivos y tipologías edificatorias de la época, para poder

³⁵⁷ Ver el glosario onomástico.

³⁵⁸ Ver el glosario onomástico.

³⁵⁹ Ver el glosario onomástico.

³⁶⁰ Ver el glosario onomástico.

³⁶¹ Ver el glosario onomástico.

establecer la comparación entre la arquitectura de Gaudí y la arquitectura de dicha época. A continuación, se desarrolla dicho proceso de adaptación

5.2.1. Criterio I-0. Optimización de la vida útil de la estructura

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, se entiende por vida útil de una estructura al periodo de tiempo, tras la finalización de la obra, durante el cual la estructura debe mantener las condiciones de seguridad, funcionalidad y estética, de acuerdo con el plan de conservación y mantenimiento establecido³⁶².

Según la tabla de la *Guía para los Evaluadores Acreditados GEA VERDE NE, Residencial y Oficinas*, que se adjuntaba en el desarrollo de este criterio, la vida útil mínima de la estructura de los edificios, debe estar comprendida entre 50 y 100 años, según la envergadura y las características de los mismos.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera que la vida útil de la estructura de un edificio será igual o superior a la vida útil reglamentaria, y que estará adecuadamente documentado en proyecto.

Puesto que en la época de Gaudí, no existía ninguna normativa respecto a la vida útil de la estructura de los edificios, y la práctica habitual era la utilización de muros de carga de piedra o ladrillo, cuya vida útil es bastante limitada —puesto que la frecuente aparición de grietas o desviaciones del eje puede considerarse como disminución grave de las condiciones de seguridad y funcionalidad— en la metodología para la evaluación de edificios históricos se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura de acero u hormigón armado.

-Estructura de otros materiales (madera, piedra o ladrillo) combinados con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

³⁶² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas*, V. 1.c, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 73.

Tabla 56. Valores de referencia del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

5.2.2. Criterio A-11. Sistema de gestión de escorrentías

Este criterio se refiere a la gestión de escorrentías de agua en las zonas ajardinadas exteriores de la parcela a la que pertenece el inmueble; por tanto, forma parte de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, pero no es de aplicación en la evaluación de la sostenibilidad en la Casa Milá y la Casa Batlló, por ser inmuebles sin zonas ajardinadas exteriores en la propia parcela.

5.2.3. Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, se trata de evaluar la aplicación de medidas que consigan el reciclaje de los residuos del edificio, como por ejemplo, la existencia de locales destinados a la separación y almacenamiento temporal de residuos no peligrosos, como plásticos, cartones, papeles, vidrios, pilas e incluso muebles o enseres³⁶³.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE distingue varias medidas para la separación y reciclaje de los residuos sólidos urbanos, en función de los sistemas de recogida, transporte y gestión de los mismos³⁶⁴.

Puesto que en la época de Gaudí, no existía ninguna normativa para la clasificación y reciclaje de residuos sólidos urbanos, tan solo podía ser viable la aplicación de la medida A14.0.2:

-La existencia de un espacio independiente donde poder almacenar temporalmente, muebles o enseres.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 57. Valores de referencia del criterio A-14
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de la medida A14.0.2
Mejor práctica	Cumplimiento de la medida A14.0.2

5.2.4. Criterio A-23. Uso de plantas autóctonas

Este criterio se refiere al uso de plantas autóctonas en las zonas ajardinadas exteriores de la parcela a la que pertenece el inmueble; por tanto, al igual que el Criterio A-11, forma parte de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios

³⁶³ *Ibídem*, pp. 79 y 82.

³⁶⁴ *Ibídem*, pp. 82 y 83.

históricos, pero no es de aplicación en la evaluación de la sostenibilidad en la Casa Milá y la Casa Batlló, por ser inmuebles sin zonas ajardinadas exteriores en la propia parcela.

5.2.5. Criterio A-23.2 Consumo de agua para riego de jardines

Este criterio se refiere al consumo de agua para riego en las zonas ajardinadas exteriores de la parcela a la que pertenece el inmueble; por tanto, al igual que los Criterios A-11 y A-23, forma parte de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, pero no es de aplicación en la evaluación de la sostenibilidad en la Casa Milá y la Casa Batlló, por ser inmuebles sin zonas ajardinadas exteriores en la propia parcela.

5.2.6. Criterio A-31. Efecto isla de calor a nivel del suelo

Este criterio se refiere al efecto isla de calor en las zonas ajardinadas exteriores de la parcela a la que pertenece el inmueble; por tanto, al igual que los Criterios A-11, A-23 y A-23.2, forma parte de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, pero no es de aplicación en la evaluación de la sostenibilidad en la Casa Milá y la Casa Batlló, por ser inmuebles sin zonas ajardinadas exteriores en la propia parcela.

5.2.7. Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción (energía embebida)

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar el consumo de energía no renovable, asociado al proceso de extracción y transformación de los materiales de construcción de un edificio³⁶⁵.

La minimización del consumo de energía no renovable, asociado a la fabricación de los materiales de construcción, incluye también la reutilización y reciclaje de materiales de construcción.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE realiza la comparación de la energía consumida por el edificio a analizar (en MJ), con respecto a la consumida por el edificio de referencia, mediante el empleo del programa de simulación energética CALENER³⁶⁶.

Puesto que el proceso de extracción y transformación de los materiales de construcción de la época de Gaudí no es comparable al de hoy en día —y la reutilización o reciclaje de los mismos es el método más sostenible para el ahorro de energía— en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el empleo de materiales reutilizados o reciclados en alguna unidad de obra completa (al igual que en los criterios C-08 y C-10).

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 58. Valores de referencia del criterio B-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

³⁶⁵ *Ibídem*, p. 123.

³⁶⁶ *Ibídem*, p. 125.

5.2.8. Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el uso de materiales locales es la principal medida para reducir el consumo de energía no renovable en el transporte³⁶⁷.

En la época de Gaudí, el transporte terrestre de materiales de construcción a grandes distancias requería el empleo del ferrocarril, lo que aumentaba notablemente el tiempo y los costes. Los recorridos cortos, por el contrario, podían realizarse con carretas de bueyes y, habitualmente, eran trayectos inferiores a 30 km, que era la distancia que podía recorrerse en una jornada y sin pernocta.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio el método VERDE establece que el porcentaje (en peso) de los materiales de producción local es, habitualmente, el 30% del total de materiales del edificio, y que la mejor práctica sería la utilización de un 100% de materiales de producción local. Considerando producción local a aquella que está situada a menos de 200 km.

Para la época de Gaudí, se considerará producción local la situada a una distancia menor o igual a 30 km (una jornada con carretas de bueyes, sin pernocta). En la metodología para la evaluación de edificios históricos —teniendo en cuenta las dificultades del transporte de materiales de la época— se considerará como práctica habitual la utilización de un 50% de materiales de producción local —a una distancia menor o igual a 30 km— y como mejor práctica la utilización de un 100% de materiales de producción local.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 59. Valores de referencia del criterio B-02
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	50%
Mejor práctica	100%

³⁶⁷ *Ibidem*, p. 127.

5.2.9. Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio.

Demanda y eficiencia de los sistemas

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la reducción del consumo de energía no renovable empleada en la climatización, iluminación y ACS del edificio, aplicando medidas pasivas de diseño y aumentando la eficiencia de los diferentes sistemas³⁶⁸.

1. Procedimiento de evaluación.

En el método VERDE, la evaluación de este criterio se realiza mediante el empleo de programas informáticos de simulación energética, pudiendo compararse el consumo de energía del edificio a evaluar con el de un edificio de referencia que cumpla los requisitos del CTE, considerando como práctica habitual el consumo de energía del edificio de referencia, y como mejor práctica la reducción en un 50% de dicho consumo³⁶⁹.

En la época de Gaudí, no existía ninguna normativa para la evaluación de la eficiencia energética, pero si era habitual —como en épocas anteriores— la utilización de medidas pasivas de diseño para la mejora de la climatización, ventilación e iluminación de los edificios. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se valorará la utilización de las medidas pasivas de diseño que cumplan las siguientes condiciones:

- Ser una innovación, con respecto a las medidas pasivas de diseño habituales de la época.
- Afectar, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Se considerará como mejor práctica la utilización de los siguientes tipos de medidas:

- Medidas pasivas para la mejora de la iluminación natural.
- Medidas pasivas para la mejora de la ventilación natural.
- Medidas pasivas para la mejora del acondicionamiento climático, por calentamiento y enfriamiento.

³⁶⁸ *Ibídem*, p. 131.

³⁶⁹ *Ibídem*, p. 145.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 60. Valores de referencia del criterio B-03
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño

5.2.10. Criterio C-02. Retención de aguas de lluvia para su reutilización

Este criterio se refiere a la retención de aguas de lluvia en las zonas ajardinadas exteriores de la parcela a la que pertenece el inmueble; por tanto, al igual que los Criterios A-11, A-23, A-23.2 y A-31, forma parte de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, pero no es de aplicación en la evaluación de la sostenibilidad en la Casa Milá y la Casa Batlló, por ser inmuebles sin zonas ajardinadas exteriores en la propia parcela.

5.2.11. Criterio C-08. Reutilización de materiales

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la reutilización de materiales de construcción, para reducir el consumo de materias primas y energía, durante el proceso de fabricación o reciclado de dichos materiales³⁷⁰.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual el empleo de un 5% del coste de la obra, en materiales reutilizados, y como mejor práctica el empleo de un 10% de dicho coste.

Puesto que en la época de Gaudí, no era frecuente la reutilización de materiales de construcción en edificios de importancia —aunque pudiera darse en las construcciones populares—, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como práctica habitual la no reutilización de materiales, y como mejor práctica el empleo de materiales reutilizados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 61. Valores de referencia del criterio C-08
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

³⁷⁰ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 177.

5.2.12. Criterio C-10. Uso de materiales reciclados

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la utilización de materiales reciclados, para reducir el consumo de materias primas³⁷¹.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual el empleo de un 10% del coste de la obra en materiales reciclados, y como mejor práctica el empleo de un 20% de dicho coste.

Puesto que en la época de Gaudí, no era frecuente la utilización de materiales reciclados, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como práctica habitual la no utilización de materiales reciclados, y como mejor práctica el empleo de materiales reciclados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 62. Valores de referencia del criterio C-10
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

³⁷¹ *Ibíd*em, p. 179.

5.2.13. Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la reducción de los impactos asociados a la producción de los materiales de construcción —distintos al consumo de materias primas y energía—, durante su proceso de extracción y transformación. Para ello, el ciclo de vida de los materiales será lo más largo posible, pudiendo ser aprovechados para su reutilización o reciclaje, una vez finalizado el ciclo de vida del edificio³⁷².

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE establece la comparación del edificio evaluado con un edificio de referencia, considerándose como mejor práctica la reducción de impactos en un 20%³⁷³.

En la época de Gaudí, no existía ningún procedimiento para la evaluación de los impactos asociados a la producción de los materiales, pero sí podía minimizarse dicho impacto empleando materiales reutilizados o reciclados. Esto era algo poco habitual en edificios de importancia —aunque pudiera darse en las construcciones populares— por lo que en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como práctica habitual el no empleo de materiales reutilizados o reciclados, y como mejor práctica el empleo de los mismos en dos unidades de obra completas, una con materiales reutilizados y otra con materiales reciclados.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 63. Valores de referencia del criterio C-20
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra (material reutilizado) 1 Ud. obra (material reciclado)

³⁷² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 191.

³⁷³ *Ibidem*, p. 193.

5.2.14. Criterio C-21. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES)

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la incorporación de medidas de sostenibilidad a la estructura del edificio, de acuerdo con el Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad (ICES), de las Instrucciones de Hormigón y Acero Estructural.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual la obtención de un ICES menor de 0.20, y como mejor práctica la obtención de un ICES de entre 0.80 y 1.00³⁷⁴.

En la época de Gaudí, la práctica habitual era la utilización de muros de carga de gran espesor, y no existía ninguna normativa para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios, pero podía darse una contribución de la estructura a la sostenibilidad, en función de la eficiencia estructural de los elementos resistentes, es decir, en función del ahorro efectivo en los kg o m³ de material empleado. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas de ahorro efectivo en los kg o m³ de material empleado:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

-Estructura de muros de carga, combinada con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

³⁷⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 196.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 64. Valores de referencia del criterio C-21

Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

5.2.15. Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la eficiencia de la ventilación natural en los edificios, y la capacidad de regulación por parte de los usuarios³⁷⁵.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE establece que los requisitos a cumplir pueden justificarse de forma prestacional (con programas de simulación), o de forma prescriptiva, mediante el cumplimiento de una serie de condiciones de superficie de huecos al exterior, y recorridos de circulación de la corriente de aire, para ventilación cruzada y unilateral³⁷⁶. Se considera que, habitualmente, el 25% de las viviendas cumplen estos requisitos de ventilación, y que la mejor práctica sería que los cumplieran el 75% de las mismas.

Puesto que en la época de Gaudí, las condiciones de ventilación de los edificios eran muy distintas a las condiciones de ventilación de los edificios de hoy en día, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema específico de mejora de la ventilación, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 75% de las viviendas.
2. Existencia de ventilación cruzada en, al menos, el 75% de las viviendas.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 65. Valores de referencia del criterio D-11
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

³⁷⁵ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 217.

³⁷⁶ *Ibidem*, p. 218.

5.2.16. Criterio D-12. Confort higrotérmico

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar el confort higrotérmico del edificio, para garantizar el bienestar de los ocupantes.

Las condiciones de confort higrotérmico del espacio interior de un edificio exigidas por la normativa española —en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)— incluyen parámetros como el PPD (porcentaje estimado de usuarios insatisfechos), el PMV (sensación térmica) y tres categorías de confort: A, B y C³⁷⁷.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual la obtención de una categoría de confort inferior a la categoría B, y como mejor práctica la obtención de la categoría B de confort³⁷⁸.

Puesto que en la época de Gaudí, no existía normativa respecto a las condiciones de confort higrotérmico del espacio interior de los edificios, y estas condiciones eran muy inferiores a las de los edificios de hoy en día, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema de calentamiento, por captación de energía solar, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
3. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

³⁷⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 221 y 222.

³⁷⁸ *Ibidem*, p. 223.

4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 66. Valores de referencia del criterio D-12
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

5.2.17. Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar el empleo de la iluminación natural en los espacios de ocupación primaria del edificio.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

Para evaluar este criterio, el método VERDE establece que los requisitos a cumplir pueden justificarse mediante la simulación con programas informáticos, o a través de métodos de cálculo manuales. Se considera que, habitualmente, el 50% de las superficies de ocupación primaria alcanzan el Factor de Luz Natural “Daylight Factor” (DF) establecido, y que la mejor práctica sería que lo alcanzaran el 75% de las mismas³⁷⁹.

Puesto que en la época de Gaudí, no se habían desarrollado metodologías de estudio de la iluminación natural en el interior de los edificios, con respecto a la iluminación artificial, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica la existencia de algún sistema específico de mejora de la iluminación natural, siempre y cuando suponga una innovación respecto a los sistemas habituales de la época y afecte, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 67. Valores de referencia del criterio D-14
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ningún sistema innovador
Mejor práctica	Algún sistema innovador

³⁷⁹ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 233.

5.2.18. Criterio E-01. Eficiencia de los espacios

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar el aprovechamiento de la Superficie Útil Funcional (SUF) de la edificación, con respecto a la Superficie Construida Total Sobre Rasante (SCTSR), para rentabilizar de forma eficiente el espacio disponible, reduciendo la superficie empleada en elementos constructivos, estructurales o de distribución interior³⁸⁰.

1. Procedimiento de evaluación (Nueva Edificación, Residencial y Oficinas).

Para evaluar este criterio, el método VERDE utiliza el cálculo de la Ratio de Superficie Útil Funcional (RSUF), considerando como práctica habitual que el valor RSUF sea mayor o igual a 1,40 y como mejor práctica que el valor RSUF sea menor o igual a 1,20³⁸¹:

$$RSUF = \frac{SCTSR}{SUF}$$

Estos valores de RSUF no son aplicables a los edificios de la época de Gaudí, puesto que entonces era habitual el empleo de grandes muros de carga, tanto en la fachada, como en la distribución interior, disminuyendo notablemente el valor SUF de los edificios. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará el aumento del valor SUF con respecto al valor SCTSR, en función del porcentaje de disminución de la Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio (SECE).

$$SECE = SCTSR - SUF$$

Se considerará como práctica habitual el valor SECE del edificio con muros de carga, y como mejor práctica la disminución de ese valor en un 20%.

Los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

³⁸⁰ *Ibídem*, p. 261.

³⁸¹ *Ibídem*, p. 262.

Tabla 68. Valores de referencia del criterio E-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	SECE del edificio con muros de carga
Mejor práctica	Disminución SECE $\geq 20\%$

5.2.19. Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la zonificación térmica del edificio, y la capacidad de los usuarios de ajustar con facilidad los sistemas HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) en los distintos espacios³⁸².

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE analiza el porcentaje de áreas térmicas diferenciadas —por orientación, uso o diseño— que están provistas con sistemas de control del confort térmico. Para la evaluación, se considera como práctica habitual la disposición de un sistema de control del confort térmico, en un 25% de las áreas térmicas diferenciadas, y como mejor práctica la disposición de un sistema de control en un 75% de las mismas³⁸³.

Puesto que en la época de Gaudí, los sistemas para calentar, enfriar o ventilar los edificios, eran sistemas tradicionales básicos y, por lo tanto, la capacidad de control del confort térmico muy limitada, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema de calentamiento por captación de energía solar, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
3. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

³⁸² *Ibídem*, p. 269.

³⁸³ *Ibídem*, p. 270.

4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 69. Valores de referencia del criterio E-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

5.2.20. Criterio F-02. Acceso universal

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la accesibilidad del edificio a personas con limitaciones de movilidad, comunicación o de otra índole, eliminando las posibles barreras arquitectónicas³⁸⁴.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE valora cinco medidas de accesibilidad que incluyen distintos tipos de señalización, itinerarios practicables, u otras mejoras, considerando como mejor práctica el cumplimiento de las cinco medidas³⁸⁵.

Ninguna de estas medidas es trasladable a la época de Gaudí. En aquel momento, ni tan siquiera era habitual la instalación de ascensores, tan solo los edificios más nuevos y lujosos de los ensanches urbanos de las grandes capitales empezaban, poco a poco, a incorporar estos aparatos. Además, era habitual la disposición de gran número de escalones en los accesos o portales de entrada. Por lo tanto, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considerará como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. La existencia de ascensor con acceso a todas las viviendas del edificio.
2. La no existencia de escalones en accesos o portales de entrada.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 70. Valores de referencia del criterio F-02
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

³⁸⁴ *Ibídem*, pp. 279-280.

³⁸⁵ *Ibídem*, p. 281.

5.2.21. Criterio F-03. Derecho al sol

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la radiación solar directa, a través de los huecos de fachada de las estancias principales de la vivienda durante las horas centrales del día, para facilitar el calentamiento de las estancias en invierno y potenciar la iluminación natural, pudiendo fácilmente regular la intensidad de la radiación mediante sencillos mecanismos de sombreadamiento³⁸⁶.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE calcula el porcentaje de viviendas cuyas estancias principales (salón y dormitorio principal) tienen el 22 de diciembre, un soleamiento mínimo de 120 minutos, entre las 11:00 y las 16:00 horas. Considerando como práctica habitual que el 30% de las viviendas cumplen estos requisitos, y como mejor práctica que los cumplan el 100% de las mismas³⁸⁷.

Puesto que en la época de Gaudí, se podía tener en cuenta la orientación del edificio, de la misma forma que hoy en día, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se utilizarán los mismos valores de cálculo que el método VERDE, de forma que, al menos, un salón y un dormitorio cumplan dichas condiciones.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 71. Valores de referencia del criterio F-03
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%

³⁸⁶ *Ibídem*, p. 283.

³⁸⁷ *Ibídem*, p. 284.

5.2.22. Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la existencia de espacios abiertos privados —terrazas, balcones o patios— como mejora de las condiciones de habitabilidad del edificio³⁸⁸.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual que el 25% de las viviendas disponen de espacios abiertos privados, de al menos 0,5 x 1 m, y como mejor práctica que disponen de ellos el 100% de las viviendas³⁸⁹.

Puesto que la posibilidad de incorporar pequeños balcones en los edificios, es igual ahora que en la época de Gaudí, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, se utilizarán los mismos valores de cálculo que el método VERDE.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 72. Valores de referencia del criterio F-04
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	25%
Mejor práctica	100%

³⁸⁸ *Ibídem*, p. 287.

³⁸⁹ *Ibídem*, p. 288.

5.2.23. Criterio F-09. Coste de uso

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la reducción en los costes de explotación del edificio, a partir de los gastos más fácilmente cuantificables, como los correspondientes al consumo de agua, gas o electricidad³⁹⁰.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE hace una estimación del coste de los consumos de agua, gas, electricidad y otros combustibles, en función de los valores analizados en los criterios B-03, B-04, B-06, C-01, C-02 y C-04³⁹¹.

Respecto a estos criterios, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

-Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas.

Se evaluará la reducción del consumo de energía no renovable empleada en la climatización, iluminación y ACS del edificio, conforme a la metodología para la evaluación de edificios históricos.

-Criterio B-04. Demanda de energía eléctrica en la fase de uso.

Para edificios históricos, la evaluación de este criterio se puede considerar incluida en la evaluación del criterio B-03.

-Criterio B-06. Producción de energías renovables en la parcela.

Para edificios históricos, se prescindirá de la evaluación de este criterio, puesto que en aquella época aún no se había desarrollado la tecnología necesaria para la incorporación en los edificios de sistemas de producción de energía solar, fotovoltaica, eólica, geotérmica, etc.

-Criterios B-01 y C-04. Consumo de agua potable en aparatos sanitarios y reutilización de aguas grises.

³⁹⁰ *Ibídem*, p. 301.

³⁹¹ *Ibídem*, p. 302.

