



Ingeniería Verde Aplicada, hacia la Evolución Sostenible de los Sistemas de Producción Industrial

Applied Green Engineering, towards the Sustainable Evolution of Industrial Production Systems

Medina Villa, Geris Itzel
Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería
Geris.medina@up.ac.pa
ORCID.ORG/0000-0003-2278-2085

Recibido:8/3/2020 Aceptado: 20/10/2021 Publicado: 7/2022

Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica

Resumen

Este artículo tiene como objetivo aplicar los conceptos sostenibles de la ingeniería verde en los diseños de sistema de producción industrial para el logro de su gestión sostenible. Dentro de las tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental, el modelo de desarrollo puede calificarse como sostenible, si es viable económicamente, justo o equitativo desde un punto de vista social y soportable en el tiempo desde un punto de vista ambiental. Por medio de la identificación de los conceptos de carácter sostenible relacionados a los procesos que convergen en los diseños de sistemas de producción industrial, la revisión de los factores responsables de su evolución hacia una gestión sostenible y finalmente, la demostración de su vinculación sostenible de acuerdo con el cumplimiento de los principios de la Ingeniería Verde. Con los elementos de la Ingeniería Verde, se desarrollará la propuesta que concluye que, para garantizar el cumplimiento de sostenibilidad de los sistemas de producción, es obligatorio que las empresas productoras apliquen una hoja guía como herramienta para

calificar si el diseño del sistema de producción es sostenible, basados en los principios de ingeniería verde en cada etapa decisiva de su diseño, basados en este resultado, puede implementar un sistema óptimo y efectivo que permita administrar y mejorar su gestión, operación y valorar el producto con atributos sostenibles. El artículo expondrá y analizará los conceptos aplicables a los indicadores de sostenibilidad en el proceso de los diseños de sistemas de producción industrial y su relación con la ingeniería verde, desde un enfoque práctico cualitativo descrito en una hoja guía como herramienta calificadora de cualidades de sostenibilidad definidas desde los principios de ingeniería verde en un diseño de sistema de producción.

Palabras clave: Ingeniería Verde, Procesos industriales, Sostenible, Química verde

Abstract

This article has as purpose to apply the sustainable concepts of green engineering in the designs of industrial production systems to achieve sustainable management. Within the three dimensions: economic, social and environmental, the development model can be classified as sustainable, if it is economically viable, fair or equitable from a social point of view and bearable over time from an environmental point of view. Through the identification of the concepts of sustainable production related to the processes that converge in the designs of industrial systems, the review of the factors responsible for their evolution towards sustainable management and finally, the demonstration of their sustainable link according to with compliance with the principles of Green Engineering. With the elements of Green Engineering, the proposal will be developed that will conclude that, in order to guarantee compliance with the sustainability of the production systems, it is mandatory that the production companies apply a guide sheet as a tool to qualify whether the design of the production system it is sustainable, based on the principles of green engineering in each decisive stage of its design, based on this result, it can implement an optimal and effective system that allows managing and improving its management, operation and valuing the product with sustainable attributes. This article will expose and analyze the concepts applied to sustainability indicators in the design process of industrial production systems and

their relationship with green engineering, from a qualitative practical approach described in a guide sheet as a qualifying tool for defined sustainability qualities. from green engineering principles into a production system design.

Keywords: Green Engineering, Industrial Processes, Sustainable, Green Chemistry

Introducción

La producción industrial debe ser competitiva e innovadora en sus diseños de los procesos de producción, generando profundos cambios en los diseños de sistemas de producción para incluir nuevas tendencias económicas, tecnologías limpias, menos desechos y normas de protección ambiental. (Vargas, 2014).

Se analiza que la globalización proliferó masivamente procesos industriales diseñados a lograr satisfacer necesidades mundiales inmediatas, innovando, pero generando también otros aspectos nocivos, porque conlleva a que las industrias mundiales procesarán materias primas e insumos (con poco control de estudio, lo disponible), utilizando maquinarias diseñadas para procesar altos volúmenes de productos, sin tecnologías limpias, generando altos niveles de desechos y altos costos operativos.

Actualmente las empresas compiten con productos basados en una planeación de producción cubriendo necesidades de un segmento de mercado controlado (productos), con bajo impacto de daño al humano y a su entorno (medio ambiente-economía circular) (Zacarías, 2018), y obviamente, la obtención de un retorno de alta rentabilidad. El paquete de satisfacciones para el cliente, no era incluido como resultante de un proceso de producción basado en la mezcla de estos objetivos, esta evolución ha sido necesaria y será necesaria para controlar la cantidad a producirse y mitigar el impacto que generan las empresas productivas al medio ambiente porque cuando se logra, como indicará Adams: la empresa comprenderá el valor de sus relaciones y de los recursos y servicios que le proporciona su entorno natural para lograr un retorno rentable de sus procesos de producción. (Adams, 2015)

El entorno externo de los negocios en los cuales las empresas compiten, cambia continuamente; de igual forma, la organización necesita adaptarse también a su medio de forma permanente. (Carro Paz, 2012)

Para corregir las deficiencias de las industrias, como paliativo, se introducen algunos enfoques para el control de desechos, mejoras en los procesos de producción, gestión de calidad, tecnologías innovadoras, inclusión de energías limpias y uso de materiales de fácil desintegración o naturales, hacia la búsqueda de mayor rentabilidad y respeto social.

Para prevenir la contaminación ambiental, mejorar el ambiente y la calidad de vida, nace en 1990 la Química Verde, la cual crear conciencia en la forma de proveer bienes y servicios según el crecimiento de la población. (Soledad R., 2018). La ingeniería verde o sostenible se ha desarrollado como una extensión de la química sostenible, pretendiendo diseñar productos y procesos que minimicen la contaminación.

