



Universidad de Concepción

¿QUÉ ES LA ECOEficiencia Y CÓMO PODEMOS MEDIRLA?

Josefa León / Fernanda Mardones /
Leopoldo Gutiérrez / Patricio Neumann



Serie Comunicacional CRHIAM

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

¿Qué es la ecoeficiencia y cómo podemos medirla?

Josefa León, Fernanda Mardones,

Leopoldo Gutiérrez y Patricio Neumann.

Marzo 2023.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/15130015

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl



Universidad de Concepción

¿QUÉ ES LA ECOEFICIENCIA Y CÓMO PODEMOS MEDIRLA?

Josefa León / Fernanda Mardones
Leopoldo Gutiérrez / Patricio Neumann

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Josefa León

Ingeniera en Recursos Naturales,
Universidad del Bío-Bío.



Fernanda Mardones

Licenciada en Ciencias de los Recursos Naturales,
Universidad del Bío-Bío.
Tesisista CRHIAM.



Leopoldo Gutiérrez

Ingeniero Civil Metalúrgico.
Doctor of Philosophy in Mineral Processing,
University of British Columbia, Canadá.
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería
Metalúrgica, Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM.



Patricio Neumann

Ingeniero Ambiental.
Doctor en Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.
Profesor Asistente del Departamento de Ciencias
Básicas, Universidad del Bío-Bío.
Investigador Adjunto CRHIAM.

RESUMEN

El cambio global y la emergencia ambiental se han tornado un problema cada vez más presente en nuestras vidas. Para nadie es un secreto que el cambio climático constituye un factor decisivo para el diseño de políticas públicas y para la toma de decisiones en el sector productivo. Dentro de este contexto, la noción de desarrollo sostenible se ha posicionado, durante las últimas tres décadas, como un paradigma fundamental para la sociedad, al incorporar en su planteamiento no solo las necesidades actuales de la población, sino que también el mantener el funcionamiento de la biósfera para, de esta forma, no afectar la capacidad de las futuras generaciones de suplir las necesidades que estos requerirán.

La ecoeficiencia se ha convertido en una de las principales directrices para el desarrollo de políticas públicas y estrategias para un desarrollo industrial más sostenible. En términos simples, puede ser entendida como un concepto que relaciona el valor de un producto o servicio, y los impactos que su producción o provisión generan en el medio ambiente. A pesar de la antigüedad de la noción de ecoeficiencia (sus orígenes datan de la década del 90'), y a su prevalencia en la manera en que la sociedad se enfrenta a los problemas ambientales, pocas veces nos detenemos a pensar sobre lo que significa este concepto, sus alcances, y la forma en que podemos medirla y gestionarla.

Esta Serie Comunicacional CRHIAM entrega una revisión general del concepto de ecoeficiencia, sus orígenes, vinculación con el desarrollo sostenible, y su aplicación en políticas públicas. Se presenta además una revisión general de la norma ISO 14.045, que constituye el estándar internacional más importante orientado a su cuantificación, tomando en consideración sus alcances, límites, y las ventajas que puede generar para una gestión más sostenible en el sector productivo.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas más discutidos durante las últimas décadas ha sido la importancia de tomar en cuenta los impactos que la actividad humana tiene sobre el medio ambiente, y la forma en que dichos impactos pueden afectar a su vez a la sociedad. Debido a esto, tanto el sector público como privado han incorporado progresivamente los impactos sobre el medio ambiente y sus riesgos dentro de sus políticas de toma de decisiones, lo que ha llevado al desarrollo de planes de acción orientados a la medición, reducción, mitigación, e incluso a la neutralidad de los impactos ambientales.

La preocupación por el medio ambiente tiene una larga data en la historia occidental moderna. Sin embargo, si bien a inicios de los años 80' ya se hablaba de los impactos que el cambio climático dejaría en el planeta, es recién en los últimos años donde hemos empezado a tomar acciones concretas para su mitigación, debido a que las consecuencias de este fenómeno son cada vez más evidentes. Por ejemplo, el cambio climático es uno de los factores determinantes en las sequías que actualmente experimentamos en Chile y otras partes del mundo. En nuestro país, el Ministerio de Obras Públicas en el año 2022 declaró que 19 comunas, 7 provincias y 1 región se encuentran en condiciones de escasez hídrica (Ministerio De Obras Públicas de Chile, 2022), lo que afecta a gran parte de la población y el desarrollo de actividades productivas críticas, tales como la agricultura y la minería.

Sin embargo, el cambio climático está lejos de constituir el único problema de degradación ambiental importante de la actualidad. La contaminación del agua, por ejemplo, es un importante fenómeno que nos permite apreciar la interdependencia entre la sociedad y el medio ambiente. Si bien los fertilizantes y pesticidas en la agricultura generan importantes mejoras en el rendimiento de los cultivos, su misma utilización puede generar un grave impacto sobre la salud humana y afectar la calidad del agua, limitando su utilización con otros fines. Las externalidades provocadas por la utilización de los recursos naturales están, por lo tanto, intrínsecamente relacionadas con las mismas actividades económicas que los utilizan, constituyendo una fuente potencial de efectos tales como la contaminación de aguas dulces y saladas, el deterioro de los suelos, el agotamiento de recursos minerales e hidrocarburos, la contaminación del aire, aumentos en el nivel de ruido, y otros efectos negativos importantes (Reig, 1994). La sociedad requiere recursos naturales para subsistir, pero resulta necesario que las activida-

des productivas reduzcan al mínimo su impacto ambiental, al tiempo que agregan valor por medio de la generación de productos o la prestación de servicios.

El desarrollo sostenible se presenta como un paradigma que permitiría dar un manejo racional al uso de los recursos naturales, de una forma capaz de responder tanto a las necesidades actuales de la humanidad como a las futuras. Si bien "producir más con menos" es tradicionalmente uno de los principales objetivos de las industrias, su relación explícita con la conservación del medio ambiente y la sostenibilidad es un fenómeno más reciente. Esta noción es lo que entendemos por *ecoeficiencia* (Figura 1).

