

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

*Nada humano me es ajeno*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE  
MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN  
ACADÉMICA EN INGENIERÍA.

Caso de estudio: Manufactura de módulos fotovoltaicos de  
CdS/CdTe en áreas de  $100\text{cm}^2$  y con eficiencias de 8% por la  
técnica de sublimación y procesos industriales.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRA EN FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA  
Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

P R E S E N T A:

BRENDA GUADALUPE SALAZAR AGUILAR

DIRECTORA DE TESIS

DRA. MA. CLAUDIA ROLDÁN AHUMADA

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

#### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

**COMITÉ DE CERTIFICACIÓN:**

**Presidente:** Dr. Manuel Martínez Fernández (IER UNAM)

**Secretario:** Ma. Claudia Roldán Ahumada (UACM)

**Vocal:** Dr. Rogelio Mendoza Pérez (UACM)

**Vocal:** Mtro.: Raúl Amilcar Santos Magaña (UACM)

Lugar donde se realizó el posgrado:

**PLANTEL DEL VALLE, UACM.**

**ASESOR DE TESIS:**

Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada

Programa de Energía – UACM

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

La conclusión de este trabajo de tesis no habría sido posible sin las circunstancias y personas que me permitieron aprender y concretar las valiosas enseñanzas que se ciernen alrededor de este trabajo, la enorme responsabilidad como profesionistas en nuestra interacción con el planeta, y que buscan manifestarse en esta tesis.

A mis padres y hermanas, porque como la Naturaleza, forman parte de una red infinita de vida que me constituye cada pensamiento. Son mi eje cartesiano.

A Mauricio, por ser mi escucha y permitirme comprender las enseñanzas de esta tesis.

A la Dra. Claudia Roldán, por su tiempo y optimismo, y por su noble apoyo a los estudiantes de la UACM. Al Mtro. Raúl Santos, por su amable disposición en apoyar la concreción de esta tesis. Al Dr. Manuel Martínez por sus valiosas críticas para mejorar esta investigación.

Agradezco también al Dr. Rogelio Mendoza su disponibilidad para proporcionar la información relativa al Proyecto 189282 Fomix Conacyt GDF, que es la base que permitió realizar la presente evaluación de sustentabilidad de una investigación tecnológica en áreas de ingeniería.

Agradezco a los profesores del Programa de Energía porque me permitieron conocer un gran proyecto educativo: la UACM, que debe crecer con la ética y compromiso que merece. A las invaluable enseñanzas de los autores consultados para esta tesis y que sin duda son los grandes maestros atemporales.

Así mismo, agradezco los siguientes apoyos institucionales que permitieron la concreción y avance de este trabajo de tesis: Apoyo a la Titulación Convocatoria 2015 y Apoyo para impresión y/o empastado de trabajo recepcional o tesis 2017.

*...Pero los hombres no pueden cambiar la Naturaleza sin cambiarse a sí mismos.*

Christopher Caudwell, *Illusion and Reality* (1937)

# **Evaluación de sustentabilidad de la investigación académica en ingeniería.**

*Caso: "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales"*

# ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
Introducción	3
<b>Capítulo 1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable</b>	7
1.1 Qué es la sustentabilidad y el desarrollo sustentable	10
1.2 La educación y la sustentabilidad	17
1.3 El papel de la investigación en el desarrollo sustentable	20
1.3.1 Indicadores de desarrollo económico e investigación	20
1.4 Técnicas de evaluación de sustentabilidad	22
1.4.1 Marcos de evaluación de sustentabilidad	24
1.4.2 Indicadores de sustentabilidad	28
<b>Capítulo 2. La investigación académica en ingeniería</b>	29
2.1 Características de la investigación académica en ingeniería	29
2.2 Tipos de investigación académica en ingeniería	30
2.2.1 Innovación e investigación tecnológica	34
2.3 Análisis de ciclo de vida en la investigación académica	38
2.3.1 Ciclo de vida de la investigación científica y tecnológica	38
2.3.2 Ciclo de vida del proyecto de ingeniería	41
2.3.3 La Gestión tecnológica	42
<b>Capítulo 3. Evaluación de sustentabilidad de la investigación en ingeniería.</b>	
<b>"Manufactura de módulos FV de CdS/CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales."</b>	45
3.1 Marco para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad: MESMIS	46
3.1.1 Pasos para la evaluación MESMIS	47
3.2 MESMIS aplicado a la investigación académica en ingeniería: Proyecto Conacyt 189282	49

3.2.1 Caracterización de la investigación académica (Paso 1 MESMIS)	50
3.2.2 Identificación de fortalezas y debilidades (Paso 2 MESMIS)	56
3.2.3 Derivación de indicadores de sustentabilidad (IS) (Paso 3 MESMIS)	58
3.2.4 Derivación de IS asociados al ACV de la investigación en ingeniería	60
3.3 Definición de IS derivados de Conacyt 189282	62
3.3.1 Dimensión económica	62
3.3.2 Dimensión social	66
3.3.3 Dimensión ambiental	70
3.3.4 Dimensión institucional	74
<b>Capítulo 4. Resultados de la evaluación de sustentabilidad de la investigación académica en ingeniería</b>	<b>85</b>
4.1 Medición de indicadores de sustentabilidad	86
4.1.1 Dimensión económica	86
4.1.2 Dimensión social	89
4.1.3 Dimensión ambiental	91
4.1.4 Dimensión institucional	93
4.2 Integración de indicadores de sustentabilidad	96
4.2.1 Evaluación de sustentabilidad global	97
4.2.2 Evaluación de sustentabilidad por etapas	100
4.2.3 Evaluación de sustentabilidad por dimensión	106
4.3 Conclusiones de la evaluación de sustentabilidad: "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100cm <sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales"	111
4.3.1 Mejoras y futuros trabajos	116