Así mismo como Europa, presenta resultados actualizados en las acciones hacia el logro de la sostenibilidad ambiental, América, en el 2015 los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, como hoja de ruta de desarrollo de las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas como el rol central. (cepal, s.f.).

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas presenta 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en reemplazo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) anteriormente definidos. El desarrollo y los resultados positivo de estos objetivos debe equilibrar la sostenibilidad medio ambiental, económica y social hasta el año 2030. El desarrollo sostenible encierra tres dimensiones indisociables a controlarse: la económica (rentable para sus partes), la social (justo y equitativo), y la ambiental (soportable). Siendo el 7, 9, 11 y 12 los objetivos de Desarrollo Sostenible para armonizar y alcanzar, en este caso de estudio, que las Industrias presentes dentro de los 193 Estados suscritos, logren procesos sostenibles.

En referencia a la contaminación ambiental, la legislación sobre el impacto ambiental, está basada en lograr que los Estados (a lo interno), establezcan mecanismos de control y de cumplimiento con el derecho ambiental de orden internacional, que regula y protege el derecho que les asiste a los pueblos o Estados a no ser afectados por la explotación, expoliación, degradación y contaminación de sus recursos naturales y del ambiente transfronterizo. Existen varias legislaciones de impacto ambiental suscritas por los países del mundo para lograr armonizar acciones en búsqueda del objetivo de mitigar los daños y controlar el uso de los recursos naturales.

Por lo tanto, para lograr aplicar las tres dimensiones que determinan un modelo de sostenibilidad en los sistemas de Producción Industrial se analizará y se establecerán los principios de la Ingeniería Verde que deben considerarse en la decisión de diseño de cada una de las etapas o elementos que conforman un sistema de producción industrial para calificar de manera cualitativa la categoría de sostenibilidad como una tendencia en la evolución de la ingeniería concurrente, por medio del método de identificación cualitativa de factores dentro de las etapas del diseño de producción y los principios que se han definido como de cumplimiento que corresponde a cada decisión dentro del diseño según la ingeniería verde.

Este artículo establece el proceso evolutivo de los procesos productivos hacia el enfoque sostenible, desde la conceptualización de los factores que convergen en la ingeniería verde hasta demostrar su aplicación en el diseño de los procesos de producción sostenibles, fundamental para alcanzar el logro común de prevalecer a la sociedad en un hábitat con calidad.

Se buscará responder: ¿Es la aplicación de la ingeniería verde quien logra la sostenibilidad en los diseños de los sistemas de producción industrial?

Antecedentes y fundamentos teóricos

En los inicios de los años 1900, los procesos productivos fueron realizados con un diseño de procesos de producción basados en producir para consumo en masa, luego pasa a un control operativo enfocado a reducir los costos (mayor rentabilidad), luego se enfocaron los esfuerzos por reducir los tiempos de fabricación (Cedeño F. , 2000), y lograr colocar los productos más rápidamente a los consumidores, asalariados para Henry Ford. (Cedeño & Lòpez, 2014). A su vez, ingresaron muchos más competidores propiciando un mercado más competitivo y exigiendo simultáneamente que se incrementará de manera exponencial la demanda de materia prima, insumos, maquinarias, energía y mano de obra, generando las etapas de la actualización industrial o llamadas revoluciones industriales.

Para suplir las necesidades inmediatas de las fábricas en materia prima, insumos u otros productos asociados, necesarios para un determinado proceso de producción, se requirió la creación de más productos químicos a nivel global, esto mejoró la disponibilidad inmediata de mercancía diversa para el cliente, pero también un alto consumo de recursos naturales, aunado al uso de tecnologías no limpias, situaciones que aceleraron el impacto en el medio ambiente, trayendo consigo una legislación ambiental mundial, y por supuesto, un aumento en el costo de la gestión para la eliminación de desechos.

En este momento se evidencian dos resultados de los procesos de producción, un producto que cumple los criterios de diseño o terminado y sus respectivos desechos, la calidad del producto terminado según los indicadores de calidad que se hayan definido en el diseño para satisfacer al cliente y no a la protección del medio ambiente en sí. Uno de esos indicadores los representa el factor de durabilidad y el tiempo de vida útil, estos dos factores son determinantes en el diseño del proceso porque de esto dependerá el costo y el tiempo que requiere el producto para descomponerse. (Diehl, 2007)

El suministro de la materia prima y la producción en las fábricas representan tan solo dos etapas en el ciclo de vida de un producto, su distribución, uso y requerimientos para la eliminación final del mismo agregan un valor alto en el impacto ambiental comparado con el mismo proceso de producción. El reto ambiental para el D4S es el diseño de productos que eliminen los impactos en su ciclo de vida, hoy llamado Ingeniería verde. Esta forma de pensar demuestra la magnitud de alcanzar sostenibilidad y la necesidad crítica de mejorar los procesos de producción, productos y sistemas. Para alcanzar los factores se requiere una innovación radical de productos, desde el desarrollo de productos nuevos, innovando el producto, los servicios interconectados, así como el desarrollo de diseños y sistemas de producción sostenibles. Este y otros enfoques relacionados se publicaron Design for Sustainability: a Global Guide, UNEP 2006. (Diehl, 2007)

Método

Los diseños de los procesos de producción han evolucionado en función de la incorporación de algunos conceptos sostenibles según la historia productiva que se describe como la ingeniería concurrente. A través de la identificación de conceptos sostenible relacionados a los procesos de diseños de producción y la introducción de los principios de ingeniería verde aplicables en cada etapa, se logra una gestión de diseño sostenible

categorizando en las etapas los elementos relativos a los principios de la ingeniería verde, como una tendencia en la evolución de la ingeniería concurrente porque ella propone la ejecución de tareas paralelas para lograr múltiples objetivos para diseñar en verde.

