

Capítulo 2

Competencias para el desarrollo sostenible en tiempos de IA: una revisión sistemática de la literatura

Alexis Contreras-Arámbula¹

Ana Teresa Sifuentes Ocegueda²

Raquel Castañeda Ibarra³

Dulce Aide Ávila Camacho⁴

DOI:

<https://doi.org/10.61728/AE26004617>



¹ alexiscontreras.fceam@uas.edu.mx

² anat.sifuentes@uan.edu.mx

³ raquel.ibarra@uan.edu.mx

⁴ 22005038@uan.edu.mx



Resumen

La crisis socioecológica contemporánea coincide con una acelerada transformación digital impulsada por la inteligencia artificial (IA), la automatización y las tecnologías emergentes. Estos desafíos exigen repensar las competencias clave para el desarrollo sostenible (DS) desde una perspectiva que integre sostenibilidad, innovación y gobernanza tecnológica. El presente estudio desarrolla una revisión sistemática bajo lineamientos PRISMA (Scopus, n=954 registros; n=48 documentos incluidos), con el objetivo de identificar las competencias más citadas en la literatura y analizar su capacidad para responder a los retos tecnológicos actuales. Los resultados muestran una fuerte convergencia en torno a pensamiento sistémico (83.33 %), anticipación (70.83 %), competencia estratégica (60.42 %) y pensamiento crítico (37.50 %), coherentes con marcos como el de Wiek et al. (2011), Rieckmann (2012) y UNESCO (2017). No obstante, se identifica una brecha significativa en la integración explícita de competencias relacionadas con IA ética, gobernanza digital, innovación tecnológica sostenible y alfabetización digital. Se concluye que, aunque el marco dominante es transformativo en intención pedagógica, aún opera dentro de un paradigma parcialmente adaptativo. Para alinearse con las demandas del mundo actual sediento de nuevas tecnologías, innovación e IA, se requiere articular las competencias de sostenibilidad con una alfabetización tecnológica crítica y una innovación social orientada a la justicia socioecológica.

Introducción

La transición hacia el desarrollo sostenible en el siglo XXI no puede entenderse como un proceso aislado, sino como un fenómeno que ocurre en un contexto definido por distintos acontecimientos, entre ellos la crisis climática (Besong y Holland, 2015; G. Bianchi et al., 2022; UNESCO, 2017) y la transformación digital global (Berends y Snelting, 2025). Así

pues, a menudo la digitalización se percibe como una solución ecológica por la reducción del uso de papel; sin embargo, la infraestructura que sostiene la sociedad red tiene una huella física y energética masiva (Sampedro et al., 2021); así, los sistemas de IA no son entidades intangibles, sino que forman parte de una industria de extracción global que depende de la explotación de recursos energéticos y minerales (Crawford, 2022). En consecuencia, el sector de las TIC ya es responsable de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (entre el 2.5 % y el 3 % de las emisiones globales), y se proyecta que el consumo energético de los data centers (el corazón del sistema digital) continúe creciendo de forma acelerada hasta alcanzar el 14 % para el año 2040, lo que podría comprometer los objetivos climáticos globales si no se gestiona bajo criterios de sobriedad y eficiencia (Sampedro et al., 2021). Por si no fuera suficiente, la digitalización y la IA están reconfigurando las relaciones de poder en la esfera digital, siempre que la tecnología implementada no sea neutral, si se considera que el diseño de plataformas y algoritmos incorpora los valores e intereses de sus creadores, muy a menudo bajo la lógica del capitalismo de plataformas, lo que se traduce en una gestión algorítmica que altera el mercado laboral y la autonomía humana, convirtiendo a los individuos de manera simultánea en usuarios, productores y mercancía (Berends y Snelting, 2025). Ante los riesgos, marcos éticos como los de Floridi et al. (2018) y recomendaciones como las planteadas en UNESCO (2022), subrayan la urgencia de una gobernanza basada en principios de transparencia, explicabilidad, justicia y supervisión humana, para asegurar que la IA trabaje al servicio de la dignidad humana y no en su contra.

