

El Análisis de Ciclo de Vida bajo el enfoque Insumo-Producto como Herramienta para la Ecoinnovación

Gusukuma, Marco
Pontificia Universidad Católica
del Perú
mgusukuma@pucp.edu.pe

Dueñas, Alexis
Pontificia Universidad Católica
del Perú
fduenas@pucp.edu.pe

Kahhat, Ramzy
Pontificia Universidad Católica
del Perú
Ramzy.kahhat@pucp.edu.pe

Palabras clave: Insumo-Producto, Análisis de Ciclo de Vida, Economía Peruana, Ecoinnovación

Resumen

La innovación y la sostenibilidad son conceptos compatibles, de forma que es posible ofrecer soluciones que impacten positivamente en la sociedad, además de ofrecer un desempeño ambiental superior, por ejemplo, una menor huella de carbono. La sostenibilidad puede ser una fuente de innovación útil para la sociedad. El análisis de ciclo de vida (ACV), es una herramienta que permite calcular los impactos ambientales de un bien o servicio, en una o varias etapas de su ciclo de vida. Considerando la importancia de evaluar el impacto ambiental de un producto, proceso, servicio o método, el presente trabajo propone emplear al Análisis de Ciclo de Vida, bajo una perspectiva de Insumo-Producto (EIO-LCA), como una forma de estimar las interrelaciones de los sectores económicos de un país y sus correspondientes impactos ambientales. En ese sentido, el objetivo principal consiste en evidenciar el EIO-LCA como una herramienta útil para estimar el desempeño ambiental de un producto o servicio, tanto de un sector económico e

incluso de una economía nacional en su conjunto, y contribuir de ese modo, al análisis del desarrollo sostenible.

1. Introducción

La sostenibilidad es un concepto de acuñación relativamente reciente, aunque es en realidad tan antiguo como la aparición de la sociedad por lo que es de utilidad para explicar, por ejemplo, el apogeo y el ocaso de muchas civilizaciones antiguas (Goldstein, 2007). La primera definición formal de desarrollo sostenible aparece en el Informe Brundtland y contiene dos conceptos: las necesidades de la sociedad a ser satisfechas, especialmente la de los más pobres, y las limitaciones que impone el ambiente para lograr una sociedad más próspera (WCED, 1987). Como tal, la definición generada por la Comisión Brundtland es de utilidad para definir el estado inicial para acercarse a estados más sostenibles (Taylor, 2002), considerando que la sostenibilidad es un constructo dinámico que cambia a medida que aumenta nuestra comprensión sobre el planeta (Allenby et al., 2007) e indica la posibilidad de lidiar con todos sus aspectos relacionados, en aras de alcanzar un desarrollo y, sobre cuyo nivel, naturaleza y características se cuenta con escasa información (Dourojeanni, 1999; Jackson, 2009; Nordhaus, 2019). En ese sentido, es importante la comprensión del término para la resolución de una diversidad de problemas relacionados con el impacto de las actividades económicas sobre el ambiente para satisfacer las crecientes demandas de una población creciente a escala global, no solamente aquellas de naturaleza básica, sino nuevos tipos de necesidades tales como el poder comunicarse y estar informado a través del uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). En ese contexto, se hace necesario romper las habituales vinculaciones entre desarrollo sostenible y crecimiento.