Para edificios históricos, se prescindirá de la evaluación de estos criterios, puesto que en aquella época, no existían en el mercado dispositivos eficaces para el ahorro en el consumo de agua potable de los aparatos sanitarios, ni sistemas de reutilización de aguas grises para el lavabo, la bañera o el fregadero.

Por lo tanto, para edificios históricos, la reducción del coste de explotación se cuantificará a partir de la reducción del consumo de energía no renovable para la climatización, iluminación y ACS del edificio, conforme al criterio B-03.

Se considerará como práctica habitual la no utilización de ninguna medida pasiva de diseño para la reducción del consumo de energía no renovable, conforme a las condiciones del criterio B-03, y como mejor práctica la utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 73. Valores de referencia del criterio F-09
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño conforme al criterio B-03
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03

5.2.24. Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar el empleo de las buenas prácticas de diseño y construcción de edificios, como herramienta de concienciación social y educación en los valores de la sostenibilidad³⁹².

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE valora la difusión de las prácticas de diseño y construcción sostenibles, a través de revistas especializadas, instituciones, congresos, exposiciones o cualquier otro medio de difusión del conocimiento³⁹³, considerando como práctica habitual la no difusión de los valores de sostenibilidad del edificio, y como mejor práctica el empleo de algún medio de difusión³⁹⁴.

Si la difusión de los valores de sostenibilidad de los edificios de hoy en día es escasa, mucho más lo es, en el caso de los edificios históricos. Por lo tanto, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, al igual que en el método VERDE, se considerará como práctica habitual la no difusión de los valores de sostenibilidad del edificio, y como mejor práctica el empleo de alguna medida de difusión.

Tabla 74. Valores de referencia del criterio H-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ninguna medida de difusión
Mejor práctica	Alguna medida de difusión

³⁹² Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (Diez, R., Huerta, D., Rivas, P.) 2014, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento, V 1.0*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

³⁹³ *Ibídem*, p. 287 y 288.

³⁹⁴ *Ibídem*, p. 287.

5.2.25. Criterio I-01. Innovación en el diseño

Tal y como se explicaba al desarrollar el contenido de este criterio, el objetivo es evaluar la eficiencia innovadora del diseño, en aspectos no regulados específicamente en los criterios anteriores.

1. Procedimiento de evaluación.

Para evaluar este criterio, el método VERDE establece que las innovaciones supongan un beneficio medioambiental, social o económico, con respecto a las prácticas de diseño y construcción habituales, que sean aplicables a todo el edificio, y que puedan ser aplicables a otros proyectos³⁹⁵, considerando como práctica habitual el no cumplimiento de ninguna de estas medidas, y como mejor práctica el cumplimiento de las tres³⁹⁶.

Puesto que en la época de Gaudí, no era habitual la investigación de los valores medioambientales, bioclimáticos o económicos de los edificios, en la metodología para la evaluación de edificios históricos, al igual que en el método VERDE, se considerará como práctica habitual el no cumplimiento de ninguna de las tres medidas enunciadas, y como mejor práctica el cumplimiento de las tres.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 75. Valores de referencia del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	60% (20% cada medida cumplida)

³⁹⁵ *Ibídem*, p. 291.

³⁹⁶ *Ídem*.

5.3. Evaluación de la sostenibilidad en la Casa Batlló y la Casa Milá

Los edificios de Gaudí que van a analizarse con la metodología para la evaluación de la sostenibilidad de edificios históricos, desarrollada a partir del método VERDE, son los siguientes:

-La Casa Batlló.

-La Casa Milá.

Para la evaluación de la sostenibilidad en la arquitectura de Gaudí, se requiere la evaluación de algunos de sus edificios más significativos; pero además, los edificios deben ser representativos de la evolución de su arquitectura, y deben recoger los logros más señalados de las investigaciones que llevó a cabo durante su dilatada carrera profesional; por ello, deben ser obras realizadas en su periodo de madurez.

Además, los edificios destinados a vivienda son un exponente evidente de los sistemas y técnicas constructivos habitualmente empleados en cada época; por ello, son de gran utilidad para el estudio de la sostenibilidad en edificios históricos.

Por todo ello, se han elegido estas dos obras: la Casa Batlló como representativa de una gran obra de reforma de un edificio, y la Casa Milá como representativa de un gran edificio de nueva planta.

Para la evaluación de estos edificios, se llevará a cabo un análisis pormenorizado de cada criterio de la metodología en el edificio a evaluar, obteniendo la valoración correspondiente a cada criterio, y posteriormente la valoración final del edificio.

5.3.1. La Casa Batlló

En 1903, el industrial y empresario José Batlló Casanovas adquirió el edificio existente en el Paseo de Gracia nº 43 de Barcelona —construido en 1875 por el arquitecto Emilio Sala Cortés— con la intención de derribarlo y construir uno nuevo, pero Gaudí le convenció para que se hiciera una obra de reforma, que se llevó a cabo entre 1904 y 1906. Casualmente, Gaudí había sido alumno de Emilio Sala —en la Escuela de Arquitectura de Barcelona— y había colaborado ocasionalmente con él, como delineante.

Figura 59. Casa Batlló

Fuente: <https://www.google.es/search?q=casa+batll%C3%B3&biw=1229&bih=598&source=lnms&tbn>

Gaudí realiza una reforma integral, en la que mantiene la mayor parte de la estructura del edificio existente:

- Añade dos niveles de altura —uno de ellos destinado a desván— con trasteros y servicios comunitarios.
- Rehace totalmente la fachada principal y la fachada posterior, incorporando una magnífica estructura de piedra de tres alturas y enormes ventanales, en la parte baja de la fachada principal, a modo de tribuna.
- Amplía el patio interior y el sótano, e instala un ascensor para la comunicación de todas las plantas.

-Remodela completamente la planta baja y el piso principal, que es el destinado a vivienda de la familia Batlló.

El análisis de los criterios desarrollados en la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos (1900-1915), aplicado a la Casa Batlló es el siguiente:

Criterio I 0. Optimización de la vida útil de la estructura

Se entiende por vida útil de una estructura al periodo de tiempo, tras la finalización de la obra, durante el cual la estructura debe mantener las condiciones de seguridad, funcionalidad y estética, de acuerdo con el plan de conservación y mantenimiento establecido³⁹⁷.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera que:

-La práctica habitual era la utilización de muros de carga de piedra o ladrillo, cuya vida útil es bastante limitada, puesto que la frecuente aparición de grietas o desviaciones del eje puede considerarse como una disminución grave de las condiciones de seguridad y funcionalidad del edificio.

-La mejor práctica era el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura de acero u hormigón armado.

-Estructura de otros materiales (madera, piedra o ladrillo) combinados con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

Tabla 76. Valores de referencia del criterio I-0
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida

³⁹⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 73.

Mejor prácticaCumplimiento de las dos
medidas

En la Casa Batlló, la estructura del edificio original era a base de grandes muros de carga —como era habitual en la época— pero Gaudí, en la reforma del edificio, introduce gran cantidad de elementos de acero, como brochales, jácenos o zancas; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medida 2.

Tabla 77. Valoración del criterio I-0

Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	Cumplimiento de la medida 2 = 2,50

Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos

En este criterio se evalúa la aplicación de medidas que consigan el reciclaje de los residuos sólidos del edificio³⁹⁸.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera únicamente la medida A14.0.2 del método VERDE:

-Existencia de un espacio independiente donde poder almacenar temporalmente, muebles o enseres.

Tabla 78. Valores de referencia del criterio A-14

Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de la medida A14.0.2
Mejor práctica	Cumplimiento de la medida A14.0.2

³⁹⁸ *Ibidem*, pp. 79 y 82.

En la Casa Batlló, Gaudí “destinó el sótano a las carboneras y a los trasteros del piso principal”³⁹⁹. Por otro lado, en el desván de la última planta “cada una de las viviendas disponía de un trastero propio identificado con la misma letra que la vivienda”⁴⁰⁰; por tanto, el edificio disponía de cuartos trasteros donde almacenar temporalmente muebles o enseres. La valoración de este criterio es:

-Cumplimiento: medida A14.0.2.

Tabla 79. Valoración del criterio A-14
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de la medida A14.0.2 = 0
Valor máximo	Cumplimiento de la medida A14.0.2 = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción (energía embebida)

El objetivo de este criterio es evaluar el consumo de energía no renovable, asociado al proceso de extracción y transformación de los materiales de construcción, y la reutilización y reciclaje de los mismos⁴⁰¹.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reutilizados o reciclados, y como mejor práctica el empleo de materiales reutilizados o reciclados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

³⁹⁹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 23.

⁴⁰⁰ Ibídem, p. 99.

⁴⁰¹ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 123.

Tabla 80. Valores de referencia del criterio B-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

En la Casa Batlló, Gaudí utilizó en el revestimiento decorativo de la fachada —de aproximadamente 180 m²— fragmentos de cerámica y “*vidrios de colores, cedidos gratuitamente por los Talleres Pelegrí*”⁴⁰²; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales reciclados: revestimiento de fachada (1 Ud. de obra completa).

Tabla 81. Valoración del criterio B-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción

El uso de materiales locales es la principal medida para reducir el consumo de energía no renovable en el transporte⁴⁰³.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la utilización de un 50% (en peso) de materiales de producción local —a una distancia menor o igual a 30 km—, y como mejor práctica la utilización de un 100% de materiales de producción local.

⁴⁰² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 36.

⁴⁰³ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 127.

Tabla 82. Valores de referencia del criterio B-02
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	50%
Mejor práctica	100%

Los materiales de producción local empleados por Gaudí en la Casa Batlló son:

1. Piedra de Montjuïc, cuyas canteras están situadas en las afueras de Barcelona, a unos 3 km de distancia del centro de la ciudad.
2. Materiales cerámicos, como el ladrillo, que por su gran tradición en Cataluña eran, habitualmente, de producción local.

El resto de materiales —el acero, el cemento, el yeso, la cal, las pinturas, los barnices, los vidrios y las maderas— podrían haber sido de producción local, pero al no haber constancia de ello no se van a tener en cuenta.

La estructura aporticada de piedra de la fachada, los muros de carga de ladrillo, la tabiquería y el resto de elementos —estructurales y no estructurales— suman aproximadamente el 80% (en peso) del total de los materiales de construcción empleados por Gaudí en las obras de reforma del edificio; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales de producción local = 80%

1. Incremento del valor máximo respecto al valor de referencia:

$$100\% - 50\% = 50\%$$

2. Incremento del valor obtenido respecto al valor de referencia:

$$80\% - 50\% = 30\%$$

3. Interpolación de la valoración:

$$\frac{30\% * \text{Valoración máxima}}{50\%} = 3$$

Tabla 83. Valoración del criterio B-02*Fuente: elaboración propia*

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	50% = 0
Valor máximo	100% = 5
VALORACIÓN	80% = 3,00

Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. Demanda y eficiencia de los sistemas

El objetivo de este criterio, es evaluar la reducción del consumo de energía no renovable empleada en la climatización e iluminación del edificio, aplicando medidas pasivas de diseño⁴⁰⁴.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se valora la utilización de las medidas pasivas de diseño, que cumplen las siguientes condiciones:

-Ser una innovación, con respecto a las medidas pasivas de diseño habituales de la época.

-Afectar, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Se considera como mejor práctica la utilización de los siguientes tipos de medidas:

-Medidas pasivas para la mejora de la iluminación natural.

-Medidas pasivas para la mejora de la ventilación natural.

-Medidas pasivas para la mejora del acondicionamiento climático, por calentamiento y enfriamiento.

Tabla 84. Valores de referencia del criterio B-03*Fuente: elaboración propia*

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño

⁴⁰⁴ *Ibídem*, p. 131.

Las medidas pasivas para el ahorro de energía, que vamos a considerar en la Casa Batlló, son las siguientes:

1. Medidas para la mejora de la iluminación natural:

Gaudí aumenta considerablemente los huecos de fachada y amplía el patio central, con el objeto de mejorar la iluminación natural del edificio. Esta actuación afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una gran innovación para la época, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

2. Medidas para la mejora de la ventilación natural:

La Casa Batlló está dotada de un sistema de control, para la ventilación cruzada de las viviendas, mediante palancas de regulación del caudal de entrada y salida de aire, en puertas y ventanas; de esta forma, se consigue que el patio funcione como una gran chimenea de ventilación natural⁴⁰⁵:

-Este sistema es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

3. Medidas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento:

Los innovadores sistemas de ventilación del edificio, combinados con sistemas bioclimáticos —como el cerramiento acristalado del patio, para la captación de energía solar o los conductos de aportación de aire fresco al patio, situados en el sótano— configuran un extraordinario sistema de climatización natural regulable⁴⁰⁶:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

⁴⁰⁵ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 73.

⁴⁰⁶ *Ibídem*, pp. 73-75.

-Cumplimiento: medidas 2 y 3.

-No cumplimiento: medida 1.

Tabla 85. Valoración del criterio B-03
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño = 0
Valor máximo	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño = 5
VALORACIÓN	Utilización de dos tipos de medidas pasivas de diseño = 3,33

Criterio C-08. Reutilización de materiales

El objetivo de este criterio es evaluar la reutilización de materiales de construcción para reducir el consumo de materias primas y energía, durante el proceso de fabricación o reciclado de los mismos⁴⁰⁷.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reutilizados, y como mejor práctica el empleo de materiales reutilizados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Tabla 86. Valores de referencia del criterio C-08
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

Es muy probable que Gaudí reutilizara algunos materiales procedentes de la propia demolición del viejo edificio —tales como piedra o ladrillo— no obstante, puesto que no se ha encontrado documentación o bibliografía que lo refleje, no se tendrá en cuenta esta consideración; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

⁴⁰⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 177.

-Materiales reutilizados: no consta.

Tabla 87. Valoración del criterio C-08
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	0,00

Criterio C-10. Uso de materiales reciclados

El objetivo de este criterio es evaluar la utilización de materiales reciclados para reducir el consumo de materias primas⁴⁰⁸.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reciclados, y como mejor práctica el empleo de materiales reciclados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Tabla 88. Valores de referencia del criterio C-10
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

Tal y como se decía anteriormente, en la Casa Batlló, Gaudí utilizó en el revestimiento decorativo de la fachada —de aproximadamente 180 m²— fragmentos de cerámica y “*vidrios de colores, cedidos gratuitamente por los Talleres Pelegrí*”⁴⁰⁹; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales reciclados: revestimiento de fachada (1 Ud. de obra completa).

⁴⁰⁸ Ibídem, p. 179.

⁴⁰⁹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 36.

Tabla 89. Valoración del criterio C-10

Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción de los impactos asociados a la producción de los materiales de construcción, distintos al consumo de materias primas y energía. Para ello, el ciclo de vida de los materiales será lo más largo posible, pudiendo ser aprovechados para su reutilización o reciclaje⁴¹⁰.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual el no empleo de materiales reutilizados o reciclados, y como mejor práctica el empleo de los mismos en dos unidades de obra completas, una con materiales reutilizados y otra con materiales reciclados.

Tabla 90. Valores de referencia del criterio C-20

Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra (material reutilizado) 1 Ud. obra (material reciclado)

Tal y como se decía anteriormente, en la Casa Batlló, Gaudí utilizó en el revestimiento decorativo de la fachada fragmentos reciclados de cerámica y “*vidrios de colores, cedidos gratuitamente por los Talleres Pelegrí*”⁴¹¹, no habiendo constancia de la reutilización de materiales; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

⁴¹⁰ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 191.

⁴¹¹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 36.

-Materiales reutilizados: no consta.

-Materiales reciclados: revestimiento de fachada (1 Ud. de obra completa).

Tabla 91. Valoración del criterio C-20
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra (material reutilizado) + 1 Ud. obra (material reciclado) = 5
VALORACIÓN	2,50

Criterio C-21. Contribución de la estructura a la sostenibilidad

El objetivo de este criterio es evaluar la incorporación de medidas de sostenibilidad a la estructura del edificio.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la utilización de muros de carga de piedra o ladrillo de gran espesor, y como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas de ahorro efectivo en los kg o m³ de material empleado:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

-Estructura de muros de carga, combinada con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 92. Valores de referencia del criterio C-21
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida

Mejor prácticaCumplimiento de las dos
medidas

En la Casa Batlló, la estructura del edificio original era a base de grandes muros de carga —como era habitual en la época— pero Gaudí, en la reforma del edificio, introduce gran cantidad de elementos de acero, como brochales, jácenos o zancas; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medida 2.

Tabla 93. Valoración del criterio C-21

Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	Cumplimiento de la medida 2 = 2,50

Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia de la ventilación natural en los edificios, y la capacidad de regulación por parte de los usuarios⁴¹².

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema específico de mejora de la ventilación que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 75% de las viviendas.
2. Existencia de ventilación cruzada en, al menos, el 75% de las viviendas.

⁴¹² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 217.

Tabla 94. Valores de referencia del criterio D-11
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

Tal y como se decía anteriormente, la Casa Batlló está dotada de un innovador sistema de control para la ventilación cruzada de las viviendas, mediante palancas de regulación del caudal de entrada y salida de aire en puertas y ventanas; de esta forma, se consigue que el patio funcione como una gran chimenea de ventilación natural para las viviendas⁴¹³. El innovador sistema de ventilación cruzada afecta a más del 75% de las viviendas; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

Tabla 95. Valoración del criterio D-11
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio D-12. Confort higrotérmico

El objetivo de este criterio es evaluar el confort higrotérmico del edificio, para garantizar el bienestar de los ocupantes.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

⁴¹³ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 73.

1. Existencia de algún sistema de calentamiento, por captación de energía solar, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
3. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 96. Valores de referencia del criterio D-12
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

Las medidas pasivas para el confort higrotérmico, que vamos a considerar en la Casa Batlló, son las siguientes:

1. Calentamiento por captación de energía solar:

El cerramiento acristalado del patio, con salidas de ventilación, configura un extraordinario sistema de captación de energía solar, por efecto invernadero⁴¹⁴:

-Es una innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

⁴¹⁴ *Ibíd*em, pp. 73-75.

2. Aislamiento térmico:

El desván transitable de la cubierta, con arcos parabólicos de ladrillo, en dos niveles de altura, y sistemas de ventilación regulables, es un importante sistema de aislamiento térmico de las plantas superiores del edificio.

-Es una innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

3. Acumulación de energía térmica:

Los arcos parabólicos de ladrillo del desván son un sistema de acumulación térmica que conserva el microclima generado en el recinto, para el aislamiento de las plantas inferiores. Esta actuación afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una innovación para la época, puesto que ya se habían empleado anteriormente los tabiques de ladrillo en los bajo cubierta de los edificios, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

4. Protección de la radiación solar:

En 1904, en la casa Batlló, *"Gaudí incorpora la primera persiana enrollable mecanizada desde el interior en un hueco de dimensiones mayores a metro y medio"*⁴¹⁵. Esta actuación es una innovación para la época, pero no afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

-No cumplimiento: medidas 3 y 4.

Tabla 97. Valoración del criterio D-12

Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0

⁴¹⁵ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

Valor máximo	Cumplimiento de las cuatro medidas = 5
VALORACIÓN	2,50

Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de la iluminación natural en los espacios de ocupación primaria del edificio.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica la existencia de algún sistema específico de mejora de la iluminación natural, siempre y cuando suponga una innovación respecto a los sistemas habituales de la época y afecte, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 98. Valores de referencia del criterio D-14
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ningún sistema innovador
Mejor práctica	Algún sistema innovador

Tal y como se decía anteriormente, Gaudí aumenta considerablemente los huecos de fachada y amplía el patio central, con el objeto de mejorar la iluminación natural del edificio, pero esta actuación no puede considerarse una gran innovación para la época, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-No supone una innovación respecto a los sistemas habituales de la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 99. Valoración del criterio D-14
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	Ningún sistema innovador = 0
Valor máximo	Algún sistema innovador = 5
VALORACIÓN	0,00

Criterio E-01. Eficiencia de los espacios

El objetivo de este criterio es evaluar el aprovechamiento de la Superficie Útil Funcional (SUF) de la edificación, con respecto a la Superficie Construida Total Sobre Rasante (SCTSR), para rentabilizar de forma eficiente el espacio disponible, reduciendo la superficie empleada en elementos constructivos, estructurales o de distribución interior⁴¹⁶.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera el aumento del valor SUF con respecto al valor SCTSR, en función del porcentaje de disminución de la Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio (SECE):

$$SECE = SCTSR - SUF$$

Se considera como práctica habitual el valor SECE del edificio con muros de carga, y como mejor práctica la disminución de ese valor en un 20%.

Tabla 100. Valores de referencia del criterio E-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	SECE del edificio con muros de carga
Mejor práctica	Disminución SECE $\geq$ 20%

Antes de la reforma, la Casa Batlló era un edificio convencional con muros de carga, y Gaudí solo modifica estructuralmente las fachadas y el piso principal, destinado a vivienda de la familia Batlló. Los grandes ventanales de la fachada posterior y de la compleja tribuna de piedra, de tres alturas, de la fachada principal —en comparación con los pequeños huecos de fachada del edificio existente— nos hablan de la importante reforma de Gaudí en estos muros de carga, para mejorar la ventilación, la iluminación y la superficie útil del edificio.

⁴¹⁶ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 261.

