



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**ELABORACIÓN DE HERRAMIENTAS
DIDÁCTICAS PARA UN CURSO DE QUÍMICA E
INGENIERÍA QUÍMICA VERDE**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

ASTRID RODRIGUEZ ARROYO

GEMA LUZ ANDRACA AYALA

MARÍA RAFAELA GUTIÉRREZ LARA

Ciudad Universitaria, CD.MX.



2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PRESIDENTE:	Profesor:	GAVILÁN GARCÍA IRMA CRUZ
VOCAL:	Profesor:	LAZCANO ARRIOLA LUZ MARÍA
SECRETARIO:	Profesor:	GEMA LUZ ANDRACA AYALA
1er. SUPLENTE:	Profesor:	GARCÍA REYNOSO JOSÉ AGUSTÍN
2° SUPLENTE:	Profesor:	MARÍA RAFAELA GUTIÉRREZ LARA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO COMPARTIDO DE CROMATOGRFÍA - INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA Y CAMBIO CLIMÁTICO – UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

Dra. Gema Luz Andraca Ayala

ASESOR DEL TEMA:

M. en I. María Rafaela Gutiérrez Lara

SUSTENTANTE:

Astrid Rodríguez Arroyo

Agradecimientos

Agradezco al Proyecto PAPIME PE201519 por la beca otorgada, así como al Laboratorio Compartido de Cromatografía del Departamento de Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México.

Se agradece a los sinodales asignados por sus comentarios y aportaciones para el enriquecimiento de este trabajo.

Dra. Gema Luz Andraca Ayala

M.I. María Rafaela Gutiérrez Lara

Dra. Gavilán García Irma Cruz

Dra. Lazcano Arriola Luz María

Dr. García Reynoso José Agustín

De igual forma, agradezco enormemente a todas las personas que, de manera técnica colaboraron.

Fis. Silvia Ivonne San Miguel

Dedicatorias

A ti Padre celestial por jamás abandonarme en este camino y por tu inagotable amor.

A mis padres Alejandro y Elsa, por su paciencia, su apoyo y todo su amor sin duda esto no hubiera sido posible sin ustedes.

A mi hermano por creer en mí y acompañarme en cada momento.

A mis tías Rosa y Yola por sus palabras de aliento y cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	8
OBJETIVOS	9
Objetivo General:	9
Objetivos Particulares:	9
1 DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA FILOSOFÍA DE LA QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE	10
1.1 Desarrollo Sostenible	10
1.1.1 Historia del Desarrollo Sostenible.....	10
1.1.2 Conceptos y aristas del Desarrollo Sostenible	12
1.1.3 Diferencia entre Desarrollo Sostenible y Química Verde.....	13
1.2 Química Verde	14
1.2.1 Principios de la Química Verde.....	14
1.2.2 La Química Verde como un proceso de reducción	16
1.3 Ingeniería Química Verde	17
1.3.1 Principios de la Ingeniería Verde	17
1.3.2 ¿Qué podría ser la Ingeniería Química Verde?	22
1.4 Retos presentes y futuros de la Química e Ingeniería Química Verde.....	22
1.4.1 Retos de la Química e Ingeniería Química Verde.....	22
1.4.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	23
2 PROGRAMAS DE ESTUDIO SOBRE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE	25
2.1 Matriz comparativa de los diferentes cursos a nivel superior nacional e internacional.....	25
2.2 Requisitos académicos para un diplomado en la UNAM.....	31
2.2.1 Características de los Diplomados	31
2.2.2 Requisitos de los coordinadores de Diplomados	32
2.2.3 Requisitos de los profesores ponentes.....	32
2.2.4 Requisitos de los profesores inscritos	32

2.3	Propuesta de programa para un diplomado de Química e Ingeniería Química Verde	33
3	DESARROLLO DE LAS HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS	37
3.1	Herramientas didácticas de mayor impacto para el aprendizaje	38
3.2	Contenido visual	41
3.3	Estudios de caso aplicados a la Química e Ingeniería Química Verde	46
4	ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO INTERSEMESTRAL SOBRE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE	51
4.1	Programa del curso “Introducción a la Química e Ingeniería Química Verde”	51
4.1.1	Características generales de los cursos	52
4.2	Evaluación de los cursos impartidos sobre Química e Ingeniería Química Verde	54
4.2.1	Curso presencial	54
4.2.2	Curso online	54
4.3	Programa Propuesto	55
5	CONCLUSIONES	58
6	ANEXOS	59
6.1	Anexo I. Declaración de Sandestin: 9 principios de la ingeniería verde	59
	REFERENCIAS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principios de la Química Verde	14
Tabla 2.	Matriz comparativa de los cursos certificados de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad	26
Tabla 3.	Matriz comparativa de las Maestrías de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad	28
Tabla 4.	Tabla de Diplomado de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad	30

Tabla 5. Propuesta del temario para el curso de Química e Ingeniería Química Verde de 120 horas y sus objetivos	33
Tabla 6. Propuesta del programa para el curso de Química e Ingeniería Química Verde de 120 horas.....	35
Tabla 7. Características de la primera propuesta del material visual	42
Tabla 8. Duración de los videos de la primera y segunda propuesta	43
Tabla 9. Contenido del estudio de casos	48
Tabla 10. Estructura del estudio de casos	49
Tabla 11. Contenido del curso intersemestral	52
Tabla 12. Características del curso presencial vs curso online	53
Tabla 13. Programa propuesto para el curso intersemestral.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equilibrio del Desarrollo Sostenible.....	12
Figura 2. La Química Verde como un proceso de reducción (<i>Lancaster, 2016</i>). ..	16
Figura 3. Agenda 2030 Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas México 2015.....	24

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone el desarrollo de herramientas didácticas para un curso de 120 horas de Química e Ingeniería Química Verde (Q. e I.Q.V), las cuales consisten en videos didácticos y un cuaderno de apuntes con estudio de casos, lo anterior, se enfoca en la introducción a la Q. e I.Q.V y a los principios con los cuales se distinguen ambas filosofías, con el propósito de ofrecer recursos de aprendizaje a aquellos interesados en el tema.

Primeramente, se aborda el marco teórico en el cual se desenvuelve todo el trabajo, iniciando con el Desarrollo Sostenible, para continuar con el tema de Química Verde, posteriormente se aborda la Ingeniería Química Verde (I.Q.V.) y finalmente se mencionan los retos presentes y futuros de la Q. e I.Q.V

De igual importancia, para el desarrollo de las herramientas didácticas fue necesario elaborar un programa con contenidos temáticos para un curso de 120 horas, partiendo de la elaboración de una matriz comparativa de aquellos Diplomados, Maestrías y cursos con certificaciones que se imparten a nivel nacional e internacional, posteriormente se identificaron los temas de mayor coincidencia en sus diferentes módulos y a partir de ellos se elaboró nuestra propuesta, conforme a los requisitos académicos para un diplomado en la UNAM.

Seguidamente, en el desarrollo de herramientas didácticas, se muestra el proceso de selección de cada una de ellas y el proceso de elaboración de los videos y el cuaderno de apuntes con estudio de casos.

Por último, en el tema “Elaboración e implementación de un curso intersemestral sobre Química e Ingeniería Química Verde”, se propone un programa que cumpla con las diferentes modalidades de enseñanza actual, que son la presencial y la virtual, para ello, se parte de dos cursos impartidos en la Facultad de Química y en el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM. A su vez, se demuestra la efectividad de las herramientas didácticas para el programa propuesto.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Desarrollar herramientas didácticas para un curso de 120 horas de Química e Ingeniería Química Verde, las cuales consisten en material audio visual y un cuaderno de apuntes con estudio de casos, con la finalidad de implementar recursos de apoyo al alumnado.

Objetivos Particulares:

- Recopilar programas de cursos de Q. e I.Q.V. de diferentes Diplomados, Maestrías y cursos certificados impartidos a nivel nacional e internacional para la elaboración de una matriz comparativa y a partir de esta una propuesta de un programa para un curso de 120 horas.
- Investigar los requisitos académicos para un diplomado en la UNAM.
- Indagar las herramientas didácticas de mayor impacto para el aprendizaje.
- Evaluar los resultados del cuestionario diagnóstico del curso intersemestral presencial y virtual, para elaborar la propuesta del programa de estudio que cumpla con ambas modalidades.

1 DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA FILOSOFÍA DE LA QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

La Química Verde y la Ingeniería Química Verde son dos filosofías que nos enseñan principios trascendentales para diseñar, rediseñar y mejorar aquellos procesos y productos ya existentes o que se encuentran en vísperas de planeación, para ello, elementos claves es la innovación y creatividad para resolver problemas, con la finalidad de alcanzar el desarrollo sostenible.

1.1 Desarrollo Sostenible

El pensamiento actual sobre el desarrollo sostenible surgió de la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987 (*Comisión Bruntland*), que definió el desarrollo sostenible como, "satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (*Lancaster, 2016*). Actualmente existen múltiples interpretaciones del concepto de desarrollo sostenible y coinciden que, para lograrlo, las medidas a considerar deberán ser económicamente viables, respetar el ambiente y ser socialmente equitativas. A pesar de este reconocimiento la necesidad de una interpretación integrada de estas tres dimensiones, en la práctica es necesario un cambio sustancial del enfoque de las políticas y programas en vigor (*Artaraz, 2002*).

1.1.1 Historia del Desarrollo Sostenible

Aunque los ideales en los que se basa el desarrollo sostenible no son nuevos, de hecho, Thomas Jefferson hizo comentarios similares en 1789, la Comisión Bruntland impulso el debate sobre la sostenibilidad. Desde 1987, los gobiernos, la Organización No Gubernamental (ONG), la sociedad en general y los sectores industriales han considerado lo que realmente significa el desarrollo sostenible y la mejor manera de comenzar a lograrlo. Los temas que tendrán un impacto significativo en cómo se aborda el movimiento hacia la sostenibilidad, incluyen la escala de tiempo, los posibles desarrollos tecnológicos futuros y los pronósticos de población. Dos de los aspectos clave del desarrollo sostenible desde una perspectiva química y energética son: "¿qué tan rápido deberíamos utilizar los

combustibles fósiles?" y "¿cuánto desperdicio o contaminación podemos liberar de forma segura al ambiente?" Si bien no hay respuestas a estas preguntas, existe un acuerdo general para desarrollar formas de energía más renovables y reducir la contaminación (*Lancaster, 2016*).

En 1990 Estados Unidos, aprobó la Ley de Prevención de la Contaminación (*Pollution Prevention Act*), fue la primera ley ambiental enfocada en la prevención de la contaminación desde la fuente de generación, en lugar de sólo enfocarse al control de los contaminantes. La ley define la reducción de fuentes como cualquier práctica que: reduce la cantidad de cualquier sustancia peligrosa, o contaminante que ingresa a cualquier flujo de desechos o se libera al ambiente (incluidas las emisiones fugitivas) antes del reciclaje, tratamiento o eliminación. Reduce los riesgos para la salud pública y el ambiente asociados con la liberación de tales sustancias contaminantes. El término "reducción de fuente" incluye:

- Modificaciones a equipos o tecnología,
- Modificaciones a procesos o procedimientos,
- Modificaciones, reformulación o rediseño de productos,
- Sustitución de materias primas,
- Mejoras en la limpieza, mantenimiento, capacitación o control de inventario.

En la Cumbre de la Tierra o También llamada conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y Desarrollo UNCED, Río de Janeiro en 1992, se habló formalmente de desarrollo sostenible y comenzó a tratarse este tema como un principio que debería ser un asunto legal. A partir de esta cumbre se creó y firmó la Declaración de del Río, Agenda 21, y se comenzó la UNFCCC o Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Posteriormente, en 1997 se adoptó el Protocolo de Kioto en Japón el cual, fue creado para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que causan el calentamiento global. Es un instrumento para poner en práctica lo acordado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y entró en vigor hasta 2005. La decimoctava Conferencia de las Partes sobre cambio climático (COP18) ratificó el segundo periodo de vigencia del

Protocolo de Kioto desde enero de 2013 hasta diciembre de 2020 (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016*).

El 25 de septiembre de 2015 más de 150 líderes mundiales asistieron a la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Nueva York con el fin de aprobar la Agenda para el Desarrollo Sostenible. El documento final, titulado “Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, fue adoptado por los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas. Dicho documento incluye los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) cuyo objetivo es poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático sin que nadie quede atrás para el 2030 (*Naciones Unidas México, 2015*).