Los modelos prescriptivos tratan de persuadir u orientar a los diseñadores en las formas de realizar el proceso de diseño. Usualmente, estos métodos ofrecen un procedimiento algorítmico y sistemático a seguir y, a menudo, son considerados como un caso particular de las metodologías aplicables, por ejemplo, en un diseño.

La intención es tratar de asegurar que el problema de diseño sea totalmente comprendido, que sean tomados en cuenta los elementos más importantes y que se identifique el problema real (Cross, 2008). Estos modelos, por tanto, tienden a sugerir una estructura básica de análisis-síntesis-evaluación del proceso, en este estudio particularmente aplicado en el diseño del proceso en las industrias.

Para el desarrollo de este proyecto, se documentarán las características relativas a las decisiones en cada etapa para el desarrollo de diseños de procesos de producción sostenible y los doce principios de ingeniería sostenible o verde, a través de un método de investigación inductivo, el cual permite verificar si los procesos convergen en el diseño basado en los procesos de producción sostenible y la inclusión de las últimas herramientas propuestas en la ingeniería concurrente en los diseños de los sistemas de producción sostenible en las industrias, su enfoque será cualitativo porque a través de indicadores generales se evaluará de los diseños de sistemas productivos, de acuerdo con cualidades y elementos definidos en los diseños de sistemas de producción versus los principios de la ingeniería verde con el fin de categorizar como sostenible o no cada etapa en el diseño.

Estas características serán descritas como objetivos sostenible por alcanzar, su enfoque será cualitativo porque se evaluará cualitativamente las características de las etapas y los objetivos definidos en los principios de ingeniería verde con estas características como guía metodológica para la planeación de un diseño de producción sostenible en cada etapa en el diseño, es decir, consiste en establecer una relación coherente entre los objetivos de un diseño, los recursos, las oportunidades y los principios de la ingeniería verde, como base para gestionar el diseño del sistema productivo. (Gonzalez M., s / f)

Un diseño de producción industrial crea un producto para cumplir con una necesidad, donde se relacionan elementos, como materias primas, procesos, emisiones, equipos, consumos, embalajes, transportes, desecho, que deben estar sincronizados y controlados, es decir, bajo un sistema. (Jaèn & Villanueva, 2013)

En el diseño del sistema de producción contemplado para una planta industrial de uso a largo plazo, la gestión de las operaciones es determinante para la definición de los siguientes elementos: (udima, 2004)

- Selección y diseño del producto: la empresa, a través de su función de planificación, debe conocer su entorno competitivo y, en consecuencia, su mercado y la demanda,

así establece existen oportunidades o necesidades sin cubrir. Si ello es así, la función de I+D o el departamento de ingeniería deberá estudiar la viabilidad teórica del nuevo producto, utilizando para ello el enfoque del «análisis del valor».

- Proceso. La empresa debe decidir, según la factibilidad del producto, en términos de los costes y de los beneficios esperados, cuál será el proceso tecnológico a emplear, dentro de las alternativas conocidas y las propias características del producto. En este tipo de decisión se establecerán las clases de bienes de equipo e instalaciones que se precisan. Es decir, evaluar la inclusión de conceptos de industrias inteligentes.
- Capacidad productiva. Establecer la dimensión de acuerdo con un volumen de producción futurístico establece la capacidad que corresponde a la inversión de bienes de equipo e instalaciones técnicas, influyendo en la configuración de los costos.
- Nivel de inventarios. Conocida la capacidad productiva, determinará el nivel de los inventarios requeridos, también definirá el sistema de control y de pedido para renovar los niveles medios y de seguridad que se necesitan por el proceso productivo, considerando también aspectos de gestión para su conservación, específicamente de productos biodegradables y otro tipo atípico que se incluya.
- Localización y distribución en planta. Después de estas definiciones, se procede con la evaluación de la ubicación y del diseño de la planta industrial productiva, es decir, desarrolla el llamado lay-out o forma de distribuir y ambientar los espacios físicos para lograr la máxima productividad y un buen clima laboral para el desarrollo óptimo de las operaciones.
- Tareas y puestos. El proceso productivo y la gestión corresponde a una serie de actividades que deben ser desarrolladas en la planta y la empresa, las cuales, generan subtareas y trabajos. Para lograr el desempeño óptimo de estos, hay que establecer una estructura de valoración y generar de un compendio de tareas el detalle de puestos y también, la elaboración de un manual de funciones. Si se incluyen elementos como robots, combinación de equipos humanos y robots, deberá integrarse en el sistema los términos y línea de alcance de actividades para permitir el flujo óptimo de las operaciones evaluando los costes y rendimientos.
- Calidad. Es necesario que la empresa defina e instaure un sistema de control de la calidad para la mejora continua de la actividad productiva, estableciendo y controlando los indicadores, parámetros, estándares y demás elementos de seguimiento.
- Mantenimiento. Debe existir el plan y los procesos de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para mantenimiento de los equipos y las instalaciones y también su plan de renovación, aplicando la biomimética para mantener el rendimiento óptimo y también cumplir con una gestión sostenible.

Las técnicas que han permitido la evolución y la mejora en el desarrollo de los diseños de producción industrial se encuentran resumidas en la llamada ingeniería concurrente, la cual surge alrededor de 1980 como un medio de referencia que engloba a todas las técnicas que se vayan generando y que sean aplicables para desarrollar productos de alto valor en todas las etapas de su ciclo de vida.