Los parámetros para el cálculo del valor SECE del edificio, antes de la reforma de Gaudí, son las siguientes:

- Superficie útil por planta = 450,00 m²
- Longitud del ancho de la fachada = 14,50 m.
- Longitud del largo de la medianería = 35,00 m.
- Valores referidos a una planta del edificio, como valores promedio de la totalidad de las plantas de vivienda sobre rasante:
 - Longitud de los muros de carga, a descontar huecos = 198,00 m.
 - Longitud de los muros de carga = 118,80 m.
 - Espesor medio de los muros de carga = 0,35 m.
 - Superficie de los muros de carga = 41,58 m².
 - Superficie de los muros de carga, con la parte proporcional de los muros de distribución = 44,00 m².
- Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio (SECE):

$$SECE = 44,00 * 5 = 220,00 \text{ m}^2$$

Los parámetros para el cálculo del valor SECE del edificio, después de la reforma de Gaudí, son las siguientes:

- Valores referidos a una planta del edificio, como valores promedio de la totalidad de las plantas de vivienda sobre rasante:
 - Longitud de los muros de carga = 104,00 m.
 - Espesor medio de los muros de carga = 0,35 m.
 - Superficie de los muros de carga = 36,40 m².
 - Superficie de los muros de carga, con parte proporcional de los muros de distribución = 38,82 m².
- Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio (SECE):

$$SECE = 38,82 * 5 = 194,10 \text{ m}^2$$

La disminución del valor SECE del edificio, después de la reforma de Gaudí, es la siguiente:

$$\text{Decremento SECE} = 100 - \frac{194,10 * 100}{220,00} = 11,77\%$$

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

$$\frac{11,77\% * \text{Valor máximo}}{20\%} = 2,94$$

Tabla 101. Valoración del criterio E-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	SECE edificio convencional de muros de carga de la época = 0
Valor máximo	Disminución SECE $\geq 20\%$ = 5
VALORACIÓN	2,94

Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC

El objetivo de este criterio es evaluar la capacidad de los usuarios de ajustar los sistemas HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) del edificio⁴¹⁷.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema de calentamiento por captación de energía solar, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

⁴¹⁷ *Ibidem*, p. 269.

3. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 102. Valores de referencia del criterio E-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

Las medidas para valorar la capacidad de los usuarios de ajustar los sistemas HVAC del edificio, que vamos a considerar en la Casa Milá, son las siguientes:

1. Calentamiento por captación de energía solar:

El cerramiento acristalado del patio, con salidas de ventilación, configura un extraordinario sistema de captación de energía solar, por efecto invernadero⁴¹⁸:

- El sistema tiene capacidad de ajuste por parte de los usuarios.
- Es una innovación para la época.
- Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

⁴¹⁸ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 73-75.

2. Aislamiento térmico:

El desván transitable de la cubierta, con arcos parabólicos de ladrillo —en dos niveles de altura— y sistemas de ventilación regulables, es un importante sistema de aislamiento térmico de las plantas superiores del edificio.

-El sistema tiene capacidad de ajuste por parte de los usuarios.

-Es una innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

3. Acumulación de energía térmica:

Los arcos parabólicos de ladrillo del desván son un sistema de acumulación térmica que conserva el microclima generado en el recinto, para el aislamiento de las plantas inferiores. Esta actuación afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una innovación para la época, puesto que ya se habían empleado anteriormente los tabiques de ladrillo en los bajo cubierta de los edificios, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

4. Protección de la radiación solar:

En 1904, en la casa Batlló, *"Gaudí incorpora la primera persiana enrollable mecanizada desde el interior en un hueco de dimensiones mayores a metro y medio"*⁴¹⁹. Esta actuación es una innovación para la época, pero no afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

-No cumplimiento: medidas 3 y 4.

⁴¹⁹ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

Tabla 103. Valoración del criterio E-06

Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las cuatro medidas = 5
VALORACIÓN	2,50

Criterio F-02. Acceso universal

El objetivo de este criterio es evaluar la accesibilidad del edificio a personas con limitaciones de movilidad, eliminando las posibles barreras arquitectónicas⁴²⁰.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. La existencia de ascensor, con acceso a todas las viviendas del edificio.
2. La no existencia de escalones en accesos o portales de entrada.

Tabla 104. Valores de referencia del criterio F-02

Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

En la Casa Batlló, todas las viviendas están comunicadas por ascensor, pero existe un pequeño escalón en el portal de entrada; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medida 1.

⁴²⁰ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 279-280.

Tabla 105. Valoración del criterio F-02
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	Cumplimiento de la medida 1 = 2,50

Criterio F-03. Derecho al sol

El objetivo de este criterio es evaluar la radiación solar directa, a través de los huecos de fachada de las estancias principales de la vivienda, durante las horas centrales del día, para facilitar el calentamiento de las estancias en invierno, y potenciar la iluminación natural⁴²¹.

Para evaluar este criterio, el método VERDE calcula el porcentaje de viviendas cuyas estancias principales (salón y dormitorio principal) tienen, el 22 de diciembre, un soleamiento mínimo de 120 minutos, entre las 11:00 y las 16:00 horas. Considerando como práctica habitual que el 30% de las viviendas cumplen estos requisitos, y como mejor práctica que los cumplen el 100% de las mismas⁴²². En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se utilizan los mismos valores de cálculo, de forma que, al menos, un salón y un dormitorio cumplan dichas condiciones.

Tabla 106. Valores de referencia del criterio F-03
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%

En la Casa Batlló, todas las viviendas tienen un salón y un dormitorio en la fachada posterior⁴²³, con orientación sur-oeste hacia el patio de manzana, por lo que la totalidad

⁴²¹ Ibídem, p. 283.

⁴²² Ibídem, p. 284.

⁴²³ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 83.

de las viviendas cumplen los requisitos de soleamiento mínimo indicados; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 107. Valoración del criterio F-03
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	30% = 0
Valor máximo	100% = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados

El objetivo de este criterio es evaluar la existencia de espacios abiertos privados —terrazas, balcones o patios— como mejora de las condiciones de habitabilidad del edificio⁴²⁴.

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual que el 25% de las viviendas disponen de espacios abiertos privados, de al menos 0,5 x 1 m, y como mejor práctica que disponen de ellos el 100% de las viviendas⁴²⁵. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, utilizaremos los mismos valores de cálculo que el método VERDE.

Tabla 108. Valores de referencia del criterio F-04
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	25%
Mejor práctica	100%

⁴²⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

⁴²⁵ *Ibídem*, p. 288.

En la Casa Batlló, todas las viviendas disponen de balcones en la fachada posterior de más de 0,5 x 1 m⁴²⁶; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 109. Valoración del criterio F-04
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	25% = 0
Valor máximo	100% = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio F-09. Coste de uso

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción en los costes de explotación del edificio, a partir de los gastos más fácilmente cuantificables, como los consumos de agua, gas o electricidad⁴²⁷.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, la reducción del coste de explotación se cuantifica a partir de la reducción del consumo de energía, mediante el empleo de medidas pasivas de diseño (conforme al criterio B-03).

Se considera como práctica habitual la no utilización de ninguna medida pasiva de diseño, conforme a las condiciones del criterio B-03, y como mejor práctica la utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño, de dicho criterio.

Las condiciones del criterio B-03, para las medidas pasivas de diseño son:

- Ser una innovación, con respecto a las medidas pasivas de diseño habituales de la época.
- Afectar, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Los tipos de medidas del criterio B-03:

- Medidas pasivas para la mejora de la iluminación natural.

⁴²⁶ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 78

⁴²⁷ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 301.

-Medidas pasivas para la mejora de la ventilación natural.

-Medidas pasivas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento.

Tabla 110. Valores de referencia del criterio F-09
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño conforme al criterio B-03
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03

Al igual que en el criterio B-03, las medidas pasivas para el ahorro de energía, que vamos a considerar en la Casa Batlló, son las siguientes:

1. Medidas para la mejora de la iluminación natural:

Gaudí aumenta considerablemente los huecos de fachada y amplía el patio central, con el objeto de mejorar la iluminación natural del edificio. Esta actuación afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una gran innovación para la época, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

2. Medidas para la mejora de la ventilación natural:

La Casa Batlló está dotada de un sistema de control para la ventilación cruzada de las viviendas, mediante palancas de regulación del caudal de entrada y salida de aire en puertas y ventanas, de esta forma, se consigue que el patio funcione como una gran chimenea de ventilación natural⁴²⁸:

-Este sistema es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

⁴²⁸ Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, Eulalia 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 73.

3. Medidas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento:

Los innovadores sistemas de ventilación del edificio, combinados con sistemas bioclimáticos —como el cerramiento acristalado del patio, para la captación de energía solar, o los conductos de aportación de aire fresco al patio, situados en el sótano— configuran un extraordinario sistema de climatización natural regulable⁴²⁹:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 2 y 3.

-No cumplimiento: medida 1.

Tabla 111. Valoración del criterio F-09
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño conforme al criterio B-03 = 0
Valor máximo	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03 = 5
VALORACIÓN	Utilización de dos tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03 = 3,33

Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de las buenas prácticas de diseño y construcción de edificios, como herramienta de concienciación social y educación en los valores de la sostenibilidad⁴³⁰.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, al igual que en el método VERDE, se considera como práctica habitual la no difusión de los valores de

⁴²⁹ Ibídem, pp. 73-75.

⁴³⁰ Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (Diez, R., Huerta, D., Rivas, P.) 2014, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento, V 1.0*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

sostenibilidad del edificio, y como mejor práctica el empleo de alguna medida de difusión.

Tabla 112. Valores de referencia del criterio H-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ninguna medida de difusión
Mejor práctica	Alguna medida de difusión

En la Casa Batlló, como en la mayoría de las obras de Gaudí, han sido ampliamente estudiados y promocionados los valores bioclimáticos, medioambientales, constructivos y otros muchos relacionados con la sostenibilidad, a través de múltiples publicaciones, congresos, exposiciones y otros medios de difusión; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 113. Valoración del criterio H-06
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	Ninguna medida de difusión = 0
Valor máximo	Alguna medida de difusión = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio I-01. Innovación en el diseño

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia innovadora del diseño, en aspectos no regulados específicamente en los criterios anteriores.

La metodología para la evaluación de edificios históricos —al igual que el método VERDE— considera como práctica habitual el no cumplimiento de ninguna de las siguientes medidas⁴³¹:

1. Que la innovación suponga un beneficio medioambiental, social o económico, con respecto a las prácticas de diseño y construcción habituales.

⁴³¹ *Ibídem*, p. 291.

2. Que la innovación sea aplicable a todo el edificio.

3. Que la innovación pueda ser aplicable a otros proyectos.

Y como mejor práctica el cumplimiento de las tres.

Tabla 114. Valores de referencia del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	60% (20% cada medida cumplida)

En la Casa Batlló, en el salón principal, Gaudí diseñó un ingenioso sistema de cerramiento desplegable en forma de acordeón —compuesto por seis hojas de roble acristaladas— que permite la configuración del espacio en función de las necesidades, tal y como, hoy en día, se hace con las tabiquerías móviles⁴³².

La configuración de espacios mediante cerramientos desplegables —para mejorar la versatilidad del espacio, o sectorizar la climatización de las viviendas— es una innovación que supone un beneficio medioambiental, social y económico, con respecto a las prácticas de diseño y construcción habituales de la época. Además, es una innovación que puede ser aplicable a otros proyectos, aunque, en este caso, solo fue aplicada en la planta principal; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 3.

-No cumplimiento: medida 2.

Tabla 115. Valoración del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	60% = 5
VALORACIÓN	40% = 3,33

⁴³² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 75.

5.3.1.1. Evaluación absoluta

La valoración final absoluta de la Casa Batlló, mediante el empleo de la metodología para la evaluación de edificios históricos, se obtiene haciendo el promedio de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio.

Las valoraciones absolutas de cada criterio para la Casa Batlló, son las siguientes:

Tabla 116. Valoración absoluta de la Casa Batlló
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	VALORACIÓN ABSOLUTA
Criterio I 0. Optimización de la vida útil de la estructura	2,50
Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos	5,00
Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción	5,00
Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción	3,00
Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio	3,33
Criterio C-08. Reutilización de materiales	0,00
Criterio C-10. Uso de materiales reciclados	5,00
Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía	2,50
Criterio C-21. Contribución de la estructura a la sostenibilidad	2,50
Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural	5,00
Criterio D-12. Confort termo-higrométrico	2,50
Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria	0,00
Criterio E-01. Eficiencia de los espacios	2,94
Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC	2,50
Criterio F-02. Acceso universal	2,50
Criterio F-03. Derecho al sol	5,00
Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados	5,00
Criterio F-09. Coste de uso	3,33
Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación	5,00
Criterio I-01. Innovación en el diseño	3,33
VALORACIÓN FINAL ABSOLUTA (promedio)	3,30

La valoración final absoluta es un valor adimensional, de intervalo 0 a 5, que en el método VERDE es expresado gráficamente de la siguiente forma:

Figura 60. Valoración del método VERDE de evaluación de la sostenibilidad
Fuente: Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

Por lo tanto, la valoración final absoluta de la Casa Batlló, expresada según el método VERDE de evaluación de la sostenibilidad, sería equivalente a la calificación global de “3 HOJAS VERDE”.

5.3.1.2. Evaluación ponderada

La valoración final ponderada de la Casa Batlló, mediante el empleo de la metodología para la evaluación de edificios históricos, se obtiene haciendo la media ponderada de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio. De esta forma, la evaluación absoluta se convierte en una evaluación relativa o ponderada, en función del peso relativo de los impactos y de las fases del ciclo de vida asociados a cada criterio.

Tal y como se decía anteriormente, el peso relativo de los diferentes impactos es el siguiente:

Tabla 117. Peso relativo de los impactos evaluados
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

IMPACTOS	PESO RELATIVO
1 Cambio climático	27%
2 Aumento de las radiaciones UV a nivel del suelo	0%
3 Pérdida de fertilidad	5%
4 Pérdida de vida acuática	6%
5 Emisión de compuestos foto-oxidantes	8%
6 Cambios en la biodiversidad	4%

7 Agotamiento de energía no renovable	8%
8 Agotamiento de recursos no renovables	9%
9 Agotamiento de agua potable	10%
11 Generación de residuos no peligrosos	6%
16 Pérdida de salud y confort para los usuarios	12%
19 Riesgo para los inversores	5%

El peso relativo de las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio es el siguiente:

Tabla 118. Peso relativo de las fases del ciclo de vida de un edificio
Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

CODIGO	FASE	
A 1	Producción materiales (25%)	Suministro de materias primas
A 2		Transporte
A 3		Fabricación
A 4	Transporte (5%)	Transporte a obra
A 5	Construcción (5%)	Proceso de construcción instalación
B 1	Uso (60%)	Uso
B 2		Mantenimiento
B 3		Reparación
B 4		Sustitución
B 5		Rehabilitación
B 6		Uso de energía en servicio
B 7		Uso de agua en servicio
C 1	Fin de vida (5%)	Uso de agua en servicio
C 2		Deconstrucción y demolición
C 3		Transporte
C 4		Tratamiento de residuos
C 5		Vertido

Por lo tanto, cada criterio tendrá un peso relativo, en función de los impactos y las fases del ciclo de vida asociados al mismo, tal y como se recoge en las siguientes tablas:

Tabla 119. Impactos y fases del ciclo de vida asociados a cada criterio
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	IMPACTOS																			FASES CICLO VIDA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Criterio I 0																				B-1 a B-7
Criterio A-14																				B-1 a B-7
Criterio B-01																				A-1 a A-3
Criterio B-02																				A-4
Criterio B-03																				B-1 a B-7
Criterio C-08																				A-5
Criterio C-10																				A-5
Criterio C-20																				A-5
Criterio C-21																				A-5
Criterio D-11																				B-1 a B-7
Criterio D-12																				B-1 a B-7
Criterio D-14																				B-1 a B-7
Criterio E-01																				A-5
Criterio E-06																				B-1 a B-7
Criterio F-02																				B-1 a B-7
Criterio F-03																				B-1 a B-7
Criterio F-04																				B-1 a B-7
Criterio F-09																				B-1 a B-7
Criterio H-06																				B-1 a B-7
Criterio I-01																				A-5, B-1 a B-7, C-1 a C-5

Tabla 120. Peso relativo de los criterios
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	PESO RELATIVO I	PESO RELATIVO FCV	PROMEDIO I - FCV	PESO RELATIVO CRITERIOS
Criterio I 0	74%	60%	67,0%	10,10%
Criterio A-14	6%	60%	33,0%	4,97%
Criterio B-01	8%	25%	16,5%	2,49%
Criterio B-02	53%	5%	29,0%	4,37%
Criterio B-03	48%	60%	54,0%	8,14%
Criterio C-08	27%	5%	16,0%	2,41%

Criterio C-10	27%	5%	16,0%	2,41%
Criterio C-20	55%	5%	30,0%	4,52%
Criterio C-21	68%	5%	36,5%	5,50%
Criterio D-11	5%	60%	32,5%	4,90%
Criterio D-12	17%	60%	38,5%	5,80%
Criterio D-14	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio E-01	5%	5%	5,0%	0,75%
Criterio E-06	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-02	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-03	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-04	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-09	5%	60%	32,5%	4,90%
Criterio H-06	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio I-01	12%	70%	41,0%	6,18%
TOTAL				100,00%

Una vez obtenido el peso relativo de cada criterio, la valoración final ponderada se obtiene haciendo la media ponderada de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio, mediante la fórmula:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}$$

Donde:

x = Media ponderada

x_i = Valoración absoluta de cada criterio

p_i = Peso relativo de cada criterio

n = nº de criterios

En la siguiente tabla, se calcula la valoración final ponderada de la Casa Batlló:

Tabla 121. Valoración ponderada de la Casa Batlló
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	VALORACIÓN ABSOLUTA (x _i)	PESO RELATIVO (p _i)	(x _i) (p _i)
Criterio I 0	2,50	10,10%	25,25%
Criterio A-14	5,00	4,97%	24,85%
Criterio B-01	5,00	2,49%	12,45%
Criterio B-02	3,00	4,37%	13,11%
Criterio B-03	3,33	8,14%	27,11%
Criterio C-08	0,00	2,41%	0,00%
Criterio C-10	5,00	2,41%	12,05%
Criterio C-20	2,50	4,52%	11,30%
Criterio C-21	2,50	5,50%	13,75%
Criterio D-11	5,00	4,90%	24,50%
Criterio D-12	2,50	5,80%	14,50%
Criterio D-14	0,00	5,43%	0,00%
Criterio E-01	2,94	0,75%	2,21%
Criterio E-06	2,50	5,43%	13,58%
Criterio F-02	2,50	5,43%	13,58%
Criterio F-03	5,00	5,43%	27,15%
Criterio F-04	5,00	5,43%	27,15%
Criterio F-09	3,33	4,90%	16,32%
Criterio H-06	5,00	5,43%	27,15%
Criterio I-01	3,33	6,18%	20,58%
Σ (p_i)		100,00	
Σ (x_i) (p_i)			326,57

$$\text{VALORACIÓN FINAL PONDERADA} = \sum (x_i) (p_i) / \sum (p_i) \quad \mathbf{3,2657}$$

Por lo tanto, la valoración final ponderada de la Casa Batlló, expresada según el método VERDE de evaluación de la sostenibilidad, sería equivalente a la calificación global de “3 HOJAS VERDE”.

5.3.2. La Casa Milá

En 1905, el abogado e industrial Pere Milá Camps⁴³³ encargó a Gaudí la construcción de la Casa Milá en el chaflán del paseo de Gracia con la calle Provenza del ensanche de Barcelona; el solar estaba ocupado por un chalet de tres pisos, perteneciente a José Ferrer-Vidal y Soler.

La Casa Milá representa la culminación de la arquitectura civil de Gaudí, puesto que posteriormente se dedicó, ya por entero, a la construcción del Templo de la Sagrada Familia. En esta obra, por tanto, pone en práctica toda la experiencia acumulada durante los muchos años dedicados a la construcción de edificios residenciales.

Figura 61. Casa Milá
Fuente: Martinell Brunet, C. (1967)

La Casa Milá —que en aquel momento se convirtió en uno de los edificios más llamativos de Barcelona⁴³⁴— supuso una ruptura con respecto a la arquitectura de la época, tanto a nivel estético, como a nivel técnico y funcional, con numerosas innovaciones, como por ejemplo:

⁴³³ Ver el glosario onomástico.

⁴³⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 22.

-La ubicación en el sótano de “uno de los primeros garajes para automóviles de Barcelona”⁴³⁵, concebido inicialmente como cochera y caballeriza.

-La estructura radial de vigas metálicas del sótano, unidas en el extremo central a un anillo metálico⁴³⁶, para conseguir un espacio más diáfano y mejorar la maniobrabilidad de los coches.

-La innovadora estructura metálica formada por jácenas y pilares, que —a diferencia de los habituales muros de carga⁴³⁷— permitía plantas mucho más diáfanas⁴³⁸, al tiempo que un considerable ahorro económico⁴³⁹, y la posibilidad de apertura de grandes ventanales de ventilación e iluminación.

-Los amplios patios interiores de formas orgánicas para la perfecta distribución de la luz a todas las viviendas, al tiempo que para su adecuada ventilación.

-La variación del tamaño de los huecos de ventana en función de la altura —disminuyendo en los pisos superiores— tanto en las fachadas como en los patios interiores, para la regulación de la iluminación y el soleamiento de las viviendas.

-El diseño del desván con pequeñas ventanas en dos niveles de altura y viseras solares, para la regulación térmica de las plantas inferiores “que debían abrirse en verano para crear corriente de aire y cerrarse en invierno para conservar el microclima generado por el sol y los ladrillos”⁴⁴⁰.

-Las novedosas persianas enrollables mecanizadas desde el interior, con proyección de los faldones hacia el exterior, y doble persiana con doble tambor, para multiplicar las posibilidades de control solar, ventilación e iluminación⁴⁴¹.

⁴³⁵ Ibídem, p. 25.

⁴³⁶ Vila Rodríguez, R. 1990, “El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 56 y 57.

⁴³⁷ Adell-Argilés, J. 2000, *Arquitectura sin fisuras*, Munilla-Lería, Madrid, p. 25.

⁴³⁸ Vila Rodríguez, R. 1990, “El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona”, *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 56.

⁴³⁹ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 399.

⁴⁴⁰ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 88.

⁴⁴¹ Martí, N. & Araujo, R. 2015, “La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales”, *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

-Los herrajes de puertas y ventanas —tiradores, pomos, manillas, etc.— diseñados por Gaudí, a partir de modelos en barro —aplastados con los dedos y fundidos en bronce— para conseguir un diseño ergonómico y la máxima comodidad.

-Los espaciosos cuartos de baño con agua caliente y radiadores de calefacción en todas las viviendas.

