

Ambientalización curricular en enseñanzas técnicas: una experiencia en los estudios de arquitectura

Curriculum greening in technical teaching: an experience in architecture studies

Emilio Martín-Gutiérrez¹, Dolores Otero-Chans², Félix Suárez-Riestra³, José Antonio Vázquez-Rodríguez⁴

¹ Universidad de A Coruña emilio.martin@udc.es

² Universidad de A Coruña dolores.otero.chans@udc.es

³ Universidad de A Coruña felix.suarez@udc.es

⁴ Universidad de A Coruña jose.vazquez@udc.es

Recibido: 11/3/2024

Aceptado: 25/10/2024

Copyright ©

Facultad de CC. de la Educación y Deporte.

Universidad de Vigo



Dirección de contacto:

Emilio Martín Gutiérrez

Departamento de Construcciones y

Estructuras Arquitectónicas, Civiles y

Aeronáuticas

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Campus de A Zapateira, s/n

15071 A Coruña

Resumen

La creciente preocupación internacional por la degradación del medioambiente ocasionada por el ser humano exige el compromiso y la colaboración de todos. En este sentido, las instituciones de Educación Superior asumen una responsabilidad notable, en cuanto son las encargadas de formar a los futuros profesionales para que en el ejercicio de sus funciones se desenvuelvan con criterios éticos y de respeto hacia el ecosistema. En este marco, el presente artículo describe una experiencia implementada en la asignatura Estructuras 3 del actual Grado en Estudios de Arquitectura de la Universidad de A Coruña, con el objeto de sensibilizar al estudiantado con relación al impacto medioambiental de las decisiones de proyecto y de adaptar éstas a los criterios de desarrollo sostenible.

Palabras clave

Educación Ambiental, Desarrollo Sostenible, Impacto Ambiental, Huella Ecológica, Arquitectura

Abstract

The growing international concern about the degradation of the environment caused by human beings demands the commitment and collaboration of all. In this sense, higher education institutions assume a notable responsibility, as they are in charge of training future professionals so that in the exercise of their functions they perform their duties with ethical criteria and respect for the ecosystem. Within this framework, this article describes an experience implemented in the Structures 3 course of the current Degree in Architectural Studies at the University of A Coruña, with the aim of raising awareness among students of the environmental impact of project decisions and adapting them to sustainable development criteria.

Key Words

Environmental Education, Sustainable Development, Environmental Impact, Ecological Footprint, Architecture

1. INTRODUCCIÓN

Desde siempre, las actividades humanas han derivado en algún tipo de afección a su entorno, pero lo cierto es que los avances tecnológicos ligados a las sucesivas revoluciones industriales, unidos al crecimiento demográfico global, han ocasionado efectos más agresivos, en términos de sobrexplotación de recursos, destrucción de ecosistemas, contaminación atmosférica y oceánica, desertización, alteración de la capa de ozono, acumulación de residuos, y otros procesos de degradación ambiental. Observando el listado de eventos (no exhaustivo) de la Tabla 1, a su vez señalados en la línea temporal de la Figura 1, se puede constatar a lo largo del último cuarto de siglo una creciente preocupación por los temas medioambientales, tanto entre la comunidad científica como entre la clase política y los organismos gubernamentales, en gran medida liderados por Naciones Unidas a través de diversas corporaciones y programas (Lara et al., 2021). En todo ello, el denominador común es la intervención humana, que ha dado origen a nuevos términos, como ecocidio o cambio climático antropogénico.

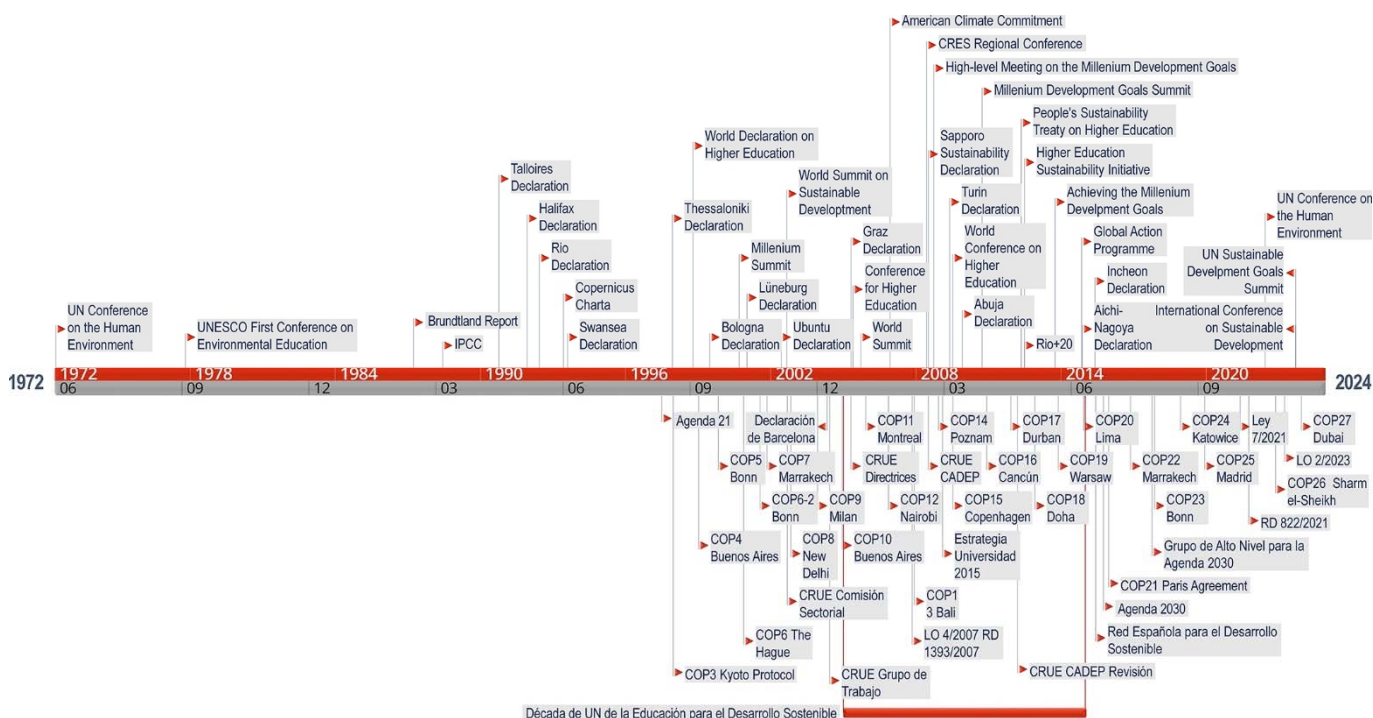


Figura 1. Línea temporal asociada a los ítems de la Tabla 1

Año	Evento / ítem	Entidad/es	Lugar
1972	United Nations Conference on the Human Environment	United Nations (UN)	Stockholm
1977	First Intergovernment Conference on Environmental Education. Tbilisi Declaration	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)	Tbilisi
1987	Brundtland Report. Our Common Future		
1988	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	UN Environment Programme (UNEP), World Meteorological Organization (WMO)	
1990	Talloires Declaration	University Leaders for a Sustainable Future (ULSF)	Talloires
1991	Halifax Declaration	Consortium of Canadian Institutions	Halifax
1992	UN Conference on Environment and Development. Earth Summit Rio Declaration	UN	Rio de Janeiro

