



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLAN DE TRABAJO – F1

Postulante

María Antonieta Riera

**Unidad Académica donde realiza su inscripción**

Facultad de Ingeniería (UNCuyo)

Plan de Trabajo Aprobado

Director

Ricardo Palma

Dr. Ricardo R. Palma
Universidad Nacional de Cuyo

Co-director

Silvina Maldonado

Título

Análisis multicriterio y sistema de información geográfica para la selección de desechos agroindustriales útiles en la producción de bioplástico

Área temática

Área Disciplinar: Ciencias

Disciplina: Ciencias Aplicadas

Especialidad: Tecnologías - Ingeniería Industrial

Temática Producción Sustentable en el paradigma de los ODS-2030

Palabras clave

Análisis multicriterios, AHP, GIS, desecho agroindustrial, bioplástico.



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

1. Situación Problemática

Los desafíos globales impulsan la necesidad de emprender cambios en los modelos de producción existentes y en el patrón de consumo de los bienes que estos generan. Las últimas tendencias en los procesos de fabricación, apuntan a los sistemas de fabricación reconfigurables (Mehrabi, Ulsoy, & Koren, 2000), al despliegue de sistemas ciberfísicos para una manufactura basada en la industria 4.0 (Lee, Bagheri, & Kao, 2015), así como a la gestión sostenible de los recursos como una oportunidad para la innovación (Bleischwitz, 2009).

El enfoque del consumo y producción sostenible promueve la calidad de vida de todos sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Busca desarticular el crecimiento económico de la degradación ambiental, reduciendo el uso de recursos en todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde el diseño hasta su destino final (Akenji et al., 2015).

Uno de las industrias que necesitan modificar los patrones de producción y consumo para frenar los estragos de la contaminación es la del plástico (ONU, 2018). Esto es posible cambiando los patrones de consumo pero también innovando en la producción, al reemplazar un recurso no renovable por otro que si lo sea, a través de la gestión sostenible en la cadena de suministro (De Vargas Mores, Finocchio, Barichello, & Pedrozo, 2018).

El plástico es uno de los materiales más utilizados en la vida diaria. Puede ser de origen biológico, sintético o semisintético, pero estos dos últimos los más comunes. La mitad del consumo de estos productos se fabrican en Asia, siendo China el principal productor con un 29%, seguido de Europa con 19%, países del USMCA (antiguamente NAFTA) con 18% y ocupando casi el último lugar América Latina con 4% (PlasticsEurope, 2017).

Para el año 2015 se registró una producción mundial de 407 millones de toneladas (Mt) de plástico y casi la mitad se utilizó para fabricar envases y embalajes. La vida útil de estos no supera los seis meses y después de su uso la mayor parte ni se recicla ni se incinera (Roland, 2018).

Ejemplo de ello son las bolsas de plástico que se fabrican bajo la estrategia de obsolescencia programada, es decir son diseñadas para ser desechadas una vez usadas. También está el caso de algunos envases que no pueden ser reciclados al



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

estar constituido por capas de metal, cartón y plástico, difíciles de ser separados (Leonard, 2007).

Las opciones de materias primas alternativas que aún continúan en investigación y desarrollo para competir con los polímeros sintéticos, son las denominadas materias primas celulósicas o de segunda generación que incluyen los subproductos agrícolas y flujos de desechos (Lovett & De Bie, 2016).

La producción actual de bioplásticos representa aproximadamente el 1% de los casi 320 Mt de plástico que se producen por año y se espera que pase de 2,05 Mt en 2017 a unos 2,44 Mt en 2022. En América del Sur países como Colombia, Chile, Argentina y Brasil tienen iniciativas de esta producción. En el Ecuador no existe hasta la fecha registro de empresas dedicadas a ello, aunque si se reportan investigaciones para obtenerlo a partir de almidón de achira (Encalada Flores, 2016), banana (Iles Guamán, 2017) y oca (Pilla Barroso, 2017).