-La instalación de ascensores para la comunicación vertical de todas las viviendas, así como la eliminación de escalones en los accesos y portales de entrada.

El análisis de los criterios desarrollados en la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos (1900-1915), aplicado a la Casa Milá es el siguiente:

Criterio I 0. Optimización de la vida útil de la estructura

Se entiende por vida útil de una estructura al periodo de tiempo, tras la finalización de la obra, durante el cual la estructura debe mantener las condiciones de seguridad, funcionalidad y estética, de acuerdo con el plan de conservación y mantenimiento establecido⁴⁴².

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera que:

-La práctica habitual era la utilización de muros de carga de piedra o ladrillo, cuya vida útil es bastante limitada, puesto que, la frecuente aparición de grietas o desviaciones del eje, puede considerarse como una disminución grave de las condiciones de seguridad y funcionalidad del edificio.

-La mejor práctica era el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura de acero u hormigón armado.

⁴⁴² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 73.

-Estructura de otros materiales (madera, piedra o ladrillo) combinados con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

Tabla 122. Valores de referencia del criterio I-0
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

En la Casa Milá, la estructura del edificio no es de grandes muros de carga —como era habitual en la época— sino que es una innovadora estructura metálica, a base de jácenas y pilares; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

Tabla 123. Valoración del criterio I-0
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos

En este criterio se evalúa la aplicación de medidas que consigan el reciclaje de los residuos sólidos del edificio⁴⁴³.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera únicamente la medida A14.0.2 del método VERDE:

-Existencia de un espacio independiente, donde poder almacenar temporalmente, muebles o enseres.

⁴⁴³ *Ibídem*, pp. 79 y 82.

Tabla 124. Valores de referencia del criterio A-14
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de la medida A14.0.2
Mejor práctica	Cumplimiento de la medida A14.0.2

En la Casa Milá, *“la planta del sótano se proyectó como área de servicios para acoger el garaje, los trasteros y la sala de máquinas de la calefacción”*⁴⁴⁴, por tanto, las viviendas disponían de cuartos trasteros independientes, donde podían almacenar temporalmente muebles o enseres, y la valoración de este criterio es:

-Cumplimiento: medida A14.0.2.

Tabla 125. Valoración del criterio A-14
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de la medida A14.0.2 = 0
Valor máximo	Cumplimiento de la medida A14.0.2 = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción (energía embebida)

El objetivo de este criterio es evaluar el consumo de energía no renovable, asociado al proceso de extracción y transformación de los materiales de construcción, y la reutilización y reciclaje de los mismos⁴⁴⁵.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reutilizados o reciclados, y como mejor práctica

⁴⁴⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 62.

⁴⁴⁵ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 123.

el empleo de materiales reutilizados o reciclados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Tabla 126. Valores de referencia del criterio B-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

En la Casa Milá, los pilares de ladrillo —hay otros de hierro colado— se construyeron aprovechando los ladrillos procedentes de la demolición de un chalet existente (la casa Ferrer-Vidal)⁴⁴⁶ y las barandillas de los balcones de fachada están realizadas con planchas, cadenas, mallas, perfiles, tornillos y otros elementos de chatarra para desguace, que Gaudí seleccionaba y reciclaba para su trabajo⁴⁴⁷. Por tanto, hay dos unidades de obra completas que están construidas con materiales reutilizados y reciclados, y la valoración de este criterio es la siguiente:

- Materiales reutilizados: pilares de ladrillo (1 Ud. de obra completa).
- Materiales reciclados: balcones de fachada (1 Ud. de obra completa).

Tabla 127. Valoración del criterio B-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	5,00

⁴⁴⁶ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 513.

⁴⁴⁷ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 44.

Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción

El uso de materiales locales es la principal medida para reducir el consumo de energía no renovable en el transporte⁴⁴⁸.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la utilización de un 50% (en peso) de materiales de producción local —a una distancia menor o igual a 30 km—, y como mejor práctica la utilización de un 100% de materiales de producción local.

Tabla 128. Valores de referencia del criterio B-02
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	50%
Mejor práctica	100%

Los materiales de producción local empleados por Gaudí en la Casa Milá son:

1. Piedra del Garraf —cuyas canteras están situadas a 30 km de distancia de Barcelona— en la parte inferior de fachada.
2. Materiales cerámicos, como el ladrillo, que por su gran tradición en Cataluña eran, habitualmente, de producción local.

En la parte superior de la fachada, Gaudí empleó piedra de Villafranca del Panadés, localidad situada a 60 km de distancia⁴⁴⁹.

El resto de materiales —el acero, el cemento, el yeso, la cal, las pinturas, los barnices, los vidrios y las maderas— podrían haber sido de producción local, pero al no haber constancia de ello no se van a tener en cuenta.

La parte inferior de las fachadas principales —de piedra del Garraf— los muros de ladrillo del resto de las fachadas, los pilares de ladrillo, la tabiquería interior y el resto de elementos cerámicos —estructurales y no estructurales— suman aproximadamente el

⁴⁴⁸ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 127.

⁴⁴⁹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 514.

65% (en peso) del total de los materiales de construcción empleados por Gaudí en la construcción del edificio; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales de producción local = 65%

1. Incremento del valor máximo respecto al valor de referencia:

$$100\% - 50\% = 50\%$$

2. Incremento del valor obtenido respecto al valor de referencia:

$$65\% - 50\% = 15\%$$

3. Interpolación de la valoración:

$$\frac{15\% * Valoración\ máxima}{50\%} = 1,50$$

Tabla 129. Valoración del criterio B-02
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	50% = 0
Valor máximo	100% = 5
VALORACIÓN	1,50

Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio. **Demanda y eficiencia de los sistemas**

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción del consumo de energía no renovable empleada en la climatización e iluminación del edificio, aplicando medidas pasivas de diseño⁴⁵⁰.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se valora la utilización de las medidas pasivas de diseño que cumplen las siguientes condiciones:

-Ser una innovación, con respecto a las medidas pasivas de diseño habituales de la época.

⁴⁵⁰ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 131.

-Afectar, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Se considera como mejor práctica la utilización de los siguientes tipos de medidas:

-Medidas pasivas para la mejora de la iluminación natural.

-Medidas pasivas para la mejora de la ventilación natural.

-Medidas pasivas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento.

Tabla 130. Valores de referencia del criterio B-03

Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño

Las medidas pasivas, para el ahorro de energía, que vamos a considerar en la Casa Milá son las siguientes:

1. Medidas para la mejora de la iluminación natural.

La fachada no es muro de carga, sino muro de cerramiento (no estructural) en el que se pueden abrir grandes ventanales para la mejora de la iluminación natural:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

2. Medidas para la mejora de la ventilación natural.

La posibilidad de apertura de grandes ventanales, también mejora la ventilación natural del edificio:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

3. Medidas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento.

El desván está diseñado con un sistema de pequeñas ventanas —en dos niveles de altura y dotadas de viseras solares— para la regulación térmica de las plantas inferiores: *“Gaudí diseñó la planta desván como una estructura independiente para que actuara como cámara aislante (...) con un sistema de ventilación compuesto por dos tipos de ventanas, las pequeñas en la parte alta de las paredes y las grandes en la parte baja, que debían abrirse en verano para crear corriente de aire y cerrarse en invierno para conservar el microclima generado por el sol y los ladrillos”*⁴⁵¹. Esta actuación puede considerarse una innovación para la época, pero no afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

-No cumplimiento: medida 3.

Tabla 131. Valoración del criterio B-03
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño = 0
Valor máximo	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño = 5
VALORACIÓN	Utilización de dos tipos de medidas pasivas de diseño = 3,33

Criterio C-08. Reutilización de materiales

El objetivo de este criterio es evaluar la reutilización de materiales de construcción, para reducir el consumo de materias primas y energía, durante el proceso de fabricación o reciclado de los mismos⁴⁵².

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reutilizados, y como mejor práctica el empleo de

⁴⁵¹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 88.

⁴⁵² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 177.

materiales reutilizados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

Tabla 132. Valores de referencia del criterio C-08
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

Tal y como se decía anteriormente, en la Casa Milá los pilares de ladrillo se construyeron aprovechando los ladrillos procedentes de la demolición de un chalet existente (la Casa Ferrer-Vidal)⁴⁵³; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales reutilizados: pilares de ladrillo (1 Ud. de obra completa).

Tabla 133. Valoración del criterio C-08
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio C-10. Uso de materiales reciclados

El objetivo de este criterio es evaluar la utilización de materiales reciclados, para reducir el consumo de materias primas⁴⁵⁴.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la no utilización de materiales reciclados, y como mejor práctica el empleo de materiales reciclados en alguna unidad de obra completa, independientemente del coste de la misma.

⁴⁵³ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 513.

⁴⁵⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 179.

Tabla 134. Valores de referencia del criterio C-10*Fuente: elaboración propia*

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra

Tal y como se decía anteriormente, en la Casa Milá las barandillas de los balcones de fachada están realizadas con planchas, cadenas, mallas, perfiles, tornillos y otros elementos de chatarra para desguace, que Gaudí seleccionaba y reciclaba para su trabajo⁴⁵⁵; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales reciclados: Balcones de fachada (1 Ud. de obra completa).

Tabla 135. Valoración del criterio C-10*Fuente: elaboración propia*

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción de los impactos asociados a la producción de los materiales de construcción, distintos al consumo de materias primas y energía. Para ello, el ciclo de vida de los materiales será lo más largo posible, pudiendo ser aprovechados para su reutilización o reciclaje⁴⁵⁶.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual el no empleo de materiales reutilizados o reciclados, y como mejor práctica el

⁴⁵⁵ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 44.

⁴⁵⁶ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 191.

empleo de los mismos en dos unidades de obra completas, una con materiales reutilizados y otra con materiales reciclados.

Tabla 136. Valores de referencia del criterio C-20
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	1 Ud. obra (material reutilizado) 1 Ud. obra (material reciclado)

Tal y como se decía anteriormente, en la Casa Milá los pilares de ladrillo se construyeron aprovechando los ladrillos procedentes de la demolición de un chalet existente⁴⁵⁷, y las barandillas de los balcones de fachada están realizadas con planchas, cadenas, mallas, perfiles, tornillos y otros elementos de chatarra para desguace, que Gaudí seleccionaba y reciclaba para su trabajo⁴⁵⁸; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Materiales reutilizados: Pilares de ladrillo (1 Ud. de obra completa).

-Materiales reciclados: Balcones de fachada (1 Ud. de obra completa).

Tabla 137. Valoración del criterio C-20
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	1 Ud. obra (material reutilizado) + 1 Ud. obra (material reciclado) = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio C-21. Contribución de la estructura a la sostenibilidad

El objetivo de este criterio es evaluar la incorporación de medidas de sostenibilidad a la estructura del edificio.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como práctica habitual la utilización de muros de carga de piedra o ladrillo de gran espesor, y como

⁴⁵⁷ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 513.

⁴⁵⁸ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 44.

mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas de ahorro efectivo, en los kg o m³ de material empleado:

1. Cumplimiento de la siguiente condición:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

2. Cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones:

-Estructura aporticada de jácenas y pilares de acero u hormigón armado.

-Estructura de muros de carga, combinada con jácenas o pilares de acero u hormigón armado.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 138. Valores de referencia del criterio C-21
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

En la Casa Milá, el innovador sistema de jácenas y pilares que sustituye a los tradicionales muros de carga⁴⁵⁹, así como la novedosa estructura metálica del sótano, con vigas radiales en forma de rueda de bicicleta —posteriormente imitada en el pabellón de Estados Unidos de la Exposición Universal de 1958—⁴⁶⁰ suponen una gran optimización del diseño estructural, respecto a un edificio convencional de la época; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

Tabla 139. Valoración del criterio C-21
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0

⁴⁵⁹ Adell-Argilés, J. 2000, *Arquitectura sin fisuras*, Munilla-Lería, Madrid, p. 25.

⁴⁶⁰ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 62.

Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia de la ventilación natural en los edificios, y la capacidad de regulación por parte de los usuarios⁴⁶¹.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema específico de mejora de la ventilación, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 75% de las viviendas.
2. Existencia de ventilación cruzada en, al menos, el 75% de las viviendas.

Tabla 140. Valores de referencia del criterio D-11
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

En la Casa Milá, la innovadora estructura de jácenas y pilares permite la apertura de ventanas de mayores dimensiones, que mejoran la ventilación en más del 75% de las viviendas, y la existencia de grandes patios interiores hace que todas ellas puedan disponer de ventilación cruzada; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

⁴⁶¹ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 217.

Tabla 141. Valoración del criterio D-11
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio D-12. Confort higrotérmico

El objetivo de este criterio es evaluar el confort higrotérmico del edificio, para garantizar el bienestar de los ocupantes.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema de calentamiento, por captación de energía solar, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
3. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 142. Valores de referencia del criterio D-12
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

Las medidas para el confort higrotérmico, que vamos a considerar en la Casa Milá, son las siguientes:

1. Calentamiento por captación de energía solar:

La fachada no es muro de carga, sino muro de cerramiento (no estructural), en el que pueden abrirse grandes ventanales que mejoran la captación de la energía solar, por medio del “efecto invernadero”.

-La estructura metálica de jácenas y pilares, que posibilita la apertura de grandes huecos de fachada, es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

2. Aislamiento térmico:

El desván está diseñado con un sistema de pequeñas ventanas —en dos niveles de altura y dotadas de viseras solares— para el aislamiento térmico de las plantas inferiores: *“Gaudí diseñó la planta desván como una estructura independiente para que actuara como cámara aislante (...) con un sistema de ventilación compuesto por dos tipos de ventanas, las pequeñas en la parte alta de las paredes y las grandes en la parte baja, que debían abrirse en verano para crear corriente de aire y cerrarse en invierno para conservar el microclima generado por el sol y los ladrillos”*⁴⁶².

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

3. Acumulación de energía térmica:

Los arcos parabólicos de ladrillo del desván son una batería de acumuladores térmicos que conservan el microclima generado en el recinto, para el aislamiento de las plantas inferiores. Esta actuación afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una innovación para la época, puesto que ya se habían empleado anteriormente los tabiques de ladrillo en los bajo cubierta de los edificios, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

⁴⁶² Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 88.

4. Protección de la radiación solar:

Las persianas enrollables mecanizadas incorporaban un ingenioso sistema de proyección de los faldones hacia el exterior y doble persiana con doble tambor, para multiplicar las posibilidades de control solar: *“Gaudí propone no solamente la proyección de los faldones dividiendo la guía para que pueda realizarse el movimiento de compás por encima de la barandilla sino que dobla la persiana: el hueco dispone de dos persianas independientes, cada una con sus sistemas de cinta y bombo, un faldón cubre la parte superior de la balconera siguiendo la composición del despiece de la carpintería de la ventana y el otro cubre la parte inferior. Esta solución de faldón fragmentado permite multiplicar las posibilidades de control sin complejidad añadida”*⁴⁶³.

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1, 2 y 4.

-No cumplimiento: medida 3.

Tabla 143. Valoración del criterio D-12
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las cuatro medidas = 5
VALORACIÓN	3,75

Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de la iluminación natural en los espacios de ocupación primaria del edificio.

⁴⁶³ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica la existencia de algún sistema específico de mejora de la iluminación natural, siempre y cuando suponga una innovación respecto a los sistemas habituales de la época y afecte, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 144. Valores de referencia del criterio D-14
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ningún sistema innovador
Mejor práctica	Algún sistema innovador

En la Casa Milá, la innovadora estructura de jácenas y pilares permite la apertura de ventanas de mayores dimensiones, que mejoran la iluminación en más del 50% de la superficie habitable del edificio; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

- Supone una innovación respecto a los sistemas habituales de la época.
- Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

Tabla 145. Valoración del criterio D-14
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	Ningún sistema innovador = 0
Valor máximo	Algún sistema innovador = 5
VALORACIÓN	5,00

Criterio E-01. Eficiencia de los espacios

El objetivo de este criterio es evaluar el aprovechamiento de la Superficie Útil Funcional (SUF) de la edificación, con respecto a la Superficie Construida Total Sobre Rasante (SCTSR), para rentabilizar de forma eficiente el espacio disponible, reduciendo la

superficie empleada en elementos constructivos, estructurales o de distribución interior⁴⁶⁴.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera el aumento del valor SUF con respecto al valor SCTSR, en función del porcentaje de disminución de la Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio (SECE):

$$SECE = SCTSR - SUF$$

Se considera como práctica habitual el valor SECE del edificio con muros de carga, y como mejor práctica la disminución de ese valor en un 20%.

Tabla 146. Valores de referencia del criterio E-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	SECE del edificio con muros de carga
Mejor práctica	Disminución SECE $\geq$ 20%

En la Casa Milá, la estructura de jácenas y pilares supone un importante ahorro de espacio —tanto en los muros de fachada, como en los muros de distribución interior— con respecto a un edificio convencional de muros de carga de la época, con una disminución de la superficie SECE total del edificio mayor del 20%; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Disminución de la SECE total del edificio mayor del 20%.

Tabla 147. Valoración del criterio E-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	SECE edificio convencional de muros de carga de la época = 0
Valor máximo	Disminución SECE $\geq$ 20% = 5
VALORACIÓN	5,00

⁴⁶⁴ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 261.

Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC

El objetivo de este criterio es evaluar la capacidad de los usuarios de ajustar los sistemas HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) del edificio⁴⁶⁵.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. Existencia de algún sistema de calentamiento por captación de energía solar, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
2. Existencia de algún sistema de acumulación de energía térmica, con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
3. Existencia de algún sistema de aislamiento térmico con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.
4. Existencia de algún sistema de protección de la radiación solar con capacidad de ajuste por parte de los usuarios, que suponga una innovación con respecto a los sistemas habituales de la época, y que afecte, al menos, al 33% de la superficie habitable del edificio.

Por lo tanto, los valores de referencia para la comparación son los siguientes:

Tabla 148. Valores de referencia del criterio E-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las cuatro medidas

⁴⁶⁵ *Ibíd.*, p. 269.

Las medidas para valorar la capacidad de los usuarios de ajustar los sistemas HVAC del edificio, que vamos a considerar en la Casa Milá, son las siguientes:

1. Calentamiento por captación de energía solar:

La fachada no es muro de carga, sino muro de cerramiento (no estructural), en el que pueden abrirse grandes ventanales que mejoran la captación de la energía solar, por medio del “efecto invernadero”.

-El sistema tiene capacidad de ajuste por parte de los usuarios.

-La estructura metálica de jácenas y pilares, que posibilita la apertura de grandes huecos de fachada, es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

2. Aislamiento térmico:

El desván está diseñado con un sistema de pequeñas ventanas —en dos niveles de altura y dotadas de viseras solares— para el aislamiento térmico de las plantas inferiores: *“Gaudí diseñó la planta desván como una estructura independiente para que actuara como cámara aislante (...) con un sistema de ventilación compuesto por dos tipos de ventanas, las pequeñas en la parte alta de las paredes y las grandes en la parte baja, que debían abrirse en verano para crear corriente de aire y cerrarse en invierno para conservar el microclima generado por el sol y los ladrillos”*⁴⁶⁶.

-El sistema tiene capacidad de ajuste por parte de los usuarios.

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

3. Acumulación de energía térmica:

Los arcos parabólicos de ladrillo del desván son una batería de acumuladores térmicos que conservan el microclima generado en el recinto, para el aislamiento de las plantas inferiores. Esta actuación afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio, pero no puede considerarse una innovación para la época,

⁴⁶⁶ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 88.

puesto que ya se habían empleado anteriormente los tabiques de ladrillo en los bajo cubierta de los edificios, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

4. Protección de la radiación solar:

Las persianas enrollables mecanizadas incorporaban un ingenioso sistema de proyección de los faldones hacia el exterior y doble persiana con doble tambor, para multiplicar las posibilidades de control solar: *“Gaudí propone no solamente la proyección de los faldones dividiendo la guía para que pueda realizarse el movimiento de compás por encima de la barandilla sino que dobla la persiana: el hueco dispone de dos persianas independientes, cada una con sus sistemas de cinta y bombo, un faldón cubre la parte superior de la balconera siguiendo la composición del despiece de la carpintería de la ventana y el otro cubre la parte inferior. Esta solución de faldón fragmentado permite multiplicar las posibilidades de control sin complejidad añadida”*⁴⁶⁷.

-El sistema tiene capacidad de ajuste por parte de los usuarios.

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 33% de la superficie habitable del edificio.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1, 2 y 4.

-No cumplimiento: medida 3.

Tabla 149. Valoración del criterio E-06
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las cuatro medidas = 5
VALORACIÓN	3,75

⁴⁶⁷ Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 9.

Criterio F-02. Acceso universal

El objetivo de este criterio es evaluar la accesibilidad del edificio a personas con limitaciones de movilidad, eliminando las posibles barreras arquitectónicas⁴⁶⁸.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se considera como mejor práctica el cumplimiento de las siguientes medidas:

1. La existencia de ascensor con acceso a todas las viviendas del edificio.
2. La no existencia de escalones en accesos o portales de entrada.

Tabla 150. Valores de referencia del criterio F-02
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No cumplimiento de ninguna medida
Mejor práctica	Cumplimiento de las dos medidas

En la Casa Milá, todas las viviendas están comunicadas por ascensor, y no existen escalones en los accesos o portales de entrada; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

Tabla 151. Valoración del criterio F-02
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No cumplimiento de ninguna medida = 0
Valor máximo	Cumplimiento de las dos medidas = 5
VALORACIÓN	5,00

⁴⁶⁸ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, pp. 279-280.

Criterio F-03. Derecho al sol

El objetivo de este criterio es evaluar la radiación solar directa, a través de los huecos de fachada de las estancias principales de la vivienda, durante las horas centrales del día, para facilitar el calentamiento de las estancias en invierno, y potenciar la iluminación natural⁴⁶⁹.

