

# MEDIDAS DE SUSTENTABILIDAD PARA PROCESOS INDUSTRIALES: CON ENFOQUE A BIO-REFIENRÍAS

Julio César Ponce Mendoza (1), Danahe Marmolejo Correa (2)

1 [Ingeniería Aeronáutica, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez] | poncem.julio@gmail.com

2 [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingeniería, Campus León, Universidad de Guanajuato] | d.marmolejocorrea@ugto.mx

## Resumen

El presente documento presenta los resultados de un trabajo enfocado a la creación de indicadores de desarrollo sustentable aplicables a diferentes áreas de la industria. Una investigación bibliográfica acerca del estado del arte de la evaluación para la sustentabilidad fue llevada a cabo, en la cual fueron estudiados y equiparados diferentes métodos y enfoques. Así mismo, se llevó a cabo un análisis crítico y comparativo de los distintos mecanismos de valoración de la sustentabilidad comúnmente utilizados, y los resultados permitieron determinar, dentro del alcance de este estudio, cuáles son los indicadores que permiten una mejor evaluación y detección de oportunidades de mejora dentro de un sistema. Además, se abre el paso a una investigación futura que buscará comparar el desempeño de estos indicadores contra características termodinámicas de procesos industriales.

## Abstract

The following paper presents the results obtained from a study focused on the creation of sustainable development indicators which are applicable to different areas in the industry. A bibliographic research on the sustainability assessment's state of the art was conducted, in which different methods and approaches were studied and matched. In the same way, a critical and comparative analysis of different commonly used procedures for the evaluation of sustainability; the results allowed to determine, within the scope of this project, which indicators offer a better assessment and detection of improvement opportunities in a determined system. Also, a way to a future research project is open, a project in which the results of these indicators shall be compared to those of a thermodynamic analysis.

## Palabras Clave

Análisis de sustentabilidad; Desarrollo sustentable; Indicadores; Energías renovables.

## INTRODUCCIÓN

### Sustentabilidad y desarrollo sustentable.

La sustentabilidad y el desarrollo sustentable son temas que han venido cobrando importancia en los últimos años; el último de estos conceptos, según fue definido originalmente por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas en 1987, se refiere a “un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” [1]. El entendimiento y alcance de este concepto ha ido evolucionando y en él se han integrado diversos factores: originalmente se pensaba en el desarrollo sustentable como un tema enfocado únicamente al aspecto ambiental (o ecológico) del desarrollo, al que luego fue agregado el ámbito económico y finalmente el social [2] para conformar lo que actualmente se conoce como el Triple Resultado (*Triple bottom line*), que puede observarse en la imagen 1 [3]. Así, una definición más apropiada pero sentada sobre las mismas bases podría ser la siguiente, citando al Instituto Nacional de Ecología de México [4]: “Procesos de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida, fundado en la conservación y protección del medio ambiente, minimizando costos sociales y económicos, de manera de no comprometer las expectativas de generaciones futuras”.

A través del desarrollo sustentable es que se llega a la sustentabilidad, una condición deseable o ideal que se presenta “cuando mantenemos o mejoramos las condiciones materiales y sociales para la salud social y el medio ambiente a través del tiempo, sin exceder las capacidades ecológicas que las mantienen.” [3]

Son varios los factores que motivan al estudio y desarrollo de la sustentabilidad: entre ellos podemos destacar al cambio climático, la inequidad social a niveles intra e intergeneracional, o el agotamiento de recursos naturales y reservas de combustibles fósiles. Cuando estos elementos se combinan y no son atendidos debidamente, surgen dudas y preocupaciones acerca del estado de la Tierra y su capacidad para brindar un adecuado soporte a la vida [5].

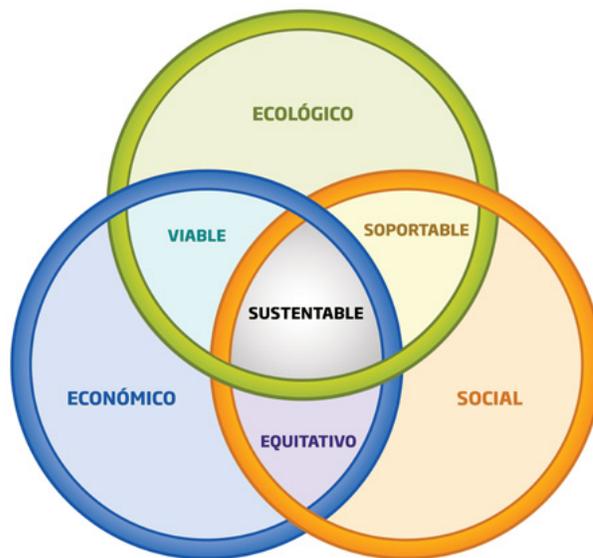


IMAGEN 1: Triple resultado del desarrollo sustentable.  
Recuperado de <http://www.amaitlan.mx/wp/sustentabilidad/>