1993	Copernicus Charta	University Charter for Sustainable Development	
1993	15th Quinquennial Congress. Swansea Declaration	Associaton of Commonwealth Universities (ACU)	Swansea
1997	19th Special Session of the General Assembly to Review and Appraise the Implementation of Agenda 21	UN	New York
1997	COP3 (Conference Of the Parties). Kyoto Protocol	UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)	Kyoto
1997	International Conference on Environment and Society: Education and Public Awareness for Sustainability. Thessaloniki Declaration	UNESCO	Thessaloniki
1998	World Declaration on Higher Education for the Twenty-First Century: Vision and Action	UNESCO	Paris
1998	COP4 Buenos Aires Climate Change Conference	UN COP	Buenos Aires
1999	Bologna Declaration	European Ministers of Education	Bologna
1999	COP5 Bonn Climate Change Conference	UN COP	Bonn
2000	Millennium Summit. Millennium Development Goals	UN	New York
2000	COP6 The Hague Climate Change Conference	UN COP	The Hague
2001	COP6-2 Bonn Climate Change Conference	UN COP	Bonn
2001	Lüneburg Declaration. Higher Education For Sustainability	UNESCO	Lüneburg
2001	COP7 Marrakech Climate Change Conference	UN COP	Marrakech
2002	World Summit on Sustainable Development	UN	Johannesburg
2002	Ubuntu Declaration on Education and Science and Technology for Sustainable Development	Ubuntu Alliance Members	
2002	Comisión Sectorial CRUE-Sostenibilidad	Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE)	
2002	COP8 New Delhi Climate Change Conference	UN COP	New Delhi
2003	COP9 Milan Climate Change Conference	UN COP	Milan
2004	Grupo de Trabajo sobre Calidad Ambiental y Desarrollo Sostenible	CRUE	
2004	Declaración de Barcelona	Forum Universal de las Culturas	Barcelona
2004	COP10 Buenos Aires Climate Change Conference	UN COP	Buenos Aires
2005	Directrices para la Sostenibilización Curricular	CRUE	
2005	Graz Declaration	UNESCO	Graz
2005	Conference of European Ministers Responsible for Higher Education	European Higher Education Area	Bergen
2005	World Summit	UN	New York
2005	COP11 Montreal Climate Change Conference	UN COP	Montreal
2006	COP12 Nairobi Climate Change Conference	UN COP	Nairobi
2006	American College & University Presidents' Climate Commitment	ACUPCC	Tempe
2007	Ley Orgánica 4/2007, de Universidades. Real Decreto 1393/2007		
2007	COP13 Bali Climate Change Conference	UN COP	Bali
2008	Regional Conference on Higher Education in Latin America and the Caribbean	UNESCO CRES	Cartagena de Indias
2008	Comisión Sectorial de Calidad Ambiental, Desarrollo Sostenible y Prevención de Riesgos	CRUE CADEP	
2008	Sapporo Sustainability Declaration	G8	Sapporo
2008	High-level Meeting on the Millenium Development Goals	UN	New York
2008	COP14 Poznam Climate Change Conference	UN COP	Poznam
2009	Estrategia Universidad 2005	Ministerio de Ciencia e Innovación	
2009	Abuja Declaration on Fertilizers for an African Green Revolution. First Africa-South America Summit	African Union Ministers of Agriculture	Abuja
2009	Turin Declaration on Education and Research for Sustainable and Responsible Development	G8	Turin
2009	World Conference on Higher Education	UNESCO	Paris
2009	COP15 Copenhagen Climate Change Conference	UN COP	Copenhagen
2010	Millennium Development Goals Summit	UN	New York
2010	COP16 Cancún Climate Change Conference	UN COP	Cancún
2011	COP17 Durban Climate Change Conference	UN COP	Durban
2012	Directrices para la Introducción de la Sostenibilidad en el Curriculum (revisión)	CRUE CADEP	
2012	People's Sustainability Treaty on Higher Education	UN	
2012	Higher Education Sustainability Initiative	UN HESI	
2012	Rio+20 UN Conference on Sustainable Development	UN	Rio de Janeiro
2012	COP18 Doha Climate Change Conference	UN COP	Doha

2013	President of the General Assembly's Special Event towards Achieving the Millennium Development Goals	UN	New York
2013	COP19 Warsaw Climate Change Conference	UN COP	Warsaw
2014	Global Action Programme on Education for Sustainable Development	UNESCO	
2014	COP20 Lima Climate Change Conference.	UN COP	Lima
2014	Aichi-Nagoya Declaration on Education for Sustainable Development	UNESCO	Aichi-Nagoya
2015	Incheon Declaration	World Education Forum (WEF)	Incheon
2015	Agenda 2030. UN Summit on Sustainable Development	UN	New York
2015	COP21 Paris Climate Change Conference. Paris Agreement	UN COP	Paris
2015	Red Española para el Desarrollo Sostenible	REDS SDSN	
2016	COP22 Marrakech Climate Change Conference	UN COP	Marrakech
2017	Grupo de Alto nivel para la Agenda 2030	Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana	
2017	COP23 Bonn Climate Change Conference	UN COP	Bonn
2018	COP24 Katowice Climate Change Conference	UN COP	Katowice
2019	COP25 Madrid Climate Change Conference	UN COP	Madrid
2021	Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética		
2021	Real Decreto 822/2021, de organización de enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad		
2022	UN Conference on the Human Environment	UN	Stockholm
2022	COP26 Sharm el-Sheikh Climate Change Conference	UN COP	Sham el – Sheikh
2023	Ley Orgánica 2/2023 del Sistema Universitario		
2023	International Conference on Sustainable Development	European Center of Sustainable Development (ECSD)	Belgrado
2023	Sustainable Development Goals Summit	UN	New York
2023	COP27 Dubai Climate Change Conference	UN COP	Dubai

Tabla 1. Listado (no exhaustivo) de eventos e ítems asociados a políticas medioambientales

Sin duda, uno de los hitos de dicha secuencia lo constituye el Informe Brundtland (UN Secretary-General, 1987), en el que se acuña el concepto de desarrollo sostenible, posteriormente institucionalizado en la Conferencia de Naciones Unidas celebrada en Río de Janeiro de 1992: “*aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias*”.

En la propia definición subyace la necesidad de modificar los patrones de explotación de recursos y de generación de residuos, pretensión que se materializa en sucesivos retos suscritos por un número variable de naciones, y mayoritariamente incumplidos al menos en cuanto a resultados globales (Agenda 21, Protocolo de Kyoto, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Agenda 2030, Acuerdo de París). Se hace así común el vocablo sostenibilidad, del inglés *sustainable*, y cuya etimología apunta a la idea de mantener y conservar. En el contexto esbozado presenta al menos tres dimensiones (sociocultural, económica y ambiental), enfatizando que los problemas radican fundamentalmente en los sistemas organizativos de los países más desarrollados (Márquez et al., 2021; Vallespín, 2022). En este sentido, el término se desdobra en dos posibles enfoques: el planteamiento débil, que se limita a incorporar al sistema económico las consideraciones medioambientales (por ejemplo, repercutiendo posibles costes en los precios); y la aproximación fuerte, orientada a una transformación de los patrones de desarrollo y consumo (Alba, 2017). Es más, actualmente se entiende la sostenibilidad como un concepto dinámico en el que, además de las vertientes mencionadas, también cabe incluir objetivos de justicia social y economía equitativa (Aznar et al., 2014).

Se hace evidente que una transformación de tal calado requiere asentar en el grueso de las sociedades nuevos valores y comportamientos, siendo así la educación una herramienta indispensable. Bajo esta consideración, han surgido diferentes concepciones,

desde las enraizadas en el ámbito natural y biológico, normalmente bajo la designación de educación ambiental (EA), hasta las que asumen un enfoque holístico (asociado también a dimensiones sociales, económicas y culturales), con denominaciones como educación para el desarrollo sostenible (EDS), o simplemente educación para la sostenibilidad (ES) (Alba, 2017; Alcántara et al., 2022; Heras, 2023). Estos planteamientos también han formado parte de la agenda de Naciones Unidas, como se desprende de la declaración del período 2005-2014 como la Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible (De la Rosa et al., 2019).

En este contexto cobra importancia el papel de las universidades, tradicionalmente entendidas como agentes de cambio precisamente por su orientación dual, docente e investigadora: la primera relacionada con la capacitación de profesionales con sólidos valores, críticos y comprometidos; la segunda asociada a los retos científicos y tecnológicos que posibilitarían conciliar el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente (Bautista-Cerro y Díaz-González, 2017; Alcalá del Olmo et al., 2020; Ramos, 2020; Pegalajar et al., 2022).

La implicación de las universidades en ello, al menos a título institucional, se hace patente a través de las sucesivas declaraciones y programas (Taillores, Halifax, Copernicus, Lüneburg, Ubuntu, Graz, Aichi-Nagoya e Incheon) (Ull et al., 2010; Tilbury, 2011). En el ámbito nacional, sin duda gran parte de las iniciativas se deben a la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) a través de sus comisiones sectoriales y grupos de trabajo. La integración de las instituciones de Educación Superior implica así iniciativas para implementar en tres posibles ámbitos: macroscópico (niveles internacional, estatal, autonómico), microscópico (centro o facultad), y estratégico (en cuanto ha de involucrar a los equipos docentes) (Aznar y Ull, 2009). El primero se entiende mayoritariamente en curso, entre otras cuestiones porque la práctica totalidad de las universidades españolas disponen de algún servicio u oficina técnica específicos, así como de iniciativas para acotar sus propios impactos (Alba et al., 2012). A su vez estas cuestiones han tenido también repercusión en los centros, si bien con alcances y enfoques muy dispares.

El documento “*Directrices para la Sostenibilización Curricular*”, elaborado por el Grupo de Trabajo de Calidad Ambiental y Desarrollo Sostenible de la CRUE en 2005 (revisado posteriormente en 2012), supone un punto de inflexión toda vez que recomienda una serie de actuaciones específicas, incluyendo “*la revisión integral de la currícula, asegurando la inclusión de los contenidos transversales básicos en sostenibilidad en todas las titulaciones*” (Ull et al., 2010; Vilches y Gil, 2012). En términos similares se expresa el Real Decreto 1393/2007, de ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, cuyo preámbulo recoge que “*la formación en cualquier actividad profesional debe contribuir al conocimiento y desarrollo de los Derechos Humanos, los principios democráticos, los principios de igualdad entre mujeres y hombres, de solidaridad, de protección medioambiental, de accesibilidad universal y diseño para todos, y de fomento de la cultura de la paz*”. El posterior Real Decreto 822/2021 avanza sobre el anterior en la medida en que el articulado exige que los planes de estudio “*tengan como referente los principios y valores democráticos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*” (...), y que éstos se incorporen como “*contenidos o competencias de carácter transversal*”.