Para evaluar este criterio, el método VERDE calcula el porcentaje de viviendas cuyas estancias principales (salón y dormitorio principal) tienen el 22 de diciembre, un soleamiento mínimo de 120 minutos, entre las 11:00 y las 16:00 horas. Considerando como práctica habitual que el 30% de las viviendas cumplen estos requisitos, y como mejor práctica que los cumplen el 100% de las mismas⁴⁷⁰. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, se utilizan los mismos valores de cálculo, de forma que, al menos, un salón y un dormitorio cumplan dichas condiciones.

Tabla 152. Valores de referencia del criterio F-03
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	30%
Mejor práctica	100%

En la Casa Milá, todas las viviendas tienen el salón, el comedor, una salita y una habitación situados en la fachada exterior, con orientaciones sur, sur-este y sur-oeste⁴⁷¹, por lo que la totalidad de las viviendas cumplen los requisitos de soleamiento mínimo indicados; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 153. Valoración del criterio F-03
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	30% = 0
Valor máximo	100% = 5

⁴⁶⁹ Ibídem, p. 283.

⁴⁷⁰ Ibídem, p. 284.

⁴⁷¹ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, pp. 76 y 78.

VALORACIÓN	5,00
-------------------	-------------

Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados

El objetivo de este criterio es evaluar la existencia de espacios abiertos privados —terrazas, balcones o patios— como mejora de las condiciones de habitabilidad del edificio⁴⁷².

Para evaluar este criterio, el método VERDE considera como práctica habitual que el 25% de las viviendas disponen de espacios abiertos privados, de al menos 0,5 x 1 m, y como mejor práctica que disponen de ellos el 100% de las viviendas⁴⁷³. En la metodología para la evaluación de edificios históricos, utilizaremos los mismos valores de cálculo que el método VERDE.

Tabla 154. Valores de referencia del criterio F-04
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	25%
Mejor práctica	100%

En la Casa Milá, todas las viviendas disponen de balcones en las fachadas exteriores —del paseo de Gracia o la calle Provenza— de más de 0,5 x 1 m⁴⁷⁴; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 155. Valoración del criterio F-04
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	25% = 0
Valor máximo	100% = 5
VALORACIÓN	5,00

⁴⁷² Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

⁴⁷³ *Ibidem*, p. 288.

⁴⁷⁴ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 78

Criterio F-09. Coste de uso

El objetivo de este criterio es evaluar la reducción en los costes de explotación del edificio, a partir de los gastos más fácilmente cuantificables, como los consumos de agua, gas o electricidad⁴⁷⁵.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, la reducción del coste de explotación se cuantifica a partir de la reducción del consumo de energía, mediante el empleo de medidas pasivas de diseño (conforme al criterio B-03).

Se considera como práctica habitual la no utilización de ninguna medida pasiva de diseño, conforme a las condiciones del criterio B-03, y como mejor práctica la utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño de dicho criterio.

Las condiciones del criterio B-03, para las medidas pasivas de diseño son:

- Ser una innovación, con respecto a las medidas pasivas de diseño habituales de la época.
- Afectar, al menos, al 50% de la superficie habitable del edificio.

Los tipos de medidas del criterio B-03:

- Medidas pasivas para la mejora de la iluminación natural.
- Medidas pasivas para la mejora de la ventilación natural.
- Medidas pasivas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento.

Tabla 156. Valores de referencia del criterio F-09
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño conforme al criterio B-03
Mejor práctica	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03

⁴⁷⁵ Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas*, V. 1.c, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 301.

Al igual que en el criterio B-03, las medidas pasivas para el ahorro de energía, que vamos a considerar en la Casa Milá, son las siguientes:

1. Medidas para la mejora de la iluminación natural.

La fachada no es muro de carga, sino muro de cerramiento (no estructural) en el que se pueden abrir grandes ventanales para la mejora de la iluminación natural:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

2. Medidas para la mejora de la ventilación natural.

La posibilidad de apertura de grandes ventanales también mejora la ventilación natural del edificio:

-Es una gran innovación para la época.

-Afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio.

3. Medidas para la mejora del acondicionamiento climático por calentamiento y enfriamiento.

El desván está diseñado con un sistema de pequeñas ventanas —en dos niveles de altura y dotadas de viseras solares— para la regulación térmica de las plantas. Esta actuación puede considerarse una innovación para la época, pero no afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio, por lo que no va a tenerse en cuenta en la valoración.

Por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1 y 2.

-No cumplimiento: medida 3.

Tabla 157. Valoración del criterio F-09
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	No utilización de ninguna medida pasiva de diseño conforme al criterio B-03 = 0
Valor máximo	Utilización de los tres tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03 = 5

VALORACIÓN	Utilización de dos tipos de medidas pasivas de diseño conforme al criterio B-03 = 3,33
-------------------	---

Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación

El objetivo de este criterio es evaluar el empleo de las buenas prácticas de diseño y construcción de edificios, como herramienta de concienciación social y educación, en los valores de la sostenibilidad⁴⁷⁶.

En la metodología para la evaluación de edificios históricos, al igual que en el método VERDE, se considera como práctica habitual la no difusión de los valores de sostenibilidad del edificio, y como mejor práctica el empleo de alguna medida de difusión.

Tabla 158. Valores de referencia del criterio H-06
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	Ninguna medida de difusión
Mejor práctica	Alguna medida de difusión

En la Casa Milá, como en la mayoría de las obras de Gaudí, han sido ampliamente estudiados y promocionados los valores bioclimáticos, medioambientales, constructivos y otros muchos relacionados con la sostenibilidad, a través de múltiples publicaciones, congresos, exposiciones y otros medios de difusión; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

Tabla 159. Valoración del criterio H-06
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	Ninguna medida de difusión = 0
Valor máximo	Alguna medida de difusión = 5
VALORACIÓN	5,00

⁴⁷⁶ Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (Diez, R., Huerta, D., Rivas, P.) 2014, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento, V 1.0*, Green Building Council España (GBCe), Madrid, p. 287.

Criterio I-01. Innovación en el diseño

El objetivo de este criterio es evaluar la eficiencia innovadora del diseño, en aspectos no regulados específicamente en los criterios anteriores.

La metodología para la evaluación de edificios históricos —al igual que el método VERDE— considera como práctica habitual el no cumplimiento de ninguna de las siguientes medidas⁴⁷⁷:

1. Que la innovación suponga un beneficio medioambiental, social o económico, con respecto a las prácticas de diseño y construcción habituales.
2. Que la innovación sea aplicable a todo el edificio.
3. Que la innovación pueda ser aplicable a otros proyectos.

Y como mejor práctica el cumplimiento de las tres.

Tabla 160. Valores de referencia del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

MARCO DE COMPARACIÓN	
Práctica habitual	0%
Mejor práctica	60% (20% cada medida cumplida)

En la Casa Milá, la innovadora estructura metálica a base de jácenas y pilares consigue eliminar los muros de carga de la distribución interior, y así crear un espacio diáfano, o planta libre, de gran versatilidad, adelantándose a los planteamientos de Mies Van der Rohe o Le Corbusier⁴⁷⁸. Excepto la planta principal —que era la vivienda de la familia Milá, propietarios del inmueble— las demás plantas estaban destinadas a pisos de alquiler, y su distribución debía adaptarse a las necesidades de los inquilinos.

La eliminación de los muros de carga en la distribución es una innovación que supone un beneficio medioambiental, social y económico, con respecto a las prácticas de diseño y construcción habituales de la época. Además, es una innovación aplicable a todo el

⁴⁷⁷ *Ibíd.*, p. 291.

⁴⁷⁸ Vila Rodríguez, R. 1990, "El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 56.

edificio, y que puede aplicarse a otros proyectos; por tanto, la valoración de este criterio es la siguiente:

-Cumplimiento: medidas 1, 2 y 3.

Tabla 161. Valoración del criterio I-01
Fuente: elaboración propia

EVALUACIÓN ABSOLUTA	
Valor referencia	0% = 0
Valor máximo	60% = 5
VALORACIÓN	5,00

5.3.2.1. Evaluación absoluta

La valoración final absoluta de la Casa Milá, mediante el empleo de la metodología para la evaluación de edificios históricos, se obtiene haciendo el promedio de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio.

Las valoraciones absolutas de cada criterio para la Casa Milá, son las siguientes:

Tabla 162. Valoración absoluta de la Casa Milá
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	VALORACIÓN ABSOLUTA
Criterio I 0. Optimización de la vida útil de la estructura	5,00
Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos	5,00
Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción	5,00
Criterio B-02. Energía no renovable en el transporte de los materiales de construcción	1,50
Criterio B-03. Consumo de energía no renovable durante el uso del edificio	3,33
Criterio C-08. Reutilización de materiales	5,00
Criterio C-10. Uso de materiales reciclados	5,00
Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía	5,00
Criterio C-21. Contribución de la estructura a la sostenibilidad	5,00
Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural	5,00
Criterio D-12. Confort termo-higrométrico	3,75
Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria	5,00
Criterio E-01. Eficiencia de los espacios	5,00

Criterio E-06. Capacidad de control local de los sistemas de HVAC	3,75
Criterio F-02. Acceso universal	5,00
Criterio F-03. Derecho al sol	5,00
Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados	5,00
Criterio F-09. Coste de uso	3,33
Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación	5,00
Criterio I-01. Innovación en el diseño	5,00
VALORACIÓN FINAL ABSOLUTA (promedio)	4,53

La valoración final absoluta es un valor adimensional, de intervalo 0 a 5, que en el método VERDE es expresado gráficamente de la siguiente forma:

Figura 62. Valoración del método VERDE de evaluación de la sostenibilidad
Fuente: Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

Por lo tanto, la valoración final absoluta de la Casa Milá, expresada según el método VERDE de evaluación de la sostenibilidad, sería equivalente a la calificación global de “5 HOJAS VERDE”, que es la máxima calificación de la certificación GBCe (Green Building Council España).

5.3.2.2. Evaluación ponderada

La valoración final ponderada de la Casa Milá, mediante el empleo de la metodología para la evaluación de edificios históricos —al igual que en la Casa Batlló— se obtiene haciendo la media ponderada de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio. De esta forma, la evaluación absoluta se convierte en una evaluación relativa o ponderada, en función del peso relativo de los impactos y de las fases del ciclo de vida asociados a cada criterio.

Tal y como se decía anteriormente, el peso relativo de los diferentes impactos es el siguiente:

Tabla 163. Peso relativo de los impactos evaluados

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

IMPACTOS	PESO RELATIVO
1 Cambio climático	27%
2 Aumento de las radiaciones UV a nivel del suelo	0%
3 Pérdida de fertilidad	5%
4 Pérdida de vida acuática	6%
5 Emisión de compuestos foto-oxidantes	8%
6 Cambios en la biodiversidad	4%
7 Agotamiento de energía no renovable	8%
8 Agotamiento de recursos no renovables	9%
9 Agotamiento de agua potable	10%
11 Generación de residuos no peligrosos	6%
16 Pérdida de salud y confort para los usuarios	12%
19 Riesgo para los inversores	5%

Y el peso relativo de las diferentes fases del ciclo de vida de un edificio es el siguiente:

Tabla 164. Peso relativo de las fases del ciclo de vida de un edificio

Fuente: adaptado a partir de Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (2013)

CODIGO		FASE
A 1	Producción materiales (25%)	Suministro de materias primas
A 2		Transporte
A 3		Fabricación
A 4	Transporte (5%)	Transporte a obra
A 5	Construcción (5%)	Proceso de construcción instalación
B 1	Uso (60%)	Uso
B 2		Mantenimiento
B 3		Reparación
B 4		Sustitución
B 5		Rehabilitación
B 6		Uso de energía en servicio

B 7		Uso de agua en servicio
C 1	Fin de vida (5%)	Uso de agua en servicio
C 2		Deconstrucción y demolición
C 3		Transporte
C 4		Tratamiento de residuos
C 5		Vertido

Por lo tanto, cada criterio tendrá un peso relativo, en función de los impactos y las fases del ciclo de vida asociados al mismo:

Tabla 165. Impactos y fases del ciclo de vida asociados a cada criterio
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	IMPACTOS																			FASES CICLO VIDA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Criterio I 0																				B-1 a B-7
Criterio A-14																				B-1 a B-7
Criterio B-01																				A-1 a A-3
Criterio B-02																				A-4
Criterio B-03																				B-1 a B-7
Criterio C-08																				A-5
Criterio C-10																				A-5
Criterio C-20																				A-5
Criterio C-21																				A-5
Criterio D-11																				B-1 a B-7
Criterio D-12																				B-1 a B-7
Criterio D-14																				B-1 a B-7
Criterio E-01																				A-5
Criterio E-06																				B-1 a B-7
Criterio F-02																				B-1 a B-7
Criterio F-03																				B-1 a B-7
Criterio F-04																				B-1 a B-7
Criterio F-09																				B-1 a B-7
Criterio H-06																				B-1 a B-7
Criterio I-01																				A-5, B-1 a B-7, C-1 a C-5

Tabla 166. Peso relativo de los criterios

Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	PESO RELATIVO I	PESO RELATIVO FCV	PROMEDIO I - FCV	PESO RELATIVO CRITERIOS
Criterio I 0	74%	60%	67,0%	10,10%
Criterio A-14	6%	60%	33,0%	4,97%
Criterio B-01	8%	25%	16,5%	2,49%
Criterio B-02	53%	5%	29,0%	4,37%
Criterio B-03	48%	60%	54,0%	8,14%
Criterio C-08	27%	5%	16,0%	2,41%
Criterio C-10	27%	5%	16,0%	2,41%
Criterio C-20	55%	5%	30,0%	4,52%
Criterio C-21	68%	5%	36,5%	5,50%
Criterio D-11	5%	60%	32,5%	4,90%
Criterio D-12	17%	60%	38,5%	5,80%
Criterio D-14	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio E-01	5%	5%	5,0%	0,75%
Criterio E-06	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-02	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-03	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-04	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio F-09	5%	60%	32,5%	4,90%
Criterio H-06	12%	60%	36,0%	5,43%
Criterio I-01	12%	70%	41,0%	6,18%
			TOTAL	100,00%

Una vez obtenido el peso relativo de cada criterio —al igual que en la Casa Batlló—, la valoración final ponderada se obtiene haciendo la media ponderada de las valoraciones absolutas obtenidas en cada criterio, mediante la fórmula:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}$$

Donde:

$$x = \text{Media ponderada}$$

x_i = Valoración absoluta de cada criterio

p_i = Peso relativo de cada criterio

n = nº de criterios

En la siguiente tabla, se calcula la valoración final ponderada de la Casa Milá:

Tabla 167. Valoración ponderada de la Casa Milá
Fuente: elaboración propia

CRITERIOS	VALORACIÓN ABSOLUTA (x_i)	PESO RELATIVO (p_i)	(x_i) (p_i)
Criterio I 0	5,00	10,10%	50,50%
Criterio A-14	5,00	4,97%	24,85%
Criterio B-01	5,00	2,49%	12,45%
Criterio B-02	1,50	4,37%	6,56%
Criterio B-03	3,33	8,14%	27,13%
Criterio C-08	5,00	2,41%	12,05%
Criterio C-10	5,00	2,41%	12,05%
Criterio C-20	5,00	4,52%	22,60%
Criterio C-21	5,00	5,50%	27,50%
Criterio D-11	5,00	4,90%	24,50%
Criterio D-12	3,75	5,80%	21,75%
Criterio D-14	5,00	5,43%	27,15%
Criterio E-01	5,00	0,75%	3,75%
Criterio E-06	3,75	5,43%	20,36%
Criterio F-02	5,00	5,43%	27,15%
Criterio F-03	5,00	5,43%	27,15%
Criterio F-04	5,00	5,43%	27,15%
Criterio F-09	3,33	4,90%	16,33%
Criterio H-06	5,00	5,43%	27,15%
Criterio I-01	5,00	6,18%	30,90%
$\Sigma (p_i)$		100,00	
$\Sigma (x_i) (p_i)$			449,03
VALORACIÓN FINAL PONDERADA = $\Sigma (x_i) (p_i) / \Sigma (p_i)$			4,4903

Por lo tanto, la valoración final ponderada de la Casa Milá, expresada según el método VERDE de evaluación de la sostenibilidad, sería equivalente a la calificación global de “4 HOJAS VERDE”.

Capítulo 6

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. La Casa Batlló

Los resultados obtenidos en la evaluación de la Casa Batlló, y las altas puntuaciones de la mayoría de los criterios, ponen de manifiesto el valor del edificio, pese a tratarse de la reforma de un edificio existente.

Obtienen altas valoraciones los siguientes criterios:

- Criterio A-14. Estrategias para la clasificación y el reciclaje de residuos sólidos urbanos.
- Criterio B-01. Uso de energía no renovable en los materiales de construcción.
- Criterio C-10. Uso de materiales reciclados.
- Criterio D-11. Eficiencia de la ventilación en áreas con ventilación natural.
- Criterio F-03. Derecho al sol.
- Criterio F-04. Acceso a espacios abiertos privados.
- Criterio H-06. El edificio como una herramienta para la educación.

Esto pone de manifiesto que algunas de las soluciones empleadas por Gaudí son un gran avance, teniendo en cuenta los sistemas de construcción habitualmente empleados en la época. Por ejemplo:

- La existencia de cuartos trasteros independientes para cada vivienda, donde poder almacenar temporalmente residuos sólidos no peligrosos, como cartones, papeles, vidrios, muebles o enseres (criterio A-14).
- La utilización de fragmentos de cerámica y vidrio, como material reciclado en el revestimiento de la fachada, en una unidad de obra de más de 180 m² (criterios B-01 y C-10).
- La existencia de un sistema de control de la ventilación cruzada, mediante palancas de regulación del caudal de entrada y salida del aire en puertas y ventanas, que afecta a más del 75% de las viviendas (criterio D-11).
- La configuración de las viviendas, de forma que las estancias principales reciben radiación solar directa, durante las horas centrales del día (criterio F-03).

En algunos casos, las soluciones aportadas por Gaudí en el edificio son buenas, pero no mejoran los sistemas de construcción habitualmente empleados en la época, como por ejemplo, en los siguientes criterios:

-Criterio C-08. Reutilización de materiales.

-Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria.

En el caso de la reutilización de materiales (criterio C-08), es muy probable que Gaudí reutilizara materiales procedentes de la demolición del viejo edificio —tales como piedra o ladrillo, algo que hacía habitualmente— pero, al no haberse encontrado documentación o bibliografía que lo refleje, no puede valorarse este concepto.

En el caso de la iluminación natural en los espacios de ocupación primaria (criterio D-14), el aumento de los huecos de fachada, para mejorar la iluminación natural, afecta a más del 50% de la superficie habitable del edificio, pero es una actuación que no puede considerarse una gran innovación para la época. Por el contrario, la tribuna de piedra de la fachada principal si es innovadora, por su concepción y optimización mecánica, pero no afecta al 50% de la superficie habitable del edificio; por tanto, ninguna de estas dos actuaciones puede considerarse que mejora la iluminación natural del edificio, con respecto a los edificios de la época.

No se debe olvidar que la Casa Batlló no es un edificio de nueva planta, y por tanto, está muy condicionado —entre otras cosas— por el sistema estructural del edificio original, a base de grandes muros de carga.

6.2. La Casa Milá

Los resultados obtenidos en la evaluación de la Casa Milá son sorprendentes por las altas puntuaciones conseguidas; no obstante, hay que tener en cuenta que es un edificio de nueva planta —al contrario que la casa Batlló— en el que Gaudí pone en práctica todos los conocimientos y la experiencia acumulados durante su dilatada carrera. Tal como se decía anteriormente, la Casa Milá representa la culminación de su arquitectura civil (en su madurez profesional). Posteriormente, Gaudí se dedicó —ya por entero— a la construcción del Templo de la Sagrada Familia.

Por ello, la Casa Milá es un edificio de concepción moderna, que se parece muy poco a los edificios residenciales de la época, ni tan siquiera a los mejores edificios de los más afamados arquitectos del momento.

A parte de las altas puntuaciones obtenidas en los criterios en los que la Casa Batlló también las obtenía, se pueden destacar los siguientes criterios:

- Criterio I 0. Optimización de la vida útil de la estructura.
- Criterio C-08. Reutilización de materiales.
- Criterio C-20. Impactos de los materiales de construcción distintos del consumo de energía.
- Criterio C-21. Contribución de la estructura a la sostenibilidad.
- Criterio D-14. Iluminación natural en los espacios de ocupación primaria.
- Criterio E-01. Eficiencia de los espacios.
- Criterio F-02. Acceso universal.
- Criterio I-01. Innovación en el diseño.

La innovadora estructura metálica del edificio, a base de jácenas y pilares metálicos (criterio I 0), tiene enormes ventajas con respecto a los muros de carga —habitualmente empleados en la época— con sus limitaciones de estabilidad, funcionalidad y vida útil.

Este innovador sistema de jácenas y pilares, así como la estructura metálica del sótano, con vigas radiales en forma de rueda de bicicleta (criterio C-21) consiguen una gran optimización del diseño estructural —respecto a los edificios convencionales de muros de carga— por tanto, se puede decir que este sistema, de gran eficiencia estructural,

suponen un gran ahorro en los kg o m³ de materiales empleados, y contribuye —de forma eficaz— a la sostenibilidad del edificio.

Además, la estructura metálica del edificio también consigue:

- La apertura de ventanas mucho mayores, que mejoran notablemente la iluminación en más del 50% de la superficie habitable del edificio (criterio D-14).
- Un ahorro de espacio en los muros de fachada y de distribución interior (criterio E-01) de más del 20% de la superficie SECE (Superficie de Elementos Constructivos y Estructurales del edificio), lo que supone un importante aumento de la superficie útil del edificio.

Figura 63. Eficiencia espacial de la Casa Milà

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Casa_Mil%C3%A0#/media/File:Mil%C3%A0_planta_3.jpg

A nivel de confort del usuario (sostenibilidad social), es muy significativo que a comienzos del siglo XX se construyera un edificio totalmente accesible (criterio F-02), en el que todas las viviendas están comunicadas por ascensor, y además, no hay ningún escalón en los accesos o portales de entrada. Esto es algo impensable a comienzos de siglo XX, y muy poco común en los años posteriores; hay que avanzar casi un siglo —hasta finales del siglo XX o comienzos del XXI— para que la accesibilidad sea un valor reconocido y habitualmente empleado.