1.1.2 Conceptos y aristas del Desarrollo Sostenible

Entendido de esta manera, el desarrollo sostenible reúne tres aristas interdependientes: economía, ambiente y sociedad, relación que se traduce en desarrollo económico y social respetuoso con el ambiente, es decir, desarrollo soportable en lo ecológico, viable en lo económico, y equitativo en lo social (Fig. 1). El ideal que persigue esta trilogía es un crecimiento a largo plazo sin dañar el ambiente, los ecosistemas y sin consumir sus recursos de forma indiscriminada, es decir, lograr un desarrollo equilibrado haciendo un uso eficiente de los recursos naturales, renovables y no renovables (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018*).



Figura 1. Equilibrio del Desarrollo Sostenible.

1.1.3 Diferencia entre Desarrollo Sostenible y Química Verde

Según las raíces las palabras, sustentable y sostenible no significan lo mismo, sin embargo, durante mucho tiempo se ha empleado ambas como sinónimos. Lo sustentable se aplica a la argumentación para explicar razones o defender, en tanto que lo sostenible es lo que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018*).

Por un lado, Artaraz (2002) menciona que actualmente no existe consenso acerca del significado de desarrollo sostenible (existen más de cien definiciones), ya que tampoco lo hay acerca de qué es lo que debe sostenerse. Según varios autores, el desarrollo sostenible consistirá en:

- sostener los recursos naturales (*Carpenter, 1991*);
- sostener los niveles de consumo (*Redclift, 1987*);
- lograr la sostenibilidad de todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales, recursos agotables (*Bojo et al., 1990*);
- perseguir la integridad de los procesos, ciclos y ritmos de la naturaleza (*Shiva, 1989*);
- sostener los niveles de producción (*Naredo, 1990*). Según este autor, una actividad sostenible es aquella que o bien utiliza productos renovables o bien, al menos, financia la puesta en marcha de un proyecto que asegure tanto la producción renovable de un bien substitutivo del consumido, como la absorción de residuos generados sin daño para los ecosistemas. La mayoría de las políticas están diseñadas orientadas a cambios en la producción (*Artaraz, 2002*).

Por el otro, la Química Verde (Q.V.) está centrada en el diseño de productos y procesos químicos que implica la reducción o eliminación de sustancias peligrosas para las personas y/o ambiente, para ello, hace uso de doce principios los cuales son ideales del buen uso del conocimiento científico-filosófico, los cuales permiten una mayor comprensión en la elaboración de un producto o proceso químico.

1.2 Química Verde

La Química Verde no es diferente de la química tradicional en la medida en que abarca la misma creatividad e innovación que siempre ha sido central en la química clásica (Anastas & Warner, 2000). A principios de la década de 1990, la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos (EPA) acuñó la frase Química Verde "para promover tecnologías químicas innovadoras que reduzcan o eliminen el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y comercialización de productos químicos" (Lancaster, 2016).

1.2.1 Principios de la Química Verde

Los 12 principios (Tabla 1.) fueron propuestos por Paul T. Anastas y John C. Warner están encaminados a los procesos químicos de elaboración de productos, que conllevan:

- a) prevención de la causa de riesgo,
- b) metodologías químicas y
- c) acción de acuerdo con un diseño" (Mestres, 2013).

Tabla 1. Principios de la Química Verde

No.	Nombre del principio	Descripción
1	Prevención	Es mejor prevenir los residuos que tratar o limpiarlos después de su formación
2	Economía atómica	Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que se incorporen al máximo los reactivos en el producto final, minimizando la formación de subproductos, lo que favorece también al principio 1
3	Reducción de productos químicos tóxicos/peligrosos	Se deben diseñar metodologías de síntesis para usar o generar sustancias con poca o nula toxicidad para la salud humana y el ambiente
4	Generar productos eficaces, pero no tóxicos	Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan su función, pero reduciendo su toxicidad

Tabla 1. Continuación

5	Reducir el uso de sustancias auxiliares	Se evitará en lo posible, el uso de sustancias que no sean imprescindibles (solventes, reactivos para llevar a cabo separaciones, etc.) y en el caso de que se utilicen, que sean lo más inocuos posible
6	Eficiencia energética	Hay que diseñar los procesos (calentamiento, enfriamiento, separación...) para reducir el consumo de energía. Pueden usarse nuevas técnicas para acelerar las reacciones (microondas, ultrasonidos, etc.)
7	Fuentes renovables	Las materias primas han de ser preferiblemente renovables en vez de agotables, siempre que sean técnicas y económicamente viables
8	Reducción de derivados	Reducción del número de etapas de los procesos de síntesis en concreto de las reacciones con derivatización
9	Catálisis	Potenciación de la catálisis lo más selectiva posible, en lugar de reactivos estequiométricos. El papel de los catalizadores es facilitar una transformación, sin que éste se consuma como parte de la reacción y sin incorporarse en el producto final
10	Generar productos biodegradables	Diseñar productos químicos para que al final de su función, se degraden en el ambiente formando productos inocuos
11	Análisis en tiempo real	Las metodologías analíticas serán desarrolladas para permitir el monitoreo y control en tiempo real de los procesos, previo a la formación de productos secundarios
12	Minimización del riesgo	Hay que diseñar los procesos químicos utilizando métodos y sustancias que minimicen no solo la posibilidad de que se produzcan accidentes (emisiones, explosiones, incendios, etc.), sino pensando incluso en reducir los daños en caso de que este accidente se produzca.

1.2.2 La Química Verde como un proceso de reducción

Al mirar la química verde desde una perspectiva industrial, es importante tener en cuenta el precio de implementar tecnología verde (Fig. 2). Desde este enfoque, resulta evidente que mediante la aplicación de dichos conceptos también se pueden lograr ahorros significativos, que provienen de un menor uso de materias primas, menores gastos de capital, disminución de costos de tratamiento y eliminación de residuos, etc. (Lancaster, 2016).

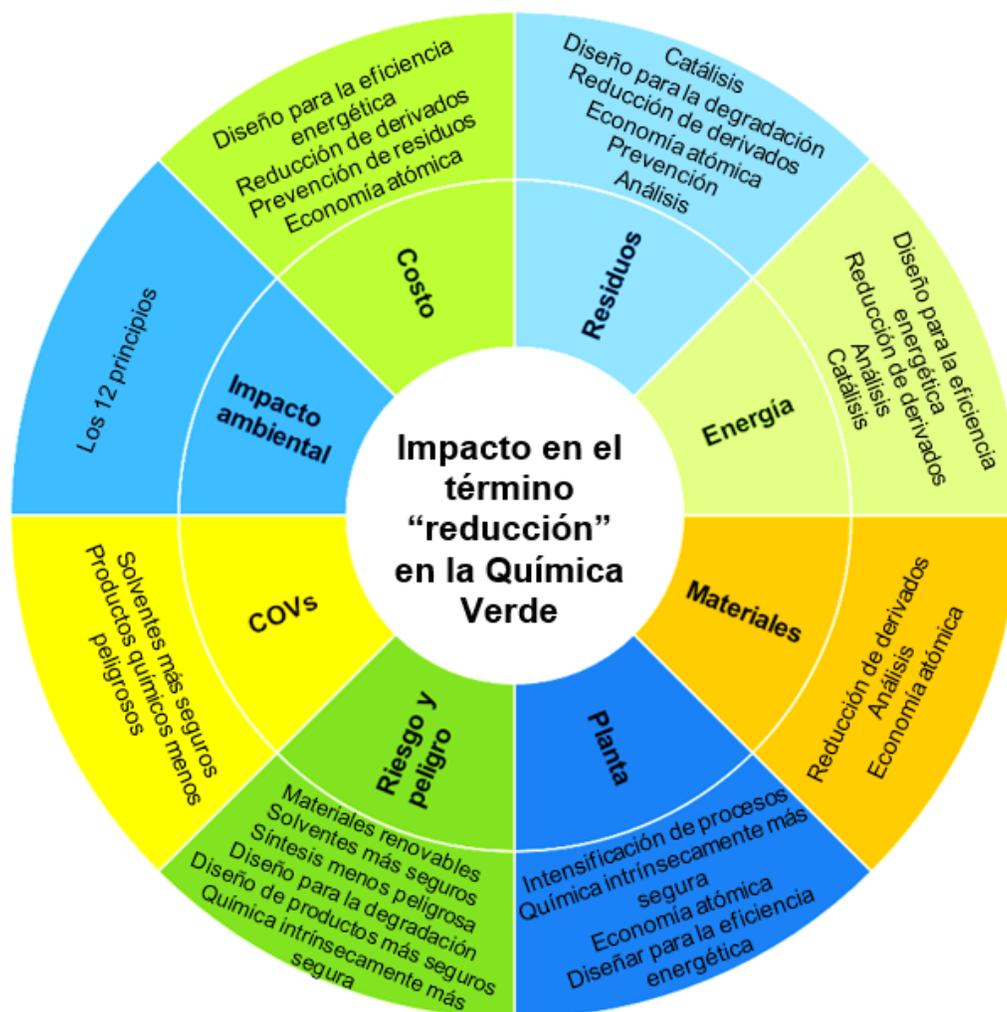


Figura 2. La Química Verde como un proceso de reducción (Lancaster, 2016).

El desafío fundamental para la industria química es continuar brindando beneficios a la sociedad sin sobrecargar ni causar daños al ambiente con un costo aceptable (Lancaster, 2016).

1.3 Ingeniería Química Verde

Al igual que la Química Verde, el término Ingeniería Verde fue acuñado por la EPA. La Ingeniería Verde (I.V.) es el diseño, comercialización, uso de procesos y productos que sean factibles y económicamente viables, minimizando la generación de contaminación en la fuente, el riesgo para la salud humana y el ambiente (*Lancaster, 2016*).

En el 2003, aproximadamente 65 químicos e ingenieros de la industria, la academia y el gobierno se reunieron en Florida para una conferencia sobre "Ingeniería verde: Definición de los principios", la cual estaba apoyada por la Agencia de Protección Ambiental, la Fundación Nacional de Ciencias, el Departamento de Energía (Laboratorio Nacional de Los Alamos) y el Instituto de Química Verde ACS. Durante cuatro días, presentaron investigaciones y discusiones hasta que finalmente los científicos acordaron un conjunto compilado de nueve principios (Anexo I), ahora conocido como La Declaración de Sandestin, los cuales representan una visión general (*United States Environmental Protection Agency, 2017*).

Para complementar los nueve principios de la Declaración de Sandestin, Paul T. Anastas y Julie B. Zimmerman crean 12 principios de la Ingeniería Verde para permitir a los ingenieros incorporar elementos de sostenibilidad en todas las áreas de un proyecto en un enfoque sistemático e integral.

1.3.1 Principios de la Ingeniería Verde

La ingeniería verde se centra en cómo lograr la sostenibilidad a través de la ciencia y la tecnología. Los 12 principios de la ingeniería verde proporcionan un marco para que científicos e ingenieros se involucren al diseñar nuevos materiales, productos, procesos y sistemas que son benignos para la salud humana y el ambiente. Un diseño basado en los 12 principios va más allá de las especificaciones básicas de calidad y seguridad de la ingeniería para considerar factores ambientales, económicos y sociales (*Anastas, P., & Zimmerman, J. 2003*). Estos principios son los siguientes:

1. Inherente más que circunstancial.

Aunque las consecuencias negativas de las sustancias intrínsecamente peligrosas (ya sean toxicológicas, físicas o globales) pueden minimizarse, esto se logra únicamente mediante una importante inversión de tiempo, capital, materiales y recursos energéticos. Los diseñadores deben evaluar la naturaleza inherente del material seleccionado y los insumos de energía para asegurarse de que sean lo más benignos posible como primer paso hacia un producto, proceso o sistema sostenible.

2. Prevención en lugar de tratamiento.

Es mejor prevenir la contaminación que tratar o limpiar el residuo ya producido. Las propuestas de procesos de fabricación o sistemas de servicios que son de “desperdicio cero” a menudo se critican por ignorar las leyes de la termodinámica y las consideraciones entálpicas. Un punto importante, que a menudo se pasa por alto, es que el concepto de desperdicio es humano. En otras palabras, no hay nada inherente a la energía o una sustancia que la convierta en un desperdicio. Más bien es el resultado de una falta de uso que aún no se ha imaginado o implementado. Independientemente de su naturaleza, la generación y manejo de residuos consume tiempo, esfuerzo y dinero. Las tecnologías dirigidas al diseño sin desperdicios, este concepto ha sido descrito a escala molecular como “economía atómica” y puede extenderse a escalas de diseño como la “economía de materiales”.