Se acuña así el término ambientalización curricular, entendido como una revisión integral de los objetivos competenciales, afectando a los tres grandes ejes del modelo:

cognitivos (saber, ámbito teórico), metodológicos (saber hacer, actividad práctica), y actitudinales (saber ser, valores éticos) (Aznar y Ull, 2009).

A pesar del tiempo transcurrido y del respaldo institucional, los avances alcanzados resultan muy limitados, salvo en lo que respecta a producción científica (Varela-Losada et al., 2022). Los logros se encuentran en gran medida condicionados por el compromiso del profesorado y por la dificultad de orquestar iniciativas debidamente coordinadas, cuestiones a las que cabría añadir aspectos metodológicos y la propia saturación de los programas formativos (Geli et al., 2019). El presente trabajo constituye una iniciativa que nace desde un posicionamiento personal, en la idea de que las materias, también las de corte técnico, participen con una cierta formación en valores, aun cuando el entorno no aporte las sinergias que cabría esperar de una adecuada coordinación.

2. CONTEXTO ACADÉMICO

La experiencia se desarrolla durante el curso 2023-24 en la asignatura Estructuras 3, dotada con 6 ECTS de carácter obligatorio dentro del tercer curso (sexto cuatrimestre) del Grado en Estudios de Arquitectura de la Universidad de A Coruña. El plan de estudios data de 2015, año de aprobación de la Agenda 2030, y por tanto muy posterior a la publicación de las mencionadas directrices de la CRUE. En el ámbito de la sostenibilidad presenta una posible mención (entre otras cuatro), designada como “*Arquitectura y medio ambiente*”, vinculada a un total de 21 créditos optativos, desplegados en 5 materias, ninguna de las cuales está asociada directamente al ámbito estructural.

Competencias básicas	
CB3	Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
Competencias generales	
CG5	Conocer los problemas físicos, las distintas tecnologías y la función de los edificios de forma que se dote a éstos de condiciones internas de comodidad y protección de los factores climáticos, en el marco del desarrollo sostenible.
Competencias transversales	
CT4	Desenvolverse para el ejercicio de una ciudadanía abierta, culta, crítica, comprometida, democrática y solidaria, capaz de analizar la realidad, diagnosticar problemas, formular e implantar soluciones basadas en el conocimiento y orientadas al bien común.
Competencias específicas	
CE41	Aptitud para resolver el acondicionamiento ambiental pasivo, incluyendo el aislamiento térmico y acústico, el control climático, el rendimiento energético y la iluminación natural.
CE47	Capacidad para elaborar estudios medioambientales, paisajísticos y de corrección de impactos ambientales.
CE52	Conocimiento adecuado de la ecología, la sostenibilidad y los principios de conservación de recursos energéticos y medioambientales.

Tabla 2. Competencias incluidas en el plan de estudios relacionadas directa o indirectamente con la ambientalización curricular

En cuanto al marco competencial, los únicos ítems que de alguna forma podrían relacionarse con la ambientalización curricular se recogen en la Tabla 2. De todos ellos, sólo los referenciados como CB3 y CT4 se enlazan con materias del área estructural, pero lo cierto es que ambos presentan un enfoque muy generalista, y ninguna referencia explícita a las cuestiones medioambientales.

Adicionalmente, en la formación de los arquitectos, futuros responsables de la creación de espacios habitables y entornos urbanos, no se puede obviar que una parte de su educación se produce en el plano informal. Éste a su vez incluye la consulta masiva de medios de comunicación, especializados o no, que de alguna forma fomentan el consumo

en línea de imágenes de gran potencia visual de eso que se ha dado en llamar la arquitectura del espectáculo, a menudo condicionada por el artificio, por la búsqueda de formas no derivadas ni de la función ni del contexto (mucho menos de consideraciones medioambientales), sino más bien influenciadas por patrones sensoriales, frecuentemente sobrecargados (Figura 2) (Baltus et al., 2019; Lee y Ostwald, 2020; Castelo-Branco y Leitão, 2022).

En esta coyuntura es lícito plantear nuestra posible implicación en iniciativas de ambientalización curricular, a pesar de partir de una asignatura que debe completar en un cuatrimestre un extenso programa, así como el logro de objetivos competenciales de la máxima responsabilidad en el ejercicio profesional, como son los ligados al proyecto de estructuras de acero.



Figura 2. Metropol Parasol (Arq. Jürgen Mayer, Sevilla, 2011); Oculus (Arq. Santiago Calatrava, New York, 2016); Sharpe Center (Arq. Will Alsop, Robbie / Young + Wright, Toronto, 2004); Louis Vuitton Foundation (Arq. Frank Gehry, Paris, 2014).

Basándonos en estas consideraciones, nos planteamos articular un enfoque que no obligue a una dedicación adicional del estudiantado, cuyo tiempo de trabajo autónomo ya se encuentra ciertamente comprometido, ni plantee mayores dificultades en una materia de por sí tradicionalmente considerada difícil y exigente. Por el contrario, nuestra aproximación pretende facilitar una cierta formación en valores, de modo que el alumnado se haga progresivamente consciente de los impactos medioambientales de sus propias decisiones “proyectuales”. No se trata de establecer procedimientos de cuantificación más o menos rigurosos, sino de asentar las bases para una conciencia reflexiva que añada esta dimensión a las propias del diseño arquitectónico, como la factibilidad constructiva o la viabilidad económica. Y lograrlo en lo posible de forma que el resultado sea significativo, recurriendo a procesos simples y plenamente intuitivos.

3. CONSTRUCCIÓN E IMPACTO AMBIENTAL

La preocupación por la incidencia de la industria de la construcción en el medioambiente también ha cobrado intensidad durante el último cuarto de siglo. Ya en 1994, Charles Kibert asienta el concepto de construcción sostenible como “la creación y planificación de un ambiente construido saludable basado en la optimización de los recursos naturales disponibles y los principios ecológicos” (Gervasio, 2010). Ese mismo año, una comunicación de la Comisión Europea sobre Competitividad de la Industria de la Construcción desarrolla dicha idea identificando los principales aspectos para considerar, fundamentalmente ligados a la selección de materiales, la eficiencia energética y la gestión de residuos (European Commission, 1997).

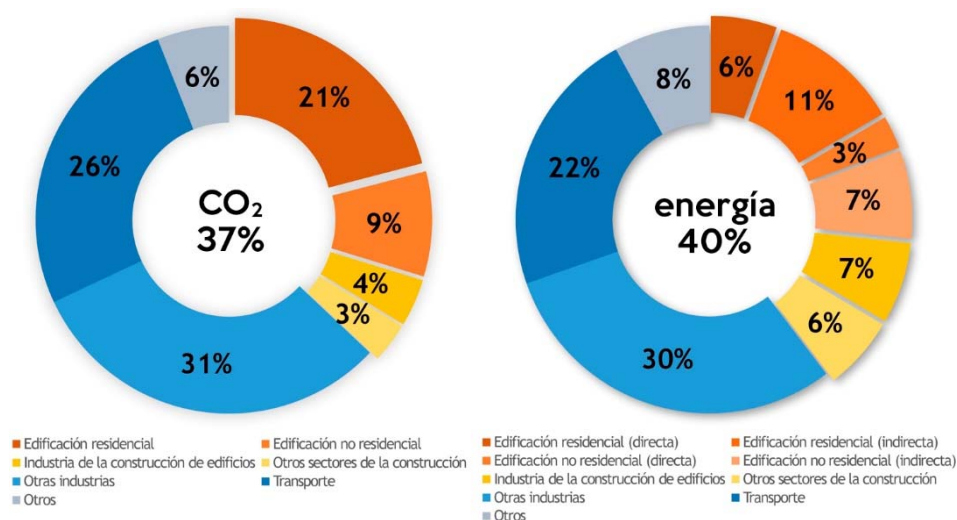


Figura 3. Emisiones de CO₂ y consumo de energía en edificios, con relación a otros sectores (2022). Fuente: International Energy Agency (IEA), Energy system, Buildings

En 2005, el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) estimaba que la construcción de edificios, en el marco de la Unión Europea, conllevaba un 40% tanto del consumo de materiales como de la energía primaria, y asimismo generaba un 40% de los residuos, desempeñando así un papel clave en la degradación medioambiental (Mercader et al., 2012). En lo que respecta a consumo energético, la Directiva 2012/27/UE ratifica la anterior valoración (European Parliament, 2012). Un año después, la Ley 8/2013, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas, reconoce en su preámbulo la importancia del parque edificado español de cara al cumplimiento de los compromisos europeos en materia de sostenibilidad y eficiencia energética (Jefatura del Estado, 2013). Asimismo, los sucesivos informes anuales de la International Energy Agency (IEA) estiman impactos igualmente preocupantes a nivel global (Figura 3).