## RESUMEN

Esta investigación aborda un problema crucial, tanto por su problemática vigente como por su necesidad de soluciones: cómo saber si un sistema, tecnología o propuesta novedosa desde la ingeniería, es sustentable en el tiempo, en qué medida o cómo puede lograrlo. La primera observación, desde una posición académica, consistió en plantear al trabajo de investigación en las áreas de ingeniería como un sistema factible de ser evaluado o medido respecto a su grado de sustentabilidad, de acuerdo a ciertos criterios y objetivos esperados que tuvieran como eje la consideración de los aspectos ambientales, sociales, institucionales y técnico económicos en cada una de sus etapas, a través de la derivación de indicadores específicos para una investigación en ingeniería. Para ello se seleccionó una metodología que permite caracterizar el problema de estudio, y a partir de ello derivar indicadores que posibilitan medir el grado de sustentabilidad que se quiere alcanzar, siempre con posibilidad de mejora, considerando desde esta faceta académica la relevancia de incorporar mayores elementos de análisis en la viabilidad de una solución de ingeniería (tecnología, técnica o servicio), como son: la respuesta a mejoras ambientales, sociales, institucionales así como las técnico económicas.

Este tema de estudio busca brindar una herramienta que permita un primer acercamiento a la evaluación de sustentabilidad de una investigación académica en ingeniería, como una manera de concientizar sobre la forma en cómo se realiza y evalúa la contribución a la sustentabilidad de dicho tipo de investigación. Esta metodología se aplicó a un caso de estudio específico y se espera que pueda ser adaptada a otras investigaciones para poder medir los resultados propuestos en cada una, pero también sus consecuencias colaterales al llevarla a la práctica y en este sentido, se mejore el quehacer en la investigación académica ingenieril.

Respecto a los resultados de la evaluación del estudio de caso, se puede resaltar que la integración de los indicadores, es una representación de la medida estandarizada en porcentajes de los indicadores, lo cual permite integrar una lectura conjunta y destacar fácilmente aquellos con un nivel bajo de sustentabilidad, respecto a valores objetivo esperados, a fin de aportar soluciones específicas para hacer mejoras en la investigación.

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis revisa los tipos de investigación que se realizan en las áreas de ingeniería con la finalidad de poder identificar los objetivos, estructuras y enfoques del tipo de investigación que con mayor frecuencia se emprende en dichas áreas y con ello, poder realizar contribuciones sobre cómo podría realizarse esta actividad académica, de manera que pueda considerar atributos de sustentabilidad en su proceso de desarrollo y contribuir así con el desarrollo sustentable.

Para ello, se revisan los elementos teóricos que aportan algunos autores sobre la necesidad de modificar las prácticas intensivas en la explotación de los recursos naturales, incluyendo en éstos últimos al hombre, y que favorezcan la permanencia de vida en el planeta. Se considera relevante incluir estas aportaciones, ya que aún cuando no hablen sobre desarrollo sustentable o sustentabilidad específicamente, puesto que estos conceptos no existían, se pueden encontrar en ellos vías para proponer soluciones a la crisis ecológica y económica actual.

Pues, como se verá en el Capítulo 1, el eje central del análisis que se presenta de autores como Karl Marx o Bellamy Foster, reside en que es la forma y los objetivos que busca la acumulación de capital, con la producción industrial, desde alimentos hasta bienes no indispensables, quienes han eludido la valoración de la vida ecosistémica con la explotación intensiva de los recursos naturales.

Y esto ha llevado a plantearse desde la visión institucional internacional la necesidad de virar los objetivos económicos hacia un desarrollo sostenible o sustentable. Entendido, como aquel desarrollo económico que considera con igualdad de importancia los aspectos socioambientales e institucionales, además de los económicos. Sin embargo esta vulnerabilidad de permanencia a la que se someten los recursos o la fractura de la relación de la naturaleza con la humanidad, que plantea Marx y se presenta en este mismo capítulo, no es nueva y responde a la crítica sobre la expansión del capitalismo industrial en todos los sectores productivos.

Estas referencias son cruciales para poder ampliar, como ya se dijo, las vías o caminos para proponer soluciones enfocadas hacia un desarrollo sustentable. Y como se verá en este mismo capítulo, existen distintas concepciones sobre la sustentabilidad y el desarrollo sustentable, desde

posturas que proponen un equilibrio en la consideración de los aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales e institucionales de las acciones y proyectos que se emprendan, como una vía en el período de innovación tecnológica actual.

En este sentido, la sustentabilidad es la forma de adjetivar la consideración de estos aspectos y el desarrollo sustentable es el proceso en el que se conjuntan diversas acciones que consideran atributos de sustentabilidad esperados y en el transcurso del tiempo se alcanzaran distintos grados de sustentabilidad asociados a estas prácticas.

Algunas otras teorías revisan al desarrollo sustentable como un modelo de crecimiento económico que permita regular, en el fondo, la forma como se consumen recursos para la producción y para el consumo. Sin embargo, el alcance de esta tesis no es económico sino desde la perspectiva de proponer el uso de una herramienta práctica que permita evaluar la sustentabilidad de la investigación académica en ingeniería, considerando a la ingeniería como una profesión que impacta directamente en la forma como se aprovechan los recursos naturales, en consecuencia en la economía y en la sociedad, de manera que pueda brindarse un aporte hacia la Educación sustentable en ingeniería.

Como se ha dicho, resulta crucial poder presentar la perspectiva de autores que consideran que el desarrollo sustentable es incompatible con las formas de producción y consumo que prevalecen en el capitalismo, porque de fondo son incompatibles las consideraciones no económicas para los objetivos de producción en un sistema mercantilista.

En el capítulo 1 se refuerza la consideración de la realización de investigación académica por el impacto que tiene en el desarrollo económico, dado que los cambios tecnológicos y la capacitación profesional son elementos determinantes en la independencia económica de una nación y las posibilidades de creación de estrategias para el desarrollo económico, evitando así la dependencia de directivas internacionales o de objetivos que no conciernen a las condiciones y necesidades locales de cada país. Además se destacan que aquellos países con economías fuertes hacen mayores aportaciones a financiar la investigación nacional y con ello fortalecen y fomentan el desarrollo de innovaciones, que históricamente se ha demostrado que inciden y determinan en cómo se manifiesta y entiende la vida y la economía, incluso obedeciendo a los objetivos de los agentes que financian dichas investigaciones.