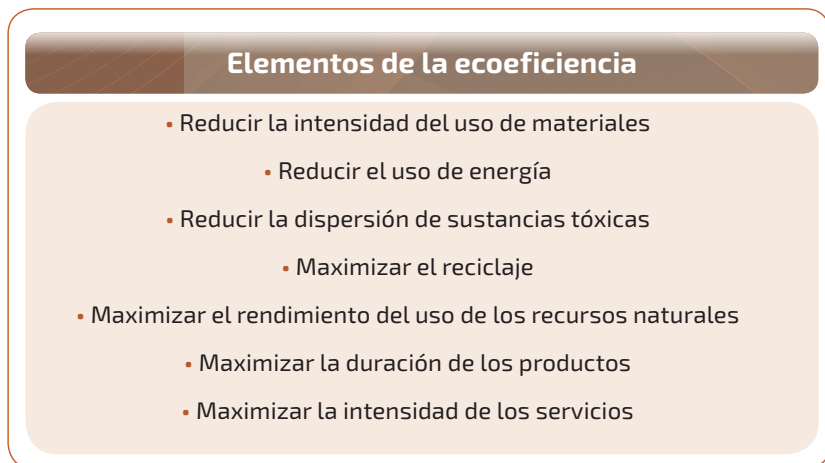


Figura 1.

Aspectos relevantes de la ecoeficiencia.

Fuente: Leal, (2005).

SOSTENIBILIDAD Y EL ROL DE LA ECOEFICIENCIA

La globalización tal y como la conocemos hoy en día es el resultado del continuo desarrollo tecnológico, industrial, financiero, y político que vive la sociedad. Sin embargo, nos enfrentamos a una profunda crisis que pone en entredicho los pilares fundamentales sobre los que la sociedad se rige. Las crisis financieras y sociales, sumado a la incertidumbre frente al cambio climático y otras externalidades, nos obligan a buscar acciones para frenar los impactos sociales y ambientales del crecimiento, generando normas y regulaciones que mantengan el equilibrio entre la naturaleza, la sociedad, y la economía.

La noción de un desarrollo sostenible ha constituido durante las últimas décadas el concepto guía utilizado para dirigir el accionar de la humanidad frente a los desafíos ambientales y sociales que enfrentamos. Este concepto fue definido por primera vez en 1987 como parte del trabajo de la "Comisión Bruntland", quienes plantearon que corresponde a una situación ideal en la que la humanidad puede "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias" (World Commission on Environment and Development, 1987). Es importante mencionar que si bien algunos autores distinguen entre los conceptos de *sostenibilidad* y *sustentabilidad*, en su formulación original en inglés no existe dicha distinción, existiendo solo la idea del "*sustainable development*". Debido a esto y al hecho de que no existe acuerdo con respecto a cuál es el criterio que podría diferenciar la sostenibilidad y la sustentabilidad, en este documento ambos conceptos son utilizados de forma intercambiable y como sinónimos.

La conformación de la Comisión Bruntland y el informe obtenido de su trabajo fue en gran medida un resultado de la creciente preocupación social y política por los efectos que la actividad humana estaba causando sobre el medio ambiente, que se había materializado en publicaciones y conferencias internacionales tales como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano del año 1972, realizada en Estocolmo (Caiado *et al.*, 2017). En 1992 se realizó la Cumbre para la Tierra en Río de Janeiro, con el fin de poder establecer objetivos para lograr el equilibrio entre el medio ambiente y el desarrollo económico y social de los países. Desde entonces, se han firmado distintos acuerdos y acciones con este fin, tales como la Agenda 21, los Objetivos del Milenio, o el Convenio de Basilea. De manera más reciente, en el año 2015 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció 17 Objetivos de Desarrollo

Sostenible (ODS), cuya meta es cumplir al año 2030 una serie de ambiciosos compromisos de sostenibilidad. Estos objetivos contemplan aspectos del desarrollo social, económico y medioambiental, cuyo norte es lograr resultados viables, equitativos y sostenibles.

El concepto de ecoeficiencia fue formulado por primera vez hace alrededor de tres décadas, como una respuesta a la necesidad de definir una manera en que las actividades económicas puedan llevar a la práctica la sustentabilidad. De acuerdo con el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD; por sus siglas en inglés), la ecoeficiencia constituía una nueva orientación para el desarrollo de la actividad industrial, puesto que buscaba producir los bienes y servicios utilizando menos recursos, generando menos desechos, y emitiendo menos contaminantes hacia el medio ambiente (Lorenzo-Toja *et al.*, 2016).

Al implementar la ecoeficiencia, se debe entregar los bienes y servicios manteniendo el margen de competencia industrial, pero los procesos deben además garantizar una reducción progresiva de los impactos medioambientales, considerando todas las etapas del ciclo de vida (Diebold & Schmidheiny, 1992). Según el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (World Commission on Environment and Development, 1988), las corporaciones que operan de manera ecoeficiente deben presentar los siguientes elementos básicos en sus prácticas:

- Reducción de la intensidad material en la producción de bienes y servicios.
- Reducción de la intensidad energética en la producción de bienes y servicios.
- Reducción en la generación y dispersión de cualquier material tóxico.
- Maximización de estrategias de reciclaje.
- Uso sostenible de los recursos naturales.
- Extensión de la durabilidad de los productos.
- Aumento en el nivel de calidad de bienes y servicios.

En la Figura 2 se presentan algunos de los hitos históricos más importantes que ha tenido a lo largo del tiempo el desarrollo de los conceptos de sostenibilidad y ecoeficiencia.