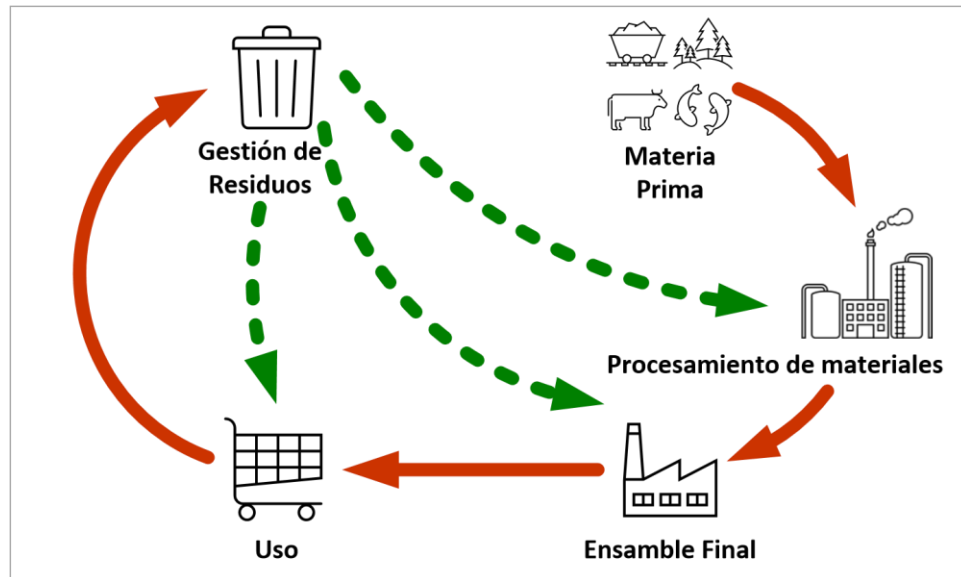


Figura 1: Ciclo de Vida (adaptado de Matthews y otros, 2015)

La relación entre la sostenibilidad y la innovación puede considerarse como beneficio mutuo, en el cual la sostenibilidad es una fuente de ideas para desarrollar nuevos productos, servicios o procesos que contribuyan a estilos de vida más sostenibles, considerando además que, esta generación de ideas tengan un impactos positivo en el mercado (Dearing, 2000). Además, ambos conceptos están relacionados también desde la perspectiva de las organizaciones al buscar soluciones novedosas que aumenten su competitividad al ofrecer productos novedosos en el mercado, con una buena aceptación, por parte de los clientes y que cuenten con un desempeño ambiental mejor a la de sus competidores, bajo la perspectiva del enfoque de ciclo de vida de productos (Anderson et al., 2001; Schiederig et al., 2011). Los objetivos de la innovación empresarial, con empresas inteligentes que tratan a la sostenibilidad como la nueva frontera de la innovación (Nidumolu et al., 2009), constituyéndose en un elemento clave para el éxito empresarial a largo plazo (Maier et al., 2020). Por lo tanto, la Ecoinnovación, término que asocia la innovación

y la sostenibilidad, debería ser el corazón de la estrategia de sostenibilidad de las empresas de manera que, en vez de tener una actitud reactiva, expresada en modificaciones menores de sus productos o procesos (Nadel, 2019), sea reemplazada por una actitud proactiva, donde la innovación juegue un rol primordial para encontrar soluciones innovadoras que reduzcan sus impactos ambientales (Dearing, 2000; Yurdakul & Kazan, 2020).