Sin embargo, la acotación que se realiza en esta tesis es únicamente para la investigación académica, que sin duda puede aportar al Desarrollo sustentable al cumplir con los objetivos de la Educación Sustentable, en el enfoque de las Naciones Unidas. Y para la educación de los estudiantes de ingeniería, al aportar en la ampliación de criterios de diseño, en el sentido de que todas las actividades que se realizan en la ingeniería impactan en el desarrollo económico, desde la perspectiva de que habitualmente no se consideraban los impactos sociales, ambientales e institucionales en los proyectos de ingeniería. De manera que llevado este análisis a la investigación académica, permita implementar instrumentos que consideren no sólo los beneficios económicos, en la práctica de la ingeniería, de la cual la investigación es su cimiento.

Las características de la investigación que se realiza en ingeniería y sus procesos de desarrollo asociados son abordados en el capítulo 2 de esta tesis y lo que se pretende es poder identificar cada etapa y establecer las características esperadas en cada una de ellas de manera que esto ayude en la aplicación de la metodología de evaluación de sustentabilidad.

Para este mismo fin es que se analiza el proceso de desarrollo de un proyecto de ingeniería como una forma de poder agregar a las características de investigación aquellos elementos que implica el análisis de un proyecto de ingeniería haciendo un símil con la fase experimental de la investigación académica que permita identificar los aspectos ambientales, sociales e institucionales que deben considerarse también en ésta y que en conjunto con las características del proceso de investigación, como se dijo antes, aporten en la configuración de la evaluación de sustentabilidad.

Retomando nuevamente, al final del Capítulo 1 de esta tesis, se analizan las características, enfoques, metodología y objetivos de algunas de las técnicas y marcos de evaluación de sustentabilidad ya existentes que han propuesto otros autores o instituciones. Mismas que se retoman en el Capítulo 4 para poder destacar la selección y descripción a la metodología elegida para proponer una forma de evaluar la sustentabilidad de una investigación académica de ingeniería, para lo cual se presentan los pasos a seguir que propone dicha metodología seleccionada y se adaptan al caso de estudio "Manufactura de módulos FV de CdS/CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales".

Como se puede consultar a detalle en este Capítulo 3, la mayoría de las técnicas y marcos de evaluación, proponen indicadores de sustentabilidad para poder medir el grado de sustentabilidad

del sistema o unidad bajo estudio, sin embargo las diferencias de fondo que presentan residen en cómo se realiza esta selección o derivación de indicadores y de qué manera se leen en conjunto. Siendo la lectura en conjunto o integración un aspecto fundamental, ya que por integración no debe únicamente entenderse que deban llevarse todos estos indicadores a un único índice que reporte la medida de todos ellos pues sin duda se perdería información. Sino integración como una presentación conjunta que permita una lectura práctica de los resultados respecto al grado de sustentabilidad alcanzado por la unidad bajo estudio.

Es importante señalar que los indicadores de sustentabilidad que se han derivado para este trabajo de tesis se refieren a cualidades esperadas del proyecto de investigación que se estudia, que incluye las características propias del proceso de investigación en ingeniería, así como a las características asociadas al manejo de recursos naturales, sociales, institucionales y a los objetivos planteados en la propia investigación a evaluar.

Finalmente, en el Capítulo 4 se presentan los resultados de la medición de cada uno de los indicadores, En los casos en los cuales no se pudieron evaluar los indicadores debido a falta de información recabada en el desarrollo de la investigación bajo estudio o debido a que no existen parámetros de referencia contra los cuales contrastar estas mediciones, se presentan sus definiciones y posibles maneras de evaluarlos dada la importancia que tienen y porque pueden servir de ejemplo para evaluar otros proyectos de investigación.

En este sentido, es importante también destacar que los indicadores se agrupan por dimensiones: Social, Ambiental, Técnico Económica e Institucional, y la forma como será medido el grado de sustentabilidad de la investigación de estudio será proponiendo a su vez los valores de referencia o valores meta esperados para esta investigación en particular, de manera que esta misma caracterización pueda guiar futuros trabajos afines o que mejoren esta propuesta.

Así, la conjunción de los indicadores permite observar qué grado de sustentabilidad presenta cada dimensión y en el conjunto de las dimensiones, entendido este grado como un porcentaje respecto al valor meta o valor esperado que se estableció para esta investigación de estudio, y así poder proponer las mejoras pertinentes que pueden realizarse o bien concluir por qué algunos indicadores pueden no ser mejorados dadas las características de diseño del proyecto que se va a evaluar.

# Capítulo 1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable

En el mundo, el sistema económico predominante es el capitalismo y sobre su base y expansión se han desarrollado las naciones desde hace casi dos siglos. El sistema requiere para su permanencia el crecimiento económico, distinto del desarrollo económico, y bajo esta visión la generalidad de los países plantea para evaluar el crecimiento económico indicadores como el PIB per cápita o la inflación, y de forma más reciente algunos otros indicadores como el Índice de Desarrollo Humano, propuesto por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en un sentido ya no de crecimiento económico sino de desarrollo económico.

La producción masiva de bienes básicos dentro del sistema económico, así como otros bienes menos indispensables e incluso de lujo, requiere el consumo intensivo de recursos naturales, y sería hasta finales del siglo pasado y de forma oficializada, a través de las directivas, acuerdos y políticas internacionales promovidas por organismos internacionales, que se abordaría la necesidad de revirar la forma como se ha concebido la forma como se consumen los recursos naturales, incluidos los recursos humanos, y la necesidad de plantear un desarrollo económico congruente con la calidad finita de dichos recursos, además de su consideración dentro de los efectos climáticos y de permanencia que conlleva su uso intensivo.

