



¿Química Verde?

Presentado por Diana Ita, PhD

Referencia principal: Allenby, B. 2012

Preparado por: Ramzy Kahhat y Diana Ita

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Love Canal en Nueva York



Introd

Love Canal en Nueva York

- El “Love Canal” es un sitio que había sido utilizado para enterrar **21 000 toneladas de residuos tóxicos** por Hooker Chemical (comprada por Occidental Petroleum Corporation a fines de los 60s).
- Toxinas como **compuestos orgánicos de halogenados, pesticidas, dioxinas y cloro bencenos** en un área de 16 acres.
- Una escuela fue construida en la parte superior del sitio de residuos químicos.



Love Canal: Video

[Love Canal 1](#)

[Love Canal 2](#)

https://www.youtube.com/watch?v=3iSFgZ-SlaU&ab_channel=TuftsENVS

https://www.youtube.com/watch?v=TUTF57Chos4&ab_channel=DarkRecords

Metil isocianato (Methyl Isocyanate)

“El metil isocianato es un líquido incoloro, altamente inflamable que se evapora rápidamente cuando se expone al aire. Tiene un olor fuerte y penetrante.” ATSDR

“El metil isocianato es usado en la producción de **plaguicidas**, espuma de **poliuretano** y **plásticos**.” ATSDR

Exposición baja: irritación ojos y garganta

Exposición alta: grave daño en los pulmones que puede ser fatal.

ATSDR
AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES
AND DISEASE REGISTRY

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Bhopal en India

- Ocurrió en 1984 en la planta de **pesticidas en Bhopal**.
- Fue un incidente de fuga de un gas **metil isocianato** (methyl isocyanate) y otros productos químicos, considerada **una de las peores catástrofes industriales del mundo**.
- Hubo una cifra total de **3,787 muertes relacionadas con el escape de gas**.



Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Causas del Accidente

- El almacenamiento de MIC (**Metil isocianato** o methyl isocyanate) en grandes tanques y llenado más allá de los niveles recomendados.
- El mal mantenimiento después de que la planta dejó de producir MIC al final de 1984.
- El fracaso de varios sistemas de seguridad (debido a la falta de mantenimiento).
- Los sistemas de seguridad que se **habían apagado para ahorrar dinero**, incluyendo el sistema de refrigeración del tanque MIC que podría haber mitigado la severidad del desastre.



Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.

Bhopal: Video

- https://www.youtube.com/watch?v=lwPSDMUtNmK&ab_channel=TheEconomist
- https://www.youtube.com/watch?v=xx9Hx5Zy-iM&ab_channel=Anomal%C3%ADas

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Producción de Carbonato Sódico

- Soda (carbonato sódico), es necesaria para la fabricación de vidrio, colorantes, jabón, lejía, y otros fines.
- *Nicolás Leblanc* desarrolló un método para fabricar soda utilizando carbonato de calcio, carbón, y sulfato de sodio (1791).



Producción de Carbonato Sódico

- Proceso produce desechos con graves impactos ambientales (e.g. vapores de ácido clorhídrico y sulfuro de calcio).
- **Ley de Álcali** en Inglaterra (1863), que obligaba a los productores de soda a **recuperar** la mayor parte del ácido clorhídrico.



Producción de Carbonato Sódico

-y no pasó mucho tiempo antes de que los ingenieros químicos aprendan a transformar el **ácido clorhídrico a cloro** por oxidación catalizada por el aire.
- Este cloro puede reaccionar entonces con cal para producir **blanqueador en polvo...**
- La disponibilidad de este blanqueador dio lugar a un proceso (1880s) que se utiliza para blanquear el papel.
- 1890, *Ernest Solvay*: producción electrolítica de carbonato sódico.

Fabricación de Químicos

Los flujos de **residuos** son simplemente los **recursos potenciales** que no hemos sido lo suficientemente inteligentes como **para utilizar** completamente.

La humanidad tiene un patrón alto de aumentar la **eficiencia y reutilización** de los flujos residuales en el producto, los cuales son el **núcleo de la evolución del sector de la producción química moderna.**

Fabricación de Químicos

- Características de fabricación de productos químicos para un proceso social y ambientalmente preferibles:
 1. Los sistemas químicos están bajo el control de **una sola empresa o grupo de empresas**: rediseño de operaciones y la reutilización de flujos residuales, proporcionan un **incentivo directo** para continuar dicha innovación.
 - Si el manejo de residuos es realizado por una tercera entidad → incentivos serían sustancialmente menor o inexistentes.
 - Si se maneja en la misma empresa, el control de calidad es más sencillo.