3. Diseñar para separar.

La separación y purificación de productos consumen la mayor cantidad de energía y material en muchos procesos de fabricación. Muchos métodos tradicionales de separación requieren grandes cantidades de disolventes peligrosos, mientras que otros consumen grandes cantidades de energía como calor o presión. Los diseños iniciales apropiados permiten la auto-separación de productos utilizando propiedades físicas/químicas intrínsecas, como solubilidad y volatilidad en lugar de condiciones inducidas, esto

disminuye el desperdicio y reduce los tiempos de procesamiento. Las operaciones de separación y purificación deberán diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.

4. Maximizar la eficiencia de masa, energía, espacio y tiempo.

Debido a que los procesos y sistemas a menudo usan más tiempo, espacio, energía y material de lo necesario, los resultados podrían clasificarse como “ineficiencias”, pero las consecuencias a menudo se distribuyen ampliamente a lo largo de los ciclos de vida del producto y del proceso. Si un sistema se diseña, utiliza o aplica con una eficiencia inferior a la máxima, se están desperdiciando recursos durante todo el ciclo de vida. Los problemas de espacio y tiempo se pueden considerar junto con el flujo de material y energía para eliminar el desperdicio. Además, en los sistemas optimizados existe la necesidad de un control en tiempo real para garantizar que el sistema continúa funcionando en las condiciones de diseño previstas.

5. Salida extraída frente a entrada empujada.

Los productos, procesos y sistemas deberían estar orientados hacia la “producción bajo demanda” (“output pulled”) más que hacia el “agotamiento de la alimentación” (“input pushed”). La fabricación justo a tiempo (“just in time”) requiere que el equipo, los recursos y la mano de obra solo estén disponibles en la cantidad y el tiempo necesarios para realizar el trabajo. La planificación de los sistemas de fabricación para la producción final elimina los desperdicios asociados con la sobreproducción, el tiempo de espera, el procesamiento, el inventario y los insumos de recursos.

6. Reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final (o también llamado conservar la complejidad).

La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final. La cantidad de complejidad que se incorpora a un producto ya sea a escala macro, micro o molecular, suele ser una función de los gastos de materiales,

energía y tiempo. La alta complejidad debe corresponder a la reutilización, mientras que las sustancias de complejidad mínima se prefieren para el reciclaje o la disposición beneficiosa, cuando sea necesario.

7. Durabilidad más que inmortalidad.

Los productos que duran mucho más allá de su vida útil comercial a menudo dan lugar a problemas ambientales, que van desde la eliminación de desechos sólidos hasta la persistencia y la bioacumulación. Por tanto, es necesario diseñar sustancias con una vida útil determinada para evitar la inmortalidad de materiales indeseables en el ambiente. Sin embargo, esta estrategia debe equilibrarse con el diseño de productos que sean lo suficientemente duraderos para resistir las condiciones operativas durante la vida útil prevista para evitar fallas prematuras y su posterior eliminación.

8. Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.

Es importante anticipar la agilidad del proceso y la flexibilidad del producto en la etapa de diseño. Sin embargo, los costos de material y energía por un diseño excesivo y una capacidad o incapacidad inutilizable pueden ser altos. También existe una tendencia a diseñar para los peores escenarios u optimizar el rendimiento para condiciones extremas o poco realistas, que permiten que se utilice el mismo producto o proceso en diferentes condiciones. Esto requiere incorporar, posteriormente desechar y tratar componentes cuya función no se realizará en la mayoría de las condiciones operativas.

9. Minimizar la diversidad de materiales.

La diversidad de materiales o un mecanismo de reacción se convierte en un problema al considerar los problemas sobre el final de su vida útil, lo que determina la facilidad de desmontaje para su reutilización, reciclaje o biodegradabilidad. Las opciones para la disposición final se incrementan a través de diseños iniciales que minimizan la diversidad de materiales, pero

cumplen las funciones necesarias, ya sea a nivel de proceso, a escala de productos y a escala molecular.

10. Cerrar ciclos de materia y energía.

Los productos, procesos y sistemas deben diseñarse utilizando el marco existente de flujos de energía y materiales dentro de una operación unitaria, línea de producción, instalación de fabricación, parque industrial o localidad. Aprovechando los flujos de energía y materiales existentes, se minimiza la necesidad de generar energía y/o adquirir y procesar materias primas. Los aportes energéticos de fuentes, como el calor residual de procesos adyacentes o la incorporación de materiales ya existentes, pueden beneficiar significativamente el ciclo de vida, reduciendo la necesidad de materias primas y adquisición de energía requiriendo menos procesamiento y eliminación.

11. Diseño para la “vida futura” comercial (o final de la vida útil del producto).

En muchos casos, el final de la vida comercial se produce como resultado de la obsolescencia tecnológica o estilística, en lugar de un rendimiento fundamental o una falla de calidad. Para reducir el desperdicio, los componentes que siguen siendo funcionales y valiosos pueden recuperarse para su reutilización y/o reconfiguración. Esta estrategia fomenta el diseño modular inicial, que reduce la necesidad de adquirir y procesar materias primas al permitir que los diseños de productos, procesos o sistemas de próxima generación se basen en componentes recuperados con propiedades conocidas.

12. Renovable más que agotable.

La naturaleza del origen de los materiales y los insumos energéticos puede tener una gran influencia en la sostenibilidad de los productos, procesos y sistemas. El hecho de que una sustancia o fuente de energía sea renovable o agotable puede tener efectos de gran alcance. Cada unidad de sustancia finita usada de manera consuntiva mueve gradualmente el suministro de esa

sustancia hacia el agotamiento, ciertamente esto no es sostenible. Además, debido a que las sustancias vírgenes requieren procesos de extracción repetitivos, el uso de recursos que se agotan causa un daño ambiental continuo. Si bien es cierto que todos los procesos y acciones humanas tendrán algún impacto en el ambiente, minimizar aquellas acciones que alteren de manera irreversible, puede conducir al diseño de productos, procesos y sistemas más sustentables.

1.3.2 ¿Qué podría ser la Ingeniería Química Verde?

Para este trabajo de investigación a partir del concepto Ingeniería Verde se propone la Ingeniería Química Verde, la cual pretende mismos objetivos de la Ingeniería Verde con la diferencia, que está encaminado a todos los procesos químicos industriales seguros, económicamente factibles y sostenibles con la finalidad de crear productos a diversos fines comerciales.

1.4 Retos presentes y futuros de la Química e Ingeniería Química Verde

Sólo cuando somos capaces de acelerar (intensificar) los mecanismos naturales de biodegradación y/o regeneración para nuestro ritmo acelerado de consumo, podemos hablar de que los recursos que consumimos son renovables.

1.4.1 Retos de la Química e Ingeniería Química Verde

En la actualidad, existen muchos estudios en los cuales se utiliza la Química Verde para reducir el impacto ambiental de los residuos industriales y lograr un manejo adecuado de los recursos ambientales. Su reto principal es eliminar gradualmente la generación de materiales peligrosos o nocivos, y sustituirlos por otros menos tóxicos y más seguros. El futuro del planeta depende gran parte del diseño y la manipulación adecuada de productos químicos, así como de la reducción de las emisiones generadas por la industria química y farmacéutica. Teniendo en cuenta que el desafío es tan diverso como la imaginación científica, no es sorprendente que su aplicación involucre todos los sectores de la sociedad, desde la investigación hasta el gobierno y la educación (*Castro, 2011*).

Es importante resaltar que los doce principios no son simplemente una lista de objetivos, sino más bien un conjunto de metodologías para lograr los objetivos del

diseño ecológico y la sostenibilidad. Primeramente, será necesario en el corto plazo optimizar productos, procesos y sistemas insostenibles que existen actualmente. Esta es una medida importante, y los principios de la Ingeniería Verde proporcionan un marco útil para lograr esta optimización. Sin embargo, a través de la reingeniería de sistemas completos, se obtienen mayores grados de libertad con beneficios potenciales para la sostenibilidad y, por lo tanto, se vuelven más esenciales. En última instancia, una redefinición del problema, desde el nivel molecular y de procesos, es donde se puede lograr la sostenibilidad fundamental e incluso inherente y es aquí donde son más poderosos (*Anastas & Zimmerman, 2003*).

1.4.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Como se mencionó anteriormente el 25 de septiembre de 2015 se aprobó la Agenda para el Desarrollo Sostenible. El documento final, titulado “Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, fue adoptado por los 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas. Dicho documento incluye los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (Fig. 3) cuyo objetivo es poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad, la injusticia, y hacer frente al cambio climático sin que nadie quede atrás para el 2030 (*Naciones Unidas México, 2015*).

La meta de los Objetivos del Desarrollo Sostenible es alta, y pretende varias áreas sociales, culturales y científicas, con ayuda de los 24 principios de la Q.V. e I.V. abren una brecha de oportunidades directas, como, por ejemplo; energía asequible y no contaminante; acción por el clima; industria, innovación e infraestructura; ciudades y comunidades sostenibles; producción y consumo responsable. Atendiendo estas necesidades, favorece el cumplimiento de manera secundaria del resto.



Figura 3. Agenda 2030 Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas México 2015.

2 PROGRAMAS DE ESTUDIO SOBRE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

En estos últimos años se han hecho grandes esfuerzos para que la Química Verde y la Ingeniería Química Verde esté presente en las instituciones académicas, con la finalidad de promover su filosofía a las nuevas generaciones de Químicos e Ingenieros Químicos, para ello, se han creado cursos, Maestrías y Diplomados que brinden al alumnado las herramientas necesarias para su formación profesional, y de esta manera puedan contribuir a la sociedad hacia un desarrollo sostenible.

2.1 Matriz comparativa de los diferentes cursos a nivel superior nacional e internacional

Como punto de partida se elaboró una matriz comparativa, la cual muestra cursos certificados, Maestrías y Diplomados que se imparten a nivel nacional e internacional de Química e Ingeniería Química Verde (Q. e I.Q.V.), así como de Sostenibilidad, dicha información se encuentra en la tabla 2, 3 y 4.

Para la selección de dichos cursos se tomó en cuenta el nivel académico de la institución responsable, las ventajas que ofrecen, las certificaciones con las cuales cuentan, la experiencia de las instituciones y su contacto con las industrias privadas del sector químico. Los diplomados y maestrías analizadas corresponden a las Universidades e Institutos siguientes:

- Universidad de Castilla-La Mancha (España),
- University of York (Reino Unido),
- University of Washington (Estados Unidos de América),
- Euroinnova Business School (España),
- University of Luneburg (Alemania),
- University of Amsterdam (Países Bajos),
- Museo Interactivo de Economía (México),
- The Institute for Green Science Department of Chemistry Carnegie Mellon University (Estados Unidos de América),
- Universidad George Washington Department of Chemistry Columbian College of Arts & Sciences (Estados Unidos de América).