Ante la situación, la educación superior emerge como el actor estratégico para navegar esta complejidad (Wall et al., 2025), mediante la propuesta de marcos tradicionales como el de Wiek y otros, para su implementación en los programas de estudio, definiendo competencias clave en sostenibilidad, tales como pensamiento sistémico, anticipatorio y estratégico, que buscan fomentar una mentalidad de cuidado planetario y responsabilidad intergeneracional en el estudiantado (Wiek et al., 2011), con el firme propósito de promover una futura fuerza laboral comprometida con el planeta y la sociedad (UNESCO, 2017); no obstante, la realidad actual exige una evolución urgente que articule estas competencias con la gobernanza te-

cnológica, siempre que organismos como la UNESCO subrayan que la IA debe evaluarse por su impacto ambiental directo e indirecto (huella de carbono), para no acelerar la degradación de los ecosistemas (UNESCO, 2022). Como una respuesta, el marco europeo GreenComp propone integrar valores y acción colectiva en el fomento del cuidado planetario (Guia Bianchi et al., 2022); sin embargo, existe una brecha notable: la literatura revela una escasa articulación entre las competencias de sostenibilidad y la gobernanza tecnológica (véanse Trevisan et al., 2023; Yan et al., 2025), por lo que resulta imperativo que la formación de futuros profesionales, especialmente en ingeniería y educación, incluya una alfabetización digital crítica que considere el impacto ambiental de las TIC y la ética de los sistemas automatizados (UNESCO, 2022).

En conclusión, la búsqueda de la sostenibilidad en la era de la IA requiere trascender la visión puramente técnica; como demuestra la historia de "Clever Hans", no debemos dejarnos seducir por una falsa percepción de inteligencia o eficiencia tecnológica sin comprender los mecanismos y sesgos que subyacen en su construcción (véase Crawford, 2022); la verdadera transición sostenible dependerá de nuestra capacidad para armonizar el progreso tecnológico con los límites biofísicos del planeta y con una justicia social que garantice que nadie quede atrás en este nuevo ecosistema digital (UNESCO, 2022). Así, lo anterior permite plantear una pregunta central: ¿Las competencias clave para el desarrollo sostenible más citadas en la literatura son suficientes para orientar una transformación socioecológica en la era de la inteligencia artificial?

Marco teórico

Competencias clave para la sostenibilidad

Las competencias pueden definirse como una combinación compleja e interconectada de conocimientos (comprensión teórica del trabajo), habilidades (destreza práctica para realizar las tareas) y actitudes (ética laboral basada en valores) que posibilitan un desempeño exitoso en la ejecución de tareas y la resolución de problemas (Mukhtar et al., 2022;

Wiek et al., 2011). Mientras el término "competencia clave" se refiere a aquellas competencias que son relevantes y útiles en cualquier contexto, proporcionando las herramientas necesarias para abordar los diversos desafíos que enfrenta el mundo, incluyendo aquellos relacionados con el desarrollo sostenible (Lambrechts et al., 2013).

Transformación digital y sostenibilidad

La transformación digital puede definirse como un cambio en donde se emplean las tecnologías digitales para desarrollar un nuevo modelo digital que ayude a crear y apropiarse de más valor (Verhoef et al., 2021), mientras que la sostenibilidad puede entenderse como un desarrollo que "satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987, p. 14). El propósito medular de la visión sostenible es conquistar una mayor justicia inter e intrageneracional (Brundiens et al., 2021; de Haan, 2010), con la idea central de lograr desarrollo económico de la mano de prácticas ecológicas que contribuyan a disminuir el consumo de energía y el uso de energías limpias (de Haan, 2010).

Método

Para llevar a cabo la identificación de competencias clave para un desarrollo sostenible que pudieran responder al propósito de este estudio, se llevó a cabo una revisión de literatura utilizando la metodología PRISMA; esta herramienta presenta una guía detallada de cómo lograr identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios, lo que permite explorar y obtener información de forma ordenada y sistemática, permitiendo mejorar la transparencia, la solidez y la credibilidad de los resultados obtenidos (Page et al., 2021). La Figura 1 (ver Anexos) muestra el diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda realizada para los fines antes mencionados.