El Ecuador al igual que otros países de Latinoamérica se caracteriza por tener gran actividad agrícola. Para el año 2017 se ocuparon en el país 2.334.721 hectáreas de suelo entre cultivos transitorios, permanentes y barbechos. Los diez principales fueron cacao, maíz duro seco, palma africana, banano, café, plátano, caña de azúcar, maíz suave seco, maíz suave choclo y frejol seco con 1.737.517 hectáreas, con una producción total de 21.178.970 toneladas (INEC - ESPAC, 2017).

Dada esta facilidad agrícola es viable dar utilidad a un material de desecho, para el desarrollo de nuevos procesos sostenibles y resilientes en el tiempo. [La selección de la materia prima para este proceso, requiere el análisis y la evaluación de aspectos técnicos, logísticos, ambientales, sociales, entre otros, que favorezcan la obtención de un producto que compita con los plásticos convencionales, no sólo por sus características físico-químicas sino también por la factibilidad que representa la ejecución de este proceso.](#)

Es este el espacio de trabajo al que pretende avanzar esta tesis, pues representa una oportunidad para el desarrollo de un proceso que suministre productos que contribuyan con la formación de un segmento en el mercado, que realice compras de productos sostenibles frente a otros que no lo sean.

Se pretende por tanto proponer un framework que sirva de referente en el emprendimiento de proyectos de este tipo, donde se busque la selección de las



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

alternativas más sostenibles, para la producción de un producto que satisfaga las necesidades del mercado, brinde rentabilidad y no comprometa las generaciones futuras.

Materiales y Métodos

Existen muchos métodos que potencialmente servirían para determinar el rumbo y la dirección que esta innovación tecnológica y social podría tomar, pero se pretende elaborar una más completa y accesible a los valores, e idiosincrasia de los decisores de los sistemas productivos locales y regionales. Entre los más destacados se puede citar a:

Proceso de Jerarquía Analítica

Las herramientas de análisis multicriterio para la toma de decisiones (MCDA), consisten en un conjunto de metodologías basadas en el uso de software y aplicación de diferentes procedimientos de ponderación y agregación, para la evaluación sistemática de distintas alternativas ante situaciones complejas donde se espera seleccionar la mejor opción (Marttunen, Lienert, & Belton, 2017).

El Analytic Hierarchy Process o (AHP), es una teoría de comparación por pares que se basa en el juicio de expertos para establecer escalas de prioridad. Las comparaciones se realizan usando una escala de juicios absolutos que representa, la dominancia de un elemento con respecto a un atributo dado (Saaty, 2008).

En el AHP se seleccionan los factores y luego se organiza en una estructura jerárquica que desciende de un objetivo general a criterios parciales y en niveles sucesivos las alternativas. La organización de objetivos, atributos, problemas y partes interesadas en una jerarquía, proporciona una visión general de las relaciones complejas inherentes a la situación y ayuda al decisor a evaluar si los problemas en cada nivel son de la misma magnitud, para comparar con precisión la homogeneidad de los elementos (Saaty, 1990).



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Sistema de información geográfica (SIG)

Un SIG es un tipo especial de sistema de información en el que la base de datos consta de observaciones sobre características, actividades o eventos distribuidos espacialmente, a definir como puntos, líneas o áreas; y además dispone de procedimientos para recopilar, almacenar, recuperar, analizar y mostrar dichos datos geográficos (Dueker, 1987).

Un SIG permite la lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales, para su análisis y generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, entre otros (Olaya, 2014).

El uso de un SIG permitiría ubicar los desechos agroindustriales generados en una determinada zona geográfica y en combinación con un método de análisis MCDA, facilitar la evaluación de cada uno de ellos según sus características físico químicas, para seleccionar el más adecuado para ser utilizado como materia prima en un proceso de producción.

2. Problema Científico

Hasta [donde ha podido avanzar la investigación preliminar de este proyecto de tesis](#), [en la bibliografía consultada no existe una metodología](#) que combine un SIG con MCDA para la selección de desechos agroindustriales como materia prima en la elaboración de bioplásticos. Tampoco es posible adaptar algunas de las que si existen en el terreno de gestión de la salud o sólo para el terreno de la alimentación (tales como las desarrolladas por la FAO y la OMS) que den respuesta en plazos razonables a los gobiernos y ONG preocupadas e interesadas en llegar a la mejor decisión sobre el tema.