Tabla 2. Matriz comparativa de los cursos certificados de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad

No.	Nombre	Sede	Módulos		Link
1	Introduction to Green Chemistry	The Institute for Green Science Department of Chemistry Carnegie Mellon University	1	Fundamentos de la Química Verde	http://igs.chem.cmu.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=515
			2	Definición de Química Verde	
			3	Los doce principios de la Química verde y su aplicación	
			4	Librería de problemas de Química Verde, primera y segunda parte	
			5	Efectos adversos de los productos químicos en la salud y el ambiente	
			6	La Hipótesis del obesógeno	
			7	Introducción a la ética de la sostenibilidad	
			8	Perspectivas más profundas sobre la ética de la sostenibilidad	
2	Green Chemistry & Chemical Stewardship Online Certificate Program	University of Washington Department of Environmental & Occupational Health Sciences School of Public Health	1	Sostenibilidad, toxicología y salud humana	https://osha.washington.edu/pages/green-chemistry-chemical-stewardship-online-certificate-program
			2	Principios de la Química Verde	
			3	Herramientas de evaluación para decisiones químicas más seguras	

Tabla 2. Continuación

3	Curso Gratuito Experto en Química Sostenible (Curso en línea)	Doble Titulación Expedida por Euroinnova Business School y Avalada por la Escuela Superior de Cualificaciones Profesionales	1	Naturaleza y fines de la Química Sostenible	https://cursosgratuitos.es/curso-gratuito-experto-en-quimica-sostenible/
			2	El proceso químico como origen de contaminación	
			3	El proceso químico como origen de riesgos	
			4	Fuentes renovables de combustibles y de productos químicos	
			5	Disolventes	
			6	Métodos catalíticos	
			7	Biocatálisis	
			8	Activación selectiva por microondas	
			9	Activación selectiva por sonicación	

Tabla 3. Matriz comparativa de las Maestrías de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad

No.	Nombre	Sede	Módulos		Link
1	Los estudios de posgrado en Química Sostenible	Universidad de Castilla-La Mancha (Espacio Europeo de Educación Superior)	1	Conceptos básicos en Química Sostenible	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300430
			2	Conceptos y temas avanzados en Química Sostenible. Orientación investigadora	
			3	Conceptos y temas avanzados en Química Sostenible. Orientación profesional	
2	Green Chemistry and Sustainable Industrial Technology	University of York	1	Principios de Q.V.	https://www.york.ac.uk/study/postgraduate-taught/courses/msc-green-chemistry-sustainable-industrial-tech/#content_modules
			2	Aplicaciones de la Q.V.	
			3	Comercialización de la Q.V.	
			4	Habilidades transferibles de la Q.V.	
3	Máster Profesional en Química Sostenible (M.Sc.)	University of Luneburg	1	Conceptos de Química Sostenible	https://www.master-maestrias.com/M%C3%A1ster-Profesional-en-Qu%C3%ADmica-Sostenible-(M.Sc.)/Alemania/Leuphana-University-Luneburg/
			2	Química Ambiental	
			3	Toxicología y ecotoxicología	
			4	Modelado de propiedades químicas y destino	
			5	Química Verde	
			6	Química Sostenible y energías renovables	
			7	Benigno por diseño	

Tabla 3. Continuación

			8	Recursos, reciclaje y economía circular	
			9	Evaluación de la sostenibilidad	
			10	Leyes, regulaciones internacionales y gestión de productos químicos	
			11	Modelos de negocio y estrategias	
			12	Proyecto trabajo Química, Sostenibilidad y La Agenda 2030	
4	Chemistry: Science for Energy and Sustainability	University of Amsterdam	1	Química Verde	https://www.uva.nl/en/programmes/masters/chemistry-science-for-energy-and-sustainability/study-programme/study-programme.html?origin=5BOaRAofTjCccATraJp2XA
			2	Células biosolar	
			3	Química Ambiental	
			4	Catálisis heterogénea	
			5	Catálisis para energía sostenible	
			6	Catálisis homogénea	
5	MS in Environmental & Green Chemistry	The George Washington University Department of Chemistry Columbian College of Arts & Sciences	1	Energía y medio ambiente	https://chemistry.columbian.gwu.edu/ms-environmental-green-chemistry
			2	Química ambiental: aire, agua y suelo	
			3	Química Industrial Verde	
			4	Toxicología química y diseño de productos químicos seguros	
			5	Química Analítica Ambiental	
			6	Seminario en Química Ambiental y Verde	

Tabla 4. Tabla de Diplomado de Química Verde, Ingeniería Química Verde y Sostenibilidad

No.	Nombre	Sede	Módulos		Link
1	Diplomado de Sustentabilidad Aplicada	Museo Interactivo de Económica (MIDE)	1	Desarrollo Sustentable	https://www.mide.org.mx/diplomado-de-sustentabilidad-aplicada/
			2	Economía-ecológica-ambiental y pobreza	
			3	Taller Cooperación o competencia	
			4	Política pública y retos urbanos	
			5	Instrumentos de política: Indicadores de sustentabilidad	
			6	Taller: Creatividad y pensar diferente	
			7	Ecología y Biodiversidad	
			8	Cambio climático	
			9	Bienes comunes y recursos naturales	
			10	Taller: proyecciones del futuro y los intereses de los participantes	
			11	Salud y medio ambiente	
			12	Desarrollo urbano y ciudades sustentables	
			13	Análisis de actores-conflictos sociales	
			14	Transición energética, subsidios y alternativas de política pública	
			15	Buscando soluciones: agua	
			16	Taller: aprender con placer	
			17	La movilidad en las ciudades	
			18	Instrumentos de la legislación ambiental	
			19	Comunicación y sustentabilidad	
			20	Percepción y comunicación	

2.2 Requisitos académicos para un diplomado en la UNAM

Los requisitos y características que se presentan a continuación, son proporcionados por la UNAM a través de la Dirección General de Asuntos de Personal Académicos (DGAPA) en el documento llamado “Diplomados de Licenciatura Reglas de Operación 2021”, junto con el Programa de Actualización y Superación Docente (PASD) su objetivo es ofrecer formación disciplinaria, pedagógica y transdisciplinaria de acuerdo a los planes y programas de estudio del nivel superior de la institución.

2.2.1 Características de los Diplomados

Las características más importantes de los Diplomados se muestran a continuación las cuales pueden ser flexibles en cuanto a la duración de este (*Universidad Nacional Autónoma de México, Diplomados de Licenciatura Reglas de Operación 2021*):

- Los diplomados estarán orientados preferentemente a la actualización disciplinaria y al perfeccionamiento de la actividad docente, considerando los temas referentes a los aspectos psicopedagógicos y al uso de las tecnologías de la información y la comunicación entre otros
- Las modalidades en que se podrán impartir los diplomados serán: presencial, semipresencial y en línea
- Los diplomados deberán contar necesariamente con el aval del Consejo Técnico de la facultad o escuela respectiva del periodo en que se desea impartir el diplomado
- Los módulos de los diplomados deberán ser seriados o secuenciales
- Para que un diplomado pueda impartirse deberá tener inscritos al menos 20 profesores
- El cupo máximo de un diplomado, lo determinará la entidad académica respectiva en función de las características disciplinares. Esta información la deberá comunicar a la DAD
- Los diplomados tendrán una duración mínima de 120 horas y máxima de 200 horas (divididas en módulos de mínimo 20 horas y máximo 40 horas).

2.2.2 Requisitos de los coordinadores de Diplomados

Los requisitos que debe de cumplir los coordinadores de Diplomado son los siguientes:

- Ser académicos adscritos a la facultad o escuela correspondiente donde se realizarán los diplomados y estar vigentes en la nómina universitaria,
- Serán designados por el Director de su entidad.

2.2.3 Requisitos de los profesores ponentes

Podrán ser profesores ponentes el personal académico de la UNAM que impartan clases a nivel superior, listado a continuación:

- Profesores de Carrera de Tiempo Completo,
- Investigadores de Tiempo Completo,
- Profesores de Asignatura,
- Técnicos Académicos Titulares de Tiempo Completo,
- Cualquier académico que tenga alguna de las figuras anteriores y que ocupe un cargo de funcionario. En estos casos, no podrán recibir la remuneración correspondiente por la impartición del diplomado.

Podrán ser profesores ponentes externos:

- Profesionistas nacionales o extranjeros. Deberán contar con estudios de posgrado terminados, con experiencia en docencia a nivel superior, así como con una reconocida trayectoria en su campo de conocimiento, todos estos aspectos comprobados.

2.2.4 Requisitos de los profesores inscritos

Podrá participar el personal académico de la UNAM listado a continuación:

- Profesores de Carrera,
- Investigadores,
- Profesores de Asignatura,
- Técnicos Académicos Titulares, Técnicos Asociados o Técnicos Auxiliares,
- Ayudantes de Profesor.

Podrán participar profesores externos de escuelas incorporadas y no incorporadas a la UNAM que impartan clases en los niveles de educación media superior y superior.

2.3 Propuesta de programa para un diplomado de Química e Ingeniería Química Verde

Por un lado, la matriz comparativa permitió conocer el trabajo que se realiza a nivel mundial sobre la Q. e I.Q.V, por el otro, mostró los temas más relevantes que se están impartiendo, de esta forma se generó un contenido temático que se ajusta con los objetivos buscados en el Diplomado, el cual se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Propuesta del temario para el curso de Química e Ingeniería Química Verde de 120 horas y sus objetivos

Número y nombre del módulo		Duración (horas)	Objetivos
1	Conceptos básicos en Química e Ingeniería Química Verde	10	Comprender los conceptos básicos de Química Sostenible y su diferencia con la Química Verde
2	Análisis de riesgo y peligro	20	Presentar el procedimiento de evaluación de riesgo y toma de decisiones basada en riesgos
3	Toxicología y ecotoxicología	20	Mostrar los efectos nocivos de las sustancias químicas, así como, una descripción práctica de las pruebas toxicológicas
4	Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación investigadora	20	Presentar las aplicaciones de la Química Verde en los laboratorios
5	Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación profesional	20	Presentar las aplicaciones industriales de la Ingeniería Química Verde y la mejora de productos y procesos por medio de la tecnología
6	Legislación	20	Presentar la legislación sobre productos químicos y medio ambiente, así como las convenciones y estrategias internacionales para la gestión internacional de productos químicos

Tabla 5. Continuación

7	Comercialización, economía y sostenibilidad	10	Mostrar el desarrollo de productos químicos y productos de consumo más ecológicos, cómo la legislación ambiental rige la fabricación, el proceso de protección de las invenciones y cómo esas invenciones pueden llevarse al mercado.
---	--	----	---

Para la elaboración del contenido temático se tomó en cuenta los siguientes puntos de análisis:

- El primer módulo “Conceptos básicos en Química e Ingeniería Química Verde”, lo aborda la mayoría de los Diplomados y Maestrías, ya que es un tema fundamental conocer las bases y las aplicaciones.
- El segundo módulo “Análisis de riesgo y peligros”, lo aborda el curso con doble certificación por Euroinnova Business School, el cual, es de suma importancia para comprender los riesgos y peligros de los procesos utilizando modelos de identificación y disminuir el riesgo.
- El tercer módulo “Toxicología y Ecotoxicología”, lo estudia la University of Washington, Euroinnova Business, University of Luneburg y la Universidad George Washington Department of Chemistry Columbian College of Arts & Sciences. La finalidad de este módulo es entender el comportamiento toxicológico y ecotoxicológico de las diferentes sustancia y materiales.
- El cuarto módulo “Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación investigadora”, lo aborda la Universidad de Castilla de forma directa y las demás Universidades de forma indirecta mostrando las aplicaciones que tiene en el laboratorio.
- El quinto módulo “Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación profesional”, tal como en el módulo anterior, lo aborda la Universidad de Castilla de forma directa y las demás Universidad de forma indirecta, mostrando sus aplicaciones a nivel industrial.

- El sexto módulo “Legislación”, lo aborda el Museo Interactivo de Economía y la University of Luneburg, en donde se busca conocer el marco legal en cual labora la industria química.
- El séptimo módulo “Comercialización, Economía y sostenibilidad”, lo aborda lo aborda el Museo Interactivo de Economía y la University of Luneburg principalmente, que pretende estudiar el desarrollo de productos químicos y la manera de comercializarlos buscando que sean sostenibles.

En la tabla 6 se muestra el programa propuesto con sus respectivos módulos y temas a estudiar.