El origen de la ingeniería concurrente surge alrededor de 1980 como un medio de referencia que engloba a todas las se remontan a la década de 1950, cuando Genichi Taguchi trabajó en el desarrollo de los principios del diseño robusto, que buscaba optimizar el producto desde su proceso de fabricación. En 1960, dos profesores japoneses desarrollaron otra de sus técnicas fundamentales: la calidad o el despliegue de la función de calidad (QFD por sus siglas en inglés), donde el cliente es quien dictamina el éxito del producto y con una técnica sistemática guiaba a los diseñadores a reconocer y detallar las necesidades del cliente y la meta producto, apoyado por un equipo compuesto por personas de las diferentes áreas de la empresa. En el caso del diseño para producción, se requiere la correspondencia entre las características del producto (geometría, tolerancias, materiales, volúmenes de producción) y el proceso de producción, esto lo expone el término de Ingeniería llamado el ciclo de vida (Life Cycle Engineering) que nace a finales de la década de 1980 y que define todas las etapas por las que pasa un producto y crea la llamada ingeniería concurrente.

Otra evolución registrada en la ingeniería concurrente han sido las metodologías de diseño para facilidad de mantenimiento o servicio (DFS) y el diseño para reciclado o retirado (DFR). (Riba, 2006)

La preocupación por el medio ambiente obliga a los fabricantes a responsabilizarse por el impacto ecológico de sus productos. Ante esto, los principios de la ingeniería verde, pretende encontrar el equilibrio entre la sostenibilidad y la producción y actualizar una nueva técnica para la ingeniería concurrente.

En la búsqueda de suplir productos bien fabricados y buscando la satisfacción del cliente, se introducen en los procesos de producción los sistemas de gestión de calidad, que según Online Browsing Plataforma (OBP) la describe como una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible a través de la norma 9001. (Plataform, 2015). Esta herramienta en la ingeniería concurrente representa un sistema que recoge una serie de normas y estándares que deben cumplirse para lograr la satisfacción del cliente.

El sistema de gestión de calidad exige la necesidad de documentar los procesos que realiza la empresa con el fin de establecer procesos más óptimos a través de reingenierías y se obtenga como resultado procesos más óptimos y rentables en tema de costes, manejo de desechos, tiempos y mejorar continua de la satisfacción del cliente, pero excluye en el diseño conceptos orientados a un proceso más ecológico. Las ventajas obtenidas de incluir un sistema de gestión de calidad fue la introducción de la ingeniería de procesos en la producción.

Otra variación que actualiza los diseños de procesos de producción son las metodologías tecnológicas fusionadas en las llamadas industrias inteligentes, catalogada como la cuarta etapa o revolución industrial que introduce el concepto de Industria 4.0. “Las industrias inteligentes fueron reconocidas por primera vez en la feria de Hannover de 2011 como la concepción y desarrollo de fábrica inteligente, industria que combina tecnología de automatización con tecnología cibernética” (López). Este concepto fue aplicado por primera

vez por las grandes potencias, Alemania y Estados Unidos, con el objetivo de superar en la capacidad de producción (a bajos costes), a China apalancándose con la introducción de tecnología industrial en las maquinarias y equipos de control digital, robots y uso de sistemas tecnológicos con alta conectividad para lograr altos volúmenes de productos con calidad y pocos desperdicios.

Considerando que el nivel de contaminación ambiental resultante de **los procesos industriales y el uso de productos es de un 8,7% y la gestión de residuos es de un 3,7%**, según estudio presentado en el quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), también acota que las actividades humanas de los últimos 50 años hayan contribuido al calentamiento global. ((IPCC), 2019), genera la creación de una legislación específica para el control del impacto de los resultantes de los procesos de producción en el medio ambiente y la gestión de sus desechos. Esta legislación requiere esfuerzos imperativos de vigilancia y cambios inmediatos en el tipo y uso en su totalidad de los elementos para fabricar productos, en las formas de procesamiento, específicamente la atención se centra en aquellos elementos que le proveen las características de durabilidad y su tiempo de vida.

La materia prima e insumos que permite mayor durabilidad y más tiempo de vida está basado en materiales confeccionados desde una gestión química y en su mayoría provienen de recursos no renovables, aumentando el impacto nocivo en el medio ambiente.

Con la finalidad de crecer, satisfacer al cliente, lograr el índice de rentabilidad y cumplir con la legislación del medio ambiente, las industrias están conscientes que es necesario incluir en el diseño de proceso de producción ciclos rentables, más productivos y productos con características más reutilizables, que no contaminen el ambiente y utilicen sustancias más naturales y seguras.

La proliferación de industrias en el mundo, está representada en los últimos diez años, en primer lugar, por países del oriente, China, Taiwán, Hong Kong y Corea del Sur, Unión Europea, Estados Unidos, seguido de Japón y otros, pero inicialmente liderizaba era la Unión Europea seguido de China, Taiwán, Hong Kong y Corea del Sur. Ver imagen 1.

Hoy en día, el fin de las industrias es proveer productos o subproductos casi al 100% biodegradables, reusables y seguros para el humano y su entorno. Las empresas deben gestionar este logro bajo una operación rentable desarrollada bajo un nuevo diseño de procesos enfocado a metodologías sistémicas-cibernéticas y factores ecológicos, es decir, su planeamiento y sus inversiones deben ser diseñados y ejecutados considerando las últimas herramientas propuestas por la ingeniería concurrente, como lo promueven las industrias inteligentes, ingeniería verde, química verde, ecología industrial, y biomimética. Ver imagen 2.