3. Novedad científica o de investigación

En los últimos años se nota una tendencia generalizada hacia el desarrollo de constructos que tengan el aporte de las miradas de los shareHolders ([accionistas](#), [empresarios](#), [gobiernos de las naciones](#)) y los stakeHolders ([ONG](#), [instituciones mundiales](#), [comunidades](#)).

En este sentido la novedad científica de esta investigación se sustenta en la generación de una metodología que [apoyada en sistemas de información geográfica](#),



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

sirva para la toma de decisiones a nivel administrativo, en localidades con economías basadas en la actividad agrícola, donde se pretenda seleccionar entre los desechos generados por este sector, aquellos que por sus características físicas o químicas, permitan su aprovechamiento posterior como materia prima en procesos de producción a nivel industrial.

Desde un punto de vista teórico plantea la combinación de un sistema de información geográfica con una herramienta de análisis multicriterios, que permita la identificación de desechos agroindustriales para seleccionar los más adecuados y con características útiles para ser usados como materia prima en un proceso de producción innovador.

En cuanto a lo metodológico se propone por primera vez el uso de un sistema de información geográfica en colaboración con una herramienta de análisis multicriterios para ubicar desechos agroindustriales generados en una zona específica y aprovecharlos como materia prima para la producción de bioplásticos, generando así el framework de una metodología que sirva de referencia a otras investigaciones afines a lo estudiado.

Su valor práctico está en desarrollar una metodología que pueda ser implementada en países con características agrícolas, para seleccionar entre sus desechos agroindustriales, aquellos que de acuerdo a sus facilidades tecnológicas de procesamiento, puedan ser utilizados en procesos sostenibles e innovadores, que fomenten el desarrollo de mercados de este tipo y que cooperen con la conservación de los recursos naturales.

4. Objetivos

Objetivo General

Esta tesis doctoral pretende desarrollar una metodología que combine la toma de decisiones con los sistemas de información geográfica, que al aplicarla beneficie localidades con características agrícolas en la selección de sus desechos agroindustriales, para aprovecharlos en el desarrollo de procesos sostenibles, resilientes e innovadores.



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Objetivos Específicos

1. Identificar la ubicación de los desechos agroindustriales generados en las comunidades agrícolas. Si bien el caso testigo toma comunidades en el Ecuador, la metodología debería ser fácilmente parametrizable a otros países y a otro tipo de residuos agrícolas; con las posibilidades y facilidades técnicas para su utilización en la producción de plásticos biodegradables.
2. Establecer los criterios de evaluación para la selección adecuada de desechos agroindustriales generados como materia prima en la producción de plásticos biodegradables, a través de la integración de sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de análisis multicriterio.
3. Optimizar el procedimiento de selección de desechos agroindustriales usando el modelo de optimización colaborativa multiobjetivo.
4. Establecer la ingeniería de proyecto para la instalación de un proceso de producción de bioplástico en el Ecuador empleando los resultados obtenidos al integrar SIG y análisis multicriterios.

5. Justificación

Se aborda una problemática de interés no sólo local sino también global referente a la selección de desechos generados en la actividad agroindustrial para ser utilizado en un proceso posterior, usando para ello la combinación de un sistema de información geográfica con una herramienta de análisis multicriterio.

Además de alinearse a lo que describe la economía circular, esta investigación contribuiría con el cumplimiento de los objetivos de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la ONU, al plantear el desarrollo de una metodología para la selección de desechos agroindustriales que sirvan en procesos de producción sostenibles y que contribuyan con el consumo responsable y el cuidado ambiental.

La puesta en práctica de este trabajo contribuiría con la participación de decisores de gobierno que junto a la academia y la industria conformarían el modelo de triple hélice que la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), está sugiriendo a los gobiernos de los países en vías de desarrollo.



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

6. Estado del arte y de la práctica

La aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP), tiene lugar con mayor frecuencia en los sectores de manufactura y logística, para resolver comúnmente problemas de selección de proveedores y optimización de la red de distribución respectivamente (Ho & Ma, 2017).