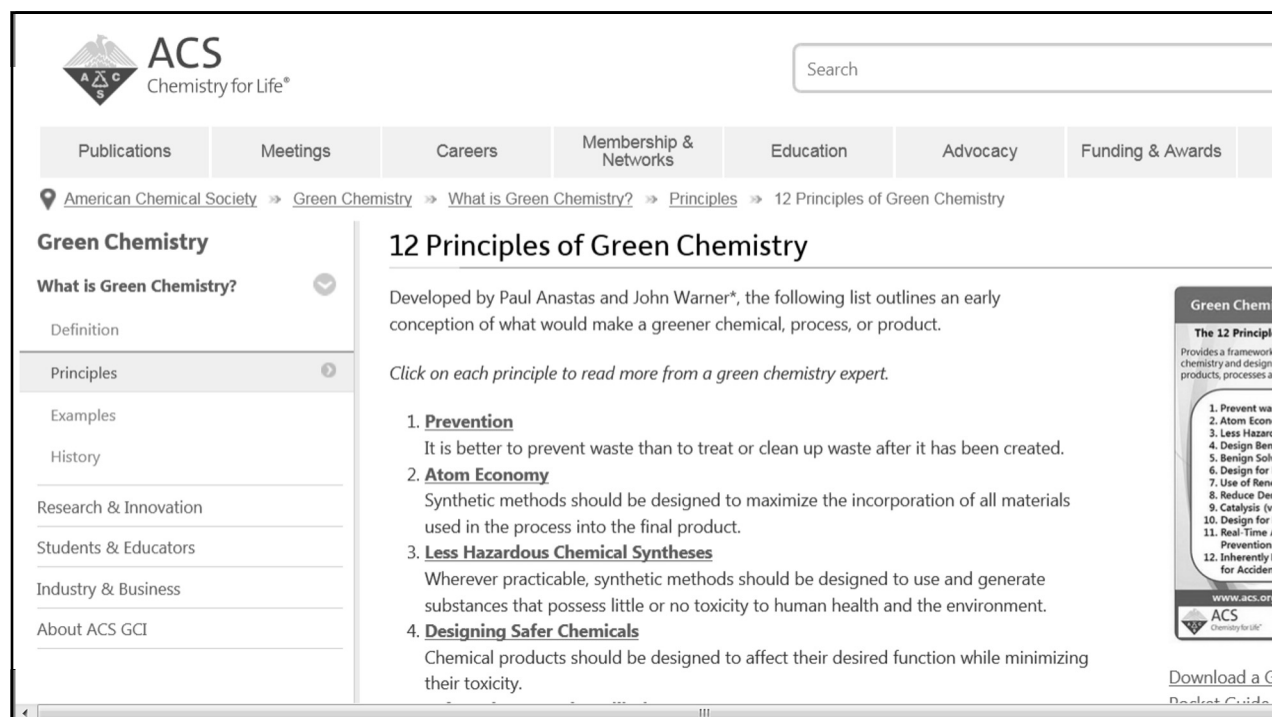
Fabricación de Químicos

2. Los **costos de un error** o accidente son enormes, y las demandas pueden ser internacionales... no sólo en el país donde ocurrió el incidente.
 - Proporciona un fuerte incentivo tanto a nivel de empresa, y nivel sector (el público no distingue entre empresas de un sector en particular).

¿Química Verde?

"Green chemistry, also known as sustainable chemistry, is the design of chemical products and processes that reduce or eliminate the use or generation of hazardous substances. Green chemistry applies across the life cycle of a chemical product, including its design, manufacture, and use." (US EPA)

"La química verde, también conocida como la **química sostenible**, es el diseño de productos y procesos químicos que **reducen o eliminan** el uso o generación de **sustancias peligrosas**. La química verde se aplica en todo el ciclo de vida de un producto químico, incluyendo su **diseño**, la **fabricación** y **uso**. "



The screenshot displays the American Chemical Society (ACS) website. At the top, the ACS logo and tagline "Chemistry for Life" are visible. A search bar is located on the right. Below the navigation menu, a breadcrumb trail reads: "American Chemical Society » Green Chemistry » What is Green Chemistry? » Principles » 12 Principles of Green Chemistry".

The main content area is titled "12 Principles of Green Chemistry". It includes a sub-header "Green Chemistry" and a section "What is Green Chemistry?". The "Principles" section is highlighted in the left sidebar. The main text states: "Developed by Paul Anastas and John Warner*, the following list outlines an early conception of what would make a greener chemical, process, or product. Click on each principle to read more from a green chemistry expert."