Un panorama como el aquí esbozado requiere incorporar estrategias en la formación de los futuros arquitectos, orientadas a la inclusión de consideraciones de sostenibilidad en las decisiones de proyecto. En el ámbito profesional, existen dos enfoques básicos de análisis, las clasificaciones ambientales y el análisis del ciclo de vida (ACV). Los primeros asignan certificaciones diversas a los edificios en reconocimiento al empleo de prácticas ambientales responsables (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED–, Building Research Establishment Environmental Assessment Method – BREEAM–, Well Building Standard, Excellence in Design for Greater Efficiencies –

EDGES-, Passivhaus, Green Building Council España –GBCe-). Por otro lado, el ACV implica un estudio más exhaustivo, abarcando todos los procesos con algún tipo de impacto ambiental a lo largo de la vida útil de una edificación, desde la adquisición de las materias primas necesarias hasta la demolición final, pasando por todas las fases intermedias de construcción, utilización y mantenimiento (Bahramian y Yetilmezsoy, 2020; Onat y Kucukvar, 2020; Peña et al., 2021).

En cualquier caso, ambos enfoques conllevan un cierto grado de complejidad, y sin ninguna duda un punto de vista multidisciplinar que excedería ampliamente el ámbito de intervención de una única materia académica. Por ello nos planteamos la necesidad de buscar estrategias para ilustrar la repercusión del proyecto de estructuras (en nuestro caso de acero) en el medioambiente, de forma intuitiva y sin un sobrecoste de tiempo y esfuerzo para el estudiantado.

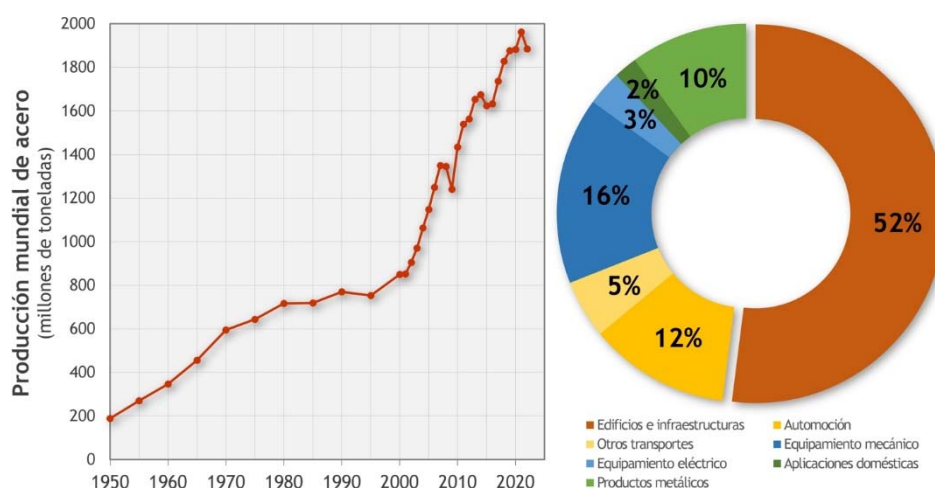
Bajo estas reflexiones, el planteamiento consiste en cuantificar de forma simple y significativa el impacto de un proyecto estructural, por ejemplo, a través de los efectos de un consumo excesivo de acero, ya sea por falta de optimización en el dimensionado, por recurrir a diseños especialmente desafortunados, o porque la idea de proyecto implica exigencias estructurales artificiosas, en absoluto derivadas de criterios funcionales.

3.1. Rutas de producción de acero

La producción mundial de acero no deja de aumentar (Figura 4), siendo algo más de la mitad de la misma utilizada en la construcción de edificios e infraestructuras (Figura 5) (WorldSteel Association, 2023). La industria siderúrgica es una de las más intensivas en consumo de energía (en 2019 en torno al 8% del total utilizado en todo el planeta) y emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (en el mismo año aproximadamente un 30% de las emisiones totales de CO₂ equivalente, y cercana al 7% de las emisiones antropogénicas totales) (Chang-ying et al., 2006; Qader et al., 2015; Hernández Ayón et al., 2017; Rojas-Manzano et al., 2021; Kim et al., 2022; Kazmi et al., 2023). Es evidente que la producción de acero incluye una amplia serie de procesos con diferentes grados de afección al medioambiente, incluyendo la extracción y transporte de materiales, el consumo de energía y agua, la emisión de gases, o la generación de subproductos y residuos (Celada-Casero et al., 2022).

No obstante, principalmente a partir de los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto, relacionados con los objetivos de descarbonización y de reducción de las emisiones de GEI, se ha prestado especial atención a estos últimos, con la confección y actualización periódica de inventarios nacionales. Asimismo, proliferan los estudios que pretenden identificar los posibles criterios de mitigación, optimizar los procesos tecnológicos de fabricación, o bien abordar el análisis de ciclo de vida de los mismos (Duan et al., 2022).

En cualquier caso, el amplio consenso que existe sobre los posibles efectos adversos de los GEI, y el cómputo documentado y actualizado de emisiones, ofrecen un buen punto de partida para estimar el impacto del consumo de acero, aun cuando, por pretender una cierta simplicidad de enfoque, el análisis se circunscriba al ámbito de la producción (eludiendo por tanto cuestiones también relevantes como el transporte o el montaje).



Figuras 4 y 5. Producción mundial de acero en bruto y usos por sectores. Fuente: WorldSteel Association, 2023 World Steel in Figures

La producción de acero se puede abordar por diferentes procesos, que a su vez implican distintos niveles de daño ambiental. Lo cierto es que en determinados países prevalecen los más agresivos, fundamentalmente por causas económicas, lo que incluye a China como principal productor mundial (Conejo et al., 2020).

Al respecto, el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) contempla hasta tres procesos bien diferenciados (IPCC, 2006; IPCC, 2019). De una parte se sitúan los conocidos como primarios, desarrollados normalmente en instalaciones integradas, y que incluyen los hornos básicos de oxígeno (BOF, Basic Oxygen Furnace) y, en mucha menor medida, los hornos abiertos de reverbero (OHF, Open Hearth Furnace). Por otra parte, la fabricación secundaria se realiza habitualmente en hornos de arco eléctrico (EAF, Electric Arc Furnace). La ruta BOF implica la carga del recipiente con un 70-90% de hierro fundido y un 10-30% de chatarra de acero, carga que ha de fundirse mediante una reacción exotérmica del carbono contenido en el hierro con oxígeno de gran pureza, reduciendo el primero de un 3-4% inicial a menos del 1%. El sistema EAF, por el contrario, se desarrolla con una carga de casi un 100% de chatarra de acero, que se funde mediante energía eléctrica aplicada con electrodos de carbono. Ambos procesos incorporan tareas adicionales de refinado y aleado para lograr el grado de acero deseado.

El hecho de que el carbono desempeñe una función dominante en la ruta BOF (al estar basada en la reducción de óxidos), unido a consideraciones de orden fundamentalmente energético, hace que sea un proceso mucho más agresivo con el medioambiente que el sistema EAF. A pesar de ello, se estima que, a nivel global, el proceso BOF afectó en 2023 a más del 70% de la producción de acero mundial (WorldSteel Association, 2023).

En las últimas décadas se han desarrollado un cierto número de innovaciones tecnológicas y estrategias de optimización de los procesos, con implicaciones en términos de sostenibilidad (uso de fuentes de energía alternativas a la quema de combustibles fósiles, sistemas de precalentamiento y carga continua de chatarra, tasas de inyección de oxígeno, utilización de hierro de reducción directa –DRI–, entre otras) (Conejo et al., 2020; Kazmi et al., 2023). No obstante, con la pretensión de lograr un enfoque simple y con cierto potencial formativo, la experiencia se ha desarrollado con los criterios de estimación del IPCC, que se circunscriben a las tres rutas antes mencionadas, y a las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), y N₂O (óxido nitroso), principales GEI derivados de la industria siderúrgica.