La ingeniería verde nace de la gestión de diseño sistemático de la llamada química verde, que tiene como objetivo gestionar el diseño de productos desde sustancias químicas con bajo impacto tóxico y alto nivel biodegradable. La ingeniería verde enfatiza acciones desde el

diseño del proceso de producción para lograr la sostenibilidad en toda la gestión de producción y el ciclo de vida del producto. Para establecer mejor el alcance de estos conceptos, se entiende a la ingeniería verde como el: *“diseño, comercialización y uso de procesos y productos, técnica y económicamente viables, que, a su vez, cumplen con el criterio de no ser contaminantes, como elemento dentro del proceso de la fabricación hasta el proceso de consumo y disposición final.”* (Gómez Cívicos, 2008)

Para aplicar la ingeniería verde se establecen doce principios, propuestos por Paul Anastas y Julie Zimmerman y publicados en Environmental Science and Technology. Indican que hay dos conceptos fundamentales que los Ingenieros deben integrar en su diseño: "el ciclo de vida y el primer principio de la ingeniería verde, la inherencia". (Camacho, Muñoz, & Freund, 2019).

1. Intrínseco es mejor que circunstancial: garantizar que los materiales, entradas y salidas de energía sean tan intrínsecamente no peligrosos como sea posible.
2. Prevención en lugar de tratamiento: Es mucho mejor prevenir los desechos y la contaminación que enfocarse en el tratamiento de residuos una vez obtenidos.
3. Diseñar para la separación: Las operaciones de separación y purificación deben ser diseñadas para minimizar el consumo de energía y materiales usados.
4. Maximizar la eficiencia: Los productos, procesos y sistemas deben diseñarse para maximizar la eficiencia de masa, energía, espacio y tiempo.
5. 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”).
6. Conserve la complejidad: La entropía y la complejidad integradas deben considerarse como una inversión cuando se toman decisiones de diseño sobre reciclaje, reutilización o disposición de un producto al final de su vida útil.
7. Durabilidad en lugar de inmortalidad: Lograr la durabilidad, no la inmortalidad, de un producto debe ser un objetivo fundamental en el diseño de productos. Al diseñar un producto duradero y biodegradable, los impactos ambientales a largo plazo se reducen significativamente.
8. Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso: El diseño para una capacidad innecesaria debe considerarse un defecto de diseño. A menudo se gastan recursos innecesarios en el “diseño en exceso” de un producto o proceso con la intención de cubrir “posibles demandas”, independientemente del tiempo que lleve hacerlo, el espacio que ocupe o las condiciones operativas.

9. Minimice la diversidad de materiales: La diversidad de materiales en productos multicomponentes debe minimizarse para promover el desensamblaje y la retención de valor. Los principios anteriores analizan el deseo de recuperar y reciclar los materiales.

10. Integrar materiales locales y aprovechar los flujos de energía: el diseño de productos, procesos y sistemas debe incluir la integración y la interconectividad con los flujos de energía y materiales disponibles. La utilización de los flujos de energía y materiales existentes aumentará la eficiencia. Reutilizar el calor perdido o los materiales existentes de los procesos adyacentes reduce el consumo de materias primas y mejora la eficiencia del ciclo de vida del proceso y la sostenibilidad del producto.

11. Diseñe para un “fin de vida útil” comerciable: Los productos, procesos y sistemas deben diseñarse tomando en consideración su utilidad luego de cumplir el objetivo con el que fue creado. Incorporar componentes cuya función y valor pueda ser recuperado para ser reusado luego de un “fin de vida útil” prematuro debe ser una parte fundamental en el diseño.

12. Renovable en lugar de extractivista: Las entradas de materia y energía deben provenir de fuentes renovables en la mayor cantidad posible.

Para entender la dinámica de las últimas herramientas propuestas en la ingeniería concurrente en los diseños de los sistemas de producción sostenible, enfatizando el concepto de ingeniería verde, se describe brevemente su objetivo y su conceptualización a continuación:

- Industrias inteligentes:

Esta industria nace como resultado de la cuarta revolución industrial (industria 4.0), responde a la estrategia dual alemana. “Esta estrategia busca liderizar la oferta de equipos y soluciones para la producción industrial y su aplicación en entornos industriales mediante la integración de la cadena de valor y la digitalización de todo el proceso productivo.” (aspromec, 2019). Ver imagen 3.

El diseño de procesos industriales sostenible aplicando la combinación de la estrategia, proceso, hoja de ruta, componentes, elementos, recurso humano con una sinergia de plataformas de sistema para el control y la automatización con la presencia de robots o de una aplicación de sistema programado para la ejecución de funciones se logra introduciendo las industrias inteligentes.

Con la industria 4.0 las empresas pueden apoyar su diseño de proceso industrial sostenible incluyendo un sistema que mida y controlen, por citar, la cantidad de materia prima química y natural utilizada, desechos por proceso y por devoluciones, factor energético, entre otros aspectos importantes de cuantificar para una mejor gestión social y operativa. Sin

embargo, surge como consecuencia de la búsqueda en lograr producir altos volúmenes de productos a bajos costos.

- Química Verde, combinada con Ingeniería Verde llamada Química Sustentable

La naturaleza multidisciplinaria de la Química Verde ha sido reconocida mundialmente como una ruta para el desarrollo de productos y procesos químicos con un menor impacto ambiental. (Camacho, Muñoz, & Freund, 2019).