The 12 principles listed are:

- 1. Prevention**
It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it has been created.
- 2. Atom Economy**
Synthetic methods should be designed to maximize the incorporation of all materials used in the process into the final product.
- 3. Less Hazardous Chemical Syntheses**
Wherever practicable, synthetic methods should be designed to use and generate substances that possess little or no toxicity to human health and the environment.
- 4. Designing Safer Chemicals**
Chemical products should be designed to affect their desired function while minimizing their toxicity.

On the right side of the page, there is a sidebar titled "Green Chemis" (partially visible) with a section "The 12 Principles" and a list of the 12 principles. At the bottom right, there is a link to "Download a Green Chemistry Guide".

12 Principios de la Química Verde

1. **Prevención:** Evite los residuos mediante un diseño adecuado de productos químicos sintetizados
2. **Economía del átomo:** Diseñar productos químicos para ser plenamente eficaces.
3. **Menos materiales tóxicos:** Diseñar productos químicos sintetizados y con procesos de fabricación más seguros, usando menos materiales tóxicos.
4. Utilizar materiales **renovables** donde sea posible y tenga sentido (p.ej. evitar ethanol de maíz)
5. Utilizar **catalizadores** (superiores a reactivos estequiométricos), son reusables
6. Evite el uso de **derivados** químicos
7. Utilizar las vías químicas que pone la cantidad máxima de productos químicos en el producto final. **Maximizar producción**
8. Utilice **solventes** más seguros
9. Eficiencia **Energética**
10. **Degradación:** Diseñar productos químicos que se rompan después de su uso (p.ej., bioplásticos)
11. Hacer la síntesis química y de producción más intensivo y más eficiente de forma sistémica.
12. Diseñar rutas de síntesis y operaciones de las instalaciones para reducir al mínimo las posibilidades de **accidentes**.

Química Verde...¿Sostenible?

- Se centra en el dominio del ambiente en lugar del campo más amplio de la sostenibilidad.
- Se enfoca en los efectos ambientales de la industria química.

Es poco probable que un cambio en **una dimensión** de un sistema complejo adaptativo no cambie o **afecte otras partes**.

P ej., bajar la T de un reactor para reducir consumo de energía, bajaría la eficiencia y generaría más residuos.



Química Verde

– Química verde tiene largo camino por andar

– Mucho de lo que se hace es a una escala de laboratorio

La evolución desde una **preocupación ambiental** hasta la **sostenibilidad** toma tiempo.

Comprensión más amplia de las implicaciones de la ingeniería química en complejos sistemas humano/ambiente/infraestructura regionales y globales integrados.

Hacia una Química Verde

1. Incluir las **dimensiones sociales** de la ingeniería química, que son consideradas como altamente **positivas**, en lugar de simplemente enfatizar los impactos ambientales negativos de los productos químicos. *¿Podrían **vivir sin** química?*
2. No olvidarse de la **ESCALA y FRONTERA**.

ESTUDIO DE CASO: CFC

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



El Estudio de Caso de CFC

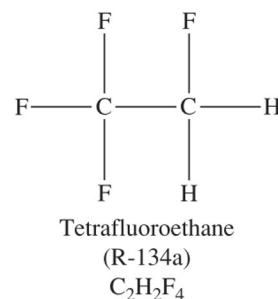
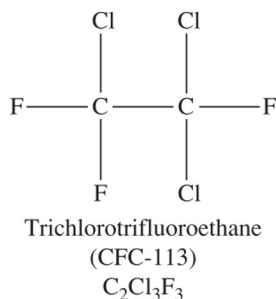
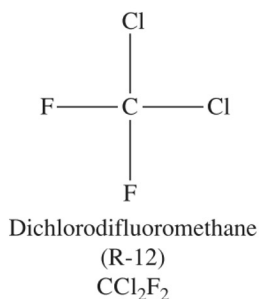
- **Clorofluorocarbonos (CFCs), son la base de la química verde perfecta.**
- Son **químicamente más estable**, son más **seguros**, por lo general **consumen menos energía**, y causan **menos daño** a los entornos locales que otras alternativas.
- **Pero a nivel de sistemas** agotan el ozono estratosférico, lo que aumenta la penetración de la radiación de alta energía ultravioleta del sol a la superficie de la tierra, y el daño del ADN y de los organismos.