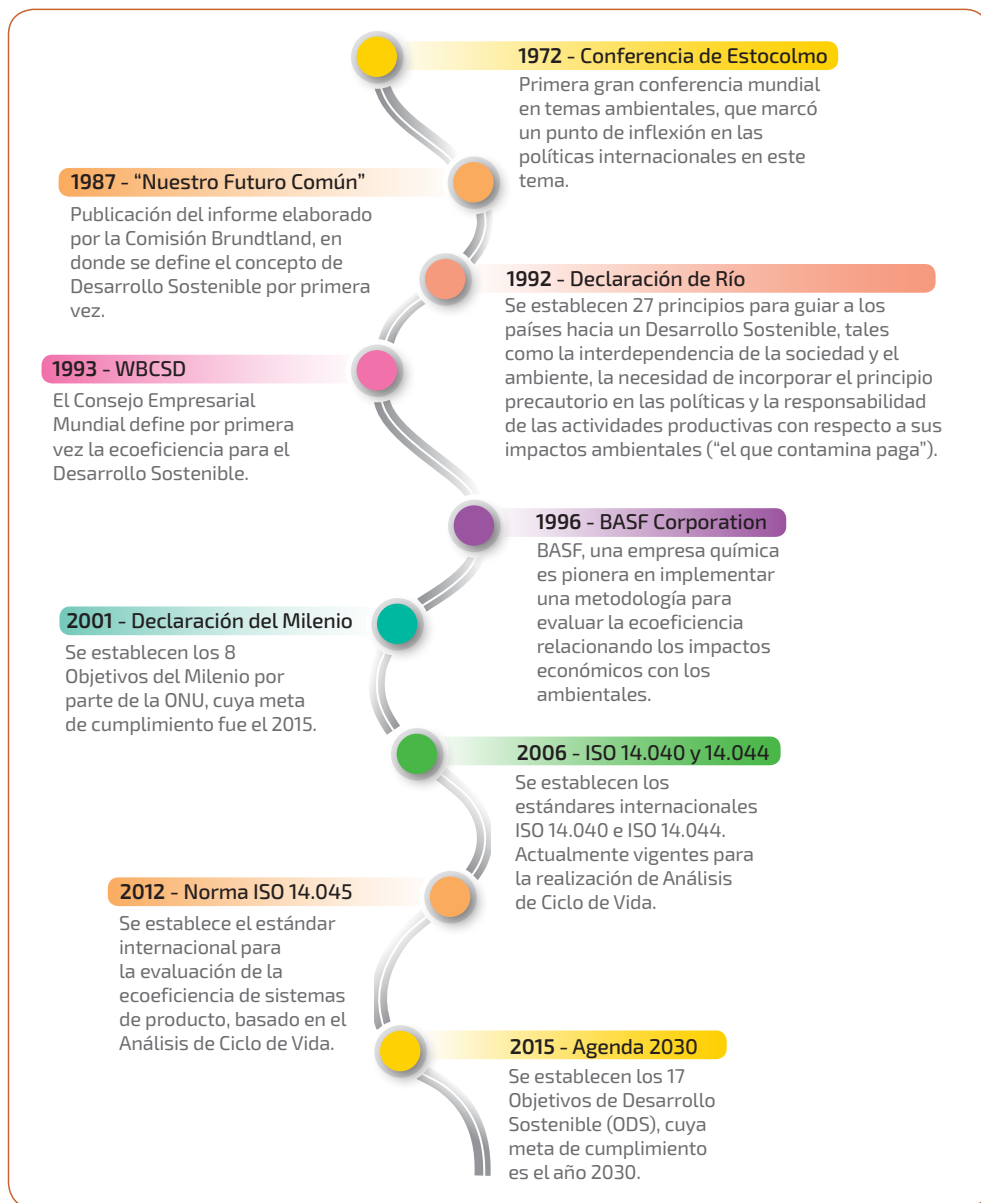


Figura 2.

Línea de tiempo de hitos de la sostenibilidad y ecoeficiencia.
Fuente: Elaboración propia.

En muchos casos, se propone que el camino para alcanzar la sostenibilidad pasa por equilibrar la conservación de la naturaleza, el desarrollo de la sociedad y el crecimiento de la economía, de manera que, mejorando la tecnología y la organización social, se disminuirá el impacto que la actividad económica tiene sobre el medio ambiente. Esto es lo que se conoce también como el "triple objetivo" (o "*triple-bottom-line*"), siendo una de las maneras más comunes en que se entiende e implementa la sostenibilidad en políticas públicas y actividades productivas.

Sin embargo, este planteamiento ha generado controversia desde su popularización, debido a la existencia de potenciales contradicciones y limitaciones, tales como la posibilidad de compensaciones entre estos tres objetivos. Por ejemplo, desde esta perspectiva sería potencialmente sostenible reemplazar capital natural (ej. un humedal u otro ecosistema), por capital manufacturado que preste una "función" o que tenga un "valor" similar (ej. un sistema de barreras para el control de inundaciones, u otro tipo de infraestructura), por lo que el concepto del triple objetivo es habitualmente entendido como una noción "débil" de la sostenibilidad.

Por contrapartida, una "sostenibilidad fuerte" parte de la base de que la sociedad y economía son parte del sistema ecológico y que el capital natural no es reemplazable por capital humano, siendo las interrelaciones entre la actividad humana y la biósfera la base para un sistema realmente sostenible (Figura 3). De acuerdo con los proponentes de la sostenibilidad débil, el capital manufacturado puede ser utilizado prácticamente en su totalidad para suplir los servicios ecosistémicos de la naturaleza.

En el caso de la sostenibilidad fuerte, se defiende la posición de que en muchos casos los servicios ambientales son insustituibles, y que el "valor económico" asignado a la naturaleza deriva de una perspectiva netamente utilitaria y antropocéntrica. La sostenibilidad fuerte se presenta como una alternativa de cambio con un planteamiento más profundo, puesto que contempla un enfoque biocéntrico donde los "pilares de la sostenibilidad o sustentabilidad" se encuentran anidados unos con otros.

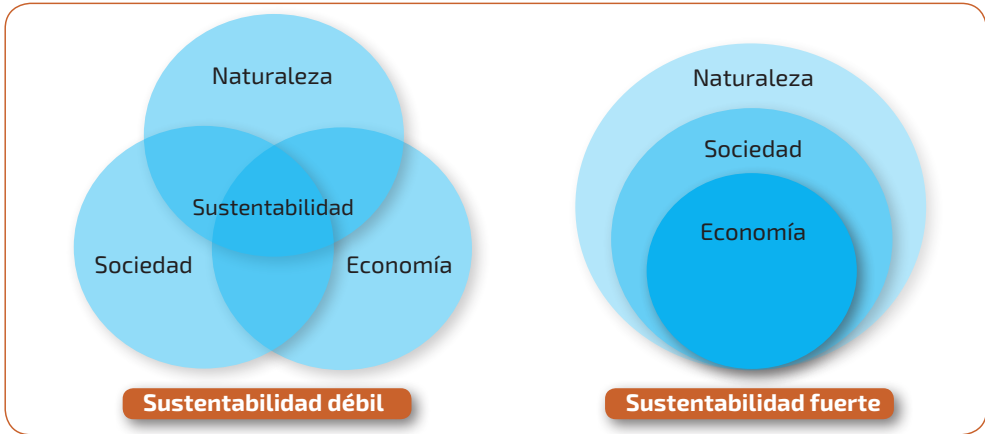


Figura 3.