Es entonces que se presentan los conceptos de desarrollo sustentable y sustentabilidad, dentro del marco de la crisis ecológica que implica el cambio climático que presenta evidencias científicas sobre su causalidad humana debida a las actividades industriales intensivas características a partir de la revolución industrial. Respecto a sus definiciones o conceptos, se pueden encontrar diversos de ellos en la literatura pero la mayoría de ellos acude a una inclusión de los aspectos ambientales y sociales, de manera que puede convertirse en un crecimiento económico sostenido, que difícilmente revisa las causas profundas que generan los problemas que se quieren resolver, es decir, las contradicciones del propio sistema económico, en el sentido de que la acumulación de bienes de capital se ha realizado a costa de un saqueo a la riqueza de la naturaleza y en este sentido, en el saqueo de la naturaleza humana incluida. Por ello, se aportan algunas definiciones en lo siguiente, como una aportación a una mayor profundización de este tema, dado que el objetivo de este trabajo de tesis es aplicar una herramienta práctica a favor de la sustentabilidad, en el entendido de que un cambio hacia la sustentabilidad implica una crítica y cambios profundos a los objetivos económicos del capitalismo y sus procedimientos.

Pareciera entonces que la sustentabilidad como cualidad de las acciones productivas y como eje rector de las políticas nacionales e internacionales, es un concepto nuevo, sin embargo, conviene destacar que mucho antes de la adopción del concepto de sustentabilidad y del desarrollo sustentable presentado en el informe Brundtland, ante la ONU, en el discurso de Nuestro Futuro Común, en 1987, ya antes de esta época se tenían evidencias sobre una cantidad de estudios científicos respecto a las consecuencias ambientales y sociales que genera el crecimiento económico en las formas de producción capitalistas. Por ello, en este primer capítulo se presentan algunas de las discusiones respecto a la necesidad de establecer formas racionales de producción que permitan la coexistencia de la vida humana con el resto de las especies, mientras este sistema prevalezca y evidentemente, también después.

En primer lugar, se revisan algunos autores que pueden servir de guías, a través de sus investigaciones científicas, en la búsqueda de las soluciones sobre cómo abordar la actual crisis ecológica y económica, y que finalmente es la búsqueda de cómo abordar en la práctica acciones hacia un desarrollo sustentable desde distintas perspectivas. La inclusión de estos autores tiene relevancia porque permite comprender la magnitud del problema, y que incluso, antes de la evidencia científica sobre la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como causantes del cambio climático o la evidencia del agotamiento de la fuente principal de los energéticos que consume el sistema productivo, se tuvieron evidencias registradas sobre el deterioro y vulnerabilidad de los recursos con las prácticas industriales propias del capitalismo.

Finalmente se agregan algunas de las técnicas y marcos de evaluación de sustentabilidad que han sido desarrollados con el fin de poder comprender el alcance de estas herramientas. En este apartado se presenta a la sustentabilidad como una cualidad del desarrollo sustentable que es deseable para todas las actividades que involucra este proceso y a su vez se puede determinar a través de una serie de atributos que en conjunto conforman a la sustentabilidad. En este punto, se resalta que la sustentabilidad puede evaluarse como una proporción de alcance de sus estado actual respecto a los valores del estado esperado que es considerado como un estado sustentable o de referencia, es decir aquel estado en el que se realizan los objetivos deseados del sistema bajo estudio o sistema productivo.

El desarrollo sustentable en este sentido, no consiste en una fórmula o una receta que debe adoptarse sino que proviene de un análisis cabal realizado por los distintos actores locales en los

que incide este sistema, además de los expertos en distintas disciplinas que pueden en conjunto diseñar los sistemas alternativos que se quieren alcanzar como parte del proceso hacia un desarrollo sustentable.

Adicionalmente, para reforzar la importancia del desarrollo de investigación y ciencia en la economía de un país, se presentan algunos indicadores relacionados a la investigación y desarrollo tecnológico como un porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB).

Finalmente, lo que se quiere resaltar es que así como la ingeniería es de gran relevancia para las actividades productivas de cualquier nación, es crucial la inclusión de todos los aspectos relacionados en su ciclo de vida completo, dado que no es la ciencia o la tecnología en si mismas quienes plantean los modos intensivos de producción sino los objetivos a los que son dispuestas dentro del sistema económico y en consecuencia, la consideración de los aspectos sociales, técnico económicos, ambientales e institucionales en la investigación misma sin duda pueden brindar grandes aportes hacia los objetivos de sustentabilidad que se persiguen.

Con ello, no se quiere decir que incrementar el padrón de investigadores es la solución hacia el desarrollo sustentable, puesto que no valdría de mucho contar con un amplio número de investigadores con bajos salarios o peor aún sin empleo, que únicamente reflejarían los desequilibrios de una economía desigual e insustentable. Pero sí resaltar, que una mayor inversión destinada a la formación de investigadores contribuiría en el diseño de soluciones locales, sociales y ambientalmente responsables, en brindar independencia nacional, promover la creatividad y potencial intelectual y en consecuencia contar con profesionistas consientes de que tanto la ingeniería como la investigación conlleva responsabilidades de mejora en distintas dimensiones, donde lo que debería imperar es la permanencia de la vida y no la rentabilidad de las actividades humanas.

Por ello, en esta tesis es de vital importancia aplicar un método de evaluación de sustentabilidad al proceso de investigación académica en las áreas de ingeniería, en el sentido de proponer una guía que permita, conocer el grado de sustentabilidad que presentan estas propuestas científicas académicas, bajo criterios y objetivos a alcanzar en referencia a un sistema o investigación objetivo. De esta manera, se buscará caracterizar el tipo de investigación que frecuentemente se realiza en ingeniería y establecer criterios para su diagnóstico. Criterios

relacionados al proceso de investigación y criterios relacionados al proceso de experimentación, construcción o pruebas de la solución propuesta. Aunque esto se retoma en el capítulo 2 de esta tesis.