Es por lo anteriormente explicado que actualmente se realizan esfuerzos en diferentes niveles para fomentar prácticas sustentables, desde políticas gubernamentales hasta certificaciones ecológicas como la serie ISO14000 [6], seguimiento a estudios de sustentabilidad e incentivos a organizaciones que demuestran llevar a cabo labores sustentables. Una herramienta muy útil en el desarrollo sustentable son las mediciones y los indicadores, herramientas que facilitan una recopilación, agrupamiento, procesamiento e interpretación de información de diversas índoles.

La importancia de las mediciones de sustentabilidad radica en su utilidad para conocer el estado actual de un sistema o proceso, lo que es clave como un primer paso hacia el desarrollo sustentable [7].

A lo largo del presente documento se hará una revisión, comparación e implementación de diferentes versiones de estas herramientas; es importante mencionar que la sustentabilidad y el desarrollo sustentable son temas aplicables a una gran variedad de áreas, pues como el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE) lo explica, existen cinco sistemas de diferentes alcances cuya sustentabilidad puede ser evaluada: un sistema global, sistemas nacionales,

regionales, de empresas y de procesos [2]. El presente documento se enfocará en los últimos dos sistemas mencionados, analizando principalmente la sustentabilidad de procesos en la industria y las bio-refinerías.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de determinar la metodología a seguir para realizar una evaluación de la sustentabilidad de un sistema, se llevó a cabo una revisión del estado del arte de los métodos actualmente utilizados: diferentes recursos, enfoques y propuestas fueron analizados a fin de determinar qué proceso de evaluación se adapta mejor a los fines de este proyecto. Mecanismos como los análisis de ciclo de vida, análisis de energía y materia, e indicadores de rendimiento individuales y compuestos fueron considerados y comparados [8], y se optó por centrarse en estos últimos (indicadores de rendimiento) debido a su universalidad y posibilidad de implementación, además de disponibilidad de recursos bibliográficos.

Un indicador se define como una manera de “reducir una gran cantidad de información a su forma más simple, reteniendo el significado esencial para responder a las preguntas que se plantean” [9] así, los indicadores muestran las condiciones actuales y tendencias de un medio, a la vez que crean un entendimiento y consciencia de la interacción entre el ser humano y sus alrededores, además de sugerir la naturaleza y el tipo de relación que hay entre diferentes elementos de un sistema [10]. El correcto uso e interpretación de indicadores de sustentabilidad puede llevar a una mejor toma de decisiones y la ejecución de acciones más efectivas [11].

Es conveniente hacer énfasis en un punto anteriormente mencionado: una gran parte de los análisis de sustentabilidad disponibles en la bibliografía están enfocados a la evaluación de la sustentabilidad en sistemas globales, nacionales o regionales, que van más allá del alcance de este proyecto. Un ejemplo de esto son aquellos indicadores creados por organismos como la Organización de las Naciones Unidas, S2Biom, o el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI) [11-13].

Dos documentos fueron clave para sentar las bases del desarrollo de un conjunto de indicadores de sustentabilidad, que más adelante será propuesto. El primero de estos documentos es un estudio realizado por Angelakoglou y Gaidajis [8] en el que se evalúan diferentes métodos para el análisis de sustentabilidad industrial, principalmente en el ámbito del medio ambiente. En este documento se explican los aspectos positivos y negativos de cada una de las metodologías revisadas, y se examinan herramientas (grupos de indicadores, índices compuestos, análisis de flujo de energía y materia, análisis de ciclo de vida y contabilidad medioambiental) específicas, para finalmente hacer referencias a casos en que éstas son implementadas. La comprensión de este documento también permitió la selección de los indicadores como el método de evaluación de sustentabilidad ideal.

El segundo documento clave es un análisis de sustentabilidad enfocado específicamente a bio-refinerías, llevado a cabo por Schaidle et al. [14]; en este estudio, tres diferentes industrias y procesos para la obtención de biocombustibles fueron comparados y su sustentabilidad fue evaluada. La importancia de este estudio radica en que su línea de trabajo es similar a la del presente proyecto de investigación – se realiza una evaluación de bio-refinerías a través de indicadores – por lo que marcó las pautas a seguir al exponer, con ejemplos, un enfoque para la consecución de los objetivos planteados .