Tabla 6. Propuesta del programa para el curso de Química e Ingeniería Química Verde de 120 horas

Módulo	No.	Temas
Módulo 1 “Conceptos básicos en Química e Ingeniería Química Verde”	1.1	Conceptos básicos de la Q.V.
	1.2	Desarrollo sostenible y Q.V.
	1.3	Conceptos básicos de la I. Q.V.
	1.4	Los 12 principios de la Q.V.
	1.5	Los 12 principios de la I.Q.V.
	1.6	Materias primas renovables y fuentes alternativas de energía
	1.7	Objetivos globales de la Química Sostenible
	1.8	Retos presentes y futuros de la Q. e I.Q.V.
Módulo 2 “Análisis de riesgo y peligros”	2.1	Algebra Booleana
	2.2	Etapas de análisis de riesgo
	2.3	Métodos de identificación de peligro árbol de fallas (Hazop)
	2.4	Cuantificación del riesgo (Aloha, Screen)
	2.5	Administración de riesgo
	2.5.1	Definición de eventos y condiciones de riesgo, beneficios, procesos
	2.5.2	Planeación de la Administración de riesgo
	2.5.3	Identificación del riesgo
	2.5.4	Herramientas de evaluación del riesgo (análisis de sensibilidad, análisis de escenarios, contingencias)
	2.6	Métodos de toma de decisiones utilizados para evaluaciones comparativas de riesgos químicos
Módulo 3 “Toxicología y Ecotoxicología”	3.1	Principios clave en toxicología y ecotoxicología
	3.2	Intoxicación
	3.3	Relaciones dosis-respuesta
	3.4	Pruebas toxicológicas
	3.5	Potencial tóxico de los compuestos orgánicos

Tabla 6. Continuación

	3.6	Relaciones cuantitativas estructura-actividad
	3.7	Sustancias menos tóxicas
	3.7.1	Menor toxicidad por reducción de la absorción
	3.7.2	Menor toxicidad por interferencia en los mecanismos de toxicidad
Módulo 4 “Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación investigadora”	4.1	Catálisis homogénea
	4.2	Biocatálisis
	4.3	Catálisis inmovilizada
	4.4	Reacciones activadas por medios no convencionales
	4.5	Conceptos generales de catálisis
	4.6	Catálisis ácido-base
	4.7	Catálisis oxidante
	4.8	Catálisis enantioselectiva
	4.9	Zeolitas y materiales relacionados
	4.10	Catálisis soportada
	4.11	Aplicaciones industriales catalíticas
	4.12	Metodologías de laboratorio en Química sostenible
Módulo 5 “Conceptos y temas avanzados en Química Verde. Orientación profesional”	5.1	Aplicaciones industriales de la Química sostenible
	5.2	Energías sostenibles
	5.3	Catálisis heterogénea
	5.4	Biotransformaciones industriales
	5.5	Fotoquímica y electroquímica ambiental
	5.6	Fluidos supercríticos
	5.7	Aplicaciones
	5.8	Intensificación de procesos
	5.9	Medida de sostenibilidad
	5.10	Diseño de reactores y evaluación
	5.11	Reacciones a presión
	5.12	Monitorización online
	5.13	Gestión de residuos
Módulo 6 “Legislación”	6.1	Instrumentos de la Legislación Ambiental
	6.2	Reformas constitucionales en materia ambiental
	6.3	Marco legal del sector ambiental en México
	6.4	Normatividad ambiental nacional
	6.5	Convenciones
	6.6	Estrategias Internacionales
Módulo 7 “Comercialización, economía y sostenibilidad”	7.1	Sostenibilidad e impacto ambiental
	7.2	Sostenibilidad de procesos
	7.3	Análisis del ciclo de vida
	7.4	Proceso de patentar
	7.5	Mecanismos de colaboración con la industria
	7.6	Economía circular
	7.7	Desafíos económicos tecnológicos actuales y futuros de la sostenibilidad

3 DESARROLLO DE LAS HERRAMIENTAS DIDÁCTICAS

El cambio es el rasgo distintivo de la sociedad actual. Como consecuencia de la globalización, muchas organizaciones han iniciado la transformación de sus estructuras y procesos para hacerlos más eficientes. La incorporación de tecnologías de información y comunicación (TIC) ha jugado un papel importante en dichas transformaciones y han generado múltiples beneficios en muchos sectores de nuestra economía. En el ámbito de la educación, aunque existen muchos nuevos postulados teóricos y pedagogías que apuntan hacia una transformación del sistema educativo, ésta no se ha llevado cabo de forma integral, en esencia la educación permanece igual. Las instituciones de educación superior en México están sufriendo un proceso de transformación, donde sin duda el profesor enfrentará grandes retos para rediseñar las funciones de su práctica educativa (*González, 2008*).

La llegada y la incorporación de las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC) en las aulas de clase ha supuesto una nueva concepción del modelo educativo en el que docentes y estudiantes las integran en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que es un componente que permite flexibilidad, ubicuidad, a sincronía e interactividad (*Pérez, 2013*).

La educación a distancia no ha sido ajena al desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en los últimos años. Aunque los textos y guías de estudio siguen constituyendo el material didáctico básico en este tipo de enseñanza, se han ido implantando progresivamente otros recursos de aprendizaje de carácter más tecnológico que han permitido una transición eficaz de la clase presencial a la clase virtual. A través de las plataformas virtuales se han ido reuniendo todos esos recursos (foros, chats, autoevaluaciones, cuestionarios, audios, vídeos, etc.) que permiten reforzar y reorientar las acciones formativas mediante un proceso flexible, rápido y eficaz, además de posibilitar los espacios de intercambio y comunicación en acciones formativas (*de la Fuente, 2013*).

3.1 Herramientas didácticas de mayor impacto para el aprendizaje

Pastor (2019), afirma en su tesis (“Herramientas didácticas orientadas al estudiante y el rendimiento académico”) que las herramientas didácticas orientadas al estudiante son un conjunto de actividades ordenadas y articuladas dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje de una materia. Su aplicación permite desarrollar en el alumno lo siguiente:

- Se convierte en responsable de su propio aprendizaje
- Asume un papel participativo y colaborativo en el proceso a través de ciertas actividades
- Toma contacto con su entorno
- Se compromete en un proceso reflexivo con lo que hace
- Desarrolla la autonomía
- Utiliza la tecnología como instrumento de aprendizaje.

Las metodologías, estrategias y herramientas didácticas están directamente relacionadas con el procedimiento de aprender a aprender. Para su correcta aplicación se hace necesario que el docente determine en sus estudiantes las necesidades y expectativas para con ello escoger la que más se adapte a su contexto personal, social, cultural, académico, entre otros y que pueda establecer un ejercicio de construcción de conocimiento, seleccionando actividades y prácticas pedagógicas en diferentes momentos formativos (*Restrepo, 2013*).

Varios autores han señalado que las herramientas-estrategias didácticas más utilizadas en las Universidades, debido a su impacto y flexibilidad son las siguientes:

- Aprendizaje colaborativo
- Tecnología de la información y comunicaciones (TIC’s)
- Mapa mental
- Aprendizaje basado en problemas
- Estudio de casos
- Aprendizaje basado en proyectos
- Aprendizaje basado en simuladores
- Aprendizaje basado en tareas

- Investigación acción participativa.

Por otro lado, la situación actual en el mundo supone un reto hasta hace poco inimaginable para todos los actores educativos. Las escuelas se vieron obligadas a cerrar sus puertas para contener la pandemia de Covid-19 pero los sistemas educativos deben seguir garantizando el derecho a la educación. En el nuevo escenario, los docentes deben adaptar la enseñanza a formatos no presenciales. En el contexto latinoamericano, las dificultades que encierra este desafío se ha incrementado por las desigualdades socioeconómicas, con las consecuentes brechas digitales, tanto de los estudiantes como del profesorado (*Rappoport, 2020*).

En la educación a distancia los estudiantes aprenden a partir de la interacción directa con los materiales, sin contar con la mediación docente. Es por eso que los recursos didácticos cumplen un rol clave y fundamental en el proceso de autoaprendizaje que los estudiantes deben desarrollar. Cabe recordar que hay distintos tipos de recursos didácticos: materiales de estudio, tutoriales, guías de trabajo, ejercicios o actividades sencillas de consolidación, entre otros profesorado (*Rappoport, 2020*). Mediante el uso de aplicaciones digitales es posible crear o readaptar contenidos (videos, presentaciones, audios, clases, juegos interactivos, mapas conceptuales, etc.), además de utilizar los recursos educativos disponibles en la web, las cuales son:

- Aplicaciones para crear presentaciones
- Recursos para elaborar líneas de tiempo
- Aplicaciones para crear mapas conceptuales
- Aplicaciones para realizar cuestionarios
- Herramientas para elaborar historietas
- Recursos para editar y crear videos
- Editores de imágenes
- Editores de audios
- Estudios de caso en multimedia
- Simulaciones en línea
- Ejercicios interactivos

- Tutorías individuales.

La utilización de herramientas audiovisuales con fines educativos se ha generalizado en las últimas décadas, siendo el vídeo una de las más destacables (de la Fuente, 2013). Un vídeo educativo es un medio didáctico, motivador que facilita el descubrimiento y la asimilación de conocimientos para el estudiante, que integra imágenes y sonido permitiendo pues la imagen en movimiento y el sonido pueden captar la atención (*Pérez, 2013*).

Según investigaciones sobre el uso pedagógico del video digital en la educación, realizado por la Universidad de Buenos Aires es una herramienta que contribuye al proceso de aprendizaje, generando potencial de expresión y comunicación, donde los jóvenes se sienten muy cómodos y motivados con la implantación de la tecnología en el aula de clase (*Pérez, 2013*).

Dado a las herramientas didácticas propuestas por los diferentes autores, y de acuerdo con el contenido del curso de Química e Ingeniería Química Verde se optó por la elaboración de una libreta de apuntes con estudios de caso y material video didáctico, los cuales abarcaran la unidad uno del programa propuesto para el curso de 120 horas “Conceptos básicos en Química e Ingeniería Química Verde”. El principal objetivo de estas herramientas es proporcionar al estudiante recursos electrónicos de fácil alcance para una mejor comprensión y desarrollo de la Q. e I.Q.V. Así mismo, debido a la contingencia sanitaria debido al Covid-19 estas herramientas se ajustan a la necesidad de implementar nuevos recursos electrónicos a los cursos, las cuales sean capaz de apoyar al estudiante en su formación. Estas dos herramientas se elaboraron de tal manera, que el estudiante pueda consultarlas de manera sencilla, dividiendo el material didáctico en tres partes y el cuaderno de apuntes con estudios de caso en temas y subtemas con diferentes esquemas de los principios de la Q. e I.Q.V.

3.2 Contenido visual

Para la elaboración del material video visual se tomaron los siguientes temas del módulo 1 del programa propuesto del curso de 120 horas:

- Conceptos básicos de la Q.V.
- Desarrollo sostenible y Q.V.
- Conceptos básicos de la I. Q.V.
- Los 12 principios de la Q.V.
- Los 12 principios de la I.Q.V

A partir de estos temas se dividió el contenido visual en tres, cada uno de los videos fue elaborado por medio de diapositivas con el programa de PowerPoint de Office 2016 ®. Se realizó una primera propuesta de videos, en donde su principal característica es que incluyen música ambiental de fondo, fueron difundidos por medio de la plataforma de YouTube ® en el canal del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM como prueba piloto. Las características técnicas y el contenido se muestran en la tabla 7.

Para la elaboración de cada video se tomó en cuenta lo siguiente:

- **Video “Introducción a la Química Verde”**. El video cuenta con 31 diapositivas, en donde su objetivo es introducir al estudiante a la historia de la Química Verde, a sus ideas fundamentales y al desarrollo sostenible. Por un lado, el material visual hace hincapié en aquellas diferencias que hay entre sostenibilidad y sustentabilidad, por el otro, muestra la diferencias entre la Química Verde y la Química Sostenible.
 - **Video “Los 12 principios de la Química Verde”**. El video consta de 82 diapositivas, en donde su objetivo es mostrar al estudiante los 12 principios de la Química Verde con aplicaciones que se han llevado a cabo en los laboratorios e industrias, de esta manera, el estudiante tiene la oportunidad de visualizar de manera tangible el uso de cada principio.
- Video “Los 12 principios de la Ingeniería Química Verde”**. Por último, este video tiene 71 diapositivas, en donde su objetivo es enseñar a los estudiantes los 12 principios de la Ingeniería Química Verde, de igual forma que en el video anterior, se muestran aplicaciones de cada principio para su mejor comprensión.