Sustentabilidad débil y sustentabilidad fuerte.

Fuente: Morandín & Contreras, (2019).

ECOEficiencia en Políticas Públicas: EL CASO DE LOS ODS

Más allá de las diferentes perspectivas con respecto a la sostenibilidad, es indudable que la ecoeficiencia juega un rol fundamental para transitar a una sociedad más sostenible. En la actualidad, la ecoeficiencia forma parte de la mayor parte de las políticas desarrolladas a nivel internacional, ya sea de manera implícita o explícita. Por ejemplo, una revisión de los ODS nos permite observar que varios de los 232 indicadores definidos para el cumplimiento de las 169 metas se asocian con la ecoeficiencia (Tablas 1, 2, 3 y 4).

Tabla 1.

Indicadores de ecoeficiencia en el ODS N° 12.

N°	Ilustración	Objetivo	Meta	Indicador
12		Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. 12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización.	12.2.1 Huella material en términos absolutos, per cápita y por PIB. 12.5.1 Tasa nacional de reciclado en toneladas de material reciclado.

En el caso del ODS 12, su objetivo principal es garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Este objetivo presenta una gran cantidad de metas que buscan fortalecer la capacidad tecnológica y científica en torno a los modos de producción y consumo, generando sistemas más sostenibles y eficientes. Las líneas de acción van desde la investigación y desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales para la producción y consumo, hasta la implementación de estrategias adecuadas para la eliminación de los desechos. En el caso de los indicadores mostrados en la Tabla 1, estos están definidos en términos del uso de materiales ("huella material") en términos absolutos y expresados per cápita y unidad monetaria, siendo este último una evidente aplicación de ecoeficiencia. Otros indicadores, como por ejemplo la tasa nacional de reciclado, también pueden ser entendidos desde la mirada de la ecoeficiencia, debido a la mitigación de impactos ambientales asociada con la implementación de estrategias de reciclaje.

Tabla 2.
Indicadores de ecoeficiencia en el ODS N° 9.

N°	Ilustración	Objetivo	Meta	Indicador
9		Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.	9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.	9.4.1 Emisiones de CO ₂ por unidad de valor añadido.

El ODS 9, por otra parte, está orientado a promover el desarrollo industrial, la innovación y la construcción de infraestructura desde una perspectiva de resiliencia y sostenibilidad. La meta 9.4 de este objetivo busca modernizar las estructuras de las industrias de modo que estas sean sostenibles y más eficientes, implementando prácticas ambientales racionales. Dentro de esta meta destaca el indicador "emisiones de CO₂ por unidad de valor añadido", el que corresponde a una aplicación directa del concepto de ecoeficiencia. En la práctica, este indicador se relaciona con la medición de la huella de carbono, cuyo objetivo es evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a una organización o a la cadena de valor de un producto.

Tabla 3.
Objetivo N°2 de los objetivos del desarrollo sostenible.

N°	Ilustración	Objetivo	Meta	Indicador
2		Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible.	2.4 De aquí a 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de los alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan a mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y suelo.	2.4.1 Proporción de la superficie agrícola en que se practica una agricultura productiva y sostenible.

Si bien las tablas anteriores representan aplicaciones explícitas de indicadores de ecoeficiencia en los ODS, existen algunos casos en donde el concepto se aplica de manera implícita. Por ejemplo, la Tabla 3 presenta el caso del ODS 2 ("Hambre Cero"), el cual no solo se enfoca en promover la seguridad alimentaria y poner fin al hambre, sino que además considera el desarrollo de una agricultura más sostenible.

En particular, el indicador 2.4.1 representa la proporción de superficie agrícola en donde se implementan técnicas para incrementar la productividad y mejorar la sostenibilidad, lo que involucra aumentar o mantener el valor creado por la agricultura (producción de alimentos), al tiempo que se disminuye su impacto ambiental. La meta asociada es lograr sistemas agrícolas con una mayor resiliencia y capacidad de adaptación, que al mismo tiempo puedan aumentar su productividad y contribuir a la mantención de los ecosistemas. Existen distintas formas de implementar una agricultura más sostenible, lo que puede implicar la aplicación de mejoras tecnológicas (ej. sistemas de riego eficientes, agricultura de precisión), y/o cambios en el modo de producción (ej. agricultura orgánica, agrosilvicultura, permacultura, u otros).

Tabla 4.
Objetivo N° 6 de los objetivos del desarrollo sostenible.

N°	Ilustración	Objetivo	Meta	Indicador
6	 6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO	Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.	6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.	6.4.1 Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo.

Finalmente, en la Tabla 4 podemos ver el caso del ODS 6 ("Agua limpia y saneamiento"), el cual está enfocado en garantizar la disponibilidad, saneamiento y la gestión sostenible del agua para toda la sociedad, considerando que en muchos países el acceso al agua y sistemas sanitarios es aún una tarea pendiente (en Chile esto ocurre principalmente en zonas rurales). En el caso de los indicadores, el número 6.4.1 plantea evaluar el "cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos", vale decir, utilizar las aguas de forma inteligente para asegurar el recurso a través del tiempo y así enfrentar la escasez hídrica. Si bien en muchos casos esto puede implicar costos económicos, un mejor uso de recursos como el agua es una estrategia que permite mejorar el desempeño ambiental y, al mismo tiempo, generar ahorros económicos a mediano o largo plazo (Advíncula *et al.*, 2014).

¿CÓMO PODEMOS MEDIR LA ECOEFICIENCIA?