3.2. Estimación del CO₂ equivalente

Se propone así una estimación según el denominado método de nivel 1, adecuado cuando no se dispone de datos exhaustivos sobre las actividades de producción asociadas a cada proceso. Responde a una expresión conceptualmente muy simple, basada en los datos nacionales de producción, y en los denominados factores de emisión por defecto. Cabe reseñar que la función excluye las emisiones asociadas a la energía consumida, y que utiliza el concepto de CO₂ equivalente; esto es, traduciendo a una unidad común la contribución de los diferentes GEI en términos de potencial de calentamiento global en un período de 100 años (1 para el CO₂, 28 para el CH₄, 265 para el N₂O). En estos términos, las emisiones de CO₂e, expresadas en toneladas, se deducen de la expresión (IPCC, 2019):

$$E_{CO_2e, no-energía} = BOF \times EF_{BOF} + EAF \times EF_{EAF} + OHF \times EF_{OHF}$$

Designando como P el peso en toneladas de acero, tomando los datos de producción que menciona el propio IPCC con relación a 2003 (BOF 63%; EAF 33%; y OHF 4%) y los factores de emisión (en toneladas de CO₂ originadas por cada tonelada de acero producido) de la tabla 4.18 (IPCC, 2019) resulta:

$$E_{CO_2e, no-energía} = (0,63 \times 1,58 + 0,33 \times 0,18 + 0,04 \times 1,72) \times P = 1,124 \times P$$

3.3. Estimación de la huella ecológica

El procedimiento anterior ofrece así una valoración de las emisiones asociadas a la producción del acero utilizado en un determinado sistema estructural, simplemente a partir de su peso (parámetro que por lo demás facilitan el grueso de las aplicaciones de dimensionado y cálculo). Como se ha indicado, no se trata tanto de lograr una cuantificación más o menos rigurosa como de disponer de una herramienta potencialmente ilustrativa sobre el impacto medioambiental, y hacerlo de forma que permita una fácil comparativa entre alternativas de proyecto. Con todo, el concepto de emisiones implica un cierto grado de abstracción, lo que de alguna forma aconseja traducirlo a parámetros con una mayor significatividad para el estudiantado, y, en consecuencia, con un mayor poder formativo.

En este punto resulta especialmente pertinente el concepto de huella ecológica, que se puede definir como “*un indicador que permite estimar las necesidades de consumo de recursos y de asimilación de residuos de una población humana o una economía, en términos de superficie terrestre productiva*” (Wackernagel y Rees, 1996). Bajo estas consideraciones, es posible ilustrar los efectos ecológicos de las decisiones humanas prácticamente a cualquier escala (personal, institucional, local, regional, nacional, global), y sobre aspectos amplios o específicos de nuestras actividades y formas de vida (Matustík y Kocí, 2021; Szigeti et al., 2023).

Partiendo de este concepto, y considerando que las masas forestales constituyen uno de los principales sumideros de carbono del planeta (Nabuurs y Schelhass, 2002), cabe plantearse qué superficie arbolada sería necesaria para captar el total de emisiones de CO₂ asociadas a un determinado proyecto. No es una cuestión menor, habida cuenta de que depende de múltiples factores, como la densidad del arbolado, las especies consideradas

y su porte; como también de otros ítems ligados al contexto geográfico (composición del suelo, topografía o climatología). De hecho, en las últimas décadas han proliferado los estudios orientados a estos temas, en consonancia con los criterios de la Unión Europea para mitigar el cambio climático (IPCC, 2023).

A los efectos de la presente experiencia académica, se ha considerado un bosque autóctono genérico de *pinus pinaster*, la conífera más extendida en Galicia, con una ocupación del 15,35% (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011). Para esta especie, las estimaciones sobre captación de CO₂ se mueven entre 8,6 y 10,0 toneladas por hectárea y año (López-Senespleda et al., 2021; Lázaro-Lobo et al., 2023). Asumiendo el límite inferior de dicha horquilla, se deduce la expresión que permite estimar la superficie S requerida, expresada en hectáreas:

$$S = (1,124 \times P) / 8,6 = 0,131 \times P$$

4. METODOLOGÍA

4.1. Objetivos y consideraciones metodológicas

Como se ha perfilado previamente, la experiencia persigue introducir en el currículo elementos de aprendizaje que sensibilicen al estudiantado sobre los impactos medioambientales de sus decisiones de proyecto, a fin de contribuir a la formación de profesionales reflexivos y responsables en el ámbito del desarrollo sostenible. Dado que no se pretende sobrecargar ni los contenidos ni los objetivos competenciales del programa, ya de por sí muy exigente, se plantea como una iniciativa voluntaria, de baja intensidad, cuyos posibles efectos se puedan valorar a través de encuestas de opinión.

4.2. Muestra

La población comprende un total de 55 estudiantes matriculados en la materia Estructuras 3 del grado antes mencionado. La asignatura conlleva una dedicación presencial de cuatro horas semanales, distribuidas en dos días de la siguiente forma: dos expositivas y una interactiva en horario continuo, y una hora adicional en un taller multidisciplinar en el que el alumnado afronta por primera vez un proyecto de edificación, incluyendo los oportunos desarrollos técnicos, y en el que participan docentes de proyectos, urbanismo, construcción y estructuras. Sobre la primera parte gravita siempre el problema de mantener un adecuado nivel de atención durante las tres horas asignadas, lo que implica introducir pausas y actividades intermedias. Por otro lado, el taller supone una experiencia de aprendizaje basado en proyectos (ABS), y, en consecuencia, un reto formativo cara al futuro ejercicio profesional, condicionado por la dificultad de lograr una adecuada coordinación interdepartamental.

4.3. Procedimiento

Con objeto de recabar inicialmente información sobre el grupo de estudiantes, se les planteó una primera encuesta en la que valoraron (anónima y voluntariamente) hasta 8 ítems en una escala de tipo Likert (1 totalmente en desacuerdo, 7 plenamente de acuerdo).

La participación alcanzó un 79%, y los valores promedio resultantes fueron los trasladados al gráfico radial de la Figura 6. En términos generales se denota un cierto grado de concienciación, con una mayoría favorable a que la sostenibilidad tenga cierta presencia en los estudios universitarios. No obstante, el grupo consideró que inició el título con escasos conocimientos sobre el tema (3,35), y que tras dos cursos completos la percepción sólo había mejorado de forma leve (4,53). Igualmente, llama la atención que globalmente se manifestasen a favor de incorporar un enfoque medioambiental en el proyecto de estructuras (5,79), entendiéndose que su conocimiento al respecto era limitado (se corresponde con el ítem de menor puntuación, 2,79). En términos generales, se puede afirmar que estas consideraciones avalan la iniciativa de implementar una experiencia en los términos esbozados.

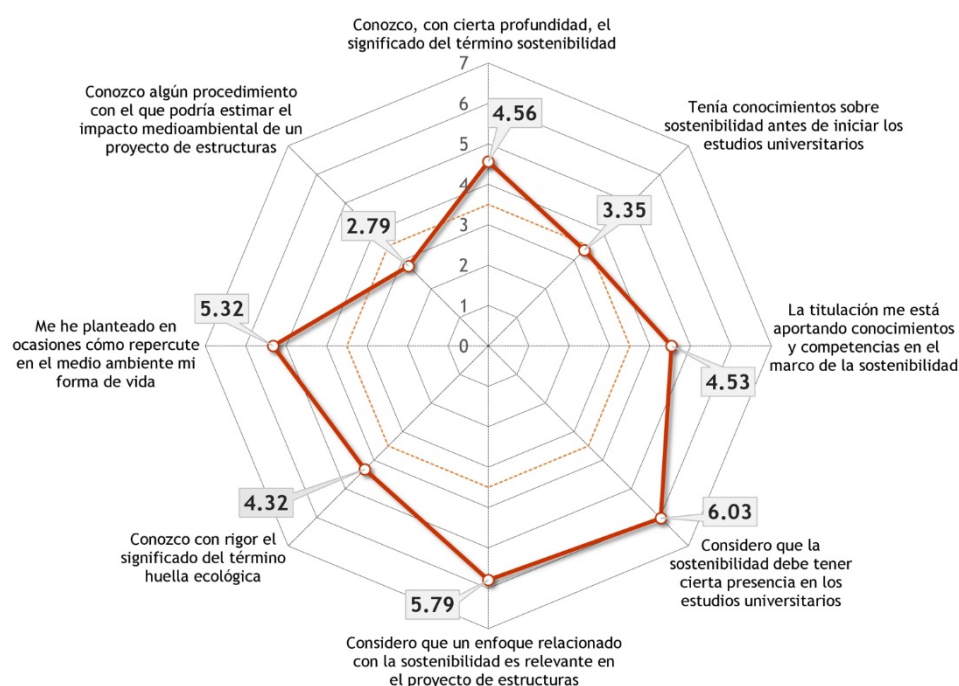


Figura 6. Representación radial de los promedios resultantes en la encuesta inicial

El siguiente paso fue la preparación de unos contenidos básicos sobre sostenibilidad, incluyendo los conceptos de degradación medioambiental y huella ecológica, así como la estimación de emisiones de GEI derivada de la producción de acero, en los términos descritos en el apartado previo. Dado que la experiencia se planteó como voluntaria y no evaluable, entendimos que dichos contenidos debían ser presentados fundamentalmente de forma gráfica, con ilustraciones capaces de transmitir conceptos de forma simple y significativa. Asimismo, la idea era utilizarlos brevemente dentro del horario expositivo, como un elemento más de ruptura para paliar la pérdida de atención inherente a los períodos prolongados de clase.