El crecimiento de las industrias químicas durante el siglo XX fue exponencial debido a la demanda mundial de materia prima e insumos para fabricar las industrias a gran escala productos, producían para ofertar más, sin considerar índices de venta o no. El impacto del uso y desuso de los productos químicos en el medio ambiente y en la sociedad es a gran escala, profundo e incuantificable, de estos productos se obtienen variadas propiedades, una como la durabilidad, permitiendo ciclos de vida más largo, versatilidad y adaptabilidad, características que proveen los llamados polímeros, grupos de plásticos creados, que representan hoy en día el material de mayor uso como materia prima y el generante del desecho, a gran escala, más difícil de descomponer y erradicar. Con este antecedente, las empresas fabricantes de productos industriales químicos están aplicando una nueva metodología en sus procesos llamada química verde, que tiene como fin diseñar y producir elementos amigables al medio ambiente, menos o no tóxicos, combinando en el diseño del producto el concepto de economía circular y también implementando tecnologías limpias, aumentando el uso de sustancias resultantes de recursos naturales y menos sustancias contaminantes.

En algunos procesos existen materiales que están involucrados en un ciclo de producción, pero no son estrictamente convertidos, se adquieren como materia prima y luego de ser procesado quedan como residuos a ser tratados.

La Química Verde propone el uso de productos químicos dentro del diseño de procesos y para la preparación de un producto final, porque su impacto es menor en materia de medio ambiente y social. Esta química contempla un enfoque holístico en el cual se incluyen la aplicación de la filosofía de la Química Verde, los principios de la Ingeniería Verde y el establecimiento de un programa multidisciplinario. El término “sustentable” es más amplio que el “verde” (Krähling, 1999). Así, la Química Verde se encarga de la "sustentabilidad del ambiente" ocupándose del asunto a nivel molecular, centrándose principalmente en el diseño de productos y procesos químicos de riesgos reducidos, en el uso eficiente de materiales y energía, y en el desarrollo de recursos renovables. (Sierra, Meléndez, Ramírez-Monroy, & Arroyo, 2014)

La sustentabilidad de la sociedad dependerá de asegurar el suministro de fuentes de energía, alimentos sanos y productos químicos amigables con el humano y su medio ambiente a largo plazo. (Doria Serrano, 2009).

- Ecología Industrial

La química verde, desde un análisis químico, evalúa y define sustancias, elementos e insumos a través de recursos naturales como insumo alternativo biodegradable y no tóxico para las industrias. Además de esto, las industrias ecológicas incluyen el uso de energía obtenidas de fuentes limpias, incluyen en sus costos la administración de la gestión ambiental y también el concepto de economía circular.

- Biomimética

Esta representa una tecnología innovadora que permite la gestión de la producción usando energías obtenidas de las formas y diversidad que se encuentra en los elementos o las formas de la naturaleza desde su planificación (previa al cliente): diseños de equipos, maquinarias y versatilidad del producto fabricado y diseño innovador del producto para su uso óptimo y también, en unos casos el uso de su propio empaque (post al cliente), como economía circular.

Estas metodologías de aspectos ecológicos incluidas en el diseño de proceso de producción generan la sostenibilidad que permitirá la continuidad del ciclo productivo en equilibrio con el medio ambiente y con la sociedad.

Para alinear los esfuerzos de colaboración y cumplimiento de los países a nivel mundial, existen varios tratados, convenios y protocolos internacionales que dictan las políticas mundiales en el tema de protección del medio ambiente. A nivel occidental (con baja participación industrial), a través del CEPAL se encuentra en la etapa de divulgación las Políticas industriales y tecnológicas en América Latina, (Unidas, 2017). Esta política obedece a una respuesta anticipada de las acciones de productividad y consumo responsable que iniciarán en América Latina de acuerdo con las proyecciones económicas que indican el retorno de fabricación en sus propios países como solución única para enfrentar el desempleo generado de la crisis económica y social mundial. Es importante anticipar el desarrollo de planes en pro de diseños productivos sostenibles para mitigar el avance en el deterioro de la salud (sociedad) y de su entorno (medio ambiente).

El enfoque es diseñar procesos de producción sostenibles, esto significa que se debe tener claro que *“Tenemos que inspirarnos en la naturaleza en donde no existe el concepto de desperdicio.”* (Zacarías, 2018).

Luego de definir y documentar las características relativas a las decisiones para el desarrollo de diseños de procesos de producción sostenible, los doce principios de ingeniería sostenible o verde y últimas herramientas de ingeniería concurrente sostenible, se confirma que son los principios de ingeniería verde los que logran incluir los aspectos de sostenibilidad en los procesos de diseño de sistema de producción industrial porque los principios de ingeniería verde han sido aplicados para el desarrollo de las últimas herramientas propuestas

en la ingeniería concurrente y por ello también, deben ser aplicados en los diseños de los sistemas de producción industrial para otorgarle el grado de sostenible a las industrias.