Criterios de elegibilidad

Para capturar la mayor información posible, y debido a la diversidad en cuanto a publicaciones potencialmente sujetas a elegibilidad, se decidió incluir literatura académica y no académica, además de no imponer restricciones de tiempo a la investigación. En su totalidad, los registros elegibles debían cumplir con los siguientes criterios: 1) Ser de acceso abierto o estar disponibles vía institución; 2) Ser artículo, libro, revista, documento de conferencia, o bien informe o documento de organismo de gobierno o de institución privada; 3) Abordar el tema de competencias en materia de sostenibilidad; 4) Ser un estudio o una revisión.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Para llevar a cabo la revisión, se utilizaron las bases de datos de Scopus y Google, la primera con el propósito de encontrar información académica y la segunda con la intención de indagar sobre referencias no académicas elaboradas por organismos públicos y/o privados que pudieran aportar datos al estudio. La estrategia de búsqueda se realizó en septiembre de 2025; para lograrla, se realizó la siguiente consulta en la base de datos Scopus: TITLE-ABS-KEY ((assessment OR measurement OR measure OR scale OR model OR framework) AND ((competencias OR skills OR competences OR ability OR capabilities OR abilities OR awareness OR attitude OR conscience) W/0 (sustainability))), en ella se utilizaron palabras clave, operadores y códigos de campo acordes con el objetivo planteado, resultando con esto la identificación de n=954 documentos susceptibles de ser utilizados. Llegado a este punto, se estableció un segundo criterio de exclusión, el cual consistió en acotar los estudios encontrados en la consulta a publicaciones con acceso abierto, lo que excluyó 584 registros y redujo el volumen de la inclusión a 370 documentos. Posterior a esto, se leyeron los títulos y resúmenes de los 370 documentos (dos no se recuperaron), lo que acotó el volumen de estudios a 62 elegibles, de los cuales se excluyeron 41 por considerarse poco relevantes una vez que fueron leídos y analizados con más detenimiento; en esta situación, los registros se redujeron a 21, que fueron considerados los más significativos, y que fueron incluidos en el

estudio. En este punto, es importante mencionar que la lectura de los 62 artículos sujetos a elegibilidad dio origen a un total de 23 estudios más, los cuales surgieron de la citación encontrada en dichas publicaciones, y que fueron considerados en la identificación vía otros métodos con el apelativo “bola de nieve” (véase Figura 1 en Anexos).

Por otra parte, se realizaron búsquedas en Google utilizando palabras clave tales como competencias, habilidades, actitudes, clave, sostenibilidad, sustentabilidad, marcos, modelos, organización y sus diferentes combinaciones en idiomas inglés y español, con la intención de indagar sobre sitios web y publicaciones hechas por organismos que pudieran abonar a la revisión, lo cual resultó en la identificación de 15 artículos más, derivados de bases de datos y revistas, como Taylor & Francis, Sustainability, Springer, Frontiers in Ecology and Evolution, Revista Iberoamericana de Educación, Revista de Comunicación de la SEECI y otras, además de 8 documentos relacionados con organizaciones, como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Comisión Europea (CE). Los estudios recuperados mediante este otro método fueron aunados a los 23 surgidos por bola de nieve, totalizando con ello 46 para ser elegibles, los cuales fueron revisados y analizados, resultando en una exclusión de 19, por estar más enfocados en cuestiones tales como competencias relacionadas con técnicas de revisión de tesis en cuanto a sostenibilidad o por estar basadas en estudios ya considerados, y que redujo el extenso a 27, los cuales sumados a los 21 surgidos de las bases de datos Scopus, originaron una totalidad final de $n=48$ estudios, los cuales fueron sometidos a evaluación, con el fin de descartar duplicidades y de verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión, y con ello garantizar una extracción de información confiable para esta investigación. En la Figura 1 (ver Anexos) se muestra el algoritmo de la estrategia de búsqueda utilizada.

Proceso de extracción de datos

En esta etapa, los registros recopilados como relevantes (incluidos) fueron anexados a Mendeley para ser leídos con mayor detalle; asimismo, la información considerada significativa se vació en una matriz elaborada en Microsoft Excel, con el fin de ordenarla de acuerdo a su tipología y

al año de publicación, además de calcular estadísticas en relación a la coocurrencia de autores y competencias consideradas clave.