Durante años, el concepto de ecoeficiencia ha sido utilizado y reformulado por distintos autores y organizaciones, estando en la actualidad muy extendido en la academia y el sector productivo. Sin embargo, para poder implementar principios de ecoeficiencia de manera efectiva, necesitamos ser capaces de cuantificarla, definir metas, *benchmarks*, e indicadores de cumplimiento que permitan una gestión eficiente (Caiado *et al.*, 2017). Un

indicador es una "característica específica, observable y medible que puede ser usada para mostrar los cambios y progresos que está haciendo un programa hacia el logro de un resultado específico" (Polanco, 2006). La construcción y evaluación de indicadores es un aspecto fundamental para contar con una gestión ambiental efectiva, ya que es prácticamente imposible manejar de manera adecuada un aspecto que no podemos (o no sabemos) cuantificar.

De manera general, la cuantificación de la ecoeficiencia se realiza por medio de expresiones, tales como la presentada en la Ecuación 1 (Muller & Sturm, 2001):

$$\text{Ecoeficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Impacto ambiental}}$$

(Ecuación 1)

La Ecuación 1 relaciona el valor de un producto o servicio (aspecto a maximizar) con respecto a los impactos ambientales asociados a la obtención de dicho producto o servicio (aspecto a minimizar). Si bien el valor del producto o servicio generalmente se expresa como valor monetario, conceptualmente tiene relación con el beneficio que el producto o servicio agrega a la sociedad, por lo que se puede expresar en otras unidades. El denominador representa el impacto ambiental del sistema productivo, el que puede estar asociado al uso de materiales, el consumo de energía, el uso de agua, la emisión de gases de efecto invernadero, la emisión de sustancias que dañan la capa de ozono, u otros indicadores relevantes (Leal, 2005).

DIRECTRICES INTERNACIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECOEFICIENCIA: NORMA ISO 14.045:2012

Debido a las distintas interpretaciones que ha tenido la ecoeficiencia desde su primera conceptualización, hasta hace algunos años uno de los aspectos que dificultaba su implementación era la falta de estándares que permitieran generar indicadores comparables entre sistemas de productos similares. En este contexto, en el año 2012 la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por su sigla en inglés), estableció la primera directriz internacional para la evaluación de la ecoeficiencia de sistemas de producto, cuya numeración dentro de las normas ISO es 14.045.

Esta norma establece que la evaluación de la ecoeficiencia es el "aspecto de la sostenibilidad que relaciona el desempeño ambiental de un sistema de producto con el valor del sistema de producto". Es importante destacar que esta norma toma una perspectiva sistémica al definir tanto el desempeño ambiental como el valor en términos del *sistema de producto*, entendido este concepto como el conjunto de procesos unitarios que desempeñan una o más funciones definidas, y que sirve de modelo para el ciclo de vida del producto. Vale decir, la evaluación de la ecoeficiencia está basado en una *perspectiva de ciclo de vida*, considerando las etapas desde la extracción y adquisición de la materia prima, la producción de la energía y los insumos, la fabricación del producto, su uso, tratamiento final, y eliminación definitiva.

La norma ISO 14.045 se basa en 5 principios fundamentales, descritos en la Figura 4.



Perspectiva del ciclo de vida

Se considera el ciclo de vida completo, desde la extracción y adquisición de la materia prima, hasta el uso, tratamiento final y eliminación definitiva.



Enfoque interactivo

Las fases individuales de esta evaluación utilizan los resultados de otras fases, lo que contribuye a la integridad y coherencia del estudio.



Transparencia

Debido a la complejidad que conlleva realizar una evaluación, la transparencia es un rector importante para asegurar dar una correcta interpretación de los resultados.



Integridad

La evaluación considera todos los atributos y aspectos pertinentes. Así se pueden identificar y evaluar las compensaciones potenciales.



Prioridad del enfoque científico

De preferencia las decisiones se toman basándose en el conocimiento científico y la evidencia. Todos los juicios de valor (a veces inevitables) deben transparentarse.

Figura 4.

Principios de la evaluación de la ecoeficiencia. Fuente: NCh-ISO 14.045, (2014).

En términos generales, los principios de la evaluación de ecoeficiencia buscan desarrollar indicadores sistémicos, robustos, y representativos de la función del producto y sus impactos ambientales, en base a principios científicos y con total transparencia en términos de la metodología empleada, los supuestos empleados, y los juicios de valor que puedan ser necesarios. Como se muestra en la Figura 5, las fases de la evaluación de la ecoeficiencia son 5, las que se describen a continuación.

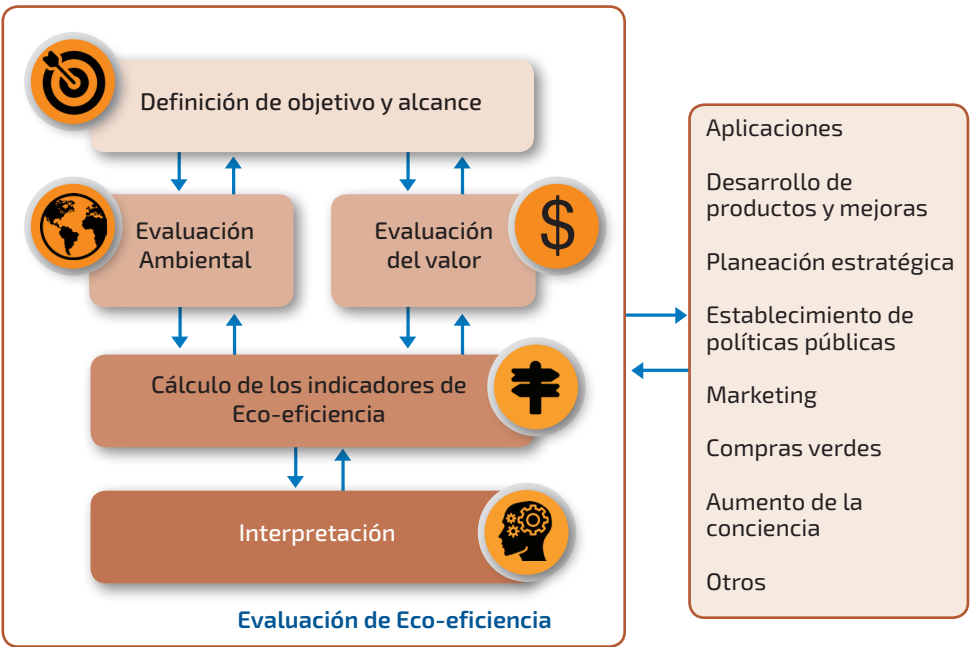


Figura 5.