Tras haber consultado estas fuentes, se procedió a conformar un nuevo grupo de indicadores de sustentabilidad para procesos industriales. Para ello se compararon los siete conjuntos que, a consideración del autor, fueron más pertinentes y con una contribución más directa al análisis requerido [8, 11, 14-18].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Quiroga Martínez [19] menciona que existen dos metodologías para la creación de indicadores: el diseño metodológico y el diseño por demanda. Se siguieron las etapas de la primera metodología, en la que se desarrolla la propuesta de un conjunto de indicadores tras considerar cuatro factores: la experiencia en casos de estudio similares, el

contexto del sistema a analizar, la visión de personas con conocimientos técnicos del tema, y las expectativas de las personas involucradas o afectadas por el sistema (en este caso, procesos industriales o bio-refinerías). Tras su creación, esta propuesta es evaluada y las herramientas ahí incluidas se filtran en función de la disponibilidad de información, con lo que un set final puede presentarse.

El conjunto de indicadores sugeridos puede apreciarse en la tabla 1. En total, son 19 los indicadores de sustentabilidad que conforman al grupo, y se encuentran divididos de la siguiente manera: 9 de ellos son indicadores de desempeño ambiental, 4 se enfocan al ámbito económico, y los 6 indicadores restantes tienen como objetivo evaluar el rubro social de la empresa o proceso; cabe mencionar que este grupo, a su vez, puede dividirse en dos subgrupos: el desarrollo social dentro de la empresa (ambiente laboral, felicidad del empleado) y el impacto fuera de ella (efectos sobre la calidad de vida de las personas ajenas a la empresa).

Para un mejor manejo de los indicadores sugeridos, que permita su aplicación de una manera universal, es conveniente su estandarización o normalización, que puede ser en base al beneficio económico o a una unidad de producto (para las bio-refinerías, se recomienda usar como unidad de producto al GJ de energía dentro del biocombustible producido).

Así, el consumo de energía puede medirse en la cantidad de GJ utilizados para la creación de un GJ de energía contenido en un biocombustible (la unidad de producto establecida). El desperdicio generado puede medirse en kg de éste por cada GJ generado, el consumo de agua en kg de agua usados por GJ generado, los potenciales de calentamiento global y acidificación se miden en emisiones de equivalentes de CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, respectivamente. Los indicadores 2, 8 y 9 del primer grupo serán medidos como porcentajes.

El indicador económico número 1 permite conocer las ganancias monetarias de la empresa, y puede medirse haciendo una sencilla división: el valor añadido entre el valor de venta para una unidad de producto vendido. Los tres indicadores restantes son medidos como porcentajes de la inversión anual total de la empresa.

Finalmente, para los indicadores sociales, el primero de ellos se mide de una manera similar al primer indicador económico, el segundo se mide en el porcentaje de empleados que son reemplazados anualmente y el tercero es un porcentaje del número total de empleados. Los indicadores 4 y 5 pueden medirse en incidencias por año, y el último elemento de la lista se evalúa en la cantidad de dinero que es invertida anualmente, como porcentaje del total del capital invertido.

**TABLA 1:** Grupo de indicadores de sustentabilidad sugerido.  
Fuente: elaboración propia.

Indicadores de sustentabilidad	
Ambientales	
1. Consumo de energía 2. Proporción de energía renovable. 3. Desperdicio generado antes del reciclaje. 4. Consumo de agua. 5. Potencial de calentamiento global.	6. Potencial de acidificación. 7. Uso de materiales no renovables. 8. % de productos con embalaje reciclable. 9. % de productos con reciclaje por parte de la empresa.
Económicos	
1. Valor añadido por unidad de valor de ventas 2. Costos relacionados a condiciones de EHS <sup>1</sup> . 3. Inversiones en investigación y desarrollo. 4. Costos de operación y mantenimiento.	
Sociales	
1. Número de empleados por unidad de beneficio económico. 2. Tasa de reemplazo de empleados. 3. % de empleados completamente satisfechos con su trabajo. 4. Quejas o acciones legales contra la empresa. 5. Reuniones con actores involucrados. 6. Gastos en la comunidad o caridad.	

Es muy importante considerar que este set de indicadores no es final o definitivo, pues puede ser cambiado agregando o retirando elementos según

<sup>1</sup> "Environment, Health and Safety", o "Ambiente, Salud y Seguridad".

los intereses y operaciones de la empresa que desee evaluar la sustentabilidad de sus operaciones.