En algunos casos —al igual que en la Casa Batlló— las soluciones aportadas por Gaudí en el edificio son buenas, pero no mejoran los sistemas constructivos habitualmente

empleados en la época, por lo que las puntuaciones obtenidas son más bajas; tal es el caso del criterio B-02 (energía no renovable en el transporte de materiales). En este caso, aunque la mayoría de los materiales empleados son de producción local —incluida la piedra del Garraf, cuyas canteras están situadas a 30 km de Barcelona—, en la parte superior de la fachada, Gaudí empleó un gran volumen de piedra de Villafranca del Panadés, localidad situada a 60 km de distancia⁴⁷⁹; y en la época de Gaudí —teniendo en cuenta las dificultades del transporte de materiales de la época— no puede considerarse producción local la situada a 60 km de distancia.

⁴⁷⁹ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 514.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones de la evaluación de la sostenibilidad de la Casa Batlló y de la Casa Milá

En el capítulo 5, se desarrolla una metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, basada en el método VERDE del GBCe (Green Building Council España), y posteriormente se evalúan con ella la Casa Batlló y la Casa Milá.

La metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos es una herramienta fiable que analiza sistemáticamente un elevado número de indicadores, y por tanto, las puntuaciones obtenidas son muy reveladoras del grado de sostenibilidad de un edificio, en el marco de comparación de la arquitectura de su época.

El exhaustivo análisis realizado en la Casa Batlló y en la Casa Milá pone de manifiesto las cualidades de ambos edificios en criterios de análisis de la sostenibilidad como:

- La vida útil del edificio y la contribución de la estructura a la sostenibilidad.
- El empleo de energía no renovable, tanto en la construcción como en el uso del edificio.
- La reutilización y reciclaje de materiales.
- El soleamiento y la eficiencia de la ventilación e iluminación natural.
- La eficiencia de los espacios.
- El confort higrotérmico.
- El acceso universal y el acceso a espacios abiertos privados.
- El coste de uso.
- Innovaciones y medidas de difusión de las buenas prácticas de diseño y construcción de edificios.

Las altas puntuaciones obtenidas en la evaluación de la Casa Batlló y de la Casa Milá demuestran que ambos edificios son un extraordinario modelo de sostenibilidad para la arquitectura de la época, aportando ingeniosas soluciones, y abriendo camino a muchos de los nuevos conceptos de sostenibilidad en la arquitectura, que van a desarrollarse a lo largo del siglo XX.

La evaluación de la sostenibilidad, en esta tesis doctoral, se ha centrado en las Casas Batlló y Milá, como ejemplos significativos de arquitectura residencial; no obstante,

podrían haberse evaluado otros edificios representativos de Gaudí, obteniendo igualmente altas valoraciones, puesto que en todos ellos —incluso en sus primeras obras, como El Capricho— están materializadas muchas de las motivaciones sociales, económicas y medioambientales de Gaudí. Baste recordar que El Capricho —en la fría y húmeda villa de Comillas— es una vivienda en forma de “U”, que rodea un invernadero orientado hacia el sur para captar la energía térmica producida por el “efecto invernadero”⁴⁸⁰; es decir, una arquitectura heliotrópica⁴⁸¹ —diseñada en función del sol— como los girasoles de los azulejos que decoran el edificio.

⁴⁸⁰ Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 28.

⁴⁸¹ Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander, p. 74.

7.2. Conclusiones del estudio bibliográfico de la sostenibilidad en la arquitectura de Gaudí

Independientemente de la evaluación de la Casa Batlló y la Casa Milá, con la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos, también se ha estudiado y documentado bibliográficamente —a lo largo del capítulo 4— la sostenibilidad de la arquitectura de Gaudí en otras de sus obras más significativas, como son:

- El Capricho.
- El Palacio Güell.
- El Palacio Episcopal.
- La Casa Botines.
- La Casa Calvet.
- La Cripta de la Colonia Güell.
- La Torre Bellesguard.
- El Parque Güell.
- La Catedral de Mallorca.
- El Templo de la Sagrada Familia.
- Las Escuelas de la Sagrada Familia.

En estas obras se han analizado, y documentado bibliográficamente, los objetivos de los tres ámbitos de la sostenibilidad, que pueden considerarse como objetivos fundamentales de la sostenibilidad en la arquitectura, que son:

1. En el ámbito económico⁴⁸²:

- La reducción de costes de producción y transporte de materiales de construcción.
- La reducción de costes de construcción del edificio.

⁴⁸² En el mundo anglosajón se conoce como "Building Economics".

- La reducción de consumos de agua y energía.
- La reducción de costes de mantenimiento y reparación del edificio.

2. En el ámbito medioambiental:

- La eficiencia energética.
 - Estrategias pasivas de acondicionamiento climático (diseño bioclimático)⁴⁸³.
 - Sistemas activos de acondicionamiento climático (soluciones tecnológicas)⁴⁸⁴.
- El empleo de fuentes de energía renovable y no contaminante⁴⁸⁵.
- El reciclaje y reutilización de residuos.
- La protección y aprovechamiento de los recursos naturales.
- La protección del entorno natural, la calidad del aire y el agua, los ecosistemas, la biodiversidad y el paisaje.

3. En el ámbito social:

- El confort del usuario (acondicionamiento ambiental, accesibilidad...)⁴⁸⁶.
- La seguridad y salud del usuario.
- La protección del patrimonio histórico, artístico y cultural⁴⁸⁷.

Como consecuencia de este análisis se ha comprobado que, efectivamente, en todas las obras señaladas anteriormente, Gaudí empleó ingeniosos sistemas con el objetivo de mejorar las prestaciones de los edificios. Estas prestaciones —que Gaudí se esforzaba en mejorar— coinciden con gran parte de los objetivos fundamentales de la sostenibilidad en la arquitectura de hoy en día.

⁴⁸³ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1986, *Acondicionamiento y energía solar en arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

⁴⁸⁴ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1996, *Las técnicas de acondicionamiento ambiental: sistemas de acondicionamiento y arquitectura*, ETS de Arquitectura, Madrid.

⁴⁸⁵ Bedoya Frutos, C., Carril García, A., Cembranos Díaz, L., Macías Miranda, M. & Neila González, F.J. 1982, *Las energías alternativas en la arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

⁴⁸⁶ Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1991, *Técnicas de acondicionamiento*, ETS de Arquitectura, Madrid.

⁴⁸⁷ Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid, 143.

El análisis, mencionado anteriormente, se desarrolla en el capítulo 4 con ejemplos concretos —documentados con citas bibliográficas y fotografías— de los diferentes sistemas de mejora de las prestaciones de los edificios desarrollados por Gaudí, en correspondencia con los objetivos fundamentales de la sostenibilidad en la arquitectura, obteniendo las siguientes conclusiones:

1. En el ámbito económico:

1.1. Reducción de costes de producción y transporte de materiales de construcción.

Gaudí, habitualmente, empleaba materiales de construcción del entorno próximo —como la piedra, el ladrillo o la madera— con el objeto de abaratar los costes, y también materiales de desecho como azulejos y cristales rotos, restos de botellas de vidrio y vajillas de porcelana, chatarra de desguace, o tablones y flejes metálicos de los embalajes.

1.2. Reducción de costes de construcción del edificio.

Gaudí, habitualmente, empleaba materiales económicos —como el ladrillo o los azulejos— con técnicas constructivas de la arquitectura popular —que abarataban los costes de la mano de obra— e incluso elementos prefabricados en serie, para abaratar los costes y mejorar la calidad. También reducía los costes de construcción mediante la optimización mecánica de los diseños estructurales —o eficiencia estructural— con innovaciones como los arcos parabólicos o las superficies regladas, de sencilla construcción, a base de regla y cordel, para los albañiles catalanes de la época.

1.3. Reducción de consumos de agua y energía.

En la mayoría de sus edificios, Gaudí ideó ingeniosos sistemas bioclimáticos y de mejora del aprovechamiento de los recursos naturales. En el Parque Güell, por ejemplo, *“concibió un ingenioso sistema de drenaje con el fin de aprovechar, para riego, la lluvia que caía sobre la gran plaza”*⁴⁸⁸.

⁴⁸⁸ Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona, p. 76.

2. En el ámbito medioambiental:

2.1. Eficiencia energética.

Gaudí optimiza la eficiencia energética de sus edificios, mediante ingeniosas estrategias pasivas de acondicionamiento, estudiando minuciosamente la luz natural, la ventilación natural y las condiciones del ambiente interior, en función de la climatología de la zona, la orientación del edificio y los usos de cada estancia. También estudia el sombreado y el soleamiento de las diferentes partes del edificio, y los vientos dominantes.

2.2. Reciclaje y reutilización de residuos.

Gaudí fue pionero en la reutilización y reciclaje de residuos de construcción procedentes de desecho o demolición. Es muy conocido su famoso “trencadís”, en el que empleaba trozos de vidrio o azulejo procedentes “*mayoritariamente de depósitos sobrantes y defectuosos de fábricas de cerámica*”⁴⁸⁹. En otros casos, como en el Parque Güell, los albañiles tenían orden de recoger todas las botellas, platos o tazas, que encontraran en la basura, camino de sus casas, y entregárselos a Jujol para la confección de los mosaicos⁴⁹⁰.

2.3. Protección de los recursos naturales, el entorno natural, los ecosistemas, la biodiversidad y el paisaje.

La admiración de Gaudí por la naturaleza iba acompañada por una constante preocupación por la protección y conservación de la misma. Detrás de la mirada de Gaudí hacia la naturaleza “*late un gran respeto por el entorno, y por el medio ambiente, hasta el punto de poder calificarlo como el primer arquitecto ecologista, cuando esta palabra ni existía*”⁴⁹¹.

⁴⁸⁹ Aguado Martínez, M.L., Ribas Seix, A. & Hosta Calderer, C. 2002, “La restauración de los pabellones de entrada del Park Güell”, *Informes de la construcción*, vol. 54, no. 481/482 septiembre-octubre/noviembre-diciembre, p. 26.

⁴⁹⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, p. 415.

⁴⁹¹ Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid, p. 86.

3. En el ámbito social:

3.1. Confort del usuario, salubridad y bienestar social.

A Gaudí le preocupaba mucho el bienestar de los usuarios, y por ello, estudiaba con detenimiento hasta los más pequeños detalles de confort, salubridad, ergonomía, acústica o accesibilidad. Para Gaudí *“la salubridad del espacio interior y el confort, derivó en ingeniosas soluciones”*⁴⁹².

Estas conclusiones —desarrolladas en el capítulo 4— demuestran que Gaudí, en la mayoría de sus obras, aporta ingeniosas soluciones y abre camino, en muchos de los nuevos conceptos de sostenibilidad en la arquitectura que van a desarrollarse a lo largo del siglo XX.

⁴⁹² Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre, p. 6.

7.3. Conclusiones generales

La evaluación de la sostenibilidad de la Casa Batlló y la Casa Milá —desarrollada en el capítulo 5— junto con el estudio de la sostenibilidad en el resto de sus obras más significativas —desarrollado en el capítulo 4— demuestran que la arquitectura de Gaudí es un extraordinario ejemplo de sostenibilidad para la arquitectura de su época, y que Gaudí fue, realmente, un precursor de la sostenibilidad en la arquitectura.

Esto es algo que, hasta ahora, no ha sido analizado ni estudiado en profundidad. Se ha valorado mucho su talento artístico y creativo, la innovación de su estilo arquitectónico naturalista —con sorprendentes formas y colores— sus interesantes innovaciones técnicas y constructivas, e incluso las cualidades higienistas o bioclimáticas de su arquitectura, pero aún no había sido estudiado en profundidad su papel como precursor de la sostenibilidad en la arquitectura.

Es un hecho reconocido que la obra de Gaudí “fue decisiva en la renovación formal de la arquitectura europea del siglo XIX”⁴⁹³, pero su renovación formal no es solamente estética o estilística, sino también tecnológica, hundiendo sus raíces en múltiples motivaciones sociales, económicas y medioambientales, precursoras de la ecología y la sostenibilidad modernas.

Es muy lógico que los valores estéticos o estilísticos de la arquitectura de Gaudí hayan sido los primeros en reconocerse, por ser los más aparentes y fácilmente reconocibles. También es lógico que sus valores tecnológicos hayan tardado más tiempo en ser reconocidos, puesto que requieren más estudio y profundización. Ahora es el momento de profundizar, todavía más, hasta llegar a los nuevos valores de la arquitectura del siglo XXI, intrínsecamente unidos a los valores de la sostenibilidad en la arquitectura.

⁴⁹³ González Moreno-Navarro, A. 1990, "Gaudí, constructor (la materialización de una arquitectura singular)", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto, p. 5.

7.3.1. Valores intrínsecos de la sostenibilidad

La sostenibilidad es hoy en día un valor fundamental de la arquitectura del siglo XXI; sin embargo, Gaudí nos enseña que es más que eso; en realidad, la sostenibilidad es un valor que aúna al resto de los valores —estéticos, tecnológicos y medioambientales— al servicio del bien común, puesto que en la arquitectura de Gaudí se ve claramente que la belleza de sus obras es la manifestación externa de una arquitectura cuya tecnología está al servicio de las personas, y del respeto a la naturaleza. **En la arquitectura de Gaudí se funden indisolublemente los valores éticos, estéticos, tecnológicos y medioambientales.**

Es lógico que en la arquitectura de Gaudí se fundan estos valores, puesto que así sucedía también en su propia vida. Gaudí era una persona muy cultivada y polifacética —aficionado a la literatura clásica, al teatro de Shakespeare o a las obras del siglo de oro castellano— y gran estudioso de múltiples ciencias, como la geometría descriptiva, las matemáticas, la navegación marítima, la biología o la medicina⁴⁹⁴. Se podría decir que tenía una visión del mundo esencialmente filosófica⁴⁹⁵, pues fue un hombre que *“reflexionó profundamente sobre los problemas del arte y de la vida”*⁴⁹⁶.

⁴⁹⁴ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 26.

⁴⁹⁵ Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, p. 29.

⁴⁹⁶ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 29.

7.3.2. Diseño bioclimático y arquitectura sostenible

Se puede decir que existen dos grandes fuerzas creadoras que son: la naturaleza y la mano del hombre. La naturaleza tiene unas leyes, a las que inexorablemente nos vemos sometidos; y el hombre, en su trabajo, puede intentar respetarlas —apoyándose en ellas— o ir contracorriente, de forma caprichosa u oportunista⁴⁹⁷. No se trata de limitar la capacidad creativa del hombre, sino de hacer converger ambas fuerzas creadoras, para evitar el conflicto entre ellas.

La arquitectura —como gran fuerza creadora del hombre, y enormemente transformadora del entorno— converge con la fuerza creadora de la naturaleza, cuando es capaz de aprovechar los recursos naturales de que dispone, adaptando el diseño de los edificios a las condiciones climáticas del entorno, y empleado el mayor número posible de estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental. Por ese motivo, Gaudí decía que:

*“La construcción, como la justicia, resuelve siempre cada caso concreto; de modo que no pueden hacerse tipos que sirvan para varios sitios”*⁴⁹⁸.

Uno de los principales *“problemas que se presentan con la nueva ola de edificios sostenibles, es que se incluyen soluciones y tecnologías proyectadas para otros entornos y otras condiciones climáticas”*⁴⁹⁹, porque están derivadas de una arquitectura globalizada, y por tanto, muy alejada del entorno del edificio.

Por tanto, el diseño bioclimático —que respeta la naturaleza, tiene en cuenta las condiciones del entorno del edificio, y es capaz de adaptarse a ellas para conseguir el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles— es la base fundamental de la sostenibilidad en la arquitectura, en contraposición con una arquitectura globalizada, caprichosa y despilfarradora, que no tiene en cuenta las condiciones de la localización, ni del entorno del edificio.

Es caprichosa y despilfarradora la arquitectura que deja en segundo plano las estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental —altamente eficaces y sostenibles— supliendo sus carencias mediante sistemas tecnológicos activos —más costosos y complicados de mantenimiento, a la vez que menos saludables

⁴⁹⁷ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 43 y 44.

⁴⁹⁸ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 107.

⁴⁹⁹ Inglés Gosálbez, B. 2015, *Biomimetismo entre los endemismos arquitectónicos y taxones en Cantabria*, Universidad Politécnica de Madrid, p. 352.

y ecológicos— que podrían haberse evitado. Los sistemas tecnológicos activos son necesarios, pero siempre como complemento de las estrategias pasivas, y no para suplir sus carencias o deficiencias. Hay que agotar, exhaustivamente, el 100% de las posibilidades bioclimáticas del diseño —mediante la incorporación de todas las estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental que sean posibles— y posteriormente, emplear los sistemas tecnológicos activos que sean estrictamente necesarios, para garantizar las condiciones de confort de los usuarios.

“El actual y erróneo paradigma dominante se podría, por lo tanto, sintetizar en la creencia generalizada de que la aplicación de las “nuevas” tecnologías podrá resolver, en gran medida, el reto de la sostenibilidad (...) esencialmente, la continuación de nuestros patrones de vida con un poco de tecnología verde añadida para sentirnos un poquito menos culpables”⁵⁰⁰.

⁵⁰⁰ Wang, W. 2010, "Cambiando los paradigmas: el reto de la sostenibilidad en la arquitectura", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 12, pp. 79 y 80.

7.3.3. Del diseño bioclimático al diseño biomimético

En el siglo XXI, se ha evolucionado mucho en todos los campos del saber y, por tanto, la arquitectura —más allá de los códigos estilísticos o de las modas— debe evolucionar hacia nuevos conceptos. Tal y como se decía anteriormente, cualquier progreso o evolución que no converge con las fuerzas creadoras de la naturaleza y sus leyes, no es realmente progreso, sino espejismo de progreso, y a la larga retroceso.

La arquitectura bioclimática, efectivamente, ha sido una gran evolución, porque es respetuosa con la naturaleza, e intenta aprovechar al máximo todos los recursos que la misma le ofrece; pero más allá del diseño bioclimático, existe un nuevo planteamiento que complementa y supera este concepto; se trata del diseño biomimético. El diseño biomimético, no solo aprovecha los recursos de la naturaleza, sino que imita a la naturaleza, se integra con ella, se mimetiza... No es que imite sus formas, sus colores o su estética, sino que imita sus normas y principios fundamentales de funcionamiento, para conseguir un mayor aprovechamiento de los recursos de la naturaleza.

El desarrollo más sostenible y equilibrado es el que, no solo respeta las leyes de la naturaleza, sino que las toma como modelo. La naturaleza es el modelo a seguir en la búsqueda de la sostenibilidad, puesto que, ella misma, nos enseña cuáles son los modelos de funcionamiento más ecológicos y sostenibles, que se han desarrollado a lo largo de sus 3,8 billones de años de evolución.

Numerosos edificios como el “Eastgate Centre” de Zimbabwe, o el pabellón temático “One Ocean” para la EXPO 2012 en Yeosu (Corea del Sur) consiguen sorprendentes logros, emulando los sistemas y procesos naturales. De esta forma, la arquitectura biomimética sienta las bases de un nuevo concepto de sostenibilidad en la arquitectura, que debe desarrollarse en el siglo XXI. En el año 2000, los Principios de Hannover⁵⁰¹ anuncian repetidamente la importancia de la naturaleza, como modelo de sostenibilidad:

1. En el sexto punto se habla de la imitación de la naturaleza en el ámbito de la eliminación de desechos o residuos, mediante el estudio de la evaluación de los ciclos de vida. Y en el séptimo punto se habla de la imitación de la naturaleza en

⁵⁰¹ Los conocidos como “Principios de Hannover” son los principios generales de un documento —elaborado a comienzos de los años noventa, por el equipo del arquitecto William McDonough— en el que se debatían las principales medidas de diseño a tener en cuenta en la Exposición Universal de Hannover del año 2000, para que los pabellones y los nuevos espacios construidos constituyeran realmente un desarrollo sostenible para la ciudad.

el aprovechamiento eficiente y seguro de la energía natural del sol y de los elementos.

2. Finalmente, en el octavo punto dice textualmente:

“Aquellos que crean y planifican deberían practicar la humildad ante el ejemplo de la naturaleza. Trata la naturaleza como modelo y consejera...”

Para Gaudí, la naturaleza y sus leyes son un libro abierto, que nos habla permanentemente. En la naturaleza, todo tiene un sentido concreto y está interrelacionado entre sí —nada es caprichoso o gratuito—, todo tiene un sentido que hay que descubrir, estudiar e interpretar, para ir encontrando, poco a poco, las claves de su perfección, belleza, racionalidad y economía. Por eso, Gaudí decía que:

***“El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos”*⁵⁰².**

*“El gran libro, siempre abierto y que conviene esforzarse en leer, es el de la naturaleza; los demás libros han salido de este y tienen además las interpretaciones y equívocos de los hombres”*⁵⁰³.

Gustavo García Gabarró, en su tesis doctoral sobre las leyes de la naturaleza y la arquitectura de Gaudí —dirigida por Juan Bassegoda Nonell— afirma que:

*“Gaudí supo leer en la naturaleza. Pero esta no se deja siempre leer a primera vista. Existe un velo entre ella y el raciocinio humano que debe irse apartando a base de análisis, estudio y reflexión”*⁵⁰⁴.

“Esta inspiración en la naturaleza no se plantea como un sueño romántico, ausente de la realidad cotidiana, sino que consiste en trabajar mediante una profunda observación de los modelos que la naturaleza ensaya desde hace millones de años para, aprovechándolos al máximo de su experiencia, ser

⁵⁰² Gaudí, apenas dejó nada escrito, tan sólo unas pocas cartas, un artículo y unos apuntes juveniles. No obstante era un buen orador y exponía con frecuencia sus ideas a sus amigos y colaboradores. Algunos de ellos escribieron y publicaron las frases más célebres de sus exposiciones, y uno de ellos, Isidro Puig Boada, las recopiló en el libro *“El pensament de Gaudí”*, publicado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña, en Barcelona, en 1981 y reeditado en castellano por la Editorial DUX, en Barcelona, en 2015.