Los datos a gran escala representan un nuevo paradigma que brinda además de información abundante, oportunidades de mejora al habilitar aplicaciones de investigación y apoyo a la toma de decisiones. El uso de recursos como los sistemas de información geográfica (SIG), amplía la capacidad de procesamiento y plantea desafíos sociales de importancia geoespacial (Yang, Huang, Li, Liu, & Hu, 2017).

En los últimos años ha despertado el interés el uso de sistemas híbridos para la resolución de problemas. Tal es el caso de los sistemas de análisis multicriterios en combinación con los sistemas de información geográfica. Sin embargo, su utilización en temas referentes a los bioplásticos es reducida.

Partiendo de estas aseveraciones se realizó una búsqueda bibliográfica preliminar de investigaciones hechas en los últimos 2 años y que guardan relación con el tema de interés planteado en esta tesis. Se consultó un total de 265 artículos científicos publicados en revistas internacionales y la información encontrada se dividió en cuatro tipos de investigaciones: Aplicación de AHP, combinación de AHP y SIG para la solución de problemas, uso de AHP en bioplásticos y de SIG en bioplásticos.

6.2.1 Aplicación de AHP

En este tipo de trabajos se emplea el AHP para jerarquizar criterios a fin de seleccionar la mejor alternativa entre las propuestas. Del total de trabajos consultados 200 de ellos corresponden a la aplicación de AHP en temas como la selección de proveedores, logística de suministro, manufactura, ubicación de instalaciones, ambiente y sostenibilidad, evaluaciones médicas, premiación de personal, suministro energético, entre otros.

En las investigaciones se evidencia el uso de AHP o AHP difuso de manera individual o en combinación con otras herramientas de análisis multicriterios. Un aspecto importante, es su uso en investigaciones relacionadas con el desarrollo sostenible y aprovechamiento adecuado de los recursos.



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

6.2.2 Combinación de AHP y SIG

Las investigaciones de este tipo se caracterizan por utilizar los SIG para ubicar geográficamente aspectos que forman parte del problema o de la solución del tema estudiado. Por su parte el AHP en la mayoría de los casos se alimenta de la información obtenida con el SIG y luego es útil en la toma de decisiones.

De la revisión realizada, 62 trabajos usaron una combinación de AHP con SIG y los temas abordados fueron principalmente gestión de recursos (hídricos, energéticos), ambiente, logística de suministros, ubicación de instalaciones, estudios geológicos, entre otros. La participación conjunta de estas herramientas fortaleció en los trabajos señalados la toma de decisiones, al utilizar los SGI para analizar la idoneidad de las ubicaciones y luego el AHP para jerarquizar la solución del problema según el análisis de criterios.

El modelo AHP de Saaty ayuda al tomador de decisiones a establecer prioridades para enfrentar un problema complejo y se puede usar de manera efectiva al integrarse con GIS, para determinar las ubicaciones adecuadas que ayuden a alcanzar la mejor decisión que se adapte a los objetivos y desafíos esperados (Mayunga, 2018).

6.2.3 AHP y bioplásticos

Se encontró un trabajo donde se propone el uso de residuos agrícolas lignocelulósicos como materia prima para producir polihidroxialcanoatos (PHA). Se empleó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) junto con el Análisis Relacional de Gris (GRA) para seleccionar el mejor residuo agrícola para la producción de PHA. El AHP sirvió para evaluar los criterios utilizados en el proceso de selección, recibiendo la materia prima mayor importancia que el criterio económico. Además, el criterio de contenido de celulosa recibió el mayor peso general entre todos los criterios, seguido del costo de procesamiento y la eficiencia de conversión. De los residuos considerados, el GRA mostró que el rastrojo de maíz era el sustrato lignocelulósico más preferido, seguido del pseudotema de banano y el bagazo de caña de azúcar (Requiso, Rey, Jr, & Alfara, 2018).

Esta investigación demuestra la aplicabilidad que tiene el AHP para la selección de materias primas a ser utilizadas en la producción de bioplásticos. Sin embargo no



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

incluye estudios de logística, así como el análisis económico y de ciclo de vida, los cuales son necesarios en la selección de una materia prima para la producción sostenible.