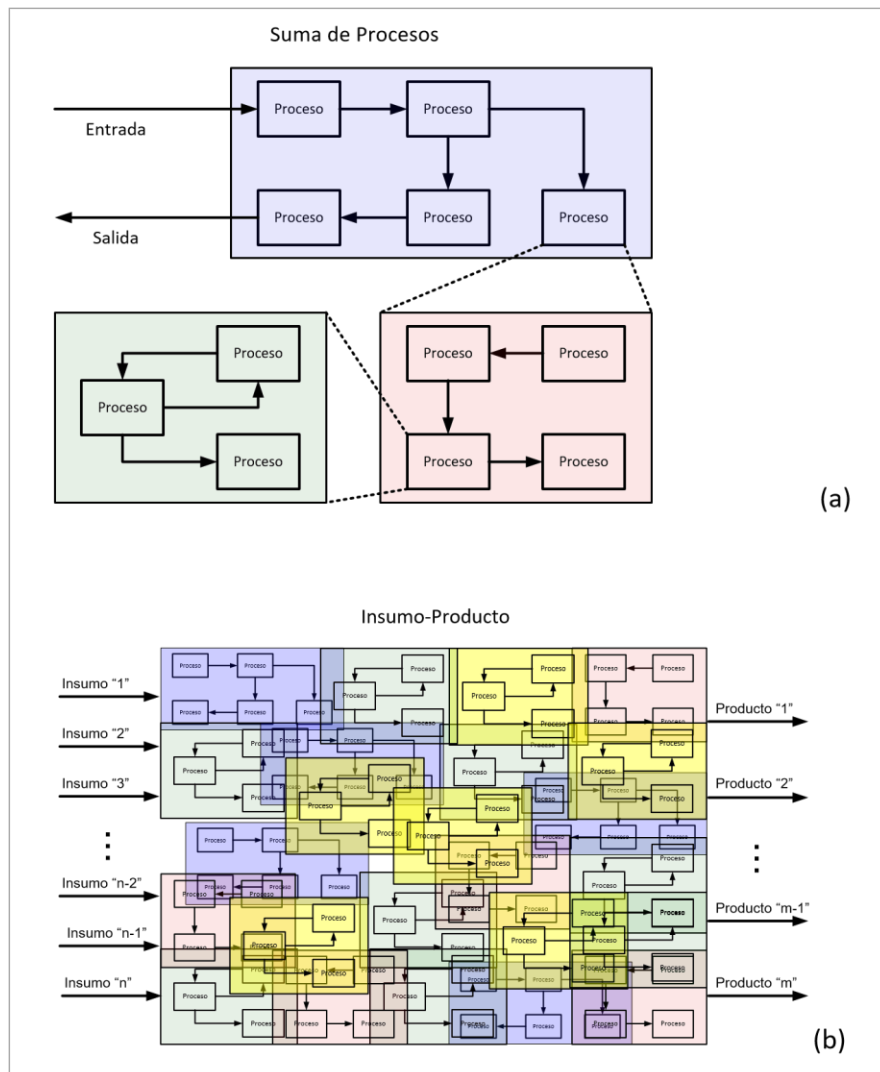


Figura 2: Enfoque por procesos (a) vs. enfoque insumo-producto (b)

(adaptado de: Matthews et al., 2015)

Las actividades económicas de producción o prestación de servicios, requieren de flujos de materia y energía, que son necesarios y deben entenderse las relaciones con el ambiente y la tecnosfera y, la forma en la que éstos deben ser manejados por la sociedad (Haberl et al., 2004), así como utilizar los resultados de estos análisis para comparar y pronosticar resultados, al modificar algunos flujos de materia o energía en las actividades realizadas (Augiseau & Barles, 2016). Por lo tanto, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), será útil para determinar los impactos ambientales de un producto o la función para la cual ha sido diseñado (PNUMA, 1996).

La figura 1 muestra las diversas etapas por las que un bien o servicio atraviesa durante su ciclo de vida, desde la extracción de la materia prima hasta su fin de ciclo de vida, de ese modo el ACV identifica y caracteriza de todos los procesos vinculados con el bien o servicio analizado, los recursos necesarios para su producción, y residuos que pueden provocar un impacto ambiental negativo en una, o varias etapas de ciclo de vida del producto que si es de interés solo un subsistema del sistema principal (Matthews et al., 2015).

En la actualidad se dispone de dos enfoques para realizar un ACV de carácter complementario: El enfoque de procesos requiere resolver los procesos incluidos en la frontera de forma tan detallada como sea posible, siendo sus principales limitaciones las restricciones temporales y económicas para la delimitación de la frontera con su entorno, que podría excluir algunos procesos medianamente relevantes a de la actividad estudiada. Asimismo, demandan tiempo e información detallada de los procesos estudiados, que en algunos casos es difícil de obtener (Matthews et al., 2015). Alternativamente, existe un enfoque que ofrece soluciones

aproximadas, pero de forma más rápida, denominado Análisis de Ciclo de Vida bajo el Enfoque Insumo-Producto (EIO-LCA, Economic Input-Output Life Cycle Assessment), el cual se basa en la interrelación económica de los sectores productivos de un país en unidades monetarias. La tabla 1 y la figura 2 muestran las diferencias entre ambos enfoques.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de las dos metodologías para realizar ACV

(Adaptado de: Hendrickson et al., 2006)