Tabla 7. Características de la primera propuesta del material visual

Nombre	Introducción e Historia de la Química Verde	Los 12 principios de la Química Verde	Los 12 principios de la Ingeniería Química Verde
Autor	Astrid Rodríguez Arroyo		
Coautores	Gema Luz Andraca Ayala María Rafaela Gutiérrez Lara Irma Cruz Gavilán García	José Agustín García Reynoso Silvia Ivonne San Miguel	
Difusión	YouTube ® por medio del canal ICACC_UNAM		
Duración	6:41 min.	23:48 min.	19:27 min.
Música	Motivational & Uplifting Cinematic Trailer (long version - with vocals)	Modern Upbeat Corporate Background	Deeper - Inspiring Technology and Cinematic Corporate
Contenido	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción a la Química Verde - Historia de la Química Verde - Ideas Fundamentales de la Química Verde - Principios de la Química Verde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Principios de la Química Verde - Prevención - Economía atómica - Menor uso de químicos nocivos - Diseñar químicos más seguros - Solventes más seguros - Eficiencia energética - Fuentes renovables - Reducción de derivados - Catálisis - Degradación - Análisis en tiempo real - Sustancias más seguras para prevenir accidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Principios de la Ingeniería Química Verde - Inherente más que circunstancial - Es mejor prevenir - Minimizar el consumo de energía y materiales - Maximización de la eficiencia en el uso de materia, energía y espacio - Producción bajo demanda - Reutilizar, reciclar o rechazar - Diseñar para la durabilidad, no para la inmortalidad - Satisfacer la necesidad y minimizar el exceso - Minimizar la diversidad de materiales - Cerrar ciclos de materia y energía - Final de la vida útil del producto - Las entradas de materia y energía deben ser renovables.
Link de consulta	https://www.youtube.com/watch?v=H8RhsXp-dPU	https://www.youtube.com/watch?v=V4OtpmOZ24E	https://www.youtube.com/watch?v=eTmz6FQkdxQ

Partiendo del contenido visual elaborado en la primera propuesta, se crearon tres videos más como una segunda propuesta, con la finalidad de incorporar audio manteniendo la música ambiental de fondo a un volumen adecuado. Estos audios visuales mantienen la misma esencia que los primeros en cuestión de contenido, los aspectos que se cambiaron se presentan a continuación:

- El formato de las diapositivas cambio, con el propósito de tener un mejor rendimiento en el espacio
- Tomando en cuenta las herramientas didácticas de mayor impacto, para cada uno de los principios, tanto de la Química Verde como de la Ingeniería Química Verde, se elaboraron mapas mentales con las principales características que los definen, de esta manera el estudiante tiene acceso a la información de manera más sencilla
- Se reorganizo el contenido de las presentaciones, por lo que la cantidad de diapositivas disminuyo
- Si bien el número de diapositivas disminuyo, la duración de los videos visuales aumento (Tabla 8.) debido a la introducción del audio, a pesar de ello, se pretende que los audios visuales tengan una mejor experiencia educativa y que la comprensión del contenido sea más eficiente.

Tabla 8. Duración de los videos de la primera y segunda propuesta

Nombre	Introducción a la Química Verde	Los 12 principios de la Química Verde	Los 12 principios de la Ingeniería Química Verde
Primera Propuesta	6:41 min.	23:48 min.	19:27 min.
Segunda Propuesta	11:39 min.	32:37 min.	29:54 min.

Las Figuras 4 y 5 muestran imágenes de los videos de la primera y segunda propuesta.



Temario

- 1.0. Introducción a la Química Verde
- 1.1. Historia de la química Verde
- 1.2. Ideas fundamentales de la Química Verde
- 2.0. Principios de la Química Verde

Principio 1. Prevención

Es mejor prevenir el desecho que tratarlo o limpiarlo cuando ya existe.

*Cómo la química verde difiere de limpiar la contaminación
La química verde reduce la contaminación en su origen al minimizar o eliminar los peligros de las materias primas químicas, reactivos, solventes y productos.*

• Anastas, Paul T. (2018) The Green ChemisTREE: 20 years after taking root with the 12 principles. Green Chemistry, Volume 20, p 1929.



Principio 12. Renovable más que agotable

Aunque este criterio parece obvio y lógicamente obligado por el concepto de sostenibilidad (solamente de fuentes renovables cabe esperar un suministro suficiente para las generaciones futuras, es decir, sostenible), hoy más que nunca es necesaria una ponderación cuidadosa de lo que significa realmente "renovable" a escala de tiempo humano, puesto que sin duda lo que vuelve no renovable el consumo de un recurso no es sólo su naturaleza, sino también el ritmo de ese consumo en relación con la velocidad de regeneración por la Naturaleza.



Figura 4. Imágenes de la primera propuesta del material visual.



Figura 5. Imágenes de la segunda propuesta de los audios visuales.

3.3 Estudios de caso aplicados a la Química e Ingeniería Química Verde

La segunda herramienta didáctica que se desarrollo es un cuaderno de apuntes con estudio de casos incluidos, los cuales Mejía y demás autores (2013), los definen de la siguiente manera, “el método de caso (MdC) también llamado como análisis o estudio de caso(s), es un modo de enseñanza particular a través del cual se suscita el proceso de aprendizaje con base en situaciones y experiencias de la vida real profesional”.

El objetivo del cuaderno de apuntes es que el estudiante tenga acceso a la información que se estudia y se enseña en el primer módulo del curso de 120 horas de manera sencilla y práctica en cualquier momento que lo necesite, las características del cuaderno de apuntes son las siguientes:

- El cuaderno de apuntes cuenta con los mismos mapas mentales que se utilizaron en el material visual para cada principio de la Química e Ingeniería Química Verde
- Incluye como ejemplos aplicaciones de cada principio, en forma de esquemas y figuras para su mejor comprensión
- El cuaderno de apuntes consta de 82 hojas, de las cuales se desarrollan todos temas del primer módulo del programa propuesto
- A partir del estudio del cuaderno de apuntes, se pretende que el estudiante analice de forma integral el estudio de casos que se presentan
- La información presentada en el cuaderno de apuntes se obtuvo de textos académicos de universidades, centros, institutos, organizaciones y revistas de prestigio con experiencia en el tema de Química e Ingeniería Química Verde.

Es importante resaltar que el cuaderno de apuntes fue elaborado en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático y la Facultad de Química de la UNAM, con los siguientes autores: Rodríguez Arroyo Astrid, Andraca Ayala Gema Luz, Gutiérrez Lara Ma. Rafaela, Gavilán García Irma Cruz y García Reynoso José Agustín.

Algunas imágenes del cuaderno de apuntes se presentan en la Figura 6.



1.1

Conceptos básicos de la Química Verde.

Los químicos e ingenieros dedicados al desarrollo de productos y procesos químicos nunca se han propuesto causar daños al ambiente o la salud humana. Sin embargo, a causa del desarrollo de estos productos y procesos han ocurrido daños, esto se debe principalmente a la falta de conocimiento, especialmente de los efectos a largo plazo de los productos que ingresan al ambiente y posiblemente de una excesiva dependencia de los procedimientos para garantizar que las operaciones se realicen de manera segura. El desafío para la industria química en el siglo XXI es continuar brindando los beneficios en los que confiamos, de una manera económicamente viable, pero sin los efectos secundarios ambientales adversos. Esto se puede lograr mediante el desarrollo de productos más benignos para el ambiente utilizando procesos y materias primas menos peligrosos. Dado que el calentamiento global es aceptado como el mayor desafío ambiental que enfrentamos, la industria química también debe desarrollar procesos más eficientes energéticamente y reducir su dependencia de los combustibles fósiles. En particular, los productos como los aditivos de combustible y el aislamiento juegan un papel importante para ayudar a avanzar hacia una sociedad con menos carbono (Lancaster, 2016).

«¿Qué es la Química Verde?»

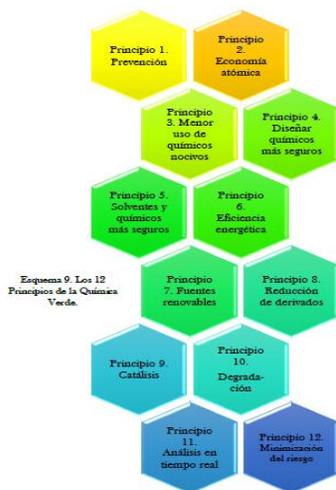
Se centra en el diseño de productos y procesos químicos que implica la reducción o eliminación de sustancias peligrosas para las personas y/o ambiente.



Figura 1. La Química Verde.

CUADERNO DE APUNTES DE QUÍMICA VERDE E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

9



Esquema 9. Los 12 Principios de la Química Verde.

CUADERNO DE APUNTES DE QUÍMICA VERDE E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

20

1.4.1. PRINCIPIO 1. PREVENCIÓN

Es mejor prevenir el desecho que tratarlo o limpiarlo cuando ya existe.



Esquema 10. Principio 1. Prevención.

Si una tecnología reduce o elimina los químicos peligrosos utilizados para limpiar contaminantes ambientales, esta tecnología calificaria como una tecnología de química verde. Un ejemplo es reemplazar un absorbente seguro con un absorbente efectivo, pero no peligroso. El uso del absorbente no peligroso significa que el absorbente peligroso nunca se fabrica y, por lo tanto, la tecnología de reemplazo cumple con la definición de química verde.

Para prevenir el desecho, algunas estrategias son:

- Síntesis en un reactor (One pot synthesis): Simplificación de procesos de síntesis (generalmente orgánica), para reducir el número de reactores necesarios, y el consumo energético y de materia prima que conllevan.
- Intensificación de procesos.
- Reducción del tamaño de los equipos, el consumo energético, o la cantidad de materia sin sacrificar la productividad.
- Reutilización de los residuos como materia prima.

CUADERNO DE APUNTES DE QUÍMICA VERDE E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

21

1.5

Los 12 principios de la Ingeniería Química Verde.

Mientras que la Química Verde se define como el "diseño de productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso y generación de sustancias peligrosas", la Ingeniería Química Verde, tiene un alcance más amplio, definiéndose como el "diseño, comercialización y uso de procesos y productos, los cuales son técnicos y económicamente viables a la vez que minimizan: 1) la generación de contaminación en origen y 2) el riesgo para la salud y el medioambiente", por lo que tiene clara vocación de aplicarse a la industria en general y a todas las fases del manejo de productos de consumo. No obstante, estos fundamentos de ambos movimientos poseen análsis en la aplicabilidad a la etapa de diseño, lo cual es lógico puesto que en esta fase quedan cerrados muchos de los aspectos más importantes de la comercialización y el uso (Gleason, 2008).

En este apartado se examinan algunos aspectos de ingeniería del desarrollo de procesos verdes. El uso de estas tecnologías puede conducir a procesos más seguros, más limpios y más rentables.



Figura 41. Ingeniería Química Verde.

Estos 12 principios se presentan y comentan a continuación:

CUADERNO DE APUNTES DE QUÍMICA VERDE E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

49

Figura 6. Imágenes del cuaderno de apuntes del primer módulo "Conceptos básicos en Química e Ingeniería Química Verde".

El contenido del estudio de casos aborda una introducción y temas relacionados, seguidamente se analizan, tal como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Contenido del estudio de casos

Tema		Objetivo académico
1	Introducción	Conocer el contexto del problema de la química verde y el papel que los químicos juegan
2	Análisis de producto	Estudiar el impacto de un producto y su ciclo de vida
3	Resolución de problemas inicios	Examinar que es un problema inicios así como el alcance de su solución
4	Estrategias de diseño heurístico	Analizar ejemplos de diseños heurísticos aplicados a la ingeniería
5	Hacia una sinergia ambiental	Comprender el termino de sinergia ambiental y su alcance
6	Simbiosis industrial	Conocer la simbiosis industrial y su aplicación a la química verde
7	Estudio de Casos	El objetivo del estudio de casos es que el estudiante identifique los principios de la Química Verde y de la Ingeniería Química Verde, con los cuales están fundamentados. Para determinar la elección de cada estudio de caso se tomaron en cuenta factores que están directamente relacionados con los principios de la Química Verde y de la Ingeniería Química Verde, por ejemplo, eficiencia energética, fuentes renovables, prevención, uso de sustancias más seguras, catálisis, etc.

El estudio de casos analizados son los siguientes y su estructura se presenta en la Tabla 10:

1. Empleo de disolventes verdes: líquidos iónicos
2. Tinción de tela
3. Producción de metilformato a partir de CO₂
4. Oxidación fotocatalítica de ácido fórmico asistida fotocatalítica y electroquímicamente empleando películas de TiO₂ bajo radiación UVA y UVB
5. Biocombustible de 2-butiltetrahidrofurano a partir del flujo continuo de hidrogenación y desoxigenación de furfuralacetona
6. Síntesis de amoníaco con una reacción plasma / líquido en presencia de luz UV.

Tabla 10. Estructura del estudio de casos

Tema		Objetivo académico
1	Introducción	Muestra el panorama en el cual se desenvuelve el caso
2	Problema	Plantea el inconveniente de utilizar una sustancia, una síntesis, una técnica o un método existente que provoca consecuencias negativas
3	Solución	Ofrece una respuesta comprobada (a microescala en algunos casos) a la problemática con la característica de poseer alguno de los principios de la Química e Ingeniería Química Verde
4	Ventajas	Señalan todas las virtudes de implementar la nueva propuesta, ya sea en el ámbito ambiental, salud, económico, etc.
5	Observaciones	Hacen hincapié en aquellas cuestiones no resueltas abiertamente en los artículos analizados, por ejemplo, hay estudio de casos en donde no se especifica si la solución se pueda llevar a cabo a nivel industrial o solamente es aplicable en laboratorios
6	Principios identificados	El estudiante analiza e identifica todos los principios de la Química e Ingeniería Química Verde implicados en la solución propuesta.