Resultados

La evidencia encontrada precisa que las 10 competencias más citadas son: 1) el pensamiento sistémico (83.33 %); 2) la competencia de anticipación (70.83 %); 3) la competencia estratégica (60.42 %); 4) la competencia interpersonal (41.67 %); 5) la competencia normativa (39.58 %); 6) el pensamiento crítico (37.50 %); 7) la resolución de problemas (33.33 %); 8) la aceptación de la diversidad y la interdisciplinariedad (31.25 %); 8) la competencia de colaboración (31.25 %); 9) la autoconciencia (20.83 %); y 10) la empatía, compasión y solidaridad (14.58 %). Lo anterior puede observarse de manera más clara en la Tabla 1 (véase en Anexos).

Discusión

Los resultados evidencian una fuerte convergencia conceptual en torno a las competencias propuestas por (Rieckmann, 2012; UNESCO, 2017; Wiek et al., 2011), lo que sugiere la consolidación de un núcleo epistemológico dominante en el campo de la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS); sin embargo, dicha convergencia también puede ser interpretada como una estabilización paradigmática que ha privilegiado un enfoque competencial centrado en la formación individual, sin cuestionar de manera estructural los sistemas tecnológicos, económicos y políticos que sostienen la crisis socioecológica.

El predominio del pensamiento sistémico (83.33 %) refleja la necesidad de comprender interacciones complejas; sin embargo, en el contexto de IA, esta competencia debe ampliarse hacia el análisis de infraestructuras digitales y su huella ecológica (Crawford, 2022), evolucionando hacia un paradigma transformativo-tecnológico. Organismos como la UNESCO refuerzan esta postura, al recomendar que los Estados y empresas evalúen el impacto ambiental directo e indirecto de los sistemas de IA a lo largo de todo su ciclo de vida (UNESCO, 2022), lo que incluye valorar y tasar temas como: 1) la huella de carbono y el consumo energético, 2)

el impacto de la extracción de materias primas necesarias para fabricar el hardware y 3) la gestión de los desechos electrónicos (que alcanzaron un récord de 53.6 millones de toneladas en 2019) (Sampedro et al., 2021). Esto implica una alfabetización tecnológica crítica, que no solo use la IA, sino que comprenda sus costes planetarios y exija un diseño compatible con los límites biofísicos de la Tierra. En esta situación, la competencia normativa (39.58 %) y el pensamiento crítico (37.50 %) se vuelven fundamentales (véase UNESCO, 2022); no obstante, la literatura revisada (véanse Rieckmann, 2018; UNESCO, 2017; Wiek et al., 2011) muestra que estas competencias se formulan mayormente en términos abstractos, es decir, como exclusivas del sujeto, sin una integración explícita de marcos de ética tecnológica o inteligencia artificial responsable; mientras que, por otro lado, la competencia estratégica (60.42 %) y la de anticipación (70.83 %) podrían ofrecer un puente hacia la innovación transformativa ética y responsable.

GreenComp (como marco teórico) representa un avance significativo en la integración valorativa dentro de las competencias para la sostenibilidad, ya que reconoce explícitamente que la sostenibilidad combina conocimientos, habilidades y actitudes/valores (por ejemplo, equidad, justicia, cuidado de la naturaleza) como componentes interdependientes de las competencias propuestas (Bianchi et al., 2022); sin embargo, en este punto, se podría argumentar que el campo necesita evolucionar desde un enfoque competencial centrado en individuos hacia un paradigma transformativo-tecnológico que integre aspectos tales como la alfabetización tecnológica crítica, la innovación sostenible y la gobernanza ética, entre otros aspectos que pudieran ser importantes para impactar la crisis socioecológica actual.

Implicaciones teóricas

Los hallazgos sugieren implicaciones relevantes para la teoría de competencias clave en DS, lo que podría implicar el revalorar la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), particularmente en el contexto de la transformación digital acelerada.