	Suma de procesos	Insumo-Producto
Ventajas	Análisis detallados para el proceso específico	Estudio amplio y exhaustivo
	Puede ser utilizado para la mejora de los procesos comprendidos en el producto estudiado	Económico
		Rápido
Desventajas	Es necesario establecer una frontera en el sistema en estudio	Datos agregados Las importaciones son
-	Costoso	consideradas como producción
-	Intensivo en tiempo	nacional
-	Acceso a datos	Necesidad de una base de datos de alcance nacional

El EIO-LCA usa las interacciones económicas dentro de la economía de una región, enfocándose en los insumos (entradas) y productos (salidas), en vez de los procesos del producto

analizado, como ocurre en el enfoque de suma de procesos. A pesar de sus limitaciones inherentes debido al uso de data agregada y la dependencia del grado de detalle de la información económica recopilada, su mayor ventaja consiste en incluir la totalidad del sistema, demandan menos tiempo y costo en su elaboración, y es útil para determinar qué es lo que ocurre durante la transformación de los insumos en productos sin la necesidad conocer detalladamente los procesos económicos de agregación de valor. De ese modo, el objetivo de esta investigación consiste en presentar al EIOLCA como una herramienta para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al proceso económico en el Perú, para lo cual se realiza una revisión del modelo matemático propuesto por Leontief, su extensión para ser usado en la estimación de impactos ambientales y unos casos de aplicación utilizando una calculadora para las dos categorías de impacto ambiental alojadas por el Green Design Institute de la Universidad Carnegie Mellon (2008).

2. Metodología

El modelo insumo-producto (Input-Output), desarrollado Wassily Leontief, tiene el objetivo de analizar las interrelaciones entre los sectores productivos de una economía (NobelPrice, 2019). La matriz insumo producto (MIP) es la representación de la economía, por medio de los sectores productivos y sus relaciones de producción, las interacciones entre sí –denominada demanda intermedia– , y el consumo final (CEPAL, 2013). La MIP materializa los insumos necesarios para producir una unidad de producto en cada sector económico, pudiendo ser rastreados incluso hasta extracción de la materia prima. La estructura básica de la MIP se aprecia en la figura 3.

Salida desde:	Entrada a:				Demanda Intermedia	Demanda Final	Demanda Total
	1	2	...	j	O	Y	X
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	O_1	Y_1	X_1
2		...	X_{2n}		O_2	Y_2	X_2
⋮	X_{21}	X_{22}	⋮	⋮	⋮
i		X_{2j}		...	O_i	Y_i	X_i
⋮		X_{2n}			⋮	⋮	⋮
n	⋮	⋮	⋮	⋮	O_n	Y_n	X_n
	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}			
			...				
		...	X_{in}				
	⋮	⋮		⋮			
			⋮	⋮			
	X_{n1}	X_{n2}		X_{nm}			
		...	X_{nm}				
Entrada intermedia, I	I_1	I_2		I_j			
Valor agregado, V				I_n	PBI		
Salida total, X	V_1	V_2		V_j			
				V_n			
	X_1	X_2		X_j			
				X_n			

Figura 3: Estructura básica de una Matriz Insumo-Producto

(Matthews et al., 2015)

El modelo de Leontief permite determinar la cantidad de recursos adicionales necesarios por una producción adicional. Matthews y colegas (2015) muestran en detalle la matemática utilizada para determinar el nivel de producción adicional para satisfacer el incremento de la demanda, así como el modelo extendido para la determinación de impactos ambientales utilizando el enfoque insumo-producto, como se expresa en la ecuación 1:

$$[I - A]^{-1}Y = X \dots (1)$$

Donde, $[I - A]^{-1}$ es la Matriz inversa de Leontief, Y , el vector columna conteniendo la demanda final por sector económico y X , el vector columna que contiene los requerimientos directos e indirectos.

Una vez determinada la producción económica (X) de cada sector, los impactos ambientales pueden ser determinados utilizando la ecuación 2:

$$E = RX = R [I - A]^{-1}Y \dots (2)$$

Donde, E es el vector columna de impactos ambientales por sector económico, R , la matriz diagonal cuyos elementos representan el impacto ambiental por unidad monetaria de producción para cada uno de los sectores económicos.