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Moléculas de Clorofluorocarbonos



El Estudio de Caso de CFC

- Los CFC son una clase de halógenos, que fueron diseñados para ser sustitutos de materiales mucho más tóxicos y peligrosos (**amoniaco, cloruro de metilo, dióxido de azufre**)
- Por desgracia, esta **estabilidad** perduró hasta la migración de los materiales a la atmósfera superior, donde se sometieron a la descomposición fotolítica por la radiación UV, la liberación de radicales de cloro que catalizó la destrucción del ozono estratosférico.

Class I Ozone-depleting Substances

Chemical Name	Lifetime, in years	ODP2 (WMO 2011)	ODP1 (Montreal Protocol)	GWP5 (AR4)	CAS Number
Group I (from section 602 of the CAA)					
CFC-11 (CCl ₃ F) Trichlorofluoromethane	45	1	1	4750	75-69-4
CFC-12 (CCl ₂ F ₂) Dichlorodifluoromethane	100	0.82	1	10900	75-71-8
CFC-113 (C ₂ F ₃ Cl ₃) 1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	85	0.85	0.8	6130	76-13-1
CFC-114 (C ₂ F ₄ Cl ₂) Dichlorotetrafluoroethane	190	0.58	1	10000	76-14-2
CFC-115 (C ₂ F ₅ Cl) Monochloropentafluoroethane	1020	0.5	0.6	7370	76-15-3
Group II (from section 602 of the CAA)					
Halon 1211 (CF ₂ ClBr) Bromochlorodifluoromethane	16	7.9	3	1890	353-59-3
Halon 1301 (CF ₃ Br) Bromotrifluoromethane	65	15.9	10	7140	75-63-8
Halon 2402 (C ₂ F ₄ Br ₂) Dibromotetrafluoroethane	20	13.0	6	1640	124-73-2
Group III (from section 602 of the CAA)					
CFC-13 (CF ₃ Cl) Chlorotrifluoromethane	640	1	1	14420	75-72-9
CFC-111 (C ₂ FCl ₅) Pentachlorofluoroethane		1	1		354-56-3
CFC-112 (C ₂ F ₂ Cl ₄) Tetrachlorodifluoroethane		1	1		76-12-0
CFC-211 (C ₃ FCl ₇) Heptachlorofluoropropane		1	1		422-78-6

Etc...

**Conclusiones del caso**

Las propiedades “verdes” de un sistema químico no pueden ser conocidas, a menos que los impactos en todas las **escalas** se monitoreen y perciban.

¿Se pudo prever en el caso de los CFCs?

Conclusiones del caso

La Ingeniería Sostenible debe constantemente regresar a los sistemas fundamentales, ya sea natural, humano, o construido, y **explorar las perturbaciones y los cambios inesperados**, para determinar si los **impactos no previstos de los sistemas de ingeniería se expresan y si es así qué acciones pueden ser necesarias en respuesta.**

Conclusiones del caso

Cuando las opciones se encuentran **disponibles**, (caso de alternativas al CFCs que ya estaban desarrolladas) se reduce el **costo de cambios en las tecnologías**, y cuando no lo son, y la elección es, por ejemplo, entre el uso de los CFC y frenar la producción de los sistemas militares, **los costos y beneficios son muy diferentes.**

Se necesitan espacios para generar opciones tecnológicas robustas, algo que suele ser poco considerado.

Química verde no es suficiente...Necesidad de Avanzar hacia un enfoque integral de Ingeniería

- Lo que puede ser una preocupación pequeña y fácil de gestionar a escala de laboratorio puede convertirse rápidamente en una preocupación ambiental o social grave una vez que se logra la comercialización del diseño.
- Es importante desarrollar competencias para:
 - Determinar, sobre una base a **tiempo real**, qué **sistemas** son **importantes** para familias químicas particulares
 - Dialogar con aquellos sistemas relevantes... a todas las **escalas**

Química verde no es suficiente...Necesidad de Avanzar hacia un enfoque integral de Ingeniería

- Es importante desarrollar competencias para:
 - Priorizar **valores**, la **ética**, y las **metas** para que los conflictos inevitables se pueden resolver y las decisiones resultantes sean aceptadas.
 - Desarrollar espacios para **opciones tecnológicas robustas** → cambios (en caso de problemas) efectivos y con el menor costo social y político.
 - Apoyar el desarrollo de la **capacidad institucional** para llevar a cabo estas actividades.