Fases y aplicaciones de la evaluación de la ecoeficiencia.
Fuente: NCh-ISO 14.045, (2014).

Definición del objetivo y alcance

En esta fase se presentan los requisitos generales de la evaluación. En primer lugar, se deben definir los objetivos, describiendo con claridad el propósito de la evaluación, a quién se dirige, y para qué se utilizarán los resultados. En segundo lugar, se debe definir el alcance, incluyendo la unidad funcional para el análisis, los límites del sistema, y la selección de las

metodologías a utilizar para la evaluación del desempeño ambiental y el valor de producto.

Básicamente, en la definición de objetivo se definen:

- Los propósitos de la evaluación.
- El público objetivo.
- Uso previsto de los resultados.

Mientras que en la definición del alcance se definen:

- El sistema de producto a evaluar.
- Función y unidad funcional.
- Límite del sistema de producto.
- Método de evaluación ambiental.
- Método de evaluación del valor del sistema de producto.
- Selección de indicadores de ecoeficiencia.
- Estrategias para la interpretación y divulgación de los resultados.

Evaluación ambiental

En esta fase, se realiza la evaluación del desempeño ambiental del producto. Uno de los aspectos relevantes definidos por la norma ISO 14.045, es que la evaluación del desempeño ambiental se debe realizar bajo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la cual se encuentra normada internacionalmente en las directrices ISO 14.040:2006 e ISO 14.044:2006. Debido a que existen distintas aproximaciones e indicadores de ACV, es importante definir con qué tipo de análisis se trabajará, las estrategias a utilizar para la construcción del inventario, el método de evaluación de impacto, las categorías de impacto e indicadores que se utilizarán, entre otros aspectos.

Evaluación del valor del sistema de producto

En el caso de la evaluación del valor del sistema de producto, se puede realizar desde distintas perspectivas. En términos generales, existen tres clasificaciones para los valores del sistema de producto: funcional, monetario, y otros (intangibles, estéticos, etc.). En el caso del valor funcional, se considera una cantidad numérica que representa el desempeño funcional de un sistema de producto.

Para los valores de carácter monetario, pueden estar representados por costos, precios, valor agregado, beneficios, u otros. Por último, otros tipos de valores incluyen aquellos de tipo intangible, tales como el valor cultural, histórico, de la marca, o estético. Es importante que, para mantener congruencia con la evaluación del desempeño ambiental, la evaluación del valor del producto esté basada en una perspectiva de ciclo de vida, y que incluya los mismos alcances del ACV. En la Tabla 5 se muestra un ejemplo de distintos valores e indicadores para un sistema de producto, en este caso una fuente de luz.

Tabla 5.
Ejemplo de valor funcional, valor monetario, otros valores e indicadores de valor, para el ciclo de vida de una fuente de luz.

Términos	Ejemplos	Indicador de valor (unidad)
Sistema del producto	Ciclo de vida de la fuente de la luz	
Función	Luminosidad	
Valor funcional	Brillo	Flujo luminoso (lumen)
Valor monetario	Precio de mercado	Precio (pesos)
Otros valores	Forma, estética	Ranking del consumidor

Fuente: NCh-ISO 14.045, (2014).

Cuantificación de la ecoeficiencia

Los resultados de la ecoeficiencia se deben determinar en base a la relación que tiene la evaluación ambiental con la evaluación del valor del sistema de producto. En este paso se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para determinar cuánto afecta a los resultados la modificación de datos y metodologías, y tener una estimación de cómo la incertidumbre afecta la fiabilidad de la evaluación.

Interpretación

En esta fase se deben identificar los aspectos significativos de la evaluación, incluyendo los resultados obtenidos en cada etapa, y lo relacionado con el nivel de integridad, la sensibilidad, incertidumbre y coherencia. Finalmente, se deben formular conclusiones, discutir las limitaciones, y generar recomendaciones en función del objetivo del estudio.

EVALUACIÓN AMBIENTAL A TRAVÉS DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ISO 14.040 Y 14.044)

Las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 son los estándares actuales que rigen la aplicación del ACV, metodología utilizada como base para la evaluación del desempeño ambiental en el contexto de la ecoeficiencia. Durante un ACV se recopilan todas las entradas y salidas del sistema en estudio, las que posteriormente son expresadas en términos de impactos ambientales potenciales, con el objetivo de identificar puntos críticos y orientar la toma de decisiones hacia la disminución del impacto ambiental. La herramienta tiene por definición un enfoque holístico, al incluir todas las etapas necesarias para proveer un producto o servicio (extracción de recursos, transporte, manufactura, distribución, gestión de residuos), e incorporar en su evaluación una gran diversidad de impactos ambientales relevantes (como el cambio climático, la eutrofización, el agotamiento de ozono, el consumo de recursos, y otros).

En la Figura 6 se presentan las fases para realizar el ACV, las cuales son descritas brevemente a continuación.

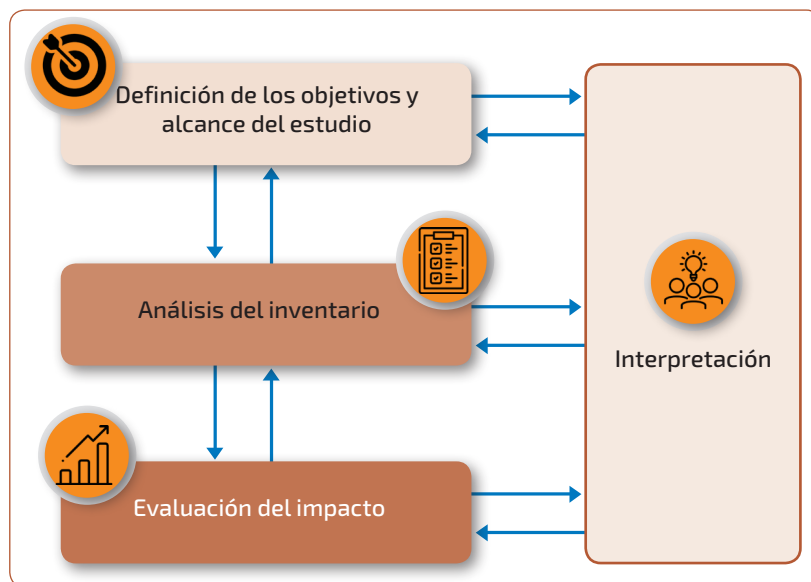


Figura 6.