Para la construcción de las matrices necesarias del EIO-LCA en el caso peruano se tuvieron las siguientes consideraciones: Se consideró al año 2012 como año de referencia, para lo cual se solicitó a la Oficina de Cuentas Nacionales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) la construcción de la MIP para este año (INEI, 2018). El otro insumo necesarios para la construcción de las matrices ambientales del año de referencia el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), desarrollado por el Ministerio de Ambiente (2016).

El procedimiento para utilizar la calculadora de impactos ambientales consta de los siguientes pasos: Hallar el precio, de productor o de consumidor, del bien producido o servicio prestado a valor corriente, luego, buscar los índices de precios para convertir el precio obtenido a precio corriente del año 2012 y convertirlos a dólares corrientes de ese año. En sentido, el Banco Central de Reserva del Perú ofrece información económica respecto a índices de precio al consumidor y tasa de cambio (BCRP, n.d.). A continuación, se ingresa a la calculadora en línea (<http://www.eiolca.net/cgi-bin/dft/use.pl>) (Figura 4) y se elige el tipo de modelo entre los disponibles, seleccionar el tipo de industria y sector, se agregar el precio calculado anteriormente y se corre el modelo.

The screenshot shows the eiolca.net web application interface. At the top, there is a red header with the Carnegie Mellon logo and the eiolca.net logo. Below the header, there is a navigation bar with three tabs: "Use Standard Models", "Create Custom Model", and "Documentation". The main content area is a light gray box with a white background, containing five numbered steps:

- 1 Choose a model:** The current model is the Peru 2012, which is a Producer Price Model. A dropdown menu shows "Peru (101 sectors) Producer".
- 2 Select industry and sector:** A dropdown menu shows "Productos quimicos y minerales", and another dropdown menu shows "Select a Detailed Sector".
- 3 Select the amount of economic activity for this sector:** A text input field contains "0.00014802", followed by the text "Million Dollars (whole or decimal values only)".
- 4 Select the category of results to display:** A dropdown menu shows "Greenhouse Gases".
- 5 Run the model:** A message states "You must select a sector in order to run the model." and a "Run Model" button is visible.

Figura 4: Captura de pantalla para el cálculo de emisiones de GEI para 1 tonelada de cemento

(Fuente: <http://www.eiolca.net/>)

3. Resultados

A continuación, se muestran una aplicación del uso del EIO-LCA para la estimación de emisiones de GEI. El primer caso consiste en determinar las emisiones de GEI de 1 tonelada de cemento producida en el Perú. Se determina que esta cantidad de cemento, en el Perú, equivale a 148.02 dólares del año 2012 (precio productor) y se determina, en primer instancia, que son emitidos 304 kg de CO₂ equivalente, lo cual es una cantidad inferior a la obtenida utilizando la calculadora para el caso de EEUU (CMU, 2008) y los datos obtenidos de Ecoinvent (Wernet, et al, 2016), incluida en SIMAPRO® (Pre Consultants, 2016), los cuáles se muestran en la figura 5.

Una de las razones que explican este valor es que el cemento, de acuerdo con la economía peruana, se encuentra agrupado con otros productos minerales no metálicos tales como ladrillos, mayólicas, productos de arcilla y yeso, entre otros. Para poder resolver esta limitación, Matthews y colegas (Matthews et al., 2015) ofrecen metodologías para lidiar con las limitaciones (por ejemplo, el ACV-Híbrido). En este caso se optó por desagregar este sector en dos subsectores: cemento y otros productos minerales no metálicos diferentes al cemento, con lo cual la estimación mejoró hasta los 664 kg de CO₂e por tonelada de cemento. En la figura 5 se muestra los resultados para la determinación de las emisiones de GEI para 1 tonelada de cemento, observándose que se ha obtenido un valor similar obtenido a través de ACV a través del enfoque por procesos.