⁵⁰³ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 95.

⁵⁰⁴ García Gabarró, G. 1994, *Leyes de la naturaleza y composición arquitectónica: el ejemplo de Antonio Gaudí*, Universidad Politécnica de Cataluña, p. 2.

*capaces de leer sabias lecciones de bienestar, economía o reducción de costes, expresiones tan repetidas en la actualidad*⁵⁰⁵.

Gaudí hace una arquitectura bioclimática, a principios del siglo XX —cuando todavía no existía, ni siquiera, el concepto de “diseño bioclimático”— y nos lleva, de la mano, hacía la arquitectura biomimética del siglo XXI.

⁵⁰⁵ *Ibíd*em, p. 183.

7.3.4. El lenguaje de la forma en la arquitectura sostenible

La forma geométrica es el lenguaje propio de la arquitectura⁵⁰⁶. Gaudí afirmaba que:

“El arquitecto no debe hablar vagamente (...) sino concretamente, su lenguaje es la geometría”⁵⁰⁷.

La buena arquitectura ha dado siempre soluciones formales a todo tipo de problemas arquitectónicos —constructivos, funcionales o estructurales— y el tiempo ha demostrado que estas soluciones son mucho más efectivas que aquellas que no han tenido en cuenta la geometría⁵⁰⁸.

Gaudí utiliza eficazmente la geometría para conseguir soluciones técnicas más eficaces, mejorando la funcionalidad, el confort y la eficiencia estructural de sus edificios. Es pionero en el diseño de mobiliario, barandillas y tiradores ergonómicos, y realiza importantes innovaciones en la optimización mecánica de los diseños estructurales, como el arco parabólico, las superficies regladas o los pilares ramificados. En el *Manuscrito de Reus*⁵⁰⁹, Gaudí afirma que:

“Para que un objeto sea altamente bello es preciso que su forma no tenga nada superfluo (...) teniendo en cuenta el material de que se dispone y los usos que ha de prestar...”⁵¹⁰.

La naturaleza —tal y como se decía anteriormente— es el modelo más perfecto de sostenibilidad y eficiencia. Las variadas y complejas geometrías, propias de la naturaleza, son también el mejor modelo de eficiencia y sostenibilidad, como resultado de un proceso de adaptación de billones de años. Gaudí resuelve el problema de su complejidad asimilando su geometría a la derivada de la geometría reglada, es decir, a aquellas formas que pueden generarse mediante líneas rectas que se mueven en el espacio siguiendo sencillas leyes geométricas; de esta forma, pueden ser fácilmente

⁵⁰⁶ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La catedral de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 48.

⁵⁰⁷ Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona, p. 121.

⁵⁰⁸ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La catedral de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 48.

⁵⁰⁹ El Manuscrito de Reus es una Carpeta con tapas de cartón que contiene una serie de notas y apuntes escritos a mano por Gaudí, que él conservaba. Fue publicado parcialmente entre los años 1965 y 1982, y finalmente fue transcrito de forma completa, como edición crítica, por Jesús Irigoyen Gómez de Segura.

⁵¹⁰ Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell, pp. 73-74.

transferidas a la arquitectura, mediante el uso de herramientas sencillas como cordeles y reglas⁵¹¹.

El esfuerzo de Gaudí por imitar, o reinterpretar, las formas de la naturaleza, como las más optimizadas y eficaces —por encima de cualquier otro valor artístico o estético— nos enseña que la geometría es fundamental en el diseño arquitectónico, determinando decisivamente, no solo la estética, sino la funcionalidad y economía de la obra arquitectónica; por tanto, la geometría está íntimamente relacionada con la sostenibilidad en la arquitectura. La geometría es fundamental para que los diseños bioclimáticos sean efectivos, para que los diseños biomiméticos puedan cumplir sus funciones, o para garantizar la eficiencia energética del edificio. Por tanto, el diseño arquitectónico, si es sostenible, no puede estar basado en geometrías caprichosas, o en el simple seguimiento de estilos arquitectónicos de moda. Esto, en ningún caso es una limitación a la libertad creativa o artística del arquitecto.

La creatividad formal, y la libertad artística de la arquitectura de Gaudí, ponen de manifiesto que el diseño bioclimático y sostenible no está reñido con la libertad del arquitecto para buscar la innovación, la originalidad, la creatividad o cualquier otro valor arquitectónico —siempre y cuando, sepamos interpretar con inteligencia el mensaje de Gaudí— no se trata de inspirarse en las formas, colores o texturas de la naturaleza, por sus valores estéticos, sino por la sabiduría de sus procesos internos de funcionamiento, basados en múltiples principios físicos, químicos, matemáticos, biológicos, geométricos, morfológicos, mecánicos, geológicos, etc. Como dijo Paul Klee en el ensayo *Wege des Naturstudiums, Städtliches Bauhaus in Weimar*, en 1923:

*“Gracias a nuestro conocimiento de su realidad interna, el objeto pasa a ser mucho más que su simple apariencia”*⁵¹².

La evolución de la naturaleza —y de todos sus ecosistemas, animales y seres vivos— no es nunca hacia la mejora estética, sino hacia la mejora y la perfección de su funcionamiento intrínseco, su efectividad y su eficacia. La belleza de la naturaleza es, tan sólo, el reflejo de esa sabiduría y perfección evidentes —que se manifiesta a través

⁵¹¹ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, pp. 51 y 72.

⁵¹² de Prada, M. 2015, "Paralelos entre el arte y la naturaleza. Desde Klee al Independent Group", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 17, p. 78.

de variedades formales infinitas, y modelos de funcionamiento inagotables— por tanto, la arquitectura sostenible tampoco debe evolucionar imitando, tan solo, la estética de la geometría, los materiales o los colores de la naturaleza —o de otras corrientes arquitectónicas— pues, al igual que en la naturaleza, en la arquitectura, los valores estéticos y artísticos son el reflejo de su sabiduría y perfección, y no de las formas geométricas por sí mismas.

Interpretar con inteligencia el mensaje de la arquitectura de Gaudí no es imitar sus formas, texturas o colores, sino imitar la profundidad y el rigor científico con que estudiaba sus obras, fijándose en la naturaleza como ejemplo más perfecto de eficiencia, economía, ecología, funcionalidad y belleza.

La arquitectura de Gaudí no es una “arquitectura formalista”, pues la forma no es un objetivo previo, sino tan sólo el resultado de un proceso constructivo. Para Mies Van der Rohe:

*“La forma como objetivo es formalismo y lo rechazamos. Nuestra tarea consiste esencialmente en liberar a la práctica de la construcción del control de los especuladores estéticos...”*⁵¹³.

Juan Bassegoda Nonell afirma que:

*“La lección de Gaudí para el futuro no es la de copiar sus soluciones [o sus formas], sino buscar la inspiración en la naturaleza (...) la naturaleza no pasa de moda, al revés que los estilos históricos”*⁵¹⁴.

⁵¹³ Pancorbo Crespo, L. & Martín Robles, I. 2014, "El espacio como membrana. Albert Kahn y Mies Van der Rohe", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 16, p. 51.

⁵¹⁴ Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona, p. 32.

7.4. Conclusiones fundamentales

Gaudí fue un precursor fundamental de la sostenibilidad en la arquitectura, que nos enseña —a través de su trabajo y de sus obras— que en la sostenibilidad se funden indisolublemente un conjunto de valores éticos, estéticos, científicos y tecnológicos, al servicio del bien común. **El mensaje de Gaudí, como precursor de la sostenibilidad en la arquitectura, nos hace ver que la arquitectura del siglo XXI ha de ser prioritariamente una arquitectura sostenible; y si realmente lo es, englobará otros muchos valores (éticos, estéticos, científicos y tecnológicos).**

La infinita sabiduría de la naturaleza, en su evolución a través de 3,8 billones de años, no ha perseguido nunca valores estéticos en sí mismos, sino la perfección y la máxima eficiencia del funcionamiento íntimo de sus ecosistemas; por tanto, la belleza de la naturaleza es el reflejo visible y evidente de una perfección invisible que conocemos a través del estudio científico. **Gaudí también nos enseña que —contrariamente a lo que podría parecer— los valores estéticos no son, en muchos de los casos, un fin en sí mismos, sino el reflejo visible de otros valores éticos, científicos y tecnológicos, propios de la arquitectura sostenible.**

La naturaleza es el modelo más perfecto —de eficiencia, economía, ecología y sostenibilidad— que tiene a su disposición la ciencia, la tecnología y la arquitectura, para cubrir las necesidades materiales de la sociedad. Gaudí expresaba la importancia del aprovechamiento de los recursos naturales y de la imitación de la naturaleza —lo que hoy en día se entiende por arquitectura bioclimática y biomimética— con su célebre frase:

“Originalidad quiere decir volver al origen”⁵¹⁵.

Que significa que el auténtico y original avance científico —para que sea realmente progreso y no retroceso— ha de estar enraizado en el origen; y el origen es la naturaleza y las leyes de la naturaleza. **Por ello, puede considerarse que Gaudí ha sido también precursor de la arquitectura bioclimática del siglo XX y de la arquitectura biomimética del siglo XXI.**

⁵¹⁵ Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona, p. 141.

Norman Foster afirmó que:

“Los métodos de Gaudí, un siglo después, continúan siendo revolucionarios”⁵¹⁶.

La arquitectura biomimética es un complemento fundamental de la arquitectura bioclimática, puesto que maximiza el aprovechamiento de los recursos de la naturaleza, al mimetizarse con ella. **La arquitectura biomimética y la arquitectura bioclimática son fundamentales para el desarrollo de la sostenibilidad en la arquitectura del siglo XXI.**

⁵¹⁶ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 10.

7.4.1. La arquitectura biosostenible como propuesta de futuro

La sostenibilidad en la arquitectura es mucho más que los complejos datos obtenidos por las herramientas de evaluación, los programas de simulación o los observatorios estadísticos. Estos métodos de evaluación pueden ser adecuados para el análisis de la sostenibilidad en la agricultura, la industria, el transporte u otros ámbitos, pero son insuficientes para el análisis de la sostenibilidad en la arquitectura.

La arquitectura es el ámbito en el que se desarrolla la vida de las personas —en el trabajo, el hogar o la vida social— es expresión fundamental de valores sociales, históricos o culturales, y configura la naturaleza, el paisaje y el urbanismo. **El impacto social, económico y medioambiental de la arquitectura es muy grande, y no puede evaluarse, tan sólo, mediante cálculos numéricos o datos estadísticos, como la cantidad de CO₂ en la atmósfera o la huella ecológica. Estos índices han ayudado a la creación de un marco común para el debate internacional, pero son reduccionistas y refuerzan la percepción tecnocrática del problema;** por ello, *“no debemos tolerar que el nuevo enfoque de sostenibilidad en la arquitectura ignore el diseño de calidad”*⁵¹⁷. En los métodos de evaluación de la sostenibilidad, como BREEAM, LEED o VERDE —tan difundidos en la actualidad— se debería *“fusionar el análisis del ciclo de vida con un método evaluativo de la calidad de diseño arquitectónico”*⁵¹⁸. En dicho método, se debería evaluar —entre otras cosas— en qué medida son agotadas el 100% de las posibilidades de diseño arquitectónico —bioclimáticas, biomiméticas, geométricas, etc.— con anterioridad al empleo de sistemas tecnológicos activos; es decir, si estos sistemas son empleados de forma justificada o indiscriminada.

La bioclimática y la biomimética —no como “mímesis” o simple “imitación”, sino como estudio, interpretación y recreación— introducen en la arquitectura importantes conceptos geométricos, formales, tecnológicos y funcionales —de integración con el entorno, respeto por la naturaleza y aprovechamiento de los recursos— que humanizan la arquitectura, porque tienden puentes entre las necesidades de las personas y el potencial de riquezas ocultas de la naturaleza, tan necesarias y beneficiosas, pero que, muchas veces, no sabemos descubrir. **De esta forma, las ciudades y los edificios, concebidos como “máquinas para vivir” por Le Corbusier —el gran arquitecto del**

⁵¹⁷ Wang, W. 2010, “Cambiano los paradigmas: el reto de la sostenibilidad en la arquitectura”, *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 12, p. 81.

⁵¹⁸ *Ibidem*, p. 87.

siglo XX—, pueden ahora evolucionar, en el siglo XXI, hasta convertirse en “ecosistemas para vivir”. Esta concepción de la sostenibilidad en la arquitectura, fundamentada en principios bioclimáticos y biomiméticos, podría denominarse “arquitectura biosostenible”, como una propuesta de futuro que va más allá de la arquitectura sostenible.

7.4.2. Futuras líneas de investigación

Se proponen las siguientes líneas de investigación:

1. Aplicación de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos a otros edificios significativos de Gaudí.
2. Aplicación de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad en edificios históricos a otros edificios significativos de la época, diseñados por otros arquitectos contemporáneos de Gaudí, para comparar los resultados.
3. Estudio de las estrategias pasivas, de diseño bioclimático, empleadas por Gaudí, en comparación con las empleadas por otros arquitectos de la época.
4. Estudio de las estrategias pasivas, de diseño bioclimático, exigidas hoy en día en las normativas técnicas españolas de la edificación:
 - Grado de exigencia actual.
 - Grado de exigencia requerido en los nuevos edificios de consumo de energía “casi nulo” (EECN) para el horizonte 2020.

Figura 64. Testimonio de algunos protagonistas del siglo XX
Fuente: C. Salas Mirat (museo "Gaudí Centre" de Reus)

GLOSARIO ONOMÁSTICO

(POR ORDEN CRONOLÓGICO)

Francisco de Paula del Villar:

Arquitecto (1828-1901).

Fue arquitecto diocesano de 1874 a 1892, recibiendo en 1877 el encargo de construir el Templo de la Sagrada Familia, por parte de la Asociación de Devotos de San José. Por desavenencias con Juan Martorell, que era el arquitecto asesor de José María Bocabella —presidente de la Asociación de Devotos de San José y promotor del Templo—, abandona el proyecto en 1883, habiendo construido tan solo la cripta. Posteriormente, el encargo fue ofrecido a Juan Martorell, el cual rehusó el proyecto recomendando a Antonio Gaudí.

Juan Martorell Montells:

Arquitecto (1833-1906).

Desarrolló su obra dentro del estilo goticista que imperaba en aquella época, debido a la influencia de Eugène Viollet-le-Duc⁵¹⁹. Fue uno de los maestros de Gaudí, para quien trabajó como delineante y ayudante: *“a poco de obtener el título académico, entró en relación con el gran caballero que fue el arquitecto Juan Martorell”*⁵²⁰. En su calidad de asesor de José María Bocabella —promotor del Templo de la Sagrada Familia— recomendó a Gaudí para hacerse cargo del proyecto del templo en 1883.

Eusebio Güell Bacigalupi:

Primer Conde de Güell (1846-1918).

Fue el gran *“mecenas a la altura del genio”*⁵²¹ que marcó el punto de inflexión en la trayectoria de Gaudí. Ambos se compenetraron e influyeron mutuamente, en especial en los últimos años. Güell era un hombre de gran responsabilidad social y ciudadana, del que Gaudí decía:

*“Es un gran señor; tiene espíritu principesco, parecido al de los Medici de Florencia y los Doria de Génova”*⁵²².

⁵¹⁹ Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879) fue un importante arquitecto restaurador francés, arqueólogo, escritor y gran teórico de la arquitectura, con mucha influencia en importantes arquitectos posteriores como: José Vilaseca (1848-1910), Antonio Gaudí (1852-1926), Víctor Horta (1861-1947) o Héctor Guimard (1867-1942).

⁵²⁰ Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunwerg, Barcelona, p. 42.

⁵²¹ *Ibidem*, p. 49.

⁵²² *Ídem*.

José Vilaseca Casanovas:

Arquitecto y dibujante (1848-1910).

Fue Catedrático de la Escuela de Arquitectura de Barcelona, y viajó con Luis Doménech Montaner por Alemania, donde recibió la influencia de las nuevas corrientes arquitectónicas europeas. En su arquitectura se pone de manifiesto la evolución del tardo-clasicismo al modernismo, un fenómeno común en la arquitectura catalana del último tercio del siglo XIX.

Luis Doménech Montaner:

Arquitecto (1850-1923).

Destacado arquitecto catalán, contemporáneo de Gaudí, y claro exponente del modernismo catalán; también se dedicó a la política y ocupó una cátedra en el Colegio de Arquitectura de Barcelona.

Louis Henry Sullivan:

Arquitecto (1856-1924).

Fue un arquitecto estadounidense, contemporáneo de Gaudí —y perteneciente a la Escuela de Chicago—, que formó la sociedad “Adler y Sullivan” con el arquitecto e ingeniero civil Dankmar Adler, desarrollando extraordinarios proyectos de rascacielos con estructura de acero —que pronto se convirtieron en símbolo de la arquitectura norteamericana—, siendo considerado como el primer arquitecto moderno del país.

Hendrik Petrus Berlage:

Arquitecto y urbanista (1856-1934).

Fue un arquitecto holandés, contemporáneo de Gaudí, que se caracterizó por el retorno a unas formas simples y planas de gran fuerza expresiva —con el objeto de revalorizar la naturaleza estructural de la obra arquitectónica— tras su evolución desde un primer periodo de historicismo ecléctico.

Víctor Horta:

Arquitecto (1861-1947).

Arquitecto belga, contemporáneo de Gaudí, y muy representativo del modernismo. Sus obras —al igual que las de Gaudí— suponen una innovación en su época por la

integración de las líneas curvas en la decoración y la estructura del edificio. Tras una estancia en Estados Unidos, a comienzos del siglo XX, Víctor Horta evolucionó hacia una arquitectura más purista y de mayor sobriedad, con la que no logró tanto éxito como con sus edificios modernistas.

Henry Van de Velde:

Arquitecto y diseñador (1863-1957).

Fue un arquitecto belga, contemporáneo de Gaudí, destacado representante del modernismo en Bélgica, y pionero del movimiento moderno. Su influencia en el ámbito de la arquitectura y el diseño se extendió gracias a la Escuela de Artes y Oficios de Weimar —que dirigió desde 1902— y fue el germen de la futura Bauhaus de Grópius.

Francisco Berenguer Mestres:

Maestro de obras (1866-1914).

Fue un estrecho colaborador de Gaudí —con quien trabajó en muchas de sus obras— como delineante, contable o jefe de obra. Estudió arquitectura entre 1882 y 1888, pero no terminó la carrera.

Pere Milá Camps:

Abogado, industrial y político (1874-1940).

Fue empresario de la plaza de toros Monumental de Barcelona y organizó la primera carrera de coches en la ciudad. Con su esposa Roser Segimon —heredera de una gran fortuna— pudo financiar abundantes proyectos y negocios, entre ellos, la construcción de la Casa Milá. Fue elegido diputado en 1907, 1910 y 1914.

José Batlló Casanovas:

Industrial y empresario (?-1934).

En 1901, entró como socio en una nueva fábrica de hilados y tejidos de San Juan de las Abadesas, donde posteriormente construyó la colonia textil “El Pagés”. En 1903 adquirió, por 510.000 pesetas, el edificio situado en el Paseo de Gracia nº 43 de Barcelona, construido en 1875 por el arquitecto Emilio Sala Cortés. Batlló tenía la intención de derribarlo y construir uno nuevo, pero Gaudí le convenció de que se hiciera una obra de reforma.

José Bayó Font:

Contratista de obras (1878-1971).

Fue constructor de alguna de las obras más significativas de Gaudí —como la Casa Batlló y la Casa Milá— trabajando también para otros arquitectos conocidos, como Luis Doménech Montaner. Su hermano, el arquitecto Jaime Bayó Font (1873-1961), también colaboró con Gaudí en la Casa Batlló y en la Casa Milá.

José María Jujol Gibert:

Arquitecto (1879-1949).

Fue un arquitecto amante de la naturaleza y de gran sensibilidad artística —también pintor y artesano— que colaboró, de forma muy estrecha, con Gaudí en muchas de sus obras más importantes. También fue profesor de la Escuela de Arquitectura de Barcelona.

César Martinell Brunet:

Arquitecto (1888-1973).

Visitó con regularidad a Gaudí y charló con él, desde 1915 hasta su muerte, reuniendo un gran número de frases del arquitecto catalán, que publicó en 1951 en la Editorial Aymá bajo el título: *Gaudí i la Sagrada Família comentada per ell mateix*, y reeditó en 1969 en castellano en Ediciones Punto Fijo. En 1967 publicó en el Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares su gran obra: *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, que en 1975 fue reeditada en inglés por la Editorial Blume de Barcelona.

José F. Rafols Fontanals:

Arquitecto e historiador de arte (1889-1965).

Fue discípulo de Gaudí, y trabajó como delineante en las obras de la Sagrada Familia entre 1914 y 1916; tras el fallecimiento de Gaudí, inventarió y catalogó su archivo personal. Fue el primer biógrafo de Gaudí —con su libro: *Gaudí 1928*, publicado por la Editorial Canosa, en Barcelona, en 1928— y el primero en ocupar la Real Cátedra Gaudí de la Universidad Politécnica de Cataluña en 1956.

Isidro Puig Boada:

Arquitecto e historiador (1891-1987).

Fue discípulo y amigo de Gaudí, colaborando con él en las obras del Templo de la Sagrada Familia. Gaudí, apenas dejó nada escrito, tan sólo unas pocas cartas, un artículo y unos apuntes juveniles. No obstante era un buen orador y exponía con frecuencia sus ideas a sus amigos y colaboradores. Algunos de ellos escribieron y publicaron las frases más célebres de sus exposiciones, y uno de ellos, Isidro Puig Boada, las recopiló en el libro *El pensament de Gaudí*, publicado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña, en Barcelona, en 1981, y reeditado en castellano por la Editorial DUX, en Barcelona, en 2015.

Juan Matamala Flotats:

Escultor (1893-1977).