De acuerdo con cualidades y elementos definidos en los diseños de sistemas de producción versus los principios de la ingeniería verde, se establece una vinculación con el fin de categorizar como sostenible o no cada etapa en el sistema de diseño. A continuación, el resultado de la vinculación:

Conceptos Claves de DSP (toma de decisiones)	Diseños de Sistemas de Producción (DSP)	Factores de la Ingeniería Verde	Vinculación con los conceptos claves de DSP y Factores de la Ingeniería Verde
Producto	Estudio de mercado y Demandas estimadas de la producción.	Industrias inteligentes y Ecología Verde	Producir según necesidad y evitar exceso de producción. (Industrias inteligentes y Ecología Verde)
Proceso	Proceso productivo y clases de bienes, de equipo y el flujo de trabajo.	Química Verde y Ecología Industria	Proceso corto, bienes más ecológicos y reutilizables, flujos de trabajo con menos uso de energías e inocuas. (Química Verde y Ecología Industrial).
Capacidad	Determinación de la capacidad productiva e inversión de bienes de equipo e instalaciones técnicas.	Química Verde	Comprar para alto y bajo volumen de procesamiento, con uso alternativo de los productos en proceso (en cualquier etapa), instalaciones más compactas. (Química Verde)
Inventarios	Tipos de materia prima, de insumos y otros necesarios, fijar el nivel general de inventarios, diseño para su control, conservación y descarte.	Ecología Industrial	Especificar tipo de material, insumos y otros ecológicos y biodegradables de fácil manejo y desintegración no tóxica al ambiente. (Ecología Industrial)
Localización y distribución en planta	Determinación de la localización y distribución física de la planta (lay-out).	Biomimética y Ecología Industrial	Espacios más compactos, diseños más parecido a las formas diversas de la naturaleza (Biomimética), y su ubicación en áreas provistas de manejo de

			desechos. (Ecología Industrial)
Tareas y puestos	Diseño de tareas y puestos de trabajo, valoración y tipo de operario (humano, máquinas, robots o mixto).	Industrias inteligentes	Diseños de plantas con bajo uso de energías renovables e inocuas, tareas definidas por tipo de operario y el tipo de control de los procesos y la generación mínima de desechos todo bajo control apoyado de TIC'S (Industrias inteligentes)
Calidad	Plan de Mejora de la calidad.	Industrias inteligentes	Industrias inteligentes
Mantenimiento	Plan de prevención y renovación de equipos.	Biomimética, Ecología Industrial y Industrias inteligentes	Las empresas con un diseño de proceso industrial sostenible, pueden con equipos diseñados con tecnologías de gestión eficiente y eficaz medir y controlar la cantidad de materia prima química y natural utilizada, desechos por proceso o devoluciones, factor energético limpio y renovable, entre otros aspectos importantes de cuantificar para una mejor gestión social y operativa y preventiva de impactos nocivos. Sin embargo, es consecuencia de la búsqueda en lograr disminución de los costos asociados a los procesos de producción.

En el anexo No. 1 se presenta la Hoja de Cotejo para el Diseño de Sistemas de Producción (DSP), hacia la Sostenibilidad según los Principios de Ingeniería Verde que proponemos para el desarrollo de un diseño de sistemas de producción sostenible, luego de armonizar los conceptos claves para la toma de decisiones de DSP y los doce principios de ingeniería verde.

Conclusiones

Las empresas productoras deben evolucionar rediseñando sus procesos de producción para introducir los cambios con conceptos de gestión ecológica, esto permite la dinámica eficiente entre la gestión operativa y la receptividad social de lo que producen.

Los diseños de procesos industriales con enfoque sostenible han tomado auge en la acción generada desde la conciencia o responsabilidad social, donde sus elementos, sistemas, máquinas, empresas, recursos naturales y no naturales, están siendo diseñados desde una gestión y perspectiva ecológica y biodegradable.

Para mitigar el grado actual de deterioro de la salud de la población y la contaminación ambiental que generan los procesos industriales, se introducen términos ecológicos, como los conceptos de biomimética, ecología industrial o química verde, conocidos, en su conjunto como la llamada ingeniería verde. La aplicación de estos conceptos plasmado en un diseño del proceso de producción, logra introducir, a través de un diseño de producción sostenible proveer de elementos o productos biodegradables con ciclos de vida reducidos, solo para el cumplimiento de su fin, porque se complementa el uso de tecnologías limpias, materia prima, insumos, energías resultantes de recursos renovables durante el ciclo del proceso hasta su ciclo de vida ya no útil.

Para la aplicación y la practicidad de estos conceptos, es imperativo establecer una estrategia sostenible para la producción y la operación de las empresas hasta la vida no útil del producto, a través de un diseño de procesos de producción sostenible con una política de control, tal cual la establece el CEPAL (Unidas, 2017).

La gestión de producción se diseña actualmente bajo varios enfoques, uno está relacionado al control de desperdicios durante los ciclos de fabricación y de vida del producto incluyendo desde el uso de energías limpias, introducción de tecnología y robótica, ingeniería inteligente la llamada ingeniería 4.0 o sociedad 4.0 para los japoneses que buscan mitigar el avance logrado por Alemania en la inclusión de tecnologías inteligentes, hoy llamada sociedad 5.0.

La Ingeniería verde combina desde su inicio metodologías y procesos de buenas prácticas de producción con diseños desde una motivación ecológica, para aplicar sistemas de procesamiento, de distribución y de uso de elementos o productos, con características técnicas y económicas sostenible (no contaminantes), desde su fabricación hasta su uso y disposición final.

Algunos países han creado conciencia sobre el diseño del proceso de producción sostenible, creando herramientas y guías para elaborar un diseño de producción sustentable. (Nación, 2017).

Como tema importante a considerarse en el diseño de los procesos de producción sostenible se hace necesario crear un glosario de desintegración que defina información para el usuario o consumidor sobre el proceso de descarte óptimo del producto y también, si aplica, uso diverso de su envase posterior a su fin.

Referencias Bibliográficas

Bibliografía

(s.f.). Obtenido de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Biotecnolog%C3%ADa#:~:text=La%20biotecnolog%C3%ADa%20\(del%20griego%20%CE%B2%CE%AF%CE%BF%CF%82,o%20procesos%20para%20usos%20espec%C3%ADficos.](https://es.wikipedia.org/wiki/Biotecnolog%C3%ADa#:~:text=La%20biotecnolog%C3%ADa%20(del%20griego%20%CE%B2%CE%AF%CE%BF%CF%82,o%20procesos%20para%20usos%20espec%C3%ADficos.)