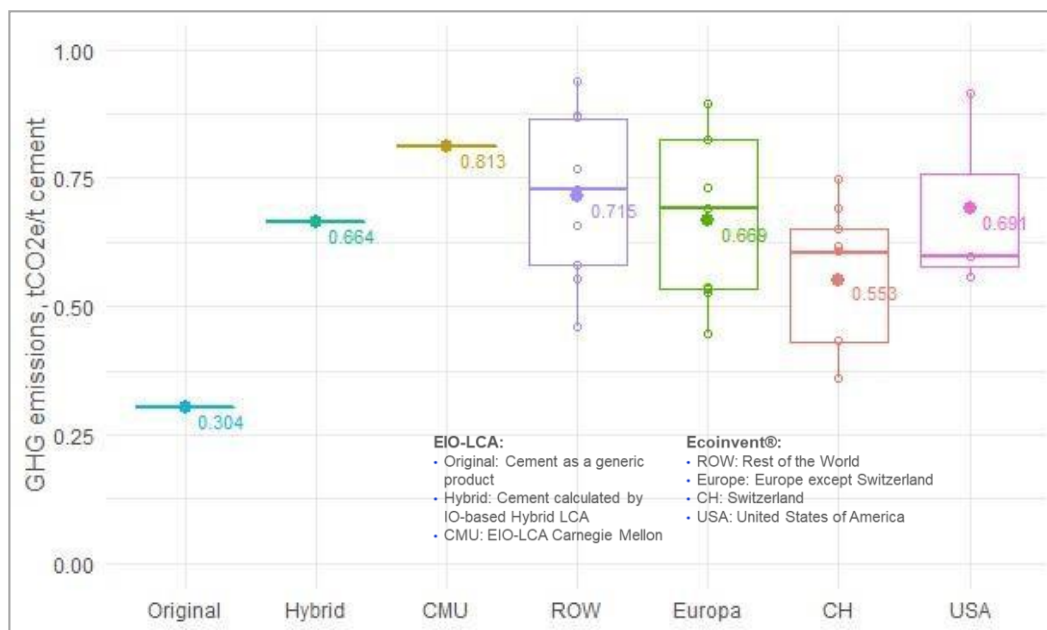


Figura 5: Emisiones de GEI para 1 tonelada de cemento

Respecto al resultado mostrados en la figura 5, éste podría ser útil para resolver preguntas relacionadas con la reducción del uso del cemento e incluso su reemplazo por otro material de construcción. En cambio, esta herramienta no podría responder interrogantes relacionadas con la reducción del impacto ambiental por un mejoramiento tecnológico en el proceso de producción de cemento o qué ocurriría si se usase material importado en vez de nacional, debido a que la MIP considera el estado tecnológico de los sectores económicos al año 2012, así como tampoco diferencia entre las importaciones y la producción local.

4. Conclusiones

El EIO-LCA, a pesar de sus limitaciones, constituye una herramienta útil para estimar los impactos ambientales de un producto o servicio, utilizando las interacciones entre los sectores productivos de una economía, pudiendo constituirse en una alternativa como herramienta de *benchmarking* para determinar la competitividad o para analizar la mejora continua del producto desde una perspectiva en la cual los nuevos productos ofrecidos al mercado, además de tener una aceptación por parte del mercado, también tengan un desempeño ambiental superior al de la competencia.

El EIO-LCA es además una herramienta que da cuenta, de cierto modo, los niveles asociados del proceso productivo con la sostenibilidad, en ese sentido, permite tomar decisiones tanto respecto a las políticas públicas como de las innovaciones que deben ocurrir, para disminuir las huellas ambientales, en este caso de GEI, y propiciar una economía baja en carbono, que estimule consiguientemente las mejoras en la gestión del capital natural, paradigma que sustenta las corrientes actuales del desarrollo sostenible.

Agradecimientos

Este estudio fue publicado como parte del International Climate Initiative (IKI), El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) sobre la base de una decisión adoptada por el Parlamento Federal de la República Federal Alemana. Los autores agradecen a Ignacio Sánchez de ONU-Medio Ambiente y Adriana Zacarías del Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM). Finalmente, los autores también agradecen a José Robles, Máximo Fajardo, Alfredo Hurtado y Consuelo Landa, de la Dirección Nacional de Cuentas Nacionales de Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), por su contribución en la construcción de la matriz insumo-producto peruana del año 2012.