ESTUDIO DE CASO: ANTIMICROBIANOS

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Antimicrobianos y fármacos como Sistemas de la Tierra

- Es otro ejemplo de la disfuncionalidad disciplinaria y límite intelectual dado en el mundo físico real
- Fenómeno sin resolver
- ¿Falla de la ciencia o regulaciones ambientales?
 - Refleja un desafío para las instituciones y sociedad en cambiar de la **escala de laboratorio** a un paradigma diferente que entienda que los diseños de químicos en una **economía global** es un diseño de sistemas terrestres a muchas escalas.

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.




Antimicrobianos y fármacos como Sistemas de la Tierra

- Como ejemplo: dos populares antimicrobianos, **triclosán (TCS)** y **triclocarbán (TCC)**, que se utiliza en cosméticos, pasta de dientes, detergentes, jabones, envases de alimentos, alfombras, juguetes.
- Estos dos **no son eliminados por los sistemas de tratamiento de aguas residuales**, estos se mantienen activos (similar a drogas, hormonas, y otros químicos).
- Persisten en el sedimento, con efectos tóxicos significativos en las comunidades microbianas acuáticas.
- Se debe entender las complejidades de los sistemas de la tierra emergentes, incluyendo sistemas terrestres y acuáticos que han sido “rediseñados” por la adición de antimicrobianos y otros químicos antropogénicos.

Antimicrobianos y fármacos como Sistemas de la Tierra

- ❖ 60% de las muestras de ríos en USA han detectado niveles de TCS
- ❖ 13 ríos más importantes de USA han detectado TCC aguas abajo de las descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales
- ❖ Los químicos permanecen activos una vez emitidos
- ❖ Persisten en sedimentos: afectan microorganismos acuáticos
- ❖ Absorbidos a los biosólidos... uso en agricultura
- ❖ ¿Mejorar la resistencia de la comunidad bacteria? ¿Cambia significativamente la microflora y microfauna de ecosistemas?



Microchemical Journal
Volume 136, January 2018, Pages 25-39

Abstract

Among the different pharmaceuticals present in soil and water ecosystems as micro-contaminants, considerable attention has been paid to antibiotics, since their increasing use and the consequent development of multi-resistant bacteria pose serious risks to human and veterinary health. Moreover, once they have entered the environment, antibiotics can affect natural microbial communities. The latter play a key role in fundamental ecological processes, most importantly the maintenance of soil and water quality. In fact, they are involved in biogeochemical cycling and organic contaminant degradation thanks to their large reservoir of genetic diversity and metabolic capability. When antibiotics occur in the environment, they can hamper microbial community structure and functioning in different ways and have both direct (short-term) and indirect (long-term) effects on microbial communities. The short-term ones are bactericide and bacteriostatic actions with a consequent disappearance of some microbial populations and their ecological functioning. The indirect impact includes the development of antibiotic resistant bacteria and in some cases bacterial strains able to degrade them by metabolic or co-metabolic processes. Biodegradation makes it possible to completely remove a toxic compound from the environment if it is mineralized.

Several factors can influence the significance of such direct and indirect effects, including the antibiotic's concentration, the exposure time, the receiving ecosystem (e.g. soil or water) and the co-occurrence of other antibiotics and/or other contaminants.


This review describes the current state of knowledge regarding the effects of antibiotics on natural microbial communities in soil and water ecosystems.

Paola Grenni^a, Valeria Ancona^b, Anna Barra Caracciolo^a


Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Introducción a la Ingeniería Sostenible



Microchemical Journal
Volume 148, July 2019, Pages 634-642



F. Spataro^a, N. Ademollo^a, T. Pescatore^{a,c}, J. Raoueo^{a,b}, L. Patrolecco^c

Antibiotic residues and endocrine disrupting compounds in municipal wastewater treatment plants in Rome, Italy


Endocrine disrupting compounds (EDCs)

Highlights

- Inlet and outlet samples from four WWTPs serving the city of Rome were analysed for antibiotic residues and phenolic EDCs.
- WWTPs were not able to remove completely neither the antibiotic nor the EDCs considered.
- CTC and AMX were the most abundant antibiotics in the effluents, while SMX and CIP the most resistant to removal treatments.
- Among the EDCs, bisphenol A and nonylphenol di-ethoxylate occurred at the highest concentrations in treated wastewaters.
- Preliminary risk assessment indicates a potential ecotoxicological risk for receiving river waters.