### **1.1 Qué es la Sustentabilidad y el desarrollo sustentable**

El concepto más difundido de desarrollo sustentable en las políticas internacionales se encuentra en el *Informe Brundtland*, Nuestro futuro común, enunciado en 1987 como “El desarrollo de una nación... tal que, satisfaga las necesidades presentes sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias”. (WCED, 2016) Nótese que esta aportación conceptual no especifica cómo debe ser este desarrollo sino su objetivo último y es por ello que en el desarrollo de este apartado se presentan distintos conceptos, pero antes de ello, conviene presentar apenas el esbozo de la discusión ambiental que implican las actividades intensivas dentro del capitalismo.

El contexto histórico en el que se plantea este concepto y se incorpora en las políticas internacionales desde 1987, como una meta a conseguir en las expectativas del desarrollo, es posterior, sin embargo, a diversos estudios científicos que evidenciaban la vulnerabilidad de los recursos naturales ante las actividades intensivas que promueve la economía, como fue la expansión de la agricultura industrial a inicios del siglo XIX.

La crisis en el campo, en específico el agotamiento de la fertilidad del suelo, entre 1830 a 1870, condujo a una serie de estudios desde la química hasta las ciencias económicas para buscar soluciones, en estos estudios se denunciaron las prácticas intensivas de la agricultura industrial que no permitían devolver al suelo sus propiedades naturales y con ello trastocaban la fertilidad del suelo. (Foster, 2014: 155)

*Justus von Liebig* realizó un estudio sobre Química Orgánica en sus aplicaciones a la agricultura y la fisiología de 1840, y denunció las actividades insustentables en la agricultura industrial del capitalismo respecto al agotamiento de los nutrientes del suelo: “la agricultura empírica del comercio dio lugar a un sistema de espoliación – de saqueo- donde las condiciones de reproducción natural del suelo fueron violadas” (Ídem: 158, Traducción libre de la autora).

Por su parte, Henry Carey en su análisis sobre los campos de cultivo estadounidense, observó dichas prácticas intensivas en los cultivos así como resultados similares respecto a la fertilidad del suelo, y evidenció el manejo abusivo de la agricultura de gran escala: “se da tal poder al

comercio que no es de sorprender que en todos lados la gente se ve empleada en 'robar a la tierra su capital colectivo'" (Ibídem: 158, *Henry Carey en Principles of Social Science*, 1858. Traducción libre de la autora.)

Es importante retomar estos primeros análisis ya que la tierra, el campo, y más específicamente la producción de excedentes agrícolas, es el motor fundamental que permite el desarrollo de la totalidad de los sectores productivos de una nación, pues forma la base del consumo primario que requiere una sociedad, aún cuando puede sonar por demás evidente es poco o nada estudiada y considerada por otros campos del conocimiento que influyen en las formas que adopta el desarrollo y el crecimiento económico de un país, como es la ingeniería.

Estos estudios sobre el agotamiento de la fertilidad del suelo fueron la base para la formulación del concepto de metabolismo social de Karl Marx, que puede considerarse, por su antigüedad, el primer antecedente sobre desarrollo sustentable. Ya que define a la relación vital entre la naturaleza y la humanidad, relación crucial que permite su permanencia. Y es sobre este concepto que desarrolla la crítica que realiza a la forma como se manifiesta y reproduce el capital alterando esta relación metabólica.

El metabolismo social es un concepto puramente marxista que identifica las relaciones de intercambio sociales a través de los valores de uso, (Marx, 2010: 127) y en un sentido amplio, forma parte del metabolismo universal entendido como la relación vital que asocia a la humanidad con la naturaleza, en palabras de Marx: "el retorno al suelo de aquellos elementos constitutivos del mismo, que han sido consumidos por el hombre bajo la forma de alimentos y vestimenta, retorno que es condición natural eterna de la fertilidad permanente del suelo". (Marx, 2009: 611)

En su análisis crítico al capitalismo se tiene información respecto a las condiciones que permiten que éste funcione, pero con infranqueables daños tanto al hombre como a la naturaleza, dedica imprescindibles capítulos a la renta de la tierra y a la génesis de ésta, y que ante el estado actual del desarrollo que vive la humanidad es importante reconsiderar, en la búsqueda de alternativas a la forma cómo consumimos y agotamos los recursos y la vida. Al explicar la forma como históricamente se conformó la renta del suelo, distinta a su función natural, Marx concluye que su explotación en pequeña o gran escala con la agricultura, imprime daños profundos al capital colectivo natural:

"En ambas formas vemos cómo la explotación racional y consciente de la tierra como eterna propiedad colectiva y condición inalienable de existencia y reproducción de la cadena de generaciones humanas que se suceden unas a otras, es suplantada por la explotación y dilapidación de las fuerzas de la tierra" (Marx, 1973: 752).

De esta forma, Marx llega a la teoría sobre la fractura del metabolismo universal o fractura metabólica con la naturaleza, dadas las prácticas intensivas que se ejercen sobre el suelo sin devolverle los nutrientes necesarios que permitan su recuperación no sólo para brindar satisfactores de forma perecedera sino para permitir la permanencia de la vida en el planeta. Es por ello que desde diversas ciencias han llegado nuevamente a retomar los conceptos marxistas sobre el metabolismo universal, como una forma de enfrentar la crisis ecológica mundial en la que estamos inmersos, y que por otro lado permite reflexionar sobre la contribución y consideración de las ciencias naturales y sociales en la ingeniería.

Es conveniente también resaltar que la diferenciación y brecha que se abre entre el campo y la ciudad contribuye a amplificar la fractura metabólica, pues las ciudades no son productoras de bienes primarios y ello agrava el problema mismo de la satisfacción de necesidades, así, las ciudades dependen por completo de la distribución de bienes desde el campo. Es importante esta reflexión en la medida que el mundo se urbaniza cada vez más y que inclusive las investigaciones de ingeniería se enfocan en desarrollar soluciones a los problemas de la ciudad.