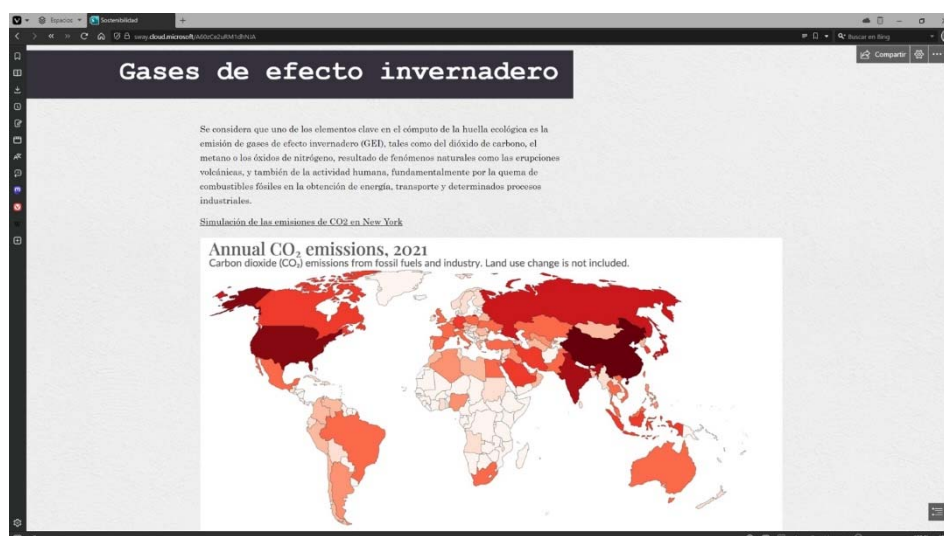


Figura 7. Captura de la presentación desarrollada.

Basándose en todo ello se optó por Sway (© Microsoft) como herramienta (<https://sway.cloud.microsoft/A60zCe2uRM1dhNJA>), atendiendo a que aporta recursos gráficos de cierto atractivo, así como una integración inmediata en diferentes dispositivos y pantallas para su ulterior consulta (Figura 7).

Con todo, consideramos que el criterio de estimación de superficie arbolada, descrito previamente, constituye una herramienta válida, pero en cierta medida insuficiente, siendo dos las posibles reservas: de un lado, cabía ilustrar este resultado de forma que el estudiantado interiorizase mejor su magnitud. Por otra parte, cabía la posibilidad de implementar la estimación en una herramienta digital que también facilitase valoraciones comparativas.

Ambos objetivos se han afrontado mediante el desarrollo de una hoja de cálculo en Excel (© Microsoft) (Figura 8). La aplicación no sólo cuantifica la superficie requerida para la captación de CO₂, sino que además la muestra mediante un círculo trazado a escala sobre la planimetría urbana de A Coruña. De esta forma, la magnitud adquiere un mayor significado para el alumnado, toda vez que se referencia a la realidad urbana que ya conoce. Asimismo, la herramienta permite introducir el peso de acero asociado hasta un total de cinco alternativas estructurales. La comparativa entre ellas se resuelve por la propia visualización de los correspondientes círculos, pero también mediante un histograma que muestra las emisiones de CO₂ asociadas.

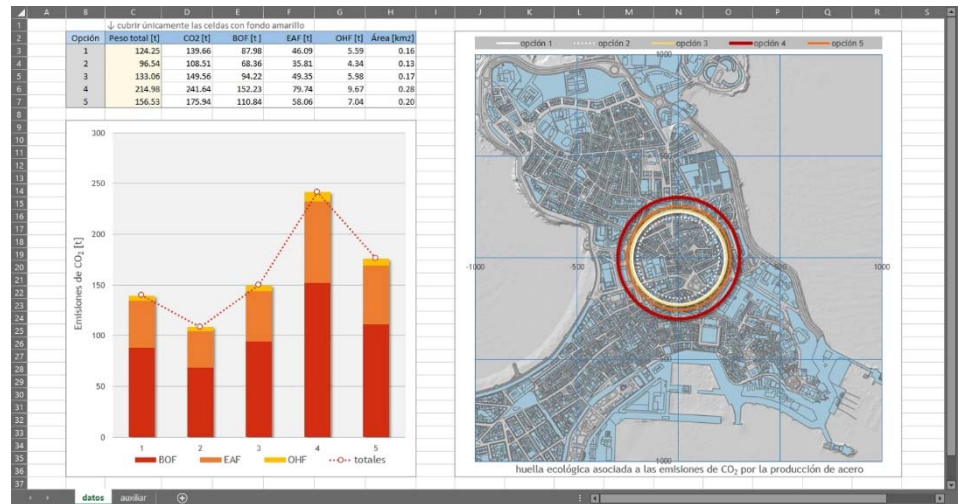


Figura 8. Captura de la hoja de cálculo desarrollada.

En la presentación se ha utilizado la herramienta sobre un posible ejemplo, tomando como referencia el bloque de aulas (edificio 1) de la escuela infantil de Alfarrás, de *Edifica Arquitectes* y ubicada en Lleida. Dado el esquema sensiblemente repetitivo de la edificación, se ha resuelto un módulo básico de 7,5 m de fondo, mediante cinco sistemas con diferente posicionamiento de soportes, en los que se han optimizado los perfiles de acero por categorías (Figura 9). Tales opciones producen espacios más o menos diáfanos, que podrían responder a exigencias funcionales, como la inclusión de áreas deportivas o la previsión de aulas de tamaño variable. Se observa que la alternativa con planta baja totalmente libre conlleva emisiones 2,23 veces superiores a la solución con mayor densidad de pilares. De esta forma, el alumnado puede interiorizar, de forma muy intuitiva, que este tipo de decisiones “proyectuales” no sólo implican mayores costes económicos, sino también medioambientales.

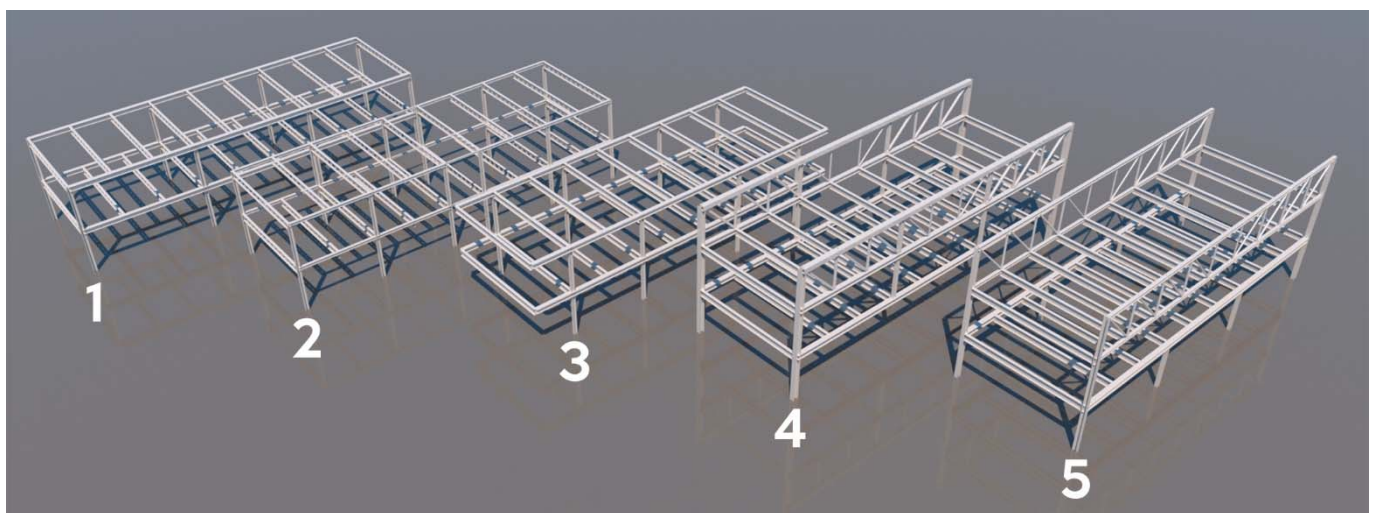


Figura 9. Modelos tridimensionales de las alternativas estructurales analizadas (las cifras se corresponden con las opciones antes representadas en la Figura 8).

4.4. Análisis de resultados

Como se ha señalado anteriormente, la encuesta planteada al inicio del cuatrimestre apuntaba a un grupo en cierta medida receptivo hacia los temas que nos ocupan, con valoraciones medias en lo que respecta a la percepción de sus propios conocimientos, y máximas en cuanto a la incorporación de las competencias asociadas en la formación académica. Esta predisposición también se puso de manifiesto durante la charla sobre sostenibilidad y proyecto de estructuras, en términos de atención y participación, siendo como fue una actividad voluntaria no sujeta a ningún tipo de calificación.