Fases de análisis de ciclo de vida.

Fuente: International Organization for Standardization, (2006).

Definición de los objetivos y alcance del estudio

En esta fase, al igual que para la evaluación de ecoeficiencia, se deben establecer los objetivos y alcances de la evaluación. Se deben indicar sin ambigüedad la razón y aplicación deseada del estudio, y a qué audiencia será proyectado.

En el caso del alcance, se deberán establecer los siguientes puntos:

- Funciones del sistema de producción.
- Unidad funcional.
- Sistema de producción a estudiar.
- Límites del sistema de producción.
- Procedimientos de asignación.
- Tipos de impacto y metodología de evaluación de impactos.
- Requisitos de datos.
- Supuestos y limitaciones.
- Requisitos de calidad de los datos.
- Tipo de revisión crítica.
- Tipo y formato del informe.

Análisis del inventario del ciclo de vida

En esta fase se cuantifican las entradas y salidas que posee el sistema que se está evaluando, incluyendo: uso de recursos (materiales, energía, agua), y emisiones de residuos sólidos, líquidos, y gaseosos. Debido a que el levantamiento de información debe realizarse para todo el sistema en estudio (el *ciclo de vida*), esta etapa es habitualmente la que demanda la mayor parte del trabajo, resultando indispensable contar con fuentes de información confiables (tanto datos primarios como datos complementarios provenientes de reportes o bases de datos).

Evaluación de impacto

Durante la evaluación de impacto ambiental, los resultados del inventario se convierten en impactos ambientales potenciales por medio de la aplicación de metodologías de evaluación desarrolladas específicamente en el marco del ACV. Esta fase incluye la clasificación de los flujos de inventario (asignación de cada uno de estos a las categorías de impacto en evaluación), y su caracterización por medio del uso de factores que relacionan el elemento del inventario en estudio con su potencial impacto en términos de una unidad de referencia. Por ejemplo, el potencial de cambio climático de los distintos gases de efecto invernadero se evalúa habitualmente en tér-

minos de su comparación con la capacidad de retener calor en la atmósfera del dióxido de carbono (CO₂), lo que da origen al concepto de "CO₂ equivalentes".

Interpretación

En esta fase se interpretan los hallazgos de la etapa de análisis de inventario y los resultados de la evaluación de los impactos. La interpretación debe realizarse de manera consistente con el objetivo y alcance del estudio, y debiese incluir un análisis de la sensibilidad e incertidumbre de los resultados, al menos en términos cualitativos. Otras etapas opcionales, como la normalización y ponderación de los resultados, también pueden ser relevantes para una adecuada interpretación.

POLÍTICAS AMBIENTALES EN CHILE Y SU RELACIÓN CON LA ECOEFICIENCIA

En Chile, existen distintos instrumentos relevantes de gestión ambiental cuyos fundamentos se relacionan con la ecoeficiencia. Como se mencionó anteriormente, este concepto forma parte de manera implícita de gran parte de las normativas y políticas públicas ambientales en todo el mundo, por lo que la situación de Chile no resulta sorprendente.

Ejemplos relevantes de esta situación son, por ejemplo, los denominados Acuerdos de Producción Limpia (APL), instrumentos de carácter voluntario en los cuales distintos actores del sector empresarial se comprometen a adoptar medidas de eficiencia, prevención, y control de la contaminación, con el objetivo de mitigar sus impactos en el medio ambiente. Un APL es definido como "un convenio celebrado entre un sector empresarial, empresa(s) y el (los) organismo(s) público(s) con competencias en las materias del Acuerdo, cuyo objetivo es aplicar la producción limpia a través de metas y acciones específicas" (Instituto Nacional de Normalización, 2003).

Establecidos bajo la Norma 2796:2003, los APL incentivan a las empresas de menor tamaño a subscribirse en estos acuerdos, siendo un importante objetivo de éstos mejorar la competitividad del sector productivo. De esta manera, los APL son *instrumentos económicos de gestión ambiental*, al integrar principios, criterios y mecanismos orientados a mejorar la competitividad de la actividad productiva en el mercado, con principios y herramientas cuya aplicación resulta en la mitigación de los impactos ambientales.

Sin embargo, es importante mencionar que a diferencia de los establecido en la norma ISO 14.045, la mayor parte de los APL existentes en Chile se enfocan en los impactos ambientales directos de la actividad productiva, vale decir, no cuentan con la *perspectiva de ciclo de vida* definida como principio rector para la implementación y cuantificación de la ecoeficiencia en sistemas de producto.

Otro ejemplo de política ambiental relevante es el Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables (PNCPS), establecido en 2016 como parte del trabajo del Comité de Consumo y Producción Sustentable (CCPS) del Ministerio del Medio Ambiente (MMA). El PNCPS cuenta con un Plan de Acción cuyo objetivo es constituir "un marco dinámico de iniciativas consensuadas y actividades relevantes para poder implementar el PNCPS, logrando que el país transite hacia patrones de consumo y producción más sustentables" (Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

Este plan tiene 10 líneas de acción, resumidas en la Tabla 6. Muchas de estas están relacionadas con conceptos relevantes para la ecoeficiencia, como la perspectiva de ciclo de vida, el eco-etiquetado y generación de información para los consumidores, el ecodiseño, la economía circular, y el aprovechamiento eficiente de los recursos.

Tabla 6.

Líneas de acción del Plan de Acción de Chile, con sus respectivas áreas de trabajo.

Líneas de acción	Descripción	Áreas de trabajo
Construcción sustentable	Incorporar la sustentabilidad en el ciclo de vida de las edificaciones e infraestructuras, generando bienestar para los usuarios sin comprometer al ambiente.	1. Hábitat y bienestar. 2. Innovación y competitividad.
Turismo sustentable	Fomentar un desarrollo sustentable de la actividad turística, tanto en los destinos, como en las empresas, mediante la difusión de prácticas de consumo y producción sustentables que permitan posicionar a Chile como un destino turístico, cuya oferta se desarrolla bajo criterios de sustentabilidad.	1. Gestión sustentable en empresas del sector turismo.
Sistemas alimentarios sustentables	Impulsar sistemas alimentarios sustentables a nivel local, regional y nacional, incluyendo la producción agropecuaria, la pesca y la acuicultura.	1. Sustentabilidad en agricultura. 2. Sustentabilidad en pesca y acuicultura. 3. Sensibilización a público.