Sin embargo, el traslado a grandes distancias de los bienes del campo, la nula recuperación de nutrientes del suelo, puesto que con la urbanización de las ciudades estos desechos son enviados a puntos concentrados de desechos, ubicaciones distintas del suelo que los produjo, convirtiéndolos así en un problema ambiental local y posteriormente global. No olvidar que la construcción de las ciudades y su infraestructura es parte de la actividad que ha realizado la ingeniería en pos del crecimiento económico y que en la medida en que se consideren sus efectos en todas las dimensiones: social, ambiental, técnico económica, institucional se pueden tener mejores grados de sustentabilidad en dichas actividades.

"En los Estados Unidos, figura como uno de los primeros planificadores ambientalistas, George Waring, en su análisis del despojo de la tierra en la agricultura, y el economista político Henry Carey, quien estaba influenciado por Waring, hicieron hincapié en que el

alimento y la fibra, que contienen los constituyentes elementales de la tierra, estaban siendo transportados a largas distancias en un movimiento en un solo sentido del campo a la ciudad, dando lugar a que la tierra perdiera sus nutrientes, que tuvieron que ser reemplazados por fertilizantes naturales (y posteriormente sintéticos).” (Foster, 2014: Parr. 16.)

En la literatura y a lo largo de las tres últimas décadas se han emitido una serie de informes y directivas nacionales e internacionales que pretenden resolver los problemas ambientales, que arroja la forma de producción capitalista, a través del desarrollo sustentable y básicamente a través de la enunciación de objetivos para conseguirlo. De manera que el problema ambiental y social se reconoce como nuevo y su condición emergente, sin embargo, los autores revisados anteriormente muestran que esta necesidad está asociada a formas de producción intensiva provenientes del mismo capitalismo y su novedad data de un par de siglos.

A esto se suman los estudios que evidencian al cambio climático asociado a la creciente emisión de CO<sub>2</sub> y su relación con las prácticas industriales contaminantes y que refuerza la necesidad de virar hacia otras formas de desarrollo. Estas variaciones del clima respecto a la emisión de GEI asociadas con una evidencia contundente a las actividades humanas y las consecuencias que tiene en todo el sistema climático y que se agudizarán dada su existencia y acumulación presente y futura parecen incluso argumentos no para un informe sino para una denuncia científica, puede consultarse para ello el resumen para responsables de políticas en IPCC (2013).

No obstante, algunos autores consideran que los mecanismos propuestos internacionalmente para reducir los efectos del cambio climático basados en la mitigación de GEI y la adaptación al cambio climático representan una forma de reproducción del propio sistema e incluso la llaman la economía del cambio climático donde “se trata de enfrentar el cambio climático al tiempo que se mantiene un crecimiento económico (crecimiento del PIB) y por tanto un crecimiento en el consumo de energía” (Rodríguez, Cap. 1: 7).

Y esto se busca a través de la creación de mercados de carbono y la promoción de economías bajas en carbono, es decir, mercantilizando los permisos para emitir emisiones sin modificar las estructuras o las fuentes que producen y mantienen el incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, a través del consumo intensivo de combustibles fósiles para la industria y el

transporte, sumado al consumo intensivo de recursos naturales que debilita su propia reproducción y capacidad de absorber desechos.

De esta forma, la solución a la crisis ecológica no puede enfocarse únicamente en mermar los efectos de las actividades productivas, por ejemplo, con la mejorara de la eficiencia de máquinas y procesos, pues a la larga no implica la reducción de consumo de combustible y bienes, por el contrario, enfrentar la crisis ecológica tiene más relación con cambios en los diseños de las soluciones y la forma cómo se conciben dichas soluciones que se crean desde la ingeniería y por supuesto, desde otras disciplinas.

En Rodríguez (2011), se realiza un interesante análisis sobre la postura hacia el desarrollo sustentable que promueve el Banco Mundial (BM) a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en las economías latinoamericanas a partir de los mecanismos de reducción de emisiones y adaptación, situando a la adaptación como eje central del desarrollo futuro, dada la vulnerabilidad al cambio climático que presenta la región latinoamericana, es decir, resolver las consecuencias sin atender las causas originales del problema.

“En todo ello se está desconociendo la responsabilidad del modelo de desarrollo sobre los países latinoamericanos en la generación de las actuales condiciones de pobreza, vulnerabilidad y riesgo en la región, las cuales no son determinadas únicamente por las capacidades económicas sino por procesos históricos.” (Íbid: 12)

Por ello, algunos autores consideran que el desarrollo sustentable es incompatible con el sistema económico: “Juntar el término capitalismo con el adjetivo verde es apostar por una transición que busca oxigenar el modelo extractivista y ampliar la matriz energética; a su vez, la promesa de responder la crisis ambiental mediante mecanismos de mercado” (Rodríguez, 2011: 32)

Otros autores añaden, que la crisis ecológica es más bien una crisis de civilización que requiere una “ética de la sustentabilidad” ante un “modelo económico, tecnológico y cultural que ha deteriorado la naturaleza y se ha opuesto a las culturas alternas... Desconoce tanto a los pueblos originarios, como a la mujer o a los pobres, es decir, al otro. A su vez, este modelo privilegia un modo de producción y un estilo de vida insustentables que son hegemónicos.” (Fondo Verde, 2012: 4)

El capitalismo entonces agrega nuevas dimensiones a los problemas, en pos del crecimiento económico, como son la pérdida de biodiversidad, la desertificación de suelos fértiles, la vulnerabilidad social ante desastres naturales, la contaminación del aire, agua y suelos y ante todo la permanencia de la vida digna en el planeta. (Íbid)