Con independencia de lo anterior, se propuso una nueva encuesta de opinión a fin de valorar de una forma más objetivable si la experiencia había producido algún efecto en el estudiantado, en la línea de los objetivos inicialmente planteados. Nuevamente se recurrió a una batería de ítems para valorar en una escala de tipo Likert de 1 a 7, resultando los promedios de la Figura 10, con una participación (también aquí voluntaria y anónima) del 52,9%. Cabe interpretar que el tema despierta un notable interés, toda vez que se consignan valoraciones de 6,41 tanto para la charla efectuada como para la hoja de cálculo aportada, y de 6,04 sobre la posibilidad de incrementar la formación en sostenibilidad a lo largo del título. Por el contrario, la menor puntuación (2,85) atiende a si estos temas son considerados por el profesorado del centro a la hora de valorar los trabajos. Asimismo, consultados sobre qué formación adicional (sobre desarrollo sostenible) desearían recibir en lo que resta del título, las respuestas son ciertamente variadas, predominando ideas como la economía circular, las estrategias de reciclaje y de gestión de residuos, la estimación de la huella para otros procesos, la selección de materiales, o la valoración de los posibles sobrecostes.

A la vista de los resultados, se puede inferir que, partiendo de un colectivo con cierto grado de motivación inicial, la experiencia ha contribuido a incrementar su interés y compromiso. No obstante, los datos también apuntan a que estas iniciativas no dejan de ser singulares, en un contexto insuficientemente imbricado por otra parte en la estructura de la titulación.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La constatación de un progresivo deterioro medioambiental a escala global sugiere la necesidad de que los seres humanos, especialmente en los países más desarrollados, modifiquemos sustancialmente nuestra forma de vida, y en especial nuestros hábitos de consumo. En esta cuestión, las instituciones de Educación Superior han de asumir un papel activo, contribuyendo a la formación de una ciudadanía responsable y respetuosa con su entorno.

Desde que en 2005 la CRUE publicó las Directrices para la Sostenibilización Curricular, en su redacción inicial, han transcurrido ya casi dos décadas. Y, sin embargo, se puede afirmar que los avances en este sentido, en el marco de las universidades españolas, han sido ciertamente limitados. En último término, la incorporación de competencias transversales sobre sostenibilidad en los planes de estudio no ha tenido repercusiones sustanciales en el ámbito formativo, circunscribiéndose en gran medida a la iniciativa de determinados equipos docentes.

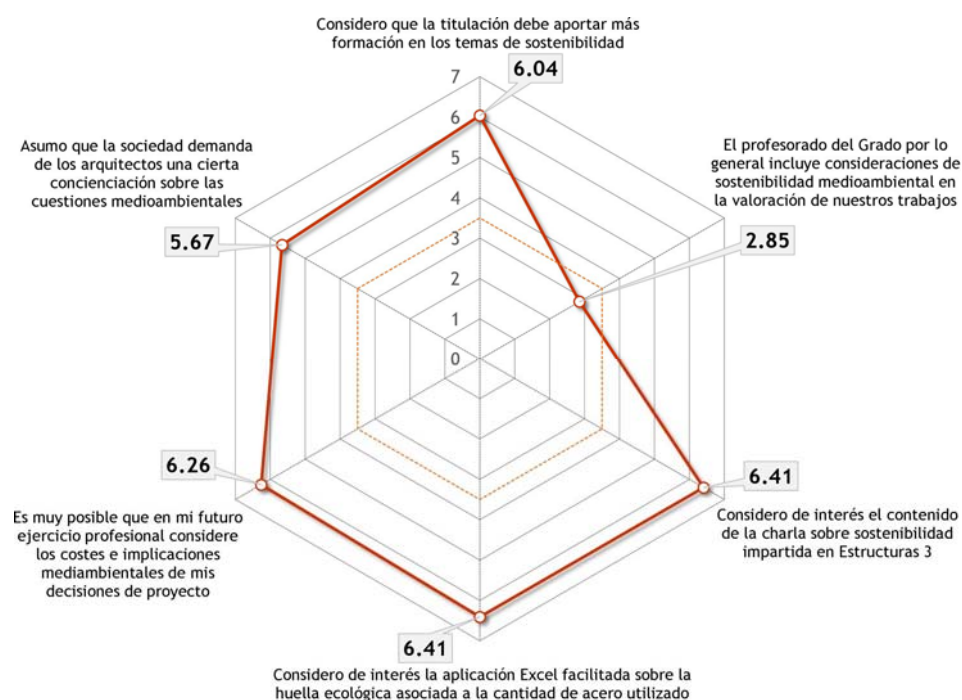


Figura 10. Representación radial de los promedios resultantes en la encuesta final

Tanto la arquitectura como el urbanismo constituyen disciplinas o campos profesionales con un gran potencial de impacto en el ecosistema, y por ello la formación de los futuros arquitectos no puede resultar ajena a estas cuestiones.

En este contexto, el presente estudio pretende por una parte valorar el posicionamiento del estudiantado con relación a estos temas, en el ecuador del Grado de Estudios de Arquitectura de la Universidad de A Coruña. Por otro lado, se plantea una experiencia de sensibilización sobre los problemas ambientales, de forma que se hagan más conscientes sobre las implicaciones de sus propias decisiones de proyecto. En cualquier caso, cabe reseñar las dificultades añadidas a la hora de introducir la iniciativa en una materia técnica, tradicionalmente considerada de cierta complejidad –y no menor dificultad–, y con un programa muy extenso. Por ello, la implementación se ha efectuado con un enfoque voluntario, y sin repercusión alguna en los procesos de evaluación sumativa.

La encuesta de partida permite adivinar un cierto grado de concienciación en el alumnado. A pesar de ello, el cuadro de competencias del título, y su adscripción a las distintas materias que lo conforman, no perfila un marco formativo integral que pudiese obedecer a un enfoque multidisciplinar. Esta cuestión, unida a una percepción limitada sobre la formación que se está recibiendo, apunta a iniciativas aisladas en el contexto de alguna asignatura, y desde luego ajenas al ámbito estructural.

Tanto la participación del estudiantado en la experiencia como los resultados de la encuesta posterior, sustentan un resultado globalmente favorable, toda vez que el grupo se ha mostrado permeable a estas iniciativas, y en cierta medida se ha hecho más consciente de la problemática medioambiental, y en concreto de las implicaciones que en la misma pueden tener los diseños estructurales.

Con todo, no podemos dejar de señalar que experiencias como la aquí descrita suelen desarrollarse al margen de la organización reglada de los títulos, al amparo de la iniciativa de los docentes, y por tanto sin una verdadera consolidación en la troncalidad de los programas. Los cambios suscitados desde las altas instituciones del Estado y de la Unión

Europea requieren sin duda una implementación más sólida, estructurada con un enfoque holístico, de forma que los objetivos competenciales se consoliden a través de actividades multidisciplinares en que participen diversas áreas, con una programación extendida a lo largo de la titulación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba Hidalgo, D., Barbeitos Alcántara, R., Barral Silva, M.T., Benayas del Álamo, J., Blanco Heras, D., Domènech Antúnez, X., Fernández Sánchez, I., Florensa i Botines, A., García Orenes, F., López Álvarez, N. e Ysern Comas, P. (2012). Estrategias de sostenibilidad y responsabilidad social en las universidades españolas: una herramienta para su evaluación. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 16(2), 59-75. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56724395005>
- Alba Hidalgo, D. (2017). Hacia una fundamentación de la sostenibilidad en la educación superior. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73, 15-34. <https://doi.org/10.35362/rie730197>
- Alcalá del Olmo, M.J., Santos, M.J., Leiva, J.J. y Matas, A. (2020). Sostenibilidad Curricular: Una Mirada desde las Aportaciones del Profesorado de la Universidad de Málaga. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 9(2), 310-326. <https://doi.org/10.15366/riejs2020.9.2.015>
- Alcántara-Rubio, L., Limón-Domínguez, D., García-Pérez, F.F. y Valderrama-Hernández, R. (2022). Orientaciones pedagógicas para integrar la dimensión ambiental para la sostenibilidad en el currículum. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 4(1), 1.301. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2022.v4.i1.1301
- Aznar, P. y Ull, M.A. (2009). La formación de competencias básicas para el desarrollo sostenible: el papel de la Universidad. *Revista de Educación*, (núm. Extraordinario), 219-237. Recuperado de: <https://www.educacionyfp.gob.es/revista-de-educacion/numeros-revista-educacion/numeros-antiguos/2009/re2009/re2009-10.html>
- Aznar Minguet, P., Ull, M.A., Piñero, A. y Martínez-Agut, M.P. (2014). La sostenibilidad en la formación universitaria: desafíos y oportunidades. *Educación XXI*, 17(1), 133-158. <https://doi.org/10.5944/educxx1.17.1.10708>
- Baltus Kaunas, V., Jankauskaitė-Jurevičienė, L. y Žebrauskas, T. (2019). Parametric architecture today and tomorrow. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 25(2). <https://doi.org/10.5755/j01.sace.25.2.21698>
- Bahramian, M. y Yetilmesoy, K. (2020). Life cycle assessment of the building industry: An overview of two decades of research (1995–2018). *Energy and Buildings*, 219, 109917. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109917>
- Bautista-Cerro, M.J. y Díaz-González, M.J. (2017). La sostenibilidad en los grados universitarios: presencia y coherencia. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 29(1), 161-187. <https://doi.org/10.14201/teoredu291161187>
- Castelo-Branco, R. y Leitão, A. (2022). Algorithmic Design in Virtual Reality. *Architecture*, 2, 31-52. <https://doi.org/10.3390/architecture2010003>
- Celada-Casero, C., López, F.A., Caballero, F.G. y Capdevila, C. (2022). El hidrógeno como vector energético en la industria siderúrgica para abordar el reto global de descarbonización. *A+M Ambiente y Medio*, 10, 61-68. Recuperado de: <https://ambientalesuned.es/revista/numero-10/>
- Chang-qing, H., Li-yun, Ch., Chun-xia, Z., Yuan-hong Q. y Rui-yu, Y. (2006). Emission mitigation of CO₂ in steel industry: current status and future scenarios. *Journal of Iron and Steel Research*, 13(6), 38-52. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(06\)60107-6](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(06)60107-6)