Una reconfiguración del paradigma competencial

La literatura clásica ha consolidado un núcleo de competencias centrado mayormente en pensamiento sistémico, competencia de anticipación, estratégica, interpersonal y normativa, entre otras; sin embargo, este estudio evidencia que dicho núcleo fue formulado en un contexto pre-IA. En consecuencia, se propone una ampliación de las competencias hacia un paradigma transformativo-tecnológico, donde: 1) el pensamiento sistémico incluya aspectos como análisis de infraestructura digital, huella energética de tecnologías y arquitectura de algoritmos; 2) la competencia normativa incluya principios éticos de IA (Floridi et al., 2018; UNESCO, 2022); 3) la competencia estratégica contemple innovación tecnológica sostenible; y 4) la competencia de anticipación figure escenarios de automatización y gobernanza tecnológica, entre otras cuestiones.

Conclusiones

Los resultados dieron cuenta de 72 competencias distribuidas en diferentes marcos teóricos, señalando una clara consolidación del campo en Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), siempre que se observa una clara convergencia de autores con relación a pensamiento sistémico, anticipación estratégica, normativa, pensamiento crítico, colaboración, autoconciencia y resolución de problemas, las cuales están alineadas con investigadores que pueden considerarse expertos en el tema, tales como Wiek et al. (2011), Rieckmann (2011, 2012, 2018), Brundiers et al. (2021) y con el marco de competencias propuesto por la UNESCO en 2017.

Así, las competencias más frecuentes citadas en la literatura podrían considerarse adecuadas para promover una educación orientada a la sostenibilidad en estudiantes universitarios; sin embargo, la aceleración tecnológica exige su reconfiguración, siempre que dichas competencias rescatadas en la revisión reflejen carencias relevantes en cuanto a la incorporación explícita de competencias vinculadas con IA ética, gobernanza digital, alfabetización tecnológica, entre otros tópicos, las cuales pueden contribuir a la formación de profesionales capaces no solo de adaptarse a la transformación digital, sino de orientar el cambio hacia la justicia socioecológica.

Limitaciones

Aunque se siguieron los lineamientos PRISMA (Page et al., 2021), la revisión se limitó a la base de datos Scopus, lo que podría haber excluido literatura relevante contenida en otras bases de datos especializadas; asimismo, el corpus final (n=48) refleja un proceso riguroso de selección; sin embargo, limita la generalización estadística, ya que los porcentajes reportados representan frecuencias relativas solo de ese mismo conjunto de datos, lo que no debe interpretarse como una distribución global absoluta del campo.

Referencias

- Álvarez-García, J., Hormiga-Pérez, E., Sarango-Lalangui, P. O., y del Río-Rama, M. D. L. C. (2022). Leaders' sustainability competences and small and medium-sized enterprises outcomes: The role of social entrepreneurial orientation. *Sustainable Development*, 30(5), 927–943. <https://doi.org/10.1002/sd.2291>
- Álvarez-Vanegas, A., y Volante, L. (2024). Empowering youth for sustainability in universities: service-learning and the willingness to act. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(9), 177–194. <https://www.emerald.com/ijshe/article/25/9/177/1212878/Empowering-youth-for-sustainability-in>
- Barth, M., Godemann, J., Rieckmann, M., y Stoltenberg, U. (2007). Developing key competencies for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(4), 416–430. <https://doi.org/10.1108/14676370710823582>
- Berends, M., y Snelting, F. (2025). Tools shape practice shapes tools... Teknokultura. *Revista de Cultura Digital y Movimientos Sociales*, 22(1), 5–18. <https://doi.org/10.5209/tekn.95105>
- Besong, F., y Holland, C. (2015). The Dispositions, Abilities and Behaviours (Dab) Framework for Profiling Learners' Sustainability Competencies in Higher Education. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 17(1), 5–22. <https://doi.org/10.1515/jtes-2015-0001>
- Bianchi, G., Pisiotis, U., Cabrera Giraldez, M., Bacigalupo, M., Punie, Y., y (editors). (2022). GreenComp The European sustainability competence framework. In *Publications Office of the European Union*.

- Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. <https://doi.org/10.2760/13286>
- Bianchi, Guia, Pisiotis, U., y Giraldez, M. (2022). *GreenComp The European sustainability competence framework*. 1–4. <https://doi.org/10.2760/13286>
- Brundiers, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., Dripps, W., Habron, G., Harré, N., Jarchow, M., Losch, K., Michel, J., Mochizuki, Y., Rieckmann, M., Parnell, R., Walker, P., y Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education—toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, 16(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/S11625-020-00838-2>
- Brundiers, K., y Wiek, A. (2017). Beyond Interpersonal Competence: Teaching and Learning Professional Skills in Sustainability. *Education Sciences* 2017, Vol. 7, Page 39, 7(1), 39. <https://doi.org/10.3390/EDUCSCI7010039>
- Cebrián, G., y Junyent, M. (2015). Competencies in Education for Sustainable Development: Exploring the Student Teachers' Views. *Sustainability*, 7(3), 2768–2786. <https://doi.org/10.3390/SU7032768>
- Cebrián, G., y Junyent, M. (2014). Competencias profesionales en Educación para la Sostenibilidad: un estudio exploratorio de la visión de futuros maestros. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 32(1), 29–49. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.877>
- Crawford, K. (2022). Atlas de inteligencia artificial : poder, política y costos planetarios (Fondo de Cultura Económica, Ed.; Primera).
- de Haan, G. (2006). The BLK '21' programme in Germany: a 'Gestaltungskompetenz'-based model for Education for Sustainable Development. *Environmental Education Research*, 12(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/13504620500526362>
- de Haan, G. (2010). The development of ESD-related competencies in supportive institutional frameworks. *International Review of Education*, 56, 315–328. <https://doi.org/10.1007/S11159-010-9157-9>
- Demssie, Y. N., Wesselink, R., Biemans, H. J. A., y Mulder, M. (2019). Think outside the European box: Identifying sustainability competencies for a base of the pyramid context. *Journal of Cleaner Production*, 221, 828–838. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.255>

- Dentoni, D., Blok, V., Lans, T., y Wesselink, R. (2012). *Developing Human Capital for Agri-Food Firms' Multi-Stakeholder Interactions*. *International Food and Agribusiness Management Review*, 15, 61–68. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.129178>
- Elder, S., Wittman, H., y Giang, A. (2023). Building sustainability research competencies through scaffolded pathways for undergraduate research experience. *Elementa*, 11(1), 82–90. <https://doi.org/10.1525/elementa.2022.00091>
- Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., y Vayena, E. (2018). AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds and Machines* 2018 28:4, 28(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Foucrier, T., y Wiek, A. (2019). A process-oriented framework of competencies for sustainability entrepreneurship. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/su11247250>
- Hesselbarth, C., y Schaltegger, S. (2014). Educating change agents for sustainability – learnings from the first sustainability management master of business administration. *Journal of Cleaner Production*, 62, 24–36. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.03.042>
- Jaakkola, N., Karvinen, M., Hakio, K., Wolff, L. A., Mattelmäki, T., y Friman, M. (2022). *Becoming Self-Aware—How Do Self-Awareness and Transformative Learning Fit in the Sustainability Competency Discourse?* *Frontiers in Education*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.3389/FEDUC.2022.855583>
- Jelonek, M., y Urbaniec, M. (2019). Development of sustainability competencies for the labour market: An exploratory qualitative study. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205716>
- Juuti, K., Ana, I. A., M., H. A. E. S., Batista, B., Carlos, V., Caruana, V., Costa, N., Dauksienė, E., François, D., Gonçalves, M., Häkkinen, M., Lavonen, J., Lebouvier, B., Lopes, B., Loukomies, A., Lourenço, M., Machado, J., Martins, F., Mendes, A. y Voisin, C. (2021). *Framework for education for sustainability: Enhancing competences in education*. HAL Open Science. <https://hal.science/hal-03227300>