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Introducción a la Ingeniería Sostenible



Water Research
Volume 124, 1 November 2017, Pages 713-727

Occurrence of illicit drugs in water and wastewater and their removal during wastewater treatment


Meena K. Yadav^a, Michael D. Short^{a,b}, Rupak Aryal^a, Cobus Gerber^c, Ben van den Akker^{a,d}, Christopher P. Saint^{a,b}

Highlights

- Levels of illicit drugs are increasing in wastewater, surface and drinking water.
- Regional variations in drug consumption are reflected in their detection patterns.
- Conventional wastewater treatment shows variable efficacy for drug removal.
- Little is known on the removal efficacy of alternative or natural treatment systems.
- Almost nothing is known about the environmental fate and toxicity of illicit drugs.

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.





Implicaciones Políticas

Nivel de Escala de Laboratorio
(Bench Scale Level)

Nivel de Flujo de Material (Material
Flux Scale)

Nivel de Sistemas de la Tierra (Earth
Systems Scale)

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Nivel de Escala de Laboratorio (Bench Scale Level)

- Determinados productos químicos en aplicaciones individuales están siendo evaluados y posibles metodologías de procesamiento de químicos están siendo identificadas.
- Idea de una buena práctica informada por la heurística con la presunción de una preferencia ambiental. Se necesita una visión de implicaciones en sistemas posiblemente afectados.

heurístico, ca.

- (Del gr. εὐρίσκειν, hallar, inventar, y -tico).
- 1. adj. Perteneciente o relativo a la **heurística**.
- 2. f. Técnica de la indagación y del descubrimiento.
- 3. f. Busca o investigación de documentos o fuentes históricas.
- 4. f. En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.

Introducción a la Ingeniería Sostenible

Diana Ita, Ph.D.



Nivel de Flujo de Material (Material Flux Scale)

- Es el nivel **industrial**, donde se utilizan herramientas como el modelo de análisis de flujo de materiales (MFA) para entender el **flujo** de materiales en el comercio.
- Aparecen **preocupaciones potenciales** relacionadas a efectos inesperados de los materiales en todo su ciclo de vida. Las **suposiciones** deben hacerse con cautela.

Nivel de Sistemas de la Tierra (Earth Systems Scale)

- Incluye no sólo a los sistemas naturales que la mayoría de gente intuitivamente identifica, sino también a los sistemas humanos como los económicos, tecnológicos, culturales, y sociales, y otros sistemas contruidos y diseñados (p.ej., los sistemas de tratamiento de residuos).
- El **concepto de química verde** es menos aplicable.
- Debido a su **enfoque a escala de laboratorio**, la química verde no proporciona la base teórica ni metodológica para la comprensión, los métodos y herramientas de diseño y las métricas apropiadas para el **sistema en general**.

Conclusión

- La Química Verde es un área importante pero aun es **limitada**
- Tiene que lidiar con **preguntas complejas** de costos o beneficios sociales o ambientales
- Tiene que lidiar con la **escala y complejidad** de los sistemas de la tierra (incluyendo marcos económicos y tecnológicos globalizados modernos)
- Innovaciones químicas no pueden ser simplemente evaluadas en tomas instantáneas y limitadas

Desarrollar mecanismos para monitorear, dialogar, identificar y responder a los cambios en la dinámica de los sistemas, y las implicaciones éticas de la actividad humana en la configuración de dicha dinámica, se convierte en un desafío importante para la ingeniería sostenible en este dominio.

GRACIAS

Química Verde

- La química verde no es una investigación de largo alcance y ámbito operativo, sino más bien una transición, que duró hasta la química tradicional y los programas de ciencia de los materiales y las prácticas de interiorizar el potencial de las tecnologías nuevas y más eficientes para el medio ambiente, tales como la enzima activada por procesos de producción biotecnológica.
- En este punto, tal vez como la ingeniería sostenible en sí, la química verde se convierte simplemente en "buena química"

Química Verde

- De hecho, gran parte de la historia de la industria química consiste en aprender a convertir los residuos de los procesos existentes en materia prima para nuevos productos, y la gestión de los impactos ambientales de los flujos de residuos hasta que eso ocurra (a menudo bajo la presión directa o indirecta de las regulaciones gubernamentales).

Química Verde

- Química Verde puede ser visto como un pequeño paso hacia el incremento de enfoques tradicionales con una ingeniería y manejo de sistemas de la tierra mucho más amplia, y con una perspectiva en ingeniería sostenible.
- La ingeniería química pasa de un enfoque bastante fuerte en la producción inmediata y uso de sistemas químicos a **una mayor comprensión de las implicaciones de la ingeniería química en el complejo regional y mundial integrado humano / natural**. Los sistemas construidos, más que elementos específicos de dichos sistemas.