Creación de un Indicador que Permite Determinar la Eficiencia Ambiental y la Sostenibilidad de los Tratamientos de Depuración de Efluentes Líquidos

U. D. Pepe

Instituto de Capacitación de la Federación Nacional de Trabajadores de Obras Sanitarias y O.S.S.E., Pasco 580, (C1219AAB)C.A.B.A, ARG(E-mail:ulidam@yahoo.com.ar, capacitacion@fentos.org.ar)

Abstract

Se ha desarrollado una función denominada Ecopia (Eco) cuya expresión permite determinar la sostenibilidad y eficiencia ambiental de los procesos de tratamiento de efluentes líquidos.

Su cálculo permite obtener valores (indicadores) que brindan información ambiental sobre el aporte y la magnitud de los Gases Efecto Invernadero generados por los combustibles fósiles consumidos en los procesos de depuración.

Los parámetros evaluados son: Energía Potencial del efluente a tratar, Energía Consumida y Energía Aprovechada del proceso. Valores de Eco iguales o cercanos a cero, significa que el proceso aporta energía renovable, (situación ideal), si es próxima a uno, indica que se consume un mínimo de energía, situación aceptable; superiores a 1 indican procesos con consumo de energía no renovable y por lo tanto no sostenibles. Indicador esencial para el diseño y/u optimización de los procesos de depuración de efluentes líquidos.

Se desarrolla la función con ejemplos que validan este indicador.

Keywords

Indicador de Sostenibilidad, Tratamientos de Efluentes Líquidos, Gases Efecto Invernadero, Energía Renovable.

Introducción

El concepto de desarrollo sostenible, emerge en los años ochenta.

Entre los años cincuenta y sesenta el foco del progreso económico estaba en el crecimiento de la producción, con una dinámica basada únicamente en los conceptos de eficiencia económica. A principios de los setenta, se trata de mejorar la distribución de la renta. De esta forma “el paradigma del desarrollo se desplaza hacia un crecimiento equitativo” (Munasinghe, 1993). En los años setenta se trata de incorporar los conceptos de equidad social en las decisiones económicas de los proyectos de cooperación al desarrollo.

A partir de la década de los ochenta la protección del medio ambiente se convierte en el tercer gran objetivo del desarrollo, debido a que hay extensas evidencias acumuladas donde se pone de manifiesto que la degradación ambiental es la mayor barrera para el desarrollo. En este sentido la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN*) marca un hito en el año 1980 con su “Estrategia para la Conservación del Mundo: conservación de los recursos biológicos para el desarrollo sostenible” (IUCN, 1980), definiendo el uso sostenible de los ecosistemas: “deberíamos utilizar las especies y los ecosistemas a los niveles y del modo que se les permita renovarse de todos los modos indefinidamente” (Allen, 1980; resumiendo IUCN, 1980), y el propio término de desarrollo sostenible como “el desarrollo que permite alcanzar una satisfacción duradera de las necesidades humanas y mejorar la calidad de la vida humana” (Allen, 1980; resumiendo IUCN, 1980).

El año 1987 se presenta en la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo el documento “Nuestro Futuro Común” (Informe Brundtland) (WCED, 1987), primer documento de la agenda

internacional del desarrollo en donde el desarrollo sostenible se plantea como meta tanto en países en desarrollo como en las naciones industrializadas. (WCED, 1987). Se define: “El desarrollo sostenible es aquél que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

La propuesta del informe Brundtland dice: “Los niveles de vida que están por encima del mínimo básico sólo son sostenibles si los niveles de consumo de todos permiten alcanzar la sostenibilidad a largo plazo. Todavía muchos de nosotros vivimos por encima de la capacidad ecológica del mundo, por ejemplo en nuestro modelo de uso energético. Las necesidades que se perciben están social y culturalmente determinadas, y el desarrollo sostenible requiere la promoción de valores que promuevan los estándares de consumo que están dentro de los límites de lo ecológicamente posible y a los cuales todos podamos razonablemente aspirar”. (WCED, 1987).