- Kioupi, V., y Voulvoulis, N. (2019). Education for sustainable development: A systemic framework for connecting the SDGs to educational outcomes. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su11216104>
- Kioupi, V., y Voulvoulis, N. (2022). Education for Sustainable Development as the Catalyst for Local Transitions Toward the Sustainable Development Goals. *Frontiers in Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.889904>
- Lambrechts, W., Mulà, I., Ceulemans, K., Molderez, I., y Gaeremynck, V. (2013). *The integration of competences for sustainable development in higher education: an analysis of bachelor programs in management*. *Journal of Cleaner Production*, 48, 65–73. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.12.034>
- Lans, T., Blok, V., y Wesselink, R. (2014). Learning apart and together: towards an integrated competence framework for sustainable entrepreneurship in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 62(1), 37–47. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.03.036>
- Lozano, R., y Barreira-Gen, M. (2021). *Developing Sustainability Competences Through Pedagogical Approaches*. Strategies for Sustainability. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-64965-4>
- Lozano, R., Barreiro-Gen, M., Lozano, F. J., y Sammalisto, K. (2019). Teaching Sustainability in European Higher Education Institutions: Assessing the Connections between Competences and Pedagogical Approaches. *Sustainability*, 11(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/SU11061602>
- Lozano, R., Merrill, M. Y., Sammalisto, K., Ceulemans, K., y Lozano, F. J. (2017). Connecting competences and pedagogical approaches for sustainable development in higher education: A literature review and framework proposal. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su9101889>
- Lynn, T. (2019). Competencies and Pedagogies for Sustainability Education: A Roadmap for Sustainability Studies Program Development in Colleges and Universities. *Sustainability*, 11(19), 1–36. <https://doi.org/10.3390/SU11195526>
- Mukhtar, N., Kamin, Y. Bin, y Saud, M. S. B. (2022). Quantitative validation of a proposed technical sustainability competency model: A

- PLS-SEM approach. *Frontiers in Sustainability*, 3, 1–20. <https://doi.org/10.3389/FRSUS.2022.841643>
- Nair, M., y Meirmanov, S. (2024). Assessing the role of sustainability competencies in enhancing psychological first aid effectiveness for disaster responders in Fiji. *Frontiers in Public Health*, 12, 1349342. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2024.1349342>
- Nyamweru, J. C., Ndayitwayeko, W. M., Kessler, A., y Biemans, H. (2023). Fostering sustainable agriculture in Burundi: which competencies for change-agents should vocational agriculture education prioritize? *Journal of Agricultural Education and Extension*. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2023.2205395>
- Organización Internacional del Trabajo: OIT. (2019). *Competencias profesionales para un futuro más ecológico: Conclusiones principales*. <https://www.oitcinterfor.org/node/7556>
- Osagie, E. R., Wesselink, R., Blok, V., Lans, T., y Mulder, M. (2016). Individual Competencies for Corporate Social Responsibility: A Literature and Practice Perspective. *Journal of Business Ethics*, 135(2), 233–252. <https://doi.org/10.1007/S10551-014-2469-0>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Planck, S., Wilhelm, S., Kobilke, J., y Sailer, K. (2024). Greater than the Sum of Its Parts: Combining Entrepreneurial and Sustainable Competencies in Entrepreneurship Education. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 3725, 16(9), 3725. <https://doi.org/10.3390/SU16093725>
- Ploum, L., Blok, V., Lans, T., y Omta, O. (2017). Toward a Validated Competence Framework for Sustainable Entrepreneurship. *Organization & Environment*, 31(2), 113–132. <https://doi.org/10.1177/1086026617697039>
- Redman, A., y Wiek, A. (2021). Competencies for Advancing Transformations Towards Sustainability. *Frontiers in Education*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.3389/FEDUC.2021.785163>