6.2.4 SIG y bioplásticos

Sobre la base de la consulta realizada se ubicaron dos artículos que guardan relación con el uso de sistemas de información geográfica y los bioplásticos. El primero de ellos consistió en evaluar y comparar el impacto del ciclo de vida de tres tipos de cajas de base biológica y a base de petróleo, usando como unidad de medida el costo ambiental externo. Dicho costo se asoció al impacto generado por la huella de carbono y el consumo de agua. El SIG se utilizó para ubicar las etapas de plantación en cuatro provincias donde se llevó a cabo el estudio. Los resultados revelaron que de las cajas evaluadas, el succinato de polibutileno de caña de azúcar y maíz, tuvo la huella hídrica más baja y el impacto total en la huella de carbono disminuyó en un 26–69% para la producción de cajas de base biológica debido a que el CO₂ se incluyó en la absorción de las reacciones fotosintéticas durante las etapas de plantación (Cheroennet, Pongpinyopap, Leejarkpai, & Suwanmanee, 2018).

Los autores señalan que los resultados obtenidos en cuanto a agua utilizada y huella de carbono, son beneficiosos para apoyar el desarrollo en la industria de plásticos biológicos. Esta investigación aporta al trabajo que se pretende realizar, el uso de SIG para ubicar los puntos de generación de desechos agroindustriales, además de proponer estrategias efectivas para un adecuado suministro de agua, a fin de minimizar el impacto ambiental causado por este proceso de producción.

En otro trabajo se realizó una estimación de los residuos provenientes de la industria de procesamiento del tomate para usarlos en la producción de ácido láctico. Se llevó a cabo una encuesta sobre las tecnologías de producción más adecuadas para tal fin y se utilizó el SIG para calcular la distancia de radio máxima de las industrias desde una planta de transformación centralizada hipotética, de acuerdo con la disponibilidad de biomasa y transporte. Se consideraron los estudios de viabilidad de procesos ecológicos capaces de convertir los desechos del procesamiento de tomate en ácido láctico, evaluando la cantidad real, la reutilización o la eliminación en vertederos de orujo de tomate. Se concluyó que el uso de los desechos como recursos no solo



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

minimizaría la contaminación, sino también beneficiaría a las industrias al respaldar una economía local fuerte que abre nuevas oportunidades de empleo a lo largo de la cadena de residuos a bioproductos (Carillo et al., 2018).

Esta investigación tiene en cuenta la gestión de los residuos del procesamiento del tomate para su aprovechamiento en la fabricación de productos biodegradables, susceptibles de generar ingresos económicos. Tal propuesta podría ampliarse a toda la agroindustria donde los desechos generados representan un problema que requiere de tratamiento o eliminación y en el que además es posible utilizar el valor comercial que estos tienen.

Investigaciones realizadas señalan que los residuos agrícolas son una gran fuente de recursos de biomasa sin explotar que pueden generar beneficios tanto económicos como ambientales. Pueden servir para obtener productos de bioenergía y de base biológica mediante procesos de conversión en cascada, dentro de la economía circular. Aunque el uso de estos recursos residuales para obtener productos químicos de alto valor es un desafío considerable, se trata de alcanzar procesos innovadores de conversión ecoeficientes y rentables (Gontard et al., 2018).

Partiendo de la consulta realizada, no se encontró una metodología que combine el proceso de jerarquía analítica con los sistemas de información geográfica para identificar los puntos de generación de desechos agroindustriales y luego utilizarlos en procesos de producción sostenibles, siendo esta una oportunidad de investigación la cual además es la temática que se pretende abordar en esta tesis.

7. Hipótesis General de Investigación

La selección de desechos agroindustriales como materia prima para la elaboración de bioplásticos, puede realizarse con una metodología de toma de decisiones integrada con un sistema de información geográfica.