- Conejo, A.N., Birat, J.P. y Dutta, A. (2020). A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. *Journal of Environmental Management*, 259, 109782. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109782>
- De la Rosa Ruiz, D., Giménez Armentia, P. y de la Calle Maldonado, C. (2019). Educación para el desarrollo sostenible: el papel de la universidad en la Agenda 2030. *Revista Prisma Social*, 25, 179-202. Recuperado de: <https://revistaprismasocial.es/article/view/2709>
- Duan, H., Hou, Ch., Yang, W. y Song, J. (2022). Towards lower CO₂ emissions in iron and steel production: Life cycle energy demand-LEAP based multi-stage and multi-technique simulation. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 270-280. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.028>
- European Commission - COM Document (1997). *The competitiveness of the construction industry*. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM (97) 539 final, 4 November 1997. Recuperado de: <http://aei.pitt.edu/3497/>
- European Parliament (2012). *Directiva 2012/27/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética*, por la que se modifican las Directivas 2009/125/EC y 2010/30/EU, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/EC y 2006/32/EC. Recuperada de: <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- Geli, A.M., Collazo, L. y Mulà, I. (2019). Contexto y evolución de la sostenibilidad en el curriculum de la universidad española. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 1(1), 1.102. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2019.v1.i1.1102
- Gervasio, H. (2010). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas. *Revista Acero Latinoamericano*, 18-25. Instituto Chileno del Acero. Recuperado de: <https://icha.cl/wp-content/uploads/2014/12/LA-Sustentabilidad-del-Acero-y-Las-Estructuras-Met%C3%A1licas.pdf>
- Heras, F. (2023). La educación ambiental y los estilos de vida sostenibles. *Ecosistemas*, 32(especial), 2.470. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2470>
- Hernández Ayón, F.J., Hernández Ayón, H. y Toledo González, J.A. (2017). Evaluación del nivel de sustentabilidad de productos: caso de la industria del acero. *Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 4(1), 1.202-1.215. Recuperado de: <https://riico.net/index.php/riico/article/view/765>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 3: Industrial processes and product use. Chapter 4: Metal industry emissions. Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 3: Industrial processes and product use. Chapter 4: Metal industry emissions. Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol3.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change*. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- International Energy Agency (s.f.). *Energy system. Buildings*. Recuperado el 8 de febrero de 2024 de: <https://www.iea.org/energy-system/buildings#tracking>
- Kazmi, B., Taqvi, S.A.A. y Juchelková, D. (2023). State-of-the-art review on the steel decarbonization technologies based on process system engineering perspective. *Fuel*, 347, 1284459. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128459>
- Kim, J., Sovacool, B.K., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M. y Lee, J. (2022). Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical

- systems, technological innovations, and policy options. *Energy Research & Social Science*, 89, 102565. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102565>
- Lara Díaz, L.M., Pérez Padrón, M.C. y Martínez Casanova, L.M. (2021). La investigación educativa y su posible contribución al desarrollo sostenible de la universidad, desde la teoría. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(6), 205-219. Recuperado de: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2384>
- Lázaro-Lobo, A., Ruiz-Benito, P., Cruz-Alonso, V. y Castro-Díez, P. (2023). Quantifying carbon storage and sequestration by native and non-native forests under contrasting climate types. *Global Changing Biology*, 29; 4.530-4.542. <https://doi.org/10.1111/gcb.16810>
- Lee, J.H. y Ostwald, M.J. (2020). Creative Decision-Making Processes in Parametric Design. *Buildings*, 10, 242. <https://doi.org/10.3390/buildings10120242>
- Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Boletín Oficial del Estado, núm. 153, de 27 de junio de 2013, pp. 47.964 a 48.023. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-6938
- López-Senespleda, E., Calama, R. y Ruiz-Peinado, R. (2023). Estimating forest floor carbon stocks in woodland formations in Spain. *Science of The Total Environment*, 788, 147734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147734>
- Márquez Delgado, D.L., Hernández Santoyo, A., Márquez Delgado, L.H. y Casas Vilardell, M. (2021). La educación ambiental: evolución conceptual y metodológica hacia los objetivos del desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 301-310. Recuperado de: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1968>
- Matušík, J. y Kočí, V. (2021). What is a footprint? A conceptual analysis of environmental footprint indicators. *Journal of Cleaner Production*, 285,124833. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124833>
- Mercader, M.P., Ramírez de Arellano, A. y Olivares, M. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la construcción*, 64(527), 401-414. <https://doi.org/10.3989/ic.10.082>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2011). *Cuarto Inventario Forestal Nacional. Galicia*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/>
- Nabuurs, G.J. y Schelhaas, M.J. (2002). Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecological Indicators*, 1(3), 213-223. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00007-9)
- Onat, N.C. y Kucukvar, M. (2020). Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109783. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783>
- Pegalajar Palomino, M.C., Burgos García, A. y Martínez Valdivia, E. (2022). Educación para el Desarrollo Sostenible y Responsabilidad Social: claves en la formación inicial del docente desde una revisión sistemática. *Revista de Investigación Educativa*, 40(2), 421-437. <http://dx.doi.org/10.6018/rie.458301>
- Peña, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Caldeira-Pires, A., Weldema, B., Mieras, E., Wang, F., Fava, J., Milá i Canals, Ll., Cordella, M., Arbuckle, P., Valdivia, S., Fallaha, S. y Motta, W. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 215-220. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>
- Quader, M.A., Ahmed, S., Ghazilla, R.A., Ahmed, S. y Dahari, M. (2015). A comprehensive review on energy efficient CO₂ breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 594-614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.026>

- Ramos Torres, D.I. (2020). Contribución de la educación superior a los Objetivos de Desarrollo Sostenible desde la docencia. *Revista Española de Educación Comparada*, 37, 89-110. <https://doi.org/10.5944/reec.37.2021.27763>
- Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Boletín Oficial del Estado, núm. 260, de 30 de octubre de 2007, pp. 44.037 a 44.048. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-18770>
- Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. Boletín Oficial del Estado, núm. 233, de 29 de septiembre de 2021. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-15781>
- Rojas-Manzano, M.A., Otálvaro-Calle, I.F., Pérez-Caicedo, J.A., Benavides, H.M. y Ambriz-Fregoso, C. (2021). Uso de las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE) en la construcción - estado del arte. *Revista UIS Ingenierías*, 20(2), 53-63. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553770380005>
- Szigeti, C., Major, Z., Szabó, D.R. y Szennay, Á. (2023). The Ecological Footprint of Construction Materials - A Standardized Approach from Hungary. *Resources*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/resources12010015>
- Tilbury, D. (2011). *Higher education for sustainability: A global overview of commitment and progress*. Higher Education's Commitment to Sustainability: From Understanding to Action. 18-28.
- Ull, M., Martínez Agut, M.P., Piñero, A. y Aznar Minguet, P. (2010). Análisis de la introducción de la sostenibilidad en la enseñanza superior en Europa: compromisos institucionales y propuestas curriculares. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(extraordinario), 413-432. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.iextra.20
- UN Secretary-General (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: "Our common future"*. Brundtland Report. A/42/427. Recuperado de: <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=es>
- Vallespín Pérez, D. (2022). Universidad y desarrollo sostenible. *Revista de Educación y Derecho*, 1(extraordinario), 259-280. <https://doi.org/10.1344/REYD2021.1EXT.37702>
- Varela-Losada, M., Pérez-Rodríguez, U., Lorenzo-Rial, M.A. y Vega-Marcote, P. (2022). In search of transformative learning for sustainable development: bibliometric analysis of recent scientific production. *Frontiers in Education*, 7, 786560. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.786560>
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2012). La educación para la sostenibilidad en la universidad: el reto de la formación del profesorado. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 16(2), 25-43. Recuperado de: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/profesorado/article/view/19912>
- Wackernagel, M. y Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.
- WorldSteel Association. (2023). *2023 World Steel in Figures*. Recuperado de: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2023/>