Indicadores de desarrollo sostenible

Se puede definir que los indicadores representan medidas cuantitativas seleccionadas para evaluar el progreso o retroceso respecto a una meta establecida.

De acuerdo con el Informe Dobris (European Environment Agency, 1996), “los indicadores de sostenibilidad son características definibles y mensurables del mundo cuyos valores absolutos o relaciones y dirección de cambio tienen como objetivo poner de manifiesto si el mundo se está haciendo más o menos sostenible”.

Los indicadores de desarrollo sostenible surgen como una respuesta a la insuficiencia conceptual y teórica de los indicadores tradicionales en el nuevo contexto del paradigma de desarrollo sostenible. Los indicadores tradicionales resultan una forma insuficiente y probablemente inadecuada de medir la realidad. Una realidad en que la sociedad implanta nuevas exigencias por un modelo de desarrollo más equilibrado, más justo y más respetuoso con el medio ambiente.

Ante esta situación se procede desde los ambientes académicos a la revisión de los indicadores existentes. Se puede indicar que los indicadores deben constituir un punto de referencia plenamente apropiado para orientar la trayectoria tecnológica y el cambio institucional de acuerdo con los retos y objetivos de nuestro tiempo, es decir, con la calidad de vida y el desarrollo sostenible. Asimismo los indicadores deben permitir el análisis crítico, transparente y abierto, de los procesos y prácticas de toma de decisión. Dentro de una política de desarrollo sostenible es necesario configurar un sistema útil de indicadores de sostenibilidad.

Es por ello que en este trabajo se ha desarrollado un Indicador de sostenibilidad o Ecopía (E_{co}), que nos permite ponderar numéricamente con que eficiencia se realiza un determinado proceso. En particular, en este trabajo, se lo utilizara para el tratamiento de depuración de efluentes líquidos.

Su calculo nos permite saber si un determinado proceso de depuración, aporta o no y en que magnitud Gases Efecto Invernadero (GEI). (de acuerdo a la matriz energética del país).

DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN ECOPIA (E_{co})

Se define la (E_{co}) con la siguiente función:

$$Ecopía : \frac{E_{pot.ini} + E_{cons} - E_{aprov}}{E_{pot.ini}}$$

donde:

$E_{pot.ini}$: es la Energía potencial inicial

E_{cons} : es la Energía consumida en el proceso

E_{aprov} : es la Energía aprovechada del proceso

Energía Potencial Inicial (total extraíble del afluente)

Es la energía que se puede extraer del afluente, si el mismo se trata en forma anaerobia y el biogas generado es transformado en energía eléctrica. Se considera que un kilogramo de DQO tiene un poder calorífico de 4,6 kw.h (Metcalf & Eddy, 4°ed.) y se convierte en 2,3 kw.h de energía eléctrica o potencial.

Energía Consumida en el Proceso

La energía consumida en todo el proceso de depuración de efluentes, será una función directa del sistema adoptado. El rango de eficiencia para procesos aerobios es de 0,5 a 2 kw.h por kilogramo de Oxígeno producido necesario para el proceso. (Metcalf & Eddy, 3°ed.), y dependiendo de la eficiencia de transferencia de Oxígeno del sistema de aireación seleccionado. La producción de GEI depende además de la matriz eléctrica de cada país y define el porcentaje de energía no renovable (combustible fósil) gastada en la generación total de energía eléctrica.

Energía Aprovechada del Proceso

Es la Energía Alternativa Renovable que se recupera y utiliza, proveniente del tratamiento anaeróbico efectuado.

Rangos de variaciones de la Ecopia

La Ecopia puede tomar los siguientes valores:

Si son cercanos a $E_c = 0$, el proceso opera con recuperación de energía renovable. (no produce GEI.)

Si los valores son cercanos a $E_c = 1$, el proceso opera con un mínimo de consumo de energía y sin recuperación (moderado a nulo aporte GEI)

Si alcanza valores superiores a $E_c > 1$, el procesos consumira energía y producirá generación de GEI.