En la Figura 7 se muestra un ejemplo del formato del estudio de casos.

Estudio de Casos



Objetivo: Estudiar e identificar las aplicaciones de los 12 principios de la Química Verde y los 12 principios de la Ingeniería Química Verde por medio de estudio de casos.

8

Estudio de Caso 2: Teñido de tela

En la elaboración de tela, en la tintorería se da uno de los procesos más contaminantes y demandantes del agua que es el teñido, ya sea que se emplea tinte con colorantes dispersos y en procesos discontinuos. Donde se pueden tener varias etapas como el blanqueo, teñido, lavado reductivo, neutralizado, jabonado, etc. La tintorería que es el conjunto de procesos químicos que permiten a un sustrato obtener un color.

Introducción

En el proceso de tinción de tela se requiere que el color sea absorbido por las fibras de la tela para ello se emplean colorantes que se disuelven en agua, empleando emulsificantes y dispersantes, igualantes, secuestrantes, ácidos y bases débiles para que el colorante se fije en la tela.

Una gran cantidad de agua se emplea para el proceso de tintorería.

Existen tratamientos de agua que pueden hacer que parte de esta se recicle.



Figura 63. Teñido de tela.

Problemas

- Descargas de aguas residuales.
- Residuos de lodos del tratamiento de agua.

Soluciones

- Empleo de CO₂ supercrítico para el teñido.

Ventajas

- El uso de agua para proceso de teñido es cero.
- Se emplean colorantes puros.
- No hay descargas de aguas residuales.
- Disponible a escala industrial.
- Eficiencia energética.
- Bajos costos de proceso.

Observaciones

- Existirán textiles que no se pueden usar mediante esta tecnología.

Principios identificados

Tabla 7. Principios de la Química Verde. Estudio de caso 2.

Principios de Química Verde
Principio 1. Prevención Es mejor prevenir el desecho que tratarlo o limpiarlo cuando ya existe.
Principio 6. Eficiencia energética Hay que diseñar los procesos (calentamiento, enfriamiento, separación...) para reducir el consumo de energía. Pueden usarse nuevas técnicas para acelerar las reacciones (microondas, ultrasonidos).
Principio 10. Degradación Diseñar productos químicos para que al final de su función, se degraden en el medioambiente formando productos inocuos.

Tabla 8. Principios de la Ingeniería Química Verde. Estudio de caso 2.

Principios de Ingeniería Química Verde
Principio 1. Inherente más que circunstancial Los diseñadores deben esforzarse por asegurar que todas las entradas y salidas de materia y energía sean tan inherentemente inocuas como sea posible.
Principio 2. Prevención en vez de tratamiento Es mejor prevenir la contaminación que tratar o limpiar el residuo ya producido.
Principio 4. Maximizar la eficiencia Los productos, procesos y sistemas deberían diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia, energía y espacio.

Figura 7. Imágenes de las secciones del estudio de casos.

4 ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO INTERSEMESTRAL SOBRE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA VERDE

La Facultad de Química en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM impartieron un curso intersemestral Introdutorio de Química e Ingeniería Química Verde, el primer curso se impartió de forma presencial del 13 al 17 de enero de 2020 en las instalaciones de la Facultad de Química y posteriormente se volvió a impartir de manera online, derivado de la contingencia sanitaria mundial, del 22 de junio al 3 de julio del mismo año en la plataforma de Zoom dirigido por la Facultad de Química.

4.1 Programa del curso “Introducción a la Química e Ingeniería Química Verde”

El contenido de ambos cursos cubre los temas básicos y más relevantes de la Química e Ingeniería Química Verde, con la finalidad de que el estudiante conozca y sea capaz de identificar los principios de ambas filosofías, a su vez, estos cursos pretenden que el estudiante sea consciente de los problemas ambientales existentes y tenga las habilidades necesarias para darles solución y de esta manera alcanzar el desarrollo sostenible. El curso presencial y el curso online fueron iguales en cuestión de contenido, el cual se muestra en la tabla 11.

A partir del curso presencial, se elaboraron las herramientas didácticas anteriormente mencionadas, en ellas, se reúnen todo el contenido del curso intersemestral añadiendo aquellos temas propuestos para cubrir el primer módulo del curso de 120 horas. Así mismo, el estudio de casos que están incluidos en el cuaderno de apuntes son los analizados durante el curso presencial y posteriormente en el curso online intersemestral.

Tabla 11. Contenido del curso intersemestral

Contenido de la unidad	Descripción	Duración
1. Introducción a la Q.V. 1.1. Historia de la Q.V. 1.2. Ideas fundamentales de la Q.V.	Aprender los temas básicos y fundamentales de la Q.V.	4h
2. Química Verde 2.1. Principios de la Q.V. 2.2. Ejemplos de aplicaciones	Conocer los principios y aplicaciones de la Q.V.	4h
3. Ingeniería Química Verde 3.1. Principios de la I.Q.V. 3.2. Ejemplos de aplicaciones	Entender principios y aplicaciones de la I.Q.V.	4h
4. Estudio de Casos Prácticos 4.1. Estudio de caso 1 4.2. Estudio de caso 2 4.3. Estudio de caso 3 4.4. Estudio de caso 4 4.5. Estudio de caso 5 4.6. Estudio de caso 6	A partir del marco teórico los estudiantes analizan en equipo un estudio de caso, identificando los principios de la Q.V e I.Q.V. y exponen sus resultados.	8h

4.1.1 Características generales de los cursos

A pesar de que ambos cursos presentaron el mismo contenido, hubo diferencias, todas ellas muestran en la tabla 12.

La diferencia que existe entre las horas efectivas de enseñanza-aprendizaje entre el curso presencial y el curso online, se debe principalmente a la interacción entre el alumno y el docente. En el curso presencial los estudiantes tuvieron más oportunidad de participar durante las sesiones, por el contrario, en las sesiones online los estudiantes tenían más dificultades para participar e integrarse de manera satisfactoria a la clase, esto se debe a que no conocen la manera más efectiva de expresarse, ya sea por falta de tiempo para estructurar sus respuestas o por no interrumpir la participación de los ponentes, además en las sesiones virtuales se pierde la comunicación no verbal, la cual es sumamente importante para conocer el estado de interés de los estudiantes. Sin embargo, ambos cursos cubrieron en su totalidad el programa y se analizaron estudios de casos.

Es importante mencionar que el número de solicitudes para ingresar a ambos cursos fue desigual, por un lado, en el curso presencial se recibieron 59 solicitudes, de las cuales se aceptaron a 25 alumnos de diversas carreras de la Facultad. Por otro lado, en el curso online se recibieron 90 solicitudes y se aceptaron a 19 alumnos. Para el curso en línea se realizó una selección en base al semestre que cursarían los alumnos en el próximo ciclo, que asignaturas relacionadas al tema ya habían cursado y la carrera del alumno. Este panorama dice que el curso online tuvo una mayor demanda con respecto al curso presencial, sin embargo, por la modalidad de enseñanza en las aulas virtuales se aceptaron menos alumnos. La diferencia en el número de alumnos que solicitaron asistir al curso en línea respecto al curso presencial puede ser debida a que la publicación del curso se dio en la página oficial de la Facultad de Química dentro de una serie de ofertas de cursos en línea en el periodo intersemestral.

Tabla 12. Características del curso presencial vs curso online

Características	Curso Presencial	Curso Online
Medio de difusión	Facebook, invitación presencial por parte de los docentes	Página de la Facultad de Química
No. de docentes	4	3
No. de alumnos por carrera y totales		
Ing. Química	17	19
QFB	2	0
Química	6	0
Alumnos inscritos	25	19
Alumnos desertores	4	2
Duración (semanas)	1	2
Horario	9:00-14:00	9:00-11:00
Horas totales	25	12
Horas efectivas	20	12

4.2 Evaluación de los cursos impartidos sobre Química e Ingeniería Química Verde

Al finalizar cada curso, se les solicitó a los estudiantes que realicen un cuestionario sobre su experiencia en el curso, donde mencionen aquellos factores de mejora para cursos futuros.

4.2.1 Curso presencial

Examinando los resultados del cuestionario diagnóstico anónimo del curso presencial, se llegó a las siguientes premisas de acuerdo con el nivel de coincidencia de los alumnos:

- Sugieren seguir impartiendo este tipo de cursos con la diferencia que su duración sea más prolongada
- Agradecieron la dinámica de los ponentes, ya que fomentaban la participación del grupo
- Recomendaron el uso de mayor estudio de casos
- Proponen que se incluyan temas que hablen de la oportunidad laboral y ver la factibilidad de la Q. e I.Q.V. en la industria con estudio de casos reales en la industria mexicana
- Agradecieron a los ponentes por impartir este tipo de cursos ya que fomenta la concientización de los problemas ambientales actuales
- El impacto que tuvieron las redes sociales en la difusión del curso fue relevante.

4.2.2 Curso online

Por otro lado, en el curso online se llegaron a las siguientes premisas:

- Aumentar la cantidad de material didáctico, evitando textos largos durante las presentaciones, así mismo, fomentar el dinamismo durante las sesiones
- Aumentar la duración del curso, así como, ampliar el contenido de este
- Se sugiere que se mantengan las cámaras encendidas de todos los integrantes, con la finalidad de tener una mayor interacción
- La forma más eficaz para fomentar la participación fue llamando a los alumnos por su nombre y preguntándoles directamente

- Aconsejan que los docentes tengan un mayor dominio de la plataforma donde se desarrolló el curso, además de compartir el material presentado en las sesiones
- Al tener diferentes docentes las sesiones eran más enriquecedoras, ya que se conocían diferentes puntos de análisis de un mismo problema
- Tener como invitados a las sesiones a personas capacitadas que estén inmersas dentro del área de la Q. e I.Q.V. con la finalidad de conocer su experiencia
- Recomiendan que los ponentes compartan el material presentado durante las sesiones ya que no poseen las herramientas necesarias de aprendizaje a su alcance.

4.3 Programa Propuesto

Tomando como punto de partida la evaluación de ambos cursos, presentaron algunas semejanzas en los resultados, las cuales están enfocadas hacia los siguientes puntos:

- Aumentar la duración del curso
- Analizar más casos de estudio relacionados a la industria química
- Ampliar el contenido del curso con temas que hablen sobre la oportunidad laboral y temas afines
- Compartir el material presentado en las sesiones y aumentar la cantidad de material didáctico para que los alumnos puedan consultar los temas vistos en clase en cualquier momento.

Atendiendo las necesidades mencionadas en la evaluación, se propone un nuevo programa para el curso intersemestral, el cual mantiene la misma esencia y solamente aumenta el contenido cambiando su estructura y la duración, dicho programa se presenta en la tabla 13.

Para la elaboración del programa se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

- El módulo uno se mantiene igual solamente se añadió el tema de “Objetivos de Desarrollo Sostenible”.

- El módulo dos y cuatro, mantienen el mismo contenido de la Química e Ingeniería Química Verde, cambiando solamente las aplicaciones por un análisis de un estudio de caso a nivel grupal del área en cuestión.
- Después de haber visto los principios de la Q. e I.Q.V. los módulos tres y cinco, plantean estudio de casos analizados en equipos por los estudiantes dependiendo de la sesión correspondiente.
- El módulo seis, atiende a la inquietud de los estudiantes sobre las oportunidades laborales de la Q. e I.Q.V. en la industria, así como temas afines.

Con relación a las herramientas didácticas mencionadas por los alumnos, tanto los videos visuales como el cuaderno de apuntes con estudio de casos, se ajustan al temario mencionado, abarcando la parte teórica de los módulos uno, dos y cuatro, además con el estudio de casos los estudiantes pueden conocer ejemplos para su análisis y así, proyectarlos en los módulos tres y cinco.

La duración del programa propuesto es de 15 horas efectivas, si bien aumentó la duración del curso respecto a la sesión online, se observó una disminución en la duración para la sesión presencial. Es de relevancia tener en cuenta que es un curso introductorio, ante lo cual, aumentar más horas su duración implicaría tener más temas que enseñar y más estudio de casos que analizar, por lo que perdería su enfoque introductorio.