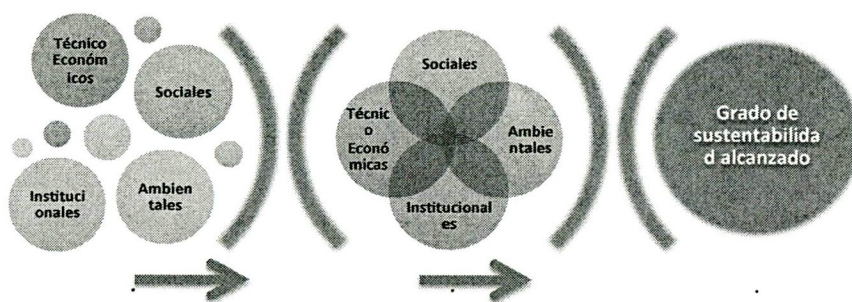
Desde la perspectiva budista también puede encontrarse una concepción del desarrollo sustentable que se presenta incompatible con el modelo económico que priva en todo el mundo. La “economía budista trata de maximizar las satisfacciones humanas por medio de un modelo óptimo de consumo, mientras que la economía moderna trata de maximizar el consumo por medio de un modelo óptimo de esfuerzo productivo” (Schumacher, 1983: 60) Además de realizar una diferenciación entre la concepción del trabajo como esfuerzo o “mal necesario” para la visión capitalista, en contraste con el trabajo como una forma de dignificación y desarrollo creativo humano, en el budismo. (Íbid: 58, 59).

Otras posturas definen al desarrollo sustentable a través de alternativas que permitan al actual sistema económico su reviraje hacia un desarrollo sustentable, como la ONU a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). En este sentido, diversos autores e instituciones han propuesto definiciones y caminos que permitan un desarrollo sustentable, en Estrada y Morán (2013) sistematizan al desarrollo sustentable en cualidades o atributos de sustentabilidad esperados, para resolver dentro del mismo contexto económico, aquellos aspectos que no se han considerado con la misma relevancia e indican que el desarrollo sustentable debe integrar los aspectos que impactan cualquier actividad humana que transforme o modifique el entorno para obtener un beneficio material o energético, a saber: los aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales e institucionales.

Instituciones como la *Royal Academy Engineering*, explican al desarrollo sustentable como un proceso en el que se integran y balancean con igualdad de importancia el cumplimiento de aspectos técnico-económicos, socioambientales, culturales e institucionales. En consecuencia, estos aspectos pueden ser medidos a través de indicadores que de acuerdo a su valor proporcionan información sobre el estado de sostenibilidad de un proyecto en todo su ciclo de vida. Por ello se habla de sistemas sustentables en el tiempo y de sustentabilidad como un proceso y no como un estadio. (Estrada y Morán: 6).

En la **Figura I.1 Etapas del proceso de desarrollo sustentable**, se muestra el proceso de desarrollo sustentable como la interacción esperada al integrar las dimensiones sociales, ambientales, institucionales y técnico económicas, a medida que se integran en un mismo proceso puede alcanzarse un nivel de sustentabilidad deseado e inclusive siempre posible de ser mejorado. Nótese que esta conceptualización a pesar de no realizar una crítica al modelo económico, promueve la integración de más dimensiones que modifican la valoración de las cualidades esperadas en las innovaciones, y eso es sin duda un paso concreto hacia la sustentabilidad que puede relacionarse a su vez al proceso de investigación académica.

**Figura I. 1 Etapas del proceso de desarrollo sustentable**



**Fuente:** Elaboración propia, basada en Estrada y Morán (2013).

La sustentabilidad puede ser entendida como una forma de vida que “implica asumir, entre otros elementos y condiciones, la necesidad de instituir una ética socio ambiental, una nueva racionalidad económica, formas novedosas de apropiación y distribución de los recursos naturales, la formación de profesionistas con compromiso social y ambiental para heredar a las futuras generaciones condiciones favorables para la satisfacción de sus necesidades básicas”. (Complexus, 2015: 6)

En el aspecto social, se reconoce que una prioridad de la sustentabilidad es erradicar la pobreza y la desigualdad social, así como los entornos inequitativos donde un porcentaje amplísimo de la población no alcanza a cubrir sus necesidades básicas, generando una merma en la calidad de vida en el presente, que de continuar difícilmente podría alcanzarse en el futuro, y por ello “también genera una distribución desigual del conocimiento a escala planetaria”. (Fondo Verde, 2012: 8)

Evitar la discusión respecto a las fuentes que producen la insostenibilidad no sólo económica sino humana, y seguir las enmiendas internacionales que promueven una nueva directiva hacia el desarrollo sin realizar un ejercicio más profundo de reflexión que revise el sentido de dichas directivas así como las innovaciones que se están produciendo en la academia y en las empresas, sesgaría la visión completa del problema o bien la resolución de sus causas originarias o más profundas. Marx aborda la forma en la que se apropian los recursos naturales en el capitalismo y en este sentido su crítica aporta incluso elementos ecológicos y de prioridad a la naturaleza, el identifica que sean renovables o no renovables, tanto en la producción agrícola como en la minería y otras actividades extractivas, se comportan de manera igual en la economía capitalista. Y enfatiza: "Dondequiera que las fuerzas naturales son monopolizables y aseguran al industrial que las emplea una ganancia excedente, ya se trate de un salto de agua, de una mina rica, de aguas abundantes en pesca o de solares bien situados, nos encontramos con que la persona que por su título sobre una porción del planeta puede alegar un derecho de propiedad sobre estos objetos naturales, se apropia esta súper ganancia y se la sustrae al capital activo, en forma de renta." (Marx, 1973: 717)

Finalmente, reconsiderar los trabajos que han realizado otros investigadores otorga valor y continuidad a la producción científica, a la producción de conocimiento humano, de manera que estas visiones filosóficas y científicas abonan en la configuración de alternativas que dignifiquen la vida humana y su relación con las demás especies. Además de ello, su conocimiento permite enfrentar los alcances reales del desarrollo sustentable dentro del sistema capitalista.

En el siguiente apartado se revisan los objetivos sobre la educación sustentable como un agente de cambio ya que tiene un papel fundamental la formación de profesionistas desde una perspectiva multidisciplinaria que cuestione las metas y óptimos que han prevalecido en cada ciencia y le permitan adicionar mejoras a partir de la crítica reflexiva y constructiva considerando otras disciplinas y enfoques.