Aunque en la bibliografía suele referirse a ella como frameworks, se utilizará en la tesis el concepto de metodología. La comprobación de la hipótesis principal requeriría realizar algunas tareas, que se determinarán con el diseño de experimentos que tanto aportan a la comprobación, entre ellas se podrían considerar a priori:



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Concebir los criterios para la integración del MCDA con SIG, considerando el problema de decisión a abordar, la escala de valor a utilizar, la ponderación de criterios, combinación de criterios con reglas de decisión y análisis de sensibilidad (Malczewski, 2010).
- Analizar la funcionabilidad de la metodología desarrollada para el cumplimiento de los objetivos trazados, usando estrategias diseñadas para tal fin (Chakhar & Martel, 2003).
- Aplicar la metodología desarrollada a un caso de estudio perteneciente a un país con economía agroindustrial con el fin de validar el trabajo realizado. Pese a ello, el trabajo se realizará para que sea fácilmente reproducible en sistemas productivos, que no sean necesariamente los relacionados con las actividades agrícolas del caso testigo utilizado en este trabajo.

8. Metodología

Se trabajará con el método de investigación hipotético deductivo, donde las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones. Parte de una hipótesis deducida de principios, leyes o empíricas, y al aplicar las reglas de deducción, se plantean predicciones que se someten a verificación empírica y si hay coherencia con los hechos, se comprueba o niega la hipótesis de partida (Rodríguez Jiménez & Omar Pérez Jacinto, 2017).

El desarrollo de la metodología integrada se apoyará en el uso de sistemas informáticos para trabajar con SIG de manera que se pueda ingresar, crear y administrar datos geográficos (Miller, Wang, Donaldson-selby, Miller, & Keen, 2018), para vincularlos luego con el proceso de jerarquía analítica. En este último caso se emplearán igualmente softwares, a fin de reducir las barreras de aplicación de los procedimientos MCDM (Ossadnik & Lange, 1999).

Se plantea validar dicha metodología usando como caso de estudio el Ecuador, el cual se caracteriza por ser un país agroindustrial. Se pretende tomar datos reales correspondientes a los desechos generados en el mismo y de comprobar su factibilidad, serviría como un framework en trabajos posteriores similares al que se



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

propone. Adicionalmente se hará una valoración partiendo de criterios que pueden utilizarse para juzgar y evaluar varios métodos de MCDM (Saaty & Ergu, 2015).

La optimización multiobjetivo se realizará usando el modelo de triple hélice como una marco para la sostenibilidad (Scalia, Barile, Saviano, & Farioli, 2018), usando además un algoritmo que contribuya con el cumplimiento de los objetivos en la práctica (Deb, Sindhya, & Hakanen, 2016).

9. Actividades propuestas como Plan de Trabajo

Las actividades propuestas para cumplir los objetivos específicos en la presente tesis doctoral son las siguientes:

- Desarrollo del marco teórico: Se efectuará la revisión bibliográfica de papers relacionados con el tema que se pretende abordar. A fin de cumplir esta actividad se hará uso del gestor bibliográfico Mendeley, que facilitará llevar el orden de la información. También se considerará la suscripción del autor a bases de datos que generen alerta sobre la publicación de nuevos trabajos relacionados con la temática abordada.
- Adquisición de nuevos conocimientos: [Se tomarán cursos ofertados por el Doctorado de Ingeniería Industrial o fuera de este, relacionados con el tema de investigación a realizar, entre ellos se mencionan: Epistemología y metodología de la investigación, métodos estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones, dimensión humana de las organizaciones, formulación matemática de la economía sustentable, competitividad y gestión de la innovación, procesos de negocios, planificación de negocios, minería de datos, avances en simulación y modelado de polimerización en reactores bifásicos de pequeña y mediana escala, Implementazione della logistica industriale per processi chimici distribuiti, Advanced topics on Geo-spatial and computer sciences.](#) En el caso de los cursos tomados fuera del doctorado, se hará la solicitud de autorización y reconocimiento por la vía correspondiente.
- Recolección de datos y análisis de la información: Se utilizará información registrada en instrumentos estandarizados como entrevistas o encuestas (Rodríguez & Mora, 2008). También se aportarán datos provenientes de



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

experimentación en laboratorio en las instancias que sea aplicable (caso bioplásticos) y de simulación en las dimensiones económica social y ambiental, en los que realizar experimentos expone a riesgos innecesarios a los entornos y personas.