- Rieckmann, M. (2011). Key competencies for a sustainable development of the world society.: Results of a Delphi study in Europe and Latin America. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 20(1), 48–56. <https://doi.org/10.14512/GAIA.20.1.10>
- Rieckmann, M. (2012). *Future-oriented higher education: Which key competencies should be fostered through university teaching and learning?* *Futures*, 44(2), 127–135. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2011.09.005>
- Rieckmann, M. (2018). *Learning to transform the world: key competencies in education for sustainable development - UNESCO*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261802>
- Romulo, C., Venkataraman, B., Caplow, S., Ajgaonkar, S., Allen, C. R., Anandhi, A., Anderson, S. W., Azzarello, C. B., Brundiers, K., Blavascunas, E., Dauer, J. M., Druckenbrod, D. L., Fairchild, E., Horne, L. R., Lee, K., Mwale, M., Mischler, J., Pappo, E., Patel, N. S., ... Vincent, S. G. (2024). Implementing interdisciplinary sustainability education with the food-energy-water (FEW) nexus. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.1057/S41599-024-03332-7>
- Roorda, N. (2010). *Sailing on the winds of change: The Odyssey to sustainability of the universities of applied sciences in the Netherlands*. <https://doi.org/10.26481/DIS.20101021NR>
- Sampedro, C. R., Machuca, S. A., Palma, D. P., y Villalta, B. E. (2021). Impacto ambiental por consumo de energía eléctrica en los Data Centers. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2786>
- Sánchez-Carracedo, F., Segalas, J., Bueno, G., Busquets, P., Climent, J., Galofré, V. G., Lazzarini, B., Lopez, D., Martín, C., Miñano, R., Tejedor, G., y Vidal, E. (2021). Tools for embedding and assessing sustainable development goals in engineering education. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su132112154>
- Sánchez-Carracedo, F., Sureda, B., Moreno-Pino, F. M., y Romero-Portillo, D. (2021). Education for Sustainable Development in Spanish engineering degrees. Case study. *Journal of Cleaner Production*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126322>
- Sipos, Y., Battisti, B., y Grimm, K. (2008). Achieving transformative sustainability learning: engaging head, hands and heart. *International*

- Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(1), 68–86. <https://doi.org/10.1108/14676370810842193>
- Sposab, K., y Rieckmann, M. (2024). Development of Sustainability Competencies in Secondary School Education: A Scoping Literature Review. *Sustainability (Switzerland)*, 16(23), 10228. <https://doi.org/10.3390/SU162310228>
- Toma, R. B., Ortiz-Revilla, J., y Greca, I. M. (2024). Development and validation of a multiple-choice test for sustainability competence in primary school using the GreenComp framework. *International Journal of Educational Research Open*, 7, 100388. <https://doi.org/10.1016/J.IJEDRO.2024.100388>
- Trevisan, L. V., Eustachio, J. H. P. P., Dias, B. G., Filho, W. L. y Pedrozo, E. Á. (2023). Digital transformation towards sustainability in higher education: state-of-the-art and future research insights. *Environment, Development and Sustainability* 26:2, 26(2), 2789–2810. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02874-7>
- UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- UNESCO. (2022). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa
- Valdes-Ramirez, D., de Armas Jacomino, L., Monroy, R., y Zavala, G. (2024). Assessing sustainability competencies in contemporary STEM higher education: a data-driven analysis at Tecnológico de Monterrey. *Frontiers in Education*, 9, 1415755. <https://doi.org/10.3389/FEDUC.2024.1415755>
- van Harskamp, M., Knippels, M.-C. P. J., Boeve-de Pauw, J. N. A., y van Joolingen, W. R. (2023). The environmental citizenship opinions questionnaire: a self-assessment tool for secondary students. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1182824>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., y Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122(4), 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Wall, T., Österlind, E., y Hallgren, E. (2024). Teaching which makes an impact on sustainability... and how to use this book. *Sustainability*

- Teaching for Impact: How to Inspire and Engage Students Using Drama*, 3–12. <https://doi.org/10.4324/9781003496359-2>
- Wall, T., Österlind, E., y Hallgren, E. (2025). Sustainability Teaching for Impact: How to Inspire and Engage Students Using Drama. In *Sustainability Teaching for Impact: how to Inspire and Engage Students Using Drama*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781003496359>
- Wesselink, R., Blok, V., Van Leur, S., Lans, T., y Dentoni, D. (2015). Individual competencies for managers engaged in corporate sustainable management practices. *Journal of Cleaner Production*, 106, 497–506. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.10.093>
- Wiek, A., Withycombe, L., y Redman, C. L. (2011). *Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development*. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218. <https://doi.org/10.1007/S11625-011-0132-6>
- World Commission on Environment and Development: WCED. (n.d.). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987. Retrieved December 1, 2023, from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- Xiao, C., Wan, K., y Kwong, T. (2024). Developing and validating a scale to measure tertiary students' sustainability competence in extracurricular settings in Asia. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2334107>
- Yan, Y., Liu, H., y Chau, T. (2025). A Systematic Review of AI Ethics in Education: Challenges, Policy Gaps, and Future Directions. *Journal of Global Information Management (JGIM)*, 33(1), 1–50. <https://doi.org/10.4018/JGIM.386381>