Por lo tanto la sostenibilidad de todo proceso puede definirse rapidamente por su valor de Ecopia, entonces:

Procesos con Ecopias cercanas a 0 aportarán energía alternativa renovable y no consumirán energía eléctrica (situación ideal y deseada),

Procesos con Ecopias cercanas a 1 aportarán muy pocos GEI de acuerdo a la matriz eléctrica del país en cuestión.

Los procesos con Ecopias superiores a 1 serán no sustentables y con aporte de GEI en cantidad proporcional a su incremento sobre el valor unitario de 1.

A los efectos de demostrar la validez de este indicador se desarrollan a continuación ejemplos que permiten apreciar el mecanismo de cálculo y la obtención de los valores de la Ecopia en varios procesos de depuración de efluentes líquidos.

Los procesos seleccionados son:

- a. Barro Activado tradicional
- b. Lecho Percolador

- c. Laguna de oxidación aireada
- d. Laguna de oxidación (> tamaño)
- e. Reactor anaerobio
- f. Reactor anaerobio con recuperación de energía
- g. Emisario submarino

Datos de diseño de la planta de tratamiento:

Numero de habitantes: 5.000

Carga orgánica por habitante: 0,050 kg DBO5 /día

Dotación l hab/día : 250

Qmed.diari: 1000 m³/d

DQOmedio= 500 mg/lt

DBO5 de vuelco: 50 mg/l

2,5DBO5:DQO (Metcalf & Eddy, 4°ed.)

DBO5tot.: 250 kg/d

DQO/DQOs: 1,5 (Metcalf & Eddy, 4°ed.)

DQOtot.: 500 kg/d

NH3: 50 mg/lt

Coefficiente de pico horario= 2,38 (ENOHSa,1993, Normas de diseño Desagües Cloacales, vol.1)

Energía potencial inicial

La Energía Potencial inicial (E pot.ini.) del efluente a tratar se define como la capacidad que tiene el mismo, en generar biogas al ser tratado por vía anaerobia y convertirse en energía eléctrica en una central térmica combinada, eficiencia de 50%.

La cantidad de biogas generado dependerá del tipo de efluente y de la eficiencia del proceso empleado. Para un efluente domestico, se define una producción media de 4,6 kw.h/ kgDQOs (Metcalf & Eddy, 4°ed.)

E.pot.ini.= 419 kgDQOs .2,3 kw.h / kg DQO, que será común a todo los proceso de depuración.

E.pot.ini.= 963 Kw.h

Energía consumida

Se considera en el cálculo de la energía consumida que el 100% de la energía eléctrica producida es por centrales térmicas combinadas y su factor de corrección es 1.

a-Cálculo de la Eco para un Barro Activado Tradicional

En esta variante de procesos tomaremos 3 eficiencias de aireación, una baja de 0,5 Kg de O₂ por Kw.h, una media de 1 Kg de O₂ por Kw.h y una alta de 2 Kg de O₂ por Kw.h consumidos. (Metcalf & Eddy 3° edición)

Requerimientos de Oxigeno

Aplicando valores simplificados podemos decir que:

1,6 kg O₂ por kg DBO5 a procesar (Metcalf & Eddy, 3°ed.)

4,6 kg O₂ por kg TKN (Metcalf & Eddy, 3°ed.)

250 kg DBO5

50 kg TKN

O₂ para la DBO5: 400 kg O₂/día

O₂ para TKN: 230 kg O₂/día

O_{2 total}= 630 kg O₂/día

E.pot.ini.: 963 Kw.h

E.aprov= 0 (sistema aeróbico)