- Desarrollar propuesta de modelo para toma de decisiones: Se empleará la metodología descrita por Satty para llevar a cabo el proceso de jerarquía analítica (Saaty, 1990), así como también la información que se obtenga del sistema de información geográfica previo tratamiento de datos geoespaciales.
- Validar metodología y optimizar propuesta desarrollada: Usando un caso de aplicación con datos reales de una zona geográfica específica del Ecuador, para luego utilizar un algoritmo matemático que permita alcanzar el objetivo trazado.
- Escritura de informes de avance y artículos científicos con fines de publicación: Se elaborarán informes periódicos para evidenciar el avance alcanzado respecto a las metas establecidas. Tal información servirá además para la elaboración de artículos destinados a ser publicables en revistas indexadas, así como para la participación en eventos científicos.
- Preparación y escritura de la tesis: Se elaborará el manuscrito de la tesis con los resultados obtenidos. El doctorante se preparará para la defensa oral del trabajo realizado con lo cual dará por concluido los estudios doctorales.

10. Referencias bibliográficas y otras fuentes de información

- Akenji, L., Bengtsson, M., Briggs, E., Chiu, A., Daconto, G., Fadeeva, Z., ... Tabucanon, M. (2015). *Sustainable Consumption and Production: A Handbook for Policymakers. United Nations Environment Programme*.
<https://doi.org/10.13140/2.1.4203.8569>
- Bleischwitz, R. (Ed.). B. S. (Ed. . (2009). *Sustainable Resource Management: Global Trends, Visions and Policies*. London: Routledge.
- Carillo, P., D'Amelia, L., Dell'Aversana, E., Faiella, D., Cacace, D., Giuliano, B., & Morrone, B. (2018). Eco-friendly use of tomato processing residues for lactic acid production in campania. *Chem. Eng. Trans.* <https://doi.org/10.3303/CET1864038>
- Chakhar, S., & Martel, J.-M. (2003). Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. *Journal of Geographic*



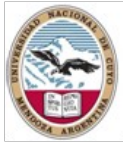
DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Information and Decision Analysis*, 7(2), 47-71. Recuperado a partir de https://researchportal.port.ac.uk/portal/files/694870/GIDA_2003_Chakhar_and_Martel.pdf
- Cheroennet, N., Pongpinyopap, S., Leejarkpai, T., & Suwanmanee, U. (2018). A trade-off between carbon and water impacts in bio-based box production chains in Thailand: A case study of PS, PLAS, PLAS/starch, and PBS. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.152>
- De Vargas Mores, G., Finocchio, C. P. S., Barichello, R., & Pedrozo, E. A. (2018). Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic. *Journal of Cleaner Production*, 177, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.138>
- Deb, K., Sindhya, K., & Hakanen, J. (2016). Multi-objective optimization. En *Decision Sciences: Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1201/9781315183176>
- Dueker, K. J. (1987). Geographic information systems and computer-aided mapping. *Journal of the American Planning Association*, 53(3), 383-390. <https://doi.org/10.1080/01944368708976457>
- Encalada Flores, K. S. (2016). *Obtención y caracterización de un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de achira (Canna edulis)*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15226>
- Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M., Majone, M., Bolzonella, D., Celli, A., ... Sebok, A. (2018). A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1471957>
- Ho, W., & Ma, X. (2017). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.007>
- Iles Guamán, S. D. (2017). *Estudio de materiales termoplásticos obtenidos a partir de un copoliéster alifático-aromático y almidón de banano (Musa paradisiaca)*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17353>
- INEC - ESPAC. (2017). Cifras Agroecónómicas. Recuperado a partir de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Leonard, A. (2007). *The Story of Stuf . How our Obsession with Stuf is Trashing the Planet, our Communities, and our Health—and a Vision for Change*. (Tagus, Ed.). epub v1.0. Recuperado a partir de <https://ingenieriayeducacion.files.wordpress.com/2013/05/la-historia-de-las-cosas-annie-leonard.pdf>
- Lovett, J., & De Bie, F. (2016). *SUSTAINABLE SOURCING OF FEEDSTOCKS FOR BIOPLASTICS: Clarifying sustainability aspects around feedstock use for the production of bioplastics*. Amsterdam. Recuperado a partir de http://www.corbion.com/media/550170/corbion_whitepaper_feedstock_sourcing_11.pdf
- Malczewski, J. (2010). Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. En M. Ehrgott, J. Figueira, & S. Greco (Eds.), *International Series in Operations Research and Management Science* (pp. 369-395). Boston: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5904-1_13
- Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- Mayunga, S. D. (2018). Suitability Analysis of Satellite Towns Using Saaty Model and Geographical Information System (GIS). *Scientific Research an Academic Publisher*, 6(1), 1-14. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2018.61001>
- Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., & Koren, Y. (2000). Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 11(4), 403-419. <https://doi.org/10.1023/A:1008930403506>
- Miller, D., Wang, C., Donaldson-selby, G., Miller, D., & Keen, M. M. (2018). Introduction to Geographic Information Systems 1 Study Guide 2 Geographic. Oban, Scotland: SAMS. Recuperado a partir de <http://www.aquaspace-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/09/AquaSpaceMM-05-GIS-notes.pdf>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica. Open Source Geospatial*