(IPCC), i. e. (2019). Las decisiones que adoptemos ahora son fundamentales para el futuro de los océanos y la criosfera. *COMUNICADO DE PRENSA DEL IPCC* (pág. 7). Monaco: Secretaría del IPCC.

Adams, C. A. (2015). Sostenibilidad y la empresa del futuro. *BBVA-OpenMind*, 1. Obtenido de <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/sostenibilidad-y-la-empresa-del-futuro/>

aspromec. (5 de marzo de 2019). <https://aspromec.org/>. (L. I. orígenes, Ed.) Obtenido de <https://aspromec.org/la-industria-4-0-y-sus-origenes/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20Industry%204.0%2C%20acu%C3%B1ado,la%20oferta%20de%20equipos%20y>

Camacho, C., Muñoz, J., & F. R. (diciembre de 2019). Los aspectos y principios básicos de la química verde, la ingeniería sostenible, la sostenibilidad y la economía circular. (R. C. Caràcter, Ed.) *Revista Carácter*, 7, 40-41. Obtenido de file:///C:/Users/IMPREC~1/AppData/Local/Temp/Los_aspectos_y_principios_basicos_de_la_quimica_ve.pdf

Carro Paz, R. G. (2012). *ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata.

- Cedeño, A., & Lòpez, J. (2014). *La Evoluciòn de los Procesos Productivos a lo largo de Historia*. Maturìn, Venezuela: Universidad de Oriente Nùcleo Monagas.
- Cedeño, F. (2000). <https://www.ciberconta.unizar.es/>. Obtenido de <https://www.ciberconta.unizar.es/leccion/desapro/100.HTM>
- cepal. (s.f.). Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>
- Consultores, C. (12 de enero de 2018). <https://ctmaconsultores.com/>. (c. consultores, Editor) Obtenido de <https://ctmaconsultores.com/sistema-gestion-calidad/>
- Cross, N. (2002). *Métodos de Diseño*. Mèxico D. F.: Grupo Editorial Limusa, S.A. Obtenido de <http://metodologiayproyectofinal.blogspot.com/2018/03/metodologia-de-diseno-por-nigel-cross.html>
- Diehl, D. M. (2007). *DISEÑO PARA LA SOSTENIBILIDAD*. Portugal: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.d4s-de.org/d4sspanishlow.pdf>
- Doria Serrano, M. d. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *scielo*, 1. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2009000400004
- español, E. (17 de octubre de 2019). *concienciaeco.com*. *Estas son las 20 empresas que destruyen el planeta pero que siguen expandiendo sus negocios* . Obtenido de https://www.elespanol.com/ciencia/medio-ambiente/20191017/empresas-destruyen-planeta-siguen-expandiendo-negocios/436956926_0.html
- Gómez Cívicos, J. I. (2008). Ingeniería verde : doce principios para la sostenibilidad. (Alción, Ed.) *Virtual Pro* . Obtenido de <https://www.virtualpro.co/biblioteca/ingenieria-verde-doce-principios-para-la-sostenibilidad>
- Gonzalez M., M. (s / f). *Universidad de Londres*. Obtenido de <https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Metodologia%20del%20Dise%C3%B1o.pdf>
- Jaèn, I., & Villanueva, P. (14 de Febrero de 2013). *academica-e.unavarra.es*. Obtenido de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/7067/578005.pdf?sequence=1>
- Julio. (26 de noviembre de 2013). <https://www.concienciaeco.com>. Obtenido de <https://www.concienciaeco.com/2013/11/26/90-empresas-responsables-del-60-del-calentamiento-global/>
- López, J. (s.f.). *www.factoriadelfuturo.com*. Obtenido de <https://www.factoriadelfuturo.com/que-es-la-industria-4-0/>
- Naciòn, M. d. (2017). <http://www.cts.fra.utn.edu.ar>. Obtenido de http://www.cts.fra.utn.edu.ar/xframework/files/entities/contenidos/12/Modulo-I_-Sustentabilidad_Procesos_Productivos_01.pdf

- Plataform, I. O. (2015). <https://www.iso.org/obp/>. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- Prieto, G. (23 de junio de 2020). <https://www.geografiainfinita.com>. Obtenido de <https://www.geografiainfinita.com/2020/06/los-paises-mas-industrializados-del-mundo/>
- Riba, C. (2006). *Ingenieria Concurrente*. Catalunya, España : Universitat Politècnica . Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/7851/Riba-Molina-2006-Ingenier%C3%ADa%20concurrente...secci%C3%B3n%20II-v5.pdf>
- Sierra, A., Meléndez, L., Ramírez-Monroy, A., & Arroyo, M. (Julio de 2014). La química verde y el desarrollo sustentable. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 5, 5-6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4981/498150317001.pdf>
- Soledad R., B. E. (01 de julio de 2018). Enseñanza de la Química Sostenible en las carreras de ingeniería. (Revista de Química, Ed.) 32. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/19578/20113>
- Unidas, N. (noviembre de 2017). (N. Unidas, Ed.) Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42363/4/S1700602_es.pdf
- Vargas, O. C. (2014). Ingeniería verde, una opción sustentable para la producción en masa. *ITESO, UNIVERSIDAD JESUITA DE GUADALAJARA*, 1.
- Zacarías, A. (12 de noviembre de 2018). ¿Qué es la economía circular y cómo cuida del medio ambiente? *Noticias ONU*, pág. 1. Obtenido de <https://news.un.org/es/news/topic/climate-change>