Econs.= para baja, media y alta eficiencia de transferencia de Oxígeno

Para baja eficiencia

$$E_{consumida} : \frac{630 \text{KgO2día}}{0,5 \text{KgO2día / Kw.h}}$$

$$E_{consumida} : 1.260 \text{Kw.h}$$

$$E_{copía} : \frac{963 \text{kwh} + 1.260 \text{kwh} - 0}{963 \text{kwh}}$$

$$\boxed{\text{€co} = 2,31}$$

Para eficiencia media

$$E_{consumida} : \frac{630 \text{KgO2día}}{1 \text{KgO2día / Kw.h}}$$

$$E_{consumida} : 630 \text{Kw.h}$$

$$E_{copía} : \frac{963 \text{kwh} + 630 \text{kwh} - 0}{963 \text{kwh}}$$

$$\boxed{\text{€co} = 1,65}$$

Para altas eficiencias tendremos

$$E_{consumida} : \frac{630 \text{KgO2día}}{2 \text{KgO2día / Kw.h}}$$

$$E_{consumida} : 315 \text{Kw.h}$$

$$E_{copía} : \frac{963 \text{kwh} + 315 \text{kwh} - 0}{963 \text{kwh}}$$

$$\boxed{\text{€co} = 1,33}$$

b-Cálculo de la €co para lecho percolador

E.pot.ini.= 963 Kw.h

E.cons.= 30 Kw.h

E.aprov= 0

$$E_{copía} : \frac{963 \text{kwh} + 30 \text{kwh} - 0}{963 \text{kwh}}$$

$$\boxed{\text{€co}= 1,031}$$

c-Calculo de la €co para laguna aireada

E.pot.ini.= 963 kw.h

E.cons.= 24,65 kw.h

E.aprov= 0

T perm.: 3 días

h: 5 m

V: 3.000 m³

A:600 m² 8,21 w/m³ (ENOHSa,1993,Normas de diseño Desagües Cloacales,vol.1)

Pot.: 24,65 kwh

$$\text{Ecopia} : \frac{963kw.h + 24,65kw.h - 0}{963kw.h}$$

$$\boxed{\text{€co}= 1,025}$$

d-Calculo de la €co para lagunas sin aireación

E.pot.ini.= 963 Kw.h

E.cons.= 0

E.aprov= 0

$$\text{Ecopia} : \frac{963kw.h + 0 - 0}{963kw.h}$$

$$\boxed{\text{€co}= 1}$$

e-Calculo de la €co para reactor anaerobio sin recuperación de energía

E.pot.ini.= 963 kw.h

E.cons.= 8 kw.h

E.aprov= 0

Potencia de agitación y reciclo

Reactor USAB

T perm.: 7 h

Vol: 300 m³

Pot. Agit.: 1 kw.h

Pot Recirc.: 7 kw.h

$$\text{Ecopia} : \frac{963kw.h + 8kwh - 0}{963kw.h}$$

$$\boxed{\text{€co}= 1,008}$$

f-Calculo de la €co para reactor anaerobio con recuperación de energía

E.pot.ini.= 963 kw.h

E.cons.= 8 kw.h

E.aprov= 963 Kw.h

Potencia de agitación y reciclo

Reactor USAB
 T perm.: 7 h
 Vol: 300 m³
 Pot. Agit.: 1 kw.h
 Pot Recirc.: 7 kw.h

$$Ecopía : \frac{963kw.h + 8kwh - 963kw.h}{963kw.h}$$

$$\boxed{€_{co} = 0,008}$$

g-Calculo de la €_{co} para emisario submarino

Se supone una longitud de 3.800 metros y una profundidad de descarga de 10 metros bajo el nivel del mar.

Q_b = 2.380 m³/d = 28 l/s
 Diámetro = 200 mm PVC C 6 Ø 188,2 mm
 Longitud = 3.800 m
 Profundidad = 10 m
 Altura desarrollada bomba = 30 m.c.a.