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

- Foundation Project (OSGeo)* (Vol. 3). Recuperado a partir de <https://github.com/volaya/gis-book>
- ONU. (2018). Ecuador combate la marea de plástico. Recuperado a partir de <https://news.un.org/es/story/2018/03/1429202>
- Ossadnik, W., & Lange, O. (1999). AHP-based evaluation of AHP-Software. *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00321-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00321-X)
- Pilla Barroso, I. A. (2017). *Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y plastificantes*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17060>
- PlasticsEurope. (2017). *Plásticos – Situación en 2017*. España. Recuperado a partir de https://www.plasticseurope.org/download_file/force/1452/632%0A
- Requiso, P. J., Rey, F., Jr, P. N., & Alfafara, C. G. (2018). Agricultural Residue Feedstock Selection for Polyhydroxyalkanoates Production using AHP-GRA. *Philippine Journal of Science*, 147(4), 693-709. Recuperado a partir de http://philjournalsci.dost.gov.ph/pdf/pjs_pdf/vol147no4/agricultural_residue_feedstock_selection.pdf
- Rodríguez, A. M., & Mora, M. A. (2008). *La investigación en la era de la información: guía para realizar la bibliografía y fichas de trabajo*. México: Editorial Trillas.
- Rodríguez Jiménez, A., & Omar Pérez Jacinto, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Universidad de Artemisa*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Roland, G. (University of C. (2018). Planet or Plastic - Pictures, a Lifetime of Plastic. *National Geographic Magazine*, 13. Recuperado a partir de <https://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/06/plastic-planet-waste-pollution-trash-crisis/>
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saaty, T. L., & Ergu, D. (2015). When is a Decision-Making Method Trustworthy?



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Criteria for Evaluating Multi-Criteria Decision-Making Methods. *International Journal of Information Technology & Decision Making*.

<https://doi.org/10.1142/S021962201550025X>

Scalia, M., Barile, S., Saviano, M., & Farioli, F. (2018). Governance for sustainability: a triple-helix model. *Sustainability Science*, 13(5), 1235-1244. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0567-0>

Yang, C., Huang, Q., Li, Z., Liu, K., & Hu, F. (2017). Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges. *International Journal of Digital Earth*. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1239771>



DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN

N°	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD/TAREA	PERIODOS DE EJECUCIÓN (meses)																							
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
1	Desarrollo del marco teórico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
2	Adquisición de nuevos conocimientos	X		X		X		X		X		X		X											
3	Recolección de datos y análisis de la información				X	X	X	X	X	X	X	X	X												
4	Desarrollar propuesta de modelo para toma de decisiones									X	X	X	X	X	X	X									
5	Validar metodología y optimizar propuesta desarrollada												X	X	X										
6	Escritura de informes de avance y artículos científicos con fines de publicación					X	X					X	X					X	X						
7	Preparación y escritura de tesis														X	X	X	X	X						