Referencias

- Allenby, B., Allen, D., & Davidson, C. (2007). Sustainable engineering. *Environmental Quality Management*, 17(1), 17–26. <https://doi.org/10.1002/tqem.20148>
- Anderson, D., Clark, C., Foxon, T. J., Gross, R., & Jacobs, M. (2001). *Innovation and the Environment: Challenges and Policy Options for the UK*. [http://www.iccept.ic.ac.uk/pdfs/Innovation report.pdf](http://www.iccept.ic.ac.uk/pdfs/Innovation%20report.pdf)
- Augiseau, V., & Barles, S. (2016). Studying construction materials flows and stock: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 153–164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.002>
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (n.d.). *Base de Datos de Estadísticas del BCRP*. Retrieved May 12, 2021, from <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/index>
- Carnegie Mellon University, Green Design Institute. (2008). *Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA)*. <http://www.eiolca.net/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). *Los cuadros de oferta y utilización, las matrices de insumo-producto y las matrices de empleo*.
- Comisión Mundial del Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (WCED). (1987). Chapter 2: Towards Sustainable Development. In *Our Common Future* (pp. 1–3).
- Dearing, A. (2000). Sustainable innovation: Drivers and barriers. In Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (Ed.), *Ecoinnovation and the Environment* (pp. 103–121). OECD Publishing. <https://www.oecd.org/innovation/inno/2105727.pdf>
- Dourojeanni, A. (1999). La dinámica del desarrollo sustentable y sostenible. *XV Congreso Venezolano de La Ciencia Del Suelo*, 1–26. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/19862>

- Goldstein, I. (2007). Reseña “Colapso: por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen” de Jared Diamond. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2), 311–318.
<https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730366008.pdf>
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., & Winiwarter, V. (2004). Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy*, 21(3), 199–213.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013>
- Hendrickson, C. T., Lave, L. B., & Matthews, H. S. (2006). *Environmental life cycle assessment of goods and services: an input-output approach*. Resources for the Future.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Dirección Nacional de Cuentas Nacionales (2018). *Matriz Insumo Producto 2012, a precios de productor y comprador*.
- Jackson, T. (2009). *Prosperidad sin crecimiento*. Icaria Editorial.
- Maier, D., Maier, A., Aşchilean, I., Anastasiu, L., & Gavriş, O. (2020). The relationship between innovation and sustainability: A bibliometric review of the literature. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/SU12104083>
- Matthews, H. S., Hendrickson, C., & Matthews, D. (2015). *Life Cycle Assessment: Quantitative Approach for Decisions that Matters*.
- MINAM. (2016). *REPORTE SECTORIAL DE GASES EFECTO INVERNADERO – 2012*.
<http://infocarbono.minam.gob.pe/annios-reportes-sectoriales/2012/>
- Nadel, S. (2019). *Can Innovation Save the Environment? – Mondes Sociaux*. Mondes Sociaux.
<https://sms.hypotheses.org/17639>
- Nidumolu, R., Prahalad, C. K., & Rangaswami, M. R. (2009). Why Sustainability Is Now the Key Driver of Innovation. *Harvard Business Review*, September 2009.
<https://hbr.org/2009/09/why-sustainability-is-now-the-key-driver-of-innovation> Nobel-Price.
- (2019). *Wassily Leontief - Facts - NobelPrize.org*.
- Nordhaus, W. (2019). *El casino del clima*. Deusto.
- PNUMA. (1996). *Life Cycle Assessment. What it is and how to do it*.
http://www.sciencenetwork.com/lca/unep_guide_to_lca.pdf Pre
- Consultants. (2016). *Simapro version 8.3*.
- Schiederig, T., Tietze, F., & Herstatt, C. (2011). What is Green Innovation? – A Quantitative Literature Review. *The XXII ISPIM Conference 2011, June*.
- Taylor, J. (2002). Sustainable Development: A Dubious Solution in Search of a Problem. *Policy Analysis*.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. (2016). *The ecoinvent database version 3*.
- Yurdakul, M., & Kazan, H. (2020). Effects of eco-innovation on economic and environmental performance: Evidence from Turkey’s manufacturing companies. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8), 3167. <https://doi.org/10.3390/SU12083167>