### Limitaciones.

No se logró llevar a cabo la medición de sustentabilidad de los procesos originalmente planeados para este estudio debido a complicaciones en la simulación de los mismos, que imposibilitaron la obtención de datos de insumos materiales, consumo energético y emisiones contaminantes; esta misma causa impidió también la comparación entre el análisis de sustentabilidad y el análisis de eficiencia termodinámica, que había sido planteada en los objetivos del estudio.

### CONCLUSIONES

Este artículo explica los principios básicos del desarrollo sustentable y la implementación de indicadores para medir la sustentabilidad de sistemas industriales, basándose en tres aspectos fundamentales: el deterioro ambiental, el desarrollo económico y el impacto social. Se sugiere un conjunto de indicadores de desempeño útiles para la medición de condiciones de sustentabilidad que puede ser utilizado tanto para la comparación entre diferentes procesos como para el monitoreo de uno solo en diferentes momentos.

### REFERENCIAS

[1] United Nations (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. New York: Oxford University Press.

[2] American Institute of Chemical Engineers (2014). *Assessing sustainability with Metrics and Methods*. Consultado el 28 de junio de 2015. Recuperado de <http://www.aiche.org/academy/webinars/assessing-sustainability-metrics-and-methods>

[3] Sikdar S. K. (2003). *Sustainable development and sustainability metrics*. AIChE Journal, 49(8), pp. 1928-1932.

[4] Instituto Nacional de Ecología (2002). *Diseño de indicadores de sustentabilidad por cuencas hidrográficas*. Disponible en [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/ind\\_sust.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/ind_sust.pdf)

[5] Wall G., Gong M. (2001). *On exergy and sustainable development—Part 1: Conditions and concepts*. Exergy International Journal, 1(3), pp. 128-145.

[6] Zhang H. (2009). *Why Measure Sustainability? A comprehensive review and future applications*. Consultado el 28 de junio de 2015. Recuperado de <http://www.mel.nist.gov/msid/conferences/talks/hzhang.pdf>

[7] International Trade Administration, U.S. Department of Commerce (2009). *Sustainable Manufacturing Metrics*. Consultado el 2 de julio de 2015. Recuperado de <http://www.trade.gov/competitiveness/sustainablemanufacturing/metrics.asp>

[8] Angelakoglou K., Gaidajis G. (2015). *A review of methods contributing to the assessment of the environmental sustainability of industrial systems*. Journal of Cleaner Production (in press).

[9] Ott, W.R., (1978). *Environmental Indices: Theory and Practice*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.

[10] Rametsteiner E. et al. (2011). *Sustainability indicator development – Science or political negotiation?* Ecological Indicators, 11, pp. 61-70.

[11] United Nations (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. United Nations, New York.

[12] S2Biom (2015). *D5.4 Consistent Cross-Sectoral Sustainability Criteria & Indicators Draft Report*. Consultado el 22 de junio de 2015. Recuperado de [http://www.s2biom.eu/images/Publications/IINAS\\_2015\\_S2Biom\\_D5\\_4\\_Sustainability\\_C\\_I\\_proposal\\_Main\\_report\\_30\\_Mar.pdf](http://www.s2biom.eu/images/Publications/IINAS_2015_S2Biom_D5_4_Sustainability_C_I_proposal_Main_report_30_Mar.pdf)

[13] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (s.f.) *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. Consultado el 29 de junio de 2015. Recuperado de [http://www.nies.go.jp/db/sdidoc/indicadores\\_desarrollo\\_sustentable.pdf](http://www.nies.go.jp/db/sdidoc/indicadores_desarrollo_sustentable.pdf)

[14] Schaidle J.A., Moline C.J., Savage P.E. (2010). *Biorefinery Sustainability Assessment*. Environmental Progress & Sustainable Energy, 30(4), pp.743-753.

[15] Veleva V., Ellenbecker M.J. (2001). *Indicators of Sustainable Production: Framework and Methodology*. Journal of Cleaner Production, 9, pp. 519-549.

[16] Global Reporting Initiative (2011). *Sustainability reporting Guidelines 3.1*. Amsterdam.

[17] Khan F.I., Sadiq R., Veitch B. (2004). *Life cycle iNdeX (LnX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making*. Journal of Cleaner Production, 12, pp. 59-76.

[18] Institution of Chemical Engineers (2001). *The Sustainability Metrics. Rugby*: Institution of Chemical Engineers.

[19] Quiroga Martínez R. (s.f.) *Indicadores de Sustentabilidad: Experiencia Mundial y Desafíos para América Latina*. Recuperado de <http://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESION-7-Quiroga-Indics-Susten-Presentacion.pdf>