Líneas de acción	Descripción	Áreas de trabajo
Industria responsable	Aportar al desarrollo sustentable desde la industria, haciéndose cargo de sus impactos y promoviendo una economía verde e inclusiva.	1. Instancias normativas.
Información al consumidor	Generar y mejorar la disponibilidad de información fidedigna, comparable y comprobable sobre sustentabilidad de los productos y servicios para promover patrones de consumo y producción más sustentables.	1. Estándares y ecoetiquetado. 2. Generación de información.
Estilos de vida sustentables y educación	Impulsar estilos de vida sustentables en la población a través de la educación, la sensibilización y la colaboración.	1. Caracterización de estilos de vida sustentables.
Sustentabilidad en el sector público	Incorporar la sustentabilidad a nivel estratégico en el quehacer público, mediante el diseño e implementación de políticas y prácticas de consumo y producción sustentables.	1. Gestión ambiental en las operaciones directas del sector público.
Gestión de residuos	Desarrollar, implementar y fortalecer mecanismos que permitan prevenir la generación de residuos y valorizar los residuos generados por todos los sectores de la economía, mediante la aplicación de herramientas financieras y educacionales que consideren conceptos como ecodiseño y economía circular.	1. Normativa. 2. Prevención de la generación de residuos. 3. Generación y difusión de información.
Energías limpias y eficiencia energética	Impulsar la generación y el uso sustentable de energía eléctrica y térmica, promoviendo el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos propios y aplicando altos estándares de sustentabilidad durante todo el ciclo de vida de la energía.	1. Cambio climático en el sector energético.
Gestión del agua	Garantizar la disponibilidad y el acceso al agua con estándares de calidad y cantidad adecuados, promoviendo una gestión sustentable de los recursos hídricos en los procesos de consumo y de producción del país.	1. Plan nacional de recursos hídricos.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, (2017).

CONCLUSIÓN

El concepto de ecoeficiencia es una herramienta fundamental para poder transitar hacia una sociedad más sostenible. Como tal, ha formado parte de diversos instrumentos de gestión ambiental y políticas públicas de distintos países, ya sea de manera explícita o implícita.

En términos prácticos, la ecoeficiencia es una herramienta cuya medición y cuantificación se encuentra estandarizada en directrices internacionales, lo que facilita su implementación como herramienta de gestión en el sector productivo. La ecoeficiencia es una herramienta que puede acompañar y guiar el proceso de innovación y mejoramiento de productos y servicios, ayudando al mismo tiempo a mejorar la competitividad del sector productivo y a disminuir su impacto sobre el medio ambiente.

Es importante recalcar que en sus directrices internacionales la ecoeficiencia está basada en una perspectiva de ciclo de vida, entregando una perspectiva sistémica sobre el valor y el desempeño ambiental de los productos y servicios. Sin embargo, la implementación y aplicación de herramientas y principios de ecoeficiencia con una perspectiva sistémica y de ciclo de vida es algo aún pendiente, especialmente en países en desarrollo como Chile. Es de esperar que el desarrollo de un marco legislativo más exigente, en gran medida como parte de los compromisos internacionales que nuestro país ha adquirido, lleve a una masificación de este tipo de herramientas de gestión, tanto en políticas públicas como en actividades productivas.

REFERENCIAS

- Advíncula, O., García, S., García, J., Toribio, K., & Meza, V. 2014. Plan de ecoeficiencia en el uso del agua potable y análisis de su calidad en las áreas académicas y administrativas de la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Ecología Aplicada*, 13(1-2), 43. <https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.453>
- Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. 2017. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890-904. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.166>
- Diebold, W., & Schmidheiny, S. 1992. Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment. *Foreign Affairs*, 71(4), 202. <https://doi.org/10.2307/20045337>
- Instituto Nacional de Normalizacion. 2003. *Acuerdos de Producción Limpia (APL)* (NCh 2796).
- Instituto Nacional de Normalizacion. 2014. *Gestión ambiental — Evaluación de la ecoeficiencia del sistema de producto — Principios, requisitos y directrices* (NCh-ISO 14.045).
- International Organization for Standardization. 2006. *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* (ISO 14.040).
- International Organization for Standardization. 2006. *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines* (ISO 14.044).
- Leal, J. 2005. Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. CEPAL. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5644>
- Lorenzo-Toja, Y., Vázquez-Rowe, I., Amores, M. J., Termes-Rifé, M., Marín-Navarro, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2016. Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective. *Science of The Total Environment*, 566-567, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.110>

- Ministerio de Obras Públicas de Chile. 2022. Decreto 152. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1183190>
- Ministerio del Medio Ambiente. 2017. Plan de Accion Nacional de Consumo y Produccion Sustentables. In *Gobierno de Chile*. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-ACCION-CPS-2017-2020.pdf>
- Morandín, I., & Contreras, A. 2019. La sustentabilidad con rostro humano. En: *Marejadas Rurales y Luchas Por La Vida. Volumen I: Construcción Sociocultural y Económica Del Campo*. Asociación Mexicana de Estudios Rurales. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104541>
- Muller, K., & Sturm, A. 2001. Standardized Eco-Efficiency Indicators. *Ellipson Consultants*, 72 páginas. Disponible en: https://kaspar-mueller.ch/uploads/1/4/0/5/140503697/ecoefficiency_indicators_e.pdf
- Polanco, C. 2006. Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 9(2), 27–41. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986007.pdf>
- Reig, A. 1994. Análisis económico de los recursos naturales. *Multequina*, 3, 205–211. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42800319>
- World Commission on Environment and Development. 1987. The Brundtland Report: 'Our common future'. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>



Universidad de Concepción

¿QUÉ ES LA ECOEFICIENCIA Y CÓMO PODEMOS MEDIRLA?



Serie Comunicacional CRHIAM