Por último, se pretende que el programa propuesto sea viable tanto en cursos presenciales como para los de en línea, de la misma forma, con ayuda de las herramientas didácticas el estudiante tendrá mejores oportunidades de aprendizaje en cualquier tipo de curso.

Tabla 13. Programa propuesto para el curso intersemestral

No.	Contenido	Duración
1	1. Introducción a la Química Verde 1.1. Historia de la Química Verde y del Desarrollo Sostenible 1.2. Ideas fundamentales de la Química Verde 1.3. Objetivos de Desarrollo Sostenible	2:30h
2	2. Química Verde 2.1. Principios de la Química Verde 2.2. Análisis de estudio de caso grupal de la Química Verde	2:30h
3	3. Análisis de estudio de casos por equipo de Química Verde 3.1. Estudio de caso 1 3.2. Estudio de caso 2 3.3. Estudio de caso 3 3.4. Estudio de caso 4 3.5. Estudio de caso 5 3.6. Estudio de caso 6	2:30h
4	4. Ingeniería Química Verde 4.1. Principios de la Ingeniería Química Verde 4.2. Análisis de estudio de caso grupal de la Ingeniería Química Verde	2:30h
5	5. Análisis de estudio de casos por equipos de Ingeniería Química Verde 5.1. Estudio de caso 1 5.2. Estudio de caso 2 5.3. Estudio de caso 3 5.4. Estudio de caso 4 5.5. Estudio de caso 5 5.6. Estudio de caso 6	2:30h
6	6. Barreras y caminos de la Química e Ingeniería Química Verde 6.1. Desafíos económicos-tecnológicos 6.2. Oportunidad laboral nacional e internacionalmente dentro de la Química e Ingeniería Química Verde	2:30h
Total de horas: 15:00		

5 CONCLUSIONES

La filosofía de la Química Verde y de la Ingeniería Verde adaptada como Ingeniería Química Verde han tenido grandes avances a través de los años, si bien aún queda un largo camino que recorrer, es admirable sus primeros pasos, es este trabajo, donde su finalidad es proporcionar herramientas didácticas a un curso de 120 horas, coadyuva a difundir ambas filosofías y de esta manera contribuir al desarrollo sostenible. De acuerdo con los objetivos planteados, todos ellos fueron cumplidos en su totalidad, concluyendo lo siguiente:

- El objetivo principal fue la elaboración de herramientas didácticas, las cuales consisten en material visual y un cuaderno de apuntes con estudio de casos. Fueron diseñadas de acuerdo con la culminación gradual de los objetivos particulares, donde se busca, que sean atractivas y de fácil acceso para un curso presencial o en su defecto un curso online.
- El programa propuesto para el curso de 120 horas reúne los temas más destacados de diferentes Maestrías, Diplomados y cursos con certificaciones de institutos de prestigio, gracias a la matriz comparativa que permitió colacionarlos.
- Los requisitos académicos para un diplomado fueron obtenidos a través de la DGAPA, abarcando las características generales, los requisitos del profesorado y coordinadores para generar una propuesta factible.
- Las herramientas didácticas seleccionadas fueron una libreta de apuntes con estudio de casos y material audio visual tomando como referencia el contenido y las necesidades de los alumnos.
- Los resultados de la evaluación del cuestionario diagnóstico del curso intersemestral presencial y en línea se tomaron como base para la propuesta del programa de estudios del curso intersemestral cubriendo las inquietudes del alumnado.

6 ANEXOS

6.1 Anexo I. Declaración de Sandestin: 9 principios de la ingeniería verde

La Declaración de Sandestin.

1. Diseñar procesos y productos de manera integral, utilizando análisis de sistemas e integrar herramientas de evaluación de impacto ambiental
2. Conservar y mejorar los ecosistemas naturales mientras se protege la salud y el bienestar humano
3. Utilizar el análisis de ciclo de vida en todas las actividades de ingeniería
4. Asegurar que todas las entradas y salidas de materiales y energía sean tan inherentemente seguras y benignas como sea posible
5. Minimizar el agotamiento de los recursos naturales
6. Evitar el desperdicio lo mayor posible
7. Desarrollar y aplicar soluciones de ingeniería, teniendo en cuenta la geografía, las aspiraciones y las culturas locales
8. Crear soluciones de ingeniería más allá de las tecnologías actuales o dominantes; mejorar, innovar e inventar (tecnologías) para lograr la sostenibilidad
9. Involucrar activamente a las comunidades y las partes interesadas en el desarrollo de soluciones de ingeniería. (*Green Chemistry Institute ACS, 2020*).

REFERENCIAS

- Anastas, P., & Zimmerman, J. (2003, marzo 1). Through the 12 Principles Green. *Environmental Science & Technology*, 37 (5), 94A–101A. Recuperado de <https://doi.org/10.1021/es032373g>.
- American Chemical Society Green Chemistry Institute. (2020). *Sandestin Declaration: 9 Principles of Green Engineering|Green Chemistry| US ACS*. Retrieved from https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/sandestin-declaration-9-principles-of-green-engineering.html?fbclid=IwAR0xTcDcrZ9NchzzJ-o_F2INAItF8rxDXsgYo7S1BvR2Z1m_6TWCkn1OKo
- American Chemical Society Green Chemistry Institute. (2020). *12 Principles of Green Engineering|Green Chemistry| US ACS*. Retrieved from <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-design-principles-of-green-engineering.html?fbclid=IwAR1GuFAWSFTK5fkXI4KMq8UcR6XYkrA7IILkU82m95tGgXL0qo3ZIGjmDYs>
- Anastas, P., & Warner, J. C. (2000). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11(2), 1-2. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/9827>
- Bojo, J., Maler, K.G. & Unemo, L. (1990). *Environment and development: an economic approach*. Dordrecht. Kluwer.
- Carnegie Mellon University. (2015). *Introduction to Green Chemistry | Learning Green The Institute for Green Science*. Retrieved from http://igs.chem.cmu.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=515
- Carpenter, S.R. (1991). Inventing Sustainable Technologies. Ed: J. Pitt y E. Lugo, *The Technology of Discovery and the Discovery of Technology. Proceedings of the Sixth International Conference of the Society foR Philosophy and Technology*. Blacksburg.
- Castro, P., Nerlis P., Olivero, V. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. , 21(2). Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440009.pdf>
- Cursos Gratuitos. (2016). *Curso Gratuito Experto en Química Sostenible | Euroinnova Business School, Escuela Superior de Cualificaciones Profesionales*. Retrieved from <https://cursosgratuitos.es/curso-gratuito-experto-en-quimica-sostenible/>

- Doménech, J. L., (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Génova, Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, 17-18.
- de la Fuente, D., Hernández, M., Pra, I. (2013). El mini video como recurso didáctico en el aprendizaje de materias cuantitativas. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 16(2), 177-179. Recuperado de <http://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/9911>
- González, M., J., C. (2008). TIC y la transformación de la práctica educativa en el contexto de las sociedades del conocimiento. *Universities and Knowledge Society Journal*, 5(2), 1-4. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78011201003>
- Lancaster, M. (2016). *Green Chemistry: An introductory Text*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- Leuphana University Luneburg. (2020). *Máster Profesional en Química Sostenible (M.Sc.) | Keystone Master Studies*. Retrieved from [https://www.master-maestrias.com/M%C3%A1ster-Profesional-en-Qu%C3%ADmica-Sostenible-\(M.Sc.\)/Alemania/Leuphana-University-Luneburg/](https://www.master-maestrias.com/M%C3%A1ster-Profesional-en-Qu%C3%ADmica-Sostenible-(M.Sc.)/Alemania/Leuphana-University-Luneburg/)
- Mejía O., García, A., García, A. (2013). *Técnicas didácticas: método de caso clínico con la utilización de video como herramienta de apoyo en la enseñanza de la medicina*. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 45(2), 29-38. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-08072013000200005&script=sci_abstract&tlng=es
- Mestres, R. (2013). *Química sostenible: naturaleza, fines y ámbito*. *Educación Química*. 24(1): 103-112. doi: 10.1016/S0187-893X(13)72503-5
- Museo Interactivo de Economía. (2020). *Diplomado de Sustentabilidad Aplicada. | Educación MIDE Fideicomiso del Espacio Cultural y Educativo Betlemitas MIDE*. Retrieved from <https://www.mide.org.mx/diplomado-de-sustentabilidad-aplicada/>
- Naciones Unidas. (2002, agosto 26-septiembre 4). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo | Cumbre de Johannesburgo 2002 | Naciones Unidas CNUMAD*. Retrieved from <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Naciones Unidas México. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Naciones Unidas*. Recuperado de <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>
- Naredo, J.M. (1990). *Los recursos naturales y la alimentación humana*. Conferencia en el Curso Internacional de Estrategia y Planificación Alimentaria. MAPA. Madrid.
- Pastor, R., P. (2019). *Herramientas didácticas orientadas al estudiante y el rendimiento académico*. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Recuperado de <http://repositorio.upch.edu.pe/handle/upch/7310>

- Pérez, M. (2013). *El video: herramienta de asimilación de contenidos en el aula de clase*. Revista de Tecnología, 12(1), 67-68. Recuperado de <https://doi.org/10.18270/rt.v12i1.721>
- Rappoport, S., Rodríguez, M., Bressanello, M. (2020). *Enseñar en tiempos de Covid-19 Una guía teórico-práctica para docentes*. UNESCO Biblioteca Digital, UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373868?__FB_PRIVATE_TRACKING__=%7B%22loggedout_browser_id%22%3A%22c81c5d29f760c82e5f999c9eb6dac3df3ba17f42%22%7D
- Redclift, M. (1987). *Desarrollo sostenible: ampliación del alcance del debate*. Universidad de Londres, Departamento de Medio Ambiente Wye College.
- Restrepo, E., Nieto, L., Guzmán, L., Gómez, M., Ahumada, V., Puentes, E., Meneses, R., Guerrero, J., Vela, P. (2013). *Metodologías, Estrategias y Herramientas Didácticas Para el Diseño de Cursos en Ambientes Virtuales de Aprendizaje en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*. Universidad Nacional abierta y a Distancia UNAD. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/323756835>
- Shiva, V. (1989). *Staying Alive: Women, Ecology and Development*. Zed Books, London.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018, julio 24). *Diferencia entre sustentable y sostenible | Gobierno de México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016, diciembre 11). *Protocolo de Kioto sobre cambio climático | Gobierno de México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es>
- The George Washington University. (2020). *MS in Environmental & Green Chemistry | Department of Chemistry Columbian College of Arts & Sciences*. Retrieved from <https://chemistry.columbian.gwu.edu/ms-environmental-green-chemistry>
- United States Environmental Protection Agency. (2017, marzo 21). *Basics of Green Chemistry | Green Chemistry | US EPA*. Retrieved from <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry#ppa>
- United States Environmental Protection Agency. (2017, enero 19). *Pollution Prevention Act of 1990 | Pollution Prevention | US EPA*. Retrieved from <https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-act-1990>
- Universidad de Castilla-La Mancha. (2009). Los estudios de posgrado en Química Sostenible en España | *Educación Química Espacio Europeo de Educación Superior*,

20(4), 405-411. Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300430>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2021). *Diplomados de Licenciatura Reglas de Operación 2021 | Secretaría General | Dirección General de Asuntos del Personal Académico | Dirección de Apoyo a la Docencia | Programa de Actualización y Superación Docente | Diplomados de Licenciatura*. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwiDoLep15DwAhUGSa0KHYaCBMsQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fdgapa.unam.mx%2Fimages%2Fpasd%2F2021_pasd_licenciatura_diplomados_reglas_operacion.pdf&usg=AOvVaw1lo6e4q7-5p51b6CT5xr2c

University of Amsterdam. (2020). *P Chemistry: Science for Energy and Sustainability | Study programme*. Retrieved from <https://www.uva.nl/en/programmes/masters/chemistry-science-for-energy-and-sustainability/study-programme/study-programme.html?origin=5BOaRAofTjCccATraJp2XA&cb>

University of York. (2020). *MSc Green Chemistry and Sustainable Industrial Technology | Postgraduate taught Department of Chemistry*. Retrieved from https://www.york.ac.uk/study/postgraduate-taught/courses/msc-green-chemistry-sustainable-industrial-tech/#content_modules