Hijo del escultor Lorenzo Matamala Piñol, trabajó de aprendiz en el taller de la Sagrada Familia y, al morir su padre, acabó la parte escultórica de la fachada del Nacimiento. Reunió un importante archivo documental sobre Gaudí, que posteriormente cedió a la Cátedra Gaudí.

Juan Bergós Massó:

Arquitecto (1894-1974).

Fue discípulo y amigo personal de Gaudí, publicando diversas obras, la más importante de ellas: *Gaudí, el hombre y la obra*, que en 1999 fue reeditada en inglés y español por la Editorial Lunwerg de Barcelona.

Juan Bassegoda Nonell:

Arquitecto e historiador (1930-2012).

Fue Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona —de la Universidad Politécnica de Cataluña—, Director de la Real Cátedra Gaudí, Presidente de la Real Academia de Bellas Artes de San Jordi, miembro de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Medalla de oro al Mérito en Bellas Artes y Medalla Pro Ecclesia et Pontifice. Fue también autor de numerosos libros, ensayos, artículos y estudios sobre Antonio Gaudí, y autor de numerosos proyectos de restauración de sus obras.

BIBLIOGRAFÍA

Acha Román, C.A., Alonso Pastor, L., Bedoya Frutos, C., Gómez Aparicio, E., Carabaño Rodríguez, R., Neila González, F.J., Olivieri, F. & Orondo Iglesias, J. 2013, *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*, Munilla-Lería (coord. Neila González F. J.), Madrid.

Adell-Argilés, J. 2017, *El principito ¿está vivo!* Universo de letras, Madrid.

Adell-Argilés, J. 2005, "La concepción constructiva de las fábricas: menos es más", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 495 enero-febrero.

Adell-Argilés, J. 2005, "Rogelio Salmona y la arquitectura con ladrillo en Colombia", *Informes de la construcción*, vol. 57, no. 495 enero-febrero.

Adell-Argilés, J. 2000, *Arquitectura sin fisuras*, Munilla-Lería, Madrid.

Adell-Argilés, J. 2000, *La fábrica armada*, Munilla-Lería, Madrid.

Adell-Argilés, J. 1992, "La arquitectura de ladrillos del siglo XIX: racionalidad y modernidad", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 421 septiembre-octubre.

Adell-Argilés, J. 1992, "Arquitectura e investigación con fábrica armada", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 421 septiembre-octubre.

Adell-Argilés, J. 1992, "Las bóvedas de la Atlántida", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 421 septiembre-octubre.

Adell-Argilés, J. 1992, "Razón y ser de la fábrica armada", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 421 septiembre-octubre.

Adell-Argilés, J. 1986, *Arquitectura de ladrillos del siglo XIX: técnica y forma*, Fundación Universidad-Empresa, Madrid.

Adell-Argilés, J. & Aguado, V. 2005, "Arco del milenio", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 495 enero-febrero.

Adell-Argilés, J. & García Santos, A. 2005, "Gaudí y las bóvedas de las Escuelas de la Sagrada Familia", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 496 marzo-abril.

Adell-Argilés, J. & Lauret, B. 2005, "El sistema de albañilería integral AllWall con BHH/BLOC", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 495 enero-febrero.

Adell-Argilés, J. & Mas Guindal, A. 2005, "Eladio Dieste y la cerámica estructural en Uruguay", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 496 marzo-abril.

Adell-Argilés, J. & Rolando, A. 2005, "Luis Moya y las bóvedas tabicadas en la posguerra española", *Informes de la construcción*, vol. 56, no. 496 marzo-abril.

Adell-Argilés, J. & Vega, S. 2005, "La fachada contemporánea con ladrillo: cerramientos tipo", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 495 enero-febrero.

Aguado Martínez, M.L., Ribas Seix, A. & Hosta Calderer, C. 2002, "La restauración de los pabellones de entrada del Park Güell", *Informes de la construcción*, vol. 54, no. 481/482 septiembre-octubre/noviembre-diciembre.

Aldana, J.C. & Serpell, A. 2016, "Metodología para la preparación de planes de gestión de residuos en proyectos de construcción basada en procesos de innovación y pensamiento productivo: caso de estudio en Chile", *Revista de la Construcción*, vol. 15, no. 1.

Almuzara, J.M., Curti, C., Giordani, D., Giussani, C., Faulí, J. & Sotoo, E. 2011, *Sagrada Familia Moved by Beauty. Guía para visitar la mayor obra de Antoni Gaudí*, Catálogo de la Exposición: Sagrada Familia Moved by Beauty, Madrid.

Alonso, L., Bedoya, C., Lauret, B. & Alonso, F. 2013, "F2 TE3: sistema de cerramiento transparente, ligero, de altas prestaciones energéticas que permite el diseño con formas libres", *Informes de la Construcción*, vol. 65, no. 532 octubre-diciembre.

Andrés, O. & Ortega, N. 1993, "Extensión de la técnica funicular de Gaudí a la concepción y génesis de superficies estructurales", *Informes de la Construcción*, vol. 44, no. 424 marzo-abril.

Associació pro Beatificació d'Antoni Gaudí 2007, *Gaudí Arquitecto de Dios 1852-1926*, Associació pro Beatificació d'Antoni Gaudí, Barcelona.

Bassegoda Amigó, J. 1925, *Conferencia publicada en el Anuario de la Asociación de Arquitectos de Catalunya*.

Bassegoda Nonell, J. 2002, "Una obra ingenieril de Gaudí: El proyecto de viaducto sobre el torrente de Pomeret, en Sarrià", *Quaderns d'història de l'enginyeria*, vol. 5.

Bassegoda Nonell, J. 2001, *Los jardines de Gaudí*, Ediciones UPC, Barcelona.

Bassegoda Nonell, J. 1990, "La construcción tradicional en la arquitectura de Gaudí", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto.

Bassegoda Nonell, J. 1989, *El gran Gaudí*, AUSA, Sabadell.

- Bassegoda Nonell, J. 1982, *La arquitectura de Gaudí*, Cupsa, Madrid.
- Bassegoda Nonell, J. 1980, *La Pedrera de Gaudí*, Editores Técnicos Asociados, Barcelona.
- Bassegoda Nonell, J. 1976, *Las bodegas Güell, de Garraf*, Diputación Provincial de Barcelona, Barcelona.
- Bassegoda Nonell, J. 1971, *Gaudí*, Publicaciones Españolas, Madrid.
- Bassegoda Nonell, J. 1970, *Memoria de la cátedra Gaudí: curso 1968-1969*, Universidad Politécnica de Barcelona E.T.S. Arquitectura, Barcelona.
- Bassegoda Nonell, J. 1969, *Memoria de la cátedra Gaudí: curso 1967-1968*, Universidad Politécnica de Barcelona E.T.S. de Arquitectura, Barcelona.
- Bassegoda Nonell, J., Bassegoda Musté, B. & Lloveras Montserrat, J. 1992, *Aproximación a Gaudí*, Doce Calles, Madrid.
- Bassegoda Nonell, J. & García Gabarró, G. 1999, *La cátedra de Antoni Gaudí: estudio analítico de su obra*, Ediciones UPC, Barcelona.
- Bassegoda Nonell, J. & Garrut Roma, J.M. 1969, *Guía de Gaudí*, Ediciones literarias y científicas, Barcelona.
- Bassegoda, J. 2002, *Antoni Gaudí*, Ediciones 62, Barcelona.
- Bedoya Frutos, C., Caamaño Martín, E., Neila González, J., Jiménez Leube, F.J., Egidio Aguilera, M.Á., Uzquiano, M., Gómez Osuna, J.M., Magdalena Layos, L. & García Santos, A. 2004, "Viviendas solares autosuficientes: participación de la Universidad Politécnica de Madrid en el concurso "Solar Decathlon"", *Informes de la Construcción*, vol. 56, no. 494 noviembre-diciembre.
- Bedoya Frutos, C., Carril García, A., Cembranos Díaz, L., Macías Miranda, M. & Neila González, F.J. 1982, *Las energías alternativas en la arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.
- Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1991, *Técnicas de acondicionamiento*, ETS de Arquitectura, Madrid.
- Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1997, *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*, Munilla-Lería, Madrid.

Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1996, *Las técnicas de acondicionamiento ambiental: sistemas de acondicionamiento y arquitectura*, ETS de Arquitectura, Madrid.

Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1992, *Las técnicas de acondicionamiento ambiental: fundamentos arquitectónicos*, ETS de Arquitectura, Madrid.

Bedoya Frutos, C. & Neila González, F.J. 1986, *Acondicionamiento y energía solar en arquitectura*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

Bergoglio, J.M. 2015, *Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común*, Ediciones Palabra, Madrid.

Bergós Massó, J. 1999, *Gaudí, el hombre y la obra*, Lunweg, Barcelona.

Bergós Massó, J. 1953, *Materiales y elementos de construcción*, Bosch, Barcelona.

Bonet i Armengol, J. 2002, *Las Escuelas de la Sagrada Familia*, Escudo de Oro, Barcelona.

Carabaño, R., Bedoya, C. & Ruiz, D. 2014, "Análisis de ciclo de vida de una nueva solución arquitectónica que mejora el rendimiento térmico de la envolvente del edificio: Fachada Natural Aljibe", *Informes de la Construcción*, vol. 66, no. 535 julio-septiembre.

Celis D'amico, F. 2000, "Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual", *Ciudades para un futuro más sostenible*, [Online].

CMMAD , *Informe Brundtland de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* [Homepage of ONU], [Online]. Available: es.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987 [2017, 09/25].

Coch Roura, H. & Serra Florensa, R. 1995, *Arquitectura y energía natural*, Ediciones UPC, Barcelona.

Collins, G.R. 1966, *Antonio Gaudí*, Bruguera, Barcelona.

Crippa, M.A. 2007, *Antoni Gaudí, 1852-1926: de la naturaleza a la arquitectura*, TASCHEN, Alemania.

Cubillo Gracián, J.M. 2012, "El interés por la verdad", *Familia & Cultura*, no. 297 otoño.

Cuchí Burgos, A., *La percepción del territorio desde el análisis de los flujos materiales* [Homepage of Universidad Politécnica de Cataluña], [Online]. Available:

mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/informes/la-percepcion-del-territorio-desde-el-analisis-de-los-flujos-materiales.pdf [2016, 03/08].

Cussó Anglés, J. 2010, *Disfrutar de la naturaleza con Gaudí y la Sagrada Familia*, Milenio, LLeida.

da Casa Martín, F. 2000, *Adecuación bioclimática en la subregión de Madrid, para el diseño de los edificios y sus elementos constructivos*, Universidad Politécnica de Madrid.

da Silva, C. 2007, *Park Güell: arquitectura conformada por el agua: gestión hídrica para la reforestación de la Montaña Pelada en Barcelona*, Universidad Politécnica de Cataluña.

de Azcárate, J.M., Pérez Sánchez, A.E. & Ramírez Domínguez, J.A. 1982, *Historia del arte*, Anaya, Madrid.

de Prada, M. 2015, "Paralelos entre el arte y la naturaleza. Desde Klee al Independent Group", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 17.

Edwards, B. 2008, *Guía básica de la sostenibilidad*, 2ª edn, Gustavo Gili, Barcelona.

Espel, R., Gómez, J., Grima, R. & Aguado, A. 2009, "La evolución de la construcción del Templo de la Sagrada Familia", *Informes de la Construcción*, vol. 61, no. 516 octubre-diciembre.

Estévez, A.T. & Tur Triadó, J.R. 2002, *Gaudí*, Susaeta Ediciones, Madrid.

Farrás Planas, C. & Espel Rosell, R. 2010, "Laboratorio Permanente: Obras del Templo de la Sagrada Familia", *Cercha*, vol. 104, no. mayo.

Fernández Cadenas, M. 2014, *Aplicación de principios biomiméticos en el diseño de fachadas adaptativas*, Universidad Politécnica de Madrid.

Flores López, C. 1994, *Sobre arquitecturas y arquitectos*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

Flores López, C. 1982, *Gaudí, Jujol y el modernismo catalán, Tomo I*, Aguilar, Madrid.

Flores López, C. 1982, *Gaudí, Jujol y el modernismo catalán, Tomo II*, Aguilar, Madrid.

Flores, C. 2002, *La lección de Gaudí: The lesson of Gaudí*, Espasa Calpe, Madrid.

- García Erviti, F., Armengot Paradinas, J. & Ramírez Pacheco, G. 2015, "El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión", *Informes de la construcción*, vol. 67, no. 537 enero-marzo.
- García Gabarró, G. 1994, *Leyes de la naturaleza y composición arquitectónica: el ejemplo de Antonio Gaudí*, Universidad Politécnica de Cataluña.
- García Luna, A.C. 2011, *La Estética de la Sostenibilidad*, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gaudí, A. 2002, *Escritos y documentos*, Laura Mercader edn, El Acantilado, Barcelona.
- Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Basílica de la Sagrada Familia*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona.
- Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Un edificio transformado en obra de arte, Casa Batlló*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona.
- Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *Guía visual de la obra completa de Antoni Gaudí*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona.
- Giordano, C. & Palmisano, N. 2011, *La última obra civil de Gaudí, La Pedrera, Casa Milá*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona.
- Giordano, C. & Palmisano, N. 2010, *El proyecto Park Güell*, Dos de Arte Ediciones, Barcelona.
- Gómez-González, A., Chanampa, M., Morgado, I., Acha, C., Bedoya, C. & Neila, J. 2011, "Cubiertas planas fitodepuradoras. Propuesta de gestión de aguas grises en altura", *Informes de la Construcción*, vol. 63, no. Extra octubre.
- Gómez-Ramió, J., Cavalaro, S. & Aguado, A. 2015, "The Trencadis Mosaic on the Pinnacles of the Sagrada Familia Cathedral", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 9, no. 5.
- González Moreno-Navarro, A. 1999, *La restauración objetiva, Memoria SPAL 1993-1998*, Diputación de Barcelona, Barcelona.
- González Moreno-Navarro, A. 1990, "Gaudí, constructor (la materialización de una arquitectura singular)", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto.

González Moreno-Navarro, A. & Lacuesta Contreras, R. 2013, *Palacio Güell Gaudí, itinerario de visita*, Diputación de Barcelona, Barcelona.

González-Cremona, J.M. 2017, *Hacia la Beatificación de Antoni Gaudí, desde 1992*, Asociación pro Beatificación de Antoni Gaudí, Barcelona.

Granero, A. 2013, "Antecedentes metodológicos y herramientas de diseño en el proyecto arquitectónico de la envolvente biomimética", *Revista Hábitat Sustentable*, vol. 3, no. 2.

Grima López, R., Aguado de Cea, A. & Gómez Serrano, J. 2013, "Gaudí and reinforced concrete in construction", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 7, no. 4.

Grima López, R., Gómez Serrano, J. & Aguado de Cea, A. 2007, "The use of concrete in Gaudi's Sagrada Familia", *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 1, no. 4.

Huerta, S. 2006, "Structural design in the work of Gaudí", *Architectural Science Review*, vol. 49, no. 4.

Inglés Gosálbez, B. 2015, *Biomimetismo entre los endemismos arquitectónicos y taxones en Cantabria*, Universidad Politécnica de Madrid.

Jordá Such, C. 2016, "Formas, cultura técnica y expresión arquitectónica", *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, vol. 21, no. 28.

Kent, C. & Prindle, D. 1992, *Hacia la arquitectura de un paraíso*, Hermann Blume, Madrid.

Larrumbide, E. & Bedoya, C. 2015, "El comportamiento del hueco de ventana en la arquitectura vernácula mediterránea española ante las necesidades de acondicionamiento solar", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 539 julio-septiembre.

Mac Harg, I. 1969, *Design with nature*, American Museum of Natural History, New York.

Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Equipamiento, V. 1.g*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Diez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2015, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Nueva Edificación (GEA VERDE NE), Residencial y Oficinas, V. 1.c*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

Macías, M. & Equipo técnico de GBC España (Andrés, S., Díez, R., Rivas, P., Tumini, I.) 2013, *Guía informativa: VERDE un método de evaluación ambiental de edificios*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.

Macías, M. & García, J. 2010, "Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios", *Informes de la Construcción*, vol. 62, no. 517 enero-marzo.

Martí Audí, N. 2005, *Les persianes de Gaudí, eines de la llum: la llum en el seu aspecte més sensible i subordinada a criteris constructius*, Universidad Politécnica de Cataluña.

Martí, N. & Araujo, R. 2015, "La persiana enrollable. Revisión del sistema constructivo y sus requisitos medioambientales", *Informes de la Construcción*, vol. 67, no. 540 octubre-diciembre.

Martinell Brunet, C. 1967, *Gaudí: su vida, su teoría, su obra*, Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, Barcelona.

Matamala Flotats, J. 2011, *Antoni Gaudí. Mi itinerario con el arquitecto*, Editorial Claret, Barcelona.

McDonough, W. 1992, *The Hannover principles: design for sustainability*, William McDonough & Partners, Charlottesville.

Ministerio de Medio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2014, "Diagnóstico del Sector Residuos en España nº 7", *Publicaciones de la Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación*, vol. abril.

Mokoka, L., *Architecture's intent: beyond green rating tools in form and aesthetics in green architecture* [Homepage of University of the Witwatersrand (South Africa)], [Online]. Available: src.lafargeholcim-foundation.org/dnl/274164ab-31ec-44fd-88aa-27022b281ec2/2_Architecture's%20intent_Lomile%20Mokoka.pdf [2017, 11/30].

Neila González, F.J. 2004, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Munilla-Lería, Madrid.

Neila, F.J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F. & Barbero, M. 2008, "Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo", *Informes de la Construcción*, vol. 60, no. 511 julio-septiembre.

- Onecha Pérez, B., Bosch Prat, M., Olona Casas, J. & Dotor Navarro, A. 2017, "Plan Director de restauración de la Casa Batlló de Gaudí, un antes y un después", *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, vol. 11, no. 33 febrero.
- Orondo Iglesias, J. 2015, *Metodología de diseño sostenible de edificios comerciales, con una herramienta de evaluación asociada, para orientar la toma de decisiones en las fases iniciales del proyecto arquitectónico*, Universidad Politécnica de Madrid.
- Pancorbo Crespo, L. & Martín Robles, I. 2014, "El espacio como membrana. Albert Kahn y Mies Van der Rohe", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 16.
- Pi de Cabanyes, O. 2002, *Cases Modernistes de Catalunya*, Edicions 62, Barcelona.
- Pozo, J.M. 2014, "Abstracción o aburrimiento: ver lo invisible o no verlo", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 16.
- Puig Boada, I. 2015, *El pensamiento de Gaudí*, Dux, Barcelona.
- Riaza Molina, E. 2014, *Personajes de fe que hicieron historia*, Ediciones Rialp, Madrid.
- Rivela Carballal, B. 2012, *Propuesta metodológica de aplicación sectorial de análisis de ciclo de vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*, Universidad Politécnica de Madrid.
- Rojas Cortorreal, G.M., Roset, J. & Navés, F. 2015, "La vegetación en el confort micro climático. Comparación de especies del clima mediterráneo de Barcelona, España", *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, vol. 10, no. 29 octubre.
- Sallette, M.A. 2005, "DesignValues Measuring the economic value of investing in architecture and design", *URBANLAND*, vol. November-December.
- Sama García, A. 2014, *El manifiesto del girasol. Una obra maestra de Gaudí: El Capricho de Comillas*, Ediciones Universidad de Cantabria, Santander.
- Sauer, B. & Equipo técnico de GBC España (Diez, R., Huerta, D., Rivas, P.) 2014, *Guía para los Evaluadores Acreditados VERDE Rehabilitación (GEA VERDE RH), Equipamiento, V 1.0*, Green Building Council España (GBCe), Madrid.
- SCRIBD, *La Casa Batlló* [Homepage of SCRIBD], [Online]. Available: es.scribd.com/document/311072114/Casa-Batllo [2017, 11/30].

Soto de Prado y Otero, C. 2010, "Hacia una cultura de la sostenibilidad a través de los textos de Goethe", *Revista de Filología Alemana*, vol. 18.

Steele, J. 2005, *Ecological Architecture: A critical history*, Thames & Hudson, Londres.

Suárez, R. & Fragoso, J. 2016, "Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo", *Informes de la Construcción*, vol. 68, no. 541 enero-marzo.

Toledano, J.C., de las Casas, J. & Bedoya, C. 2009, "Rehabilitación de las instalaciones eléctricas en los edificios destinados principalmente a viviendas", *Informes de la Construcción*, vol. 61, no. 516 octubre-diciembre.

Tomlow, J. 1989, "El modelo colgante de Gaudí y su reconstrucción. Nuevos conocimientos para el diseño de la Iglesia de la Colonia Güell", *Informes de la Construcción*, vol. 41, no. 404 noviembre-diciembre.

Usón Guardiola, E., Fumado Alsina, J.L. & Vives Rego, J. 2014, "Los edificios de consumo energético casi nulo: propuesta para el centro de tratamiento de residuos sólidos de Mercabarna", *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, vol. 9, no. 25 junio.

Usón Guardiola, E. & Cunill de la Puente, E. 2004, *Dimensiones de la sostenibilidad*, Ediciones UPC, Barcelona.

Van Hensbergen, G. 2001, *Antoni Gaudí*, Plaza & Janés, Barcelona.

Vassallo, J. 2017, octubre-last update, *La Naturaleza como material de construcción (Call for Papers 2018 - RA 20)* [Homepage of Ra. Revista de Arquitectura], [Online]. Available: unav.edu/documents/29853/14729473/RA+20+CFP_vassallo_cas.pdf/59bb46e7-936f-e1bf-e7ed-49c212b169fe [2017, 10/30].

Vila Rodríguez, R. 1990, "El uso del hierro en la Casa Milá de Barcelona", *Informes de la Construcción*, vol. 42, no. 408 julio-agosto.

Wang, W. 2010, "Cambiando los paradigmas: el reto de la sostenibilidad en la arquitectura", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 12.

Wigley, M. 2013, "La policía de la moda", *Ra. Revista de Arquitectura*, vol. 15.