E.pot.ini. = 963 Kw.h
 E.cons. = 12,6 kw.h
 E.aprov = 0

$$Ecopía : \frac{963kw.h + 12.6kw.h - 0}{963kw.h}$$

$$\boxed{€_{co} = 1,013}$$

Cuadro Comparativo de Ecopías de acuerdo al tratamiento dado

<i>Tratamiento</i>	<i>Ecopia</i>
<i>Barro act. baja eficiencia</i>	<i>2,31</i>
<i>Barro act. media eficiencia</i>	<i>1,62</i>
<i>Barro act. alta eficiencia</i>	<i>1,33</i>
<i>Lecho Percolador</i>	<i>1,031</i>
<i>Laguna aireada</i>	<i>1,016</i>
<i>Laguna sin aireación</i>	<i>1</i>
<i>React.ana.s/recup. energía</i>	<i>1,008</i>
<i>React.ana.c/recup. energía</i>	<i>0.008</i>
<i>Emisario submarino</i>	<i>1,013</i>

Matriz Eléctrica País

La generación total de energía eléctrica de un país es la suma de toda la energía producida o comprada de acuerdo a las fuentes utilizadas. Las mismas son: centrales térmicas (que emplean combustibles no renovables), hidroeléctricas, eólicas, fotovoltaicas, nucleares, otras. La producción de GEI proveniente del consumo de energía eléctrica depende de la matriz eléctrica de cada país y define el porcentaje de energía no renovable (combustibles fósiles) gastada en la generación total de esa energía eléctrica.

Como ejemplo un país con una matriz de generación eléctrica de: 70 % centrales térmicas combinadas, 20 % hidroeléctrica, 10 % eólica, se deberá afectar por el porcentaje de generación en centrales térmicas la Energía consumidas en el proceso de tratamiento, disminuyendo de esa manera la función E_{co} definida.

Asimismo se penaliza a las centrales térmicas de bajo rendimiento. Considerando a las centrales térmicas combinadas como las más eficientes y tomadas como referencia, con un coeficiente de ponderación de 1. Se describe con un ejemplo la metodología de cálculo.

Se considera la central térmica combinada con una eficiencia del 50% y una térmica del 30%. Si toda la generación eléctrica proviene de una central eléctrica no combinada la energía consumida corregida sería de 1,66 veces mayor que la central combinada.

Ejemplos: generación de 1000 kw.h en: a) central combinada, b) 70% central combinada y 30% central térmica común. c) central térmica común.

Energía corregida por tipo de generación térmica:

- a) 1000 kw.h
- b) $1000 \text{ kw.h} \cdot 0,7 + (1000 \text{ kw.h} \cdot 0,3) \cdot 1,66 = 1200 \text{ kw.h}$
- c) $1000 \text{ kw.h} \cdot 0,3 + (1000 \text{ kw.h} \cdot 0,7) \cdot 1,66 = 1467 \text{ kw.h}$
- d) $1000 \text{ kw.h} \cdot 1,66 = 1666 \text{ kw.h}$

Conclusiones

La creación de este indicador ambiental y su aplicación permite ponderar la sostenibilidad de los procesos de tratamiento de efluentes y el aporte de gases efecto invernadero.

Este indicador además de medir el consumo de energía eléctrica de las plantas de depuración y su eficiencia, tiene en cuenta e incorpora la matriz energética del país en cuestión. Así países con generación de energía eléctrica sin consumo de combustibles fósiles tendrán ecopias unitarias aun aplicando tratamientos con consumos moderados o importantes de energía eléctrica. No ocurrirá lo mismo en países con alto porcentaje de centrales térmicas en la generación de energía eléctrica.

Estos deberán seleccionar sistemas de tratamiento que minimicen al máximo el consumo de energía para poder arribar a ecopias cercanas a la unidad.

Asimismo este indicador permite diseñar las futuras estrategias y los planes maestros de cada país en relación a los sistemas de tratamiento de efluentes líquidos teniendo presente la matriz de producción de energía eléctrica. Todo ello permite seleccionar la alternativa técnico económica que haga mínima su Ecopia.

A nivel global permite desarrollar las políticas mundiales y direccionar la ayuda financiera a los países con altas ecopias y trabajar sobre los dos factores de peso: impulsar y promocionar los sistemas de tratamiento de efluentes con bajo consumo de energía eléctrica y al logro de una matriz de generación de energía eléctrica que minimice las centrales térmicas y el uso de combustibles fósiles y su sustitución a corto plazo por fuentes alternativas sustentables de producción.