## **1.2 La educación y la sustentabilidad**

Del apartado anterior, se infiere que dado que las innovaciones esperadas tendrían que basarse en atributos de sustentabilidad en la construcción de un desarrollo sustentable, ello requiere una generación de profesionistas e investigadores igualmente formados en la revisión y reflexión de las aportaciones teóricas o prácticas, de reconocimiento de metodologías que permitan su contribución

desde un enfoque de la preservación de la vida humana en la tierra y en consecuencia de todas las formas de vida como prioridad.

¿Cómo abordar entonces la sustentabilidad en la investigación? Esta pregunta tratará de resolverse a través de considerar a la investigación académica en las áreas de ingeniería como un sistema que interactúa con otros sistemas con los que intercambia beneficios y de los que depende para su realización.

Es importante en este punto, destacar que la educación hacia el desarrollo sustentable debe ser estrictamente científica y plural, formar profesionistas críticos y creativos que cuenten con una diversidad de elementos de los que cada investigación sea una semilla de nuevas soluciones o una continuidad factible de dichas soluciones.

Las mismas políticas institucionales en la consecución de los objetivos por un desarrollo sustentable han enarbolado el papel de la educación, por ejemplo: el Programa de Acción Mundial de Educación para el Desarrollo Sustentable, promueve habilidades esperadas en las nuevas generaciones de profesionistas que transformarán este mundo, a través de promover el pensamiento crítico y prospectivo, de reconocer otros enfoques educativos como la educación para la paz, la vida, los derechos humanos, la educación por el arte, para la producción y consumo sustentables, sobre perspectiva de género y educación para una ciudadanía global, entre otros. (Complexus, 2015: 8).

Otro ejemplo es el Marco de Acción de Dakar. Educación para todos: que busca “cumplir nuestros compromisos comunes, de 2000; el Decenio de las Naciones Unidas por la Alfabetización (2003-2012) y la Declaración de la conferencia Mundial sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible (de Nagoya Japón en 2014)” (Íbid: 3). En este mismo documento se pueden consultar los compromisos de México con el Programa de Acción mundial sobre la educación para el desarrollo sostenible (Íbidem: 13).

Así mismo, en los programas de las universidades pueden encontrarse nuevos enfoques sobre la ingeniería y su impacto en el desarrollo, así como la creación de carreras universitarias y posgrados dedicados a estudiar la Sustentabilidad o bien las Fuentes renovables de energía, la sustentabilidad energética, como áreas específicas de acción que se relacionan con las ingenierías.

En un mensaje dado a los alumnos de ingeniería en la Universidad Católica de Argentina, se reconoce la ambigüedad del desarrollo sustentable pues "a pesar de que la definición propuesta fue sumamente efectiva para incluir en la agenda de los gobiernos el tema de la sustentabilidad, su amplitud e imprecisión ha dado cabida a una diversidad de interpretaciones" (Giuliano, 2011: 3) y en la propuesta de alternativas desde la ingeniería "el diseño de la cuna a la cuna considera que se debe proponer una estrategia de cambio. No se trata de buscar una opción menos dañina sino de repensar la totalidad del proceso de diseño en sí mismo. La eficiencia no tiene valor propio, depende del valor del sistema mayor del que es parte. Si los propósitos son cuestionables, la eficiencia puede hacer a la destrucción aún más grave." (Íbid: 4)

En este sentido, es importante reconocer que se han realizado algunos cambios no sólo en la creación de nuevos programas de estudio sino en la necesidad de recurrir a autores que hace un siglo ya señalaban las consecuencias de este sistema intensivo. Nuevamente surge la cuestión práctica de cómo estimar o evaluar los grados de sustentabilidad de un sistema, cómo tendría que ser especificada por un profesionalista, por ejemplo un ingeniero, y cómo tendría que ser entonces su educación. La presentación de las técnicas de evaluación de sustentabilidad se aborda más adelante.

Si bien, esta tesis no es económica es notable que la ingeniería incide en la actividad económica, y al menos debe considerarse la actualidad de esta discusión. En lo siguiente se enfoca el estudio de esta tesis en revisar las metodologías existentes para la evaluación de la sustentabilidad, como una manera de aplicar y/o proponer soluciones concretas para poder estimar en que grado un sistema es sustentable.

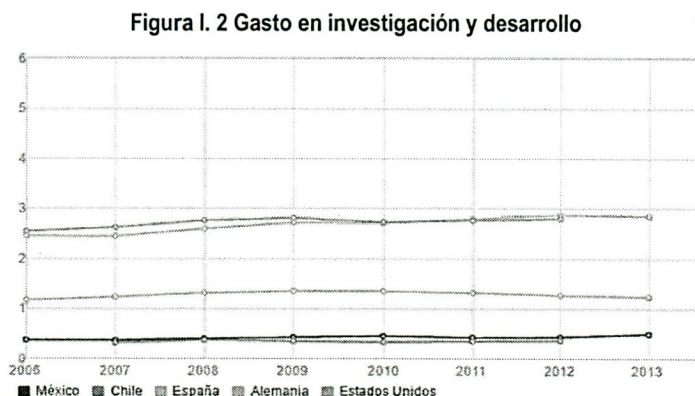
Finalmente se concluye que la formación de los futuros profesionalistas debe entonces incluir una pluralidad de conocimientos desde diversas ciencias, en el sentido de reconocer que se ha otorgado una preponderancia a la viabilidad técnica y económica. La continua formación de generaciones de profesionalistas críticos y reflexivos ante las teorías científicas, las directivas institucionales y la elección o creación de las herramientas de evaluación de sustentabilidad para su constante mejora, especifica la base material hacia un futuro sostenible.

### 1.3 El papel de la investigación en el desarrollo sustentable

Para comprender el impacto que tiene la realización de investigación y el fomento a ésta para la economía de un país, se presentan los siguientes índices globales como proporciones del Producto Interno Bruto de algunos países, en contraste con México. La investigación es un elemento crucial en el crecimiento y desarrollo de un país, debido a la creación de innovaciones que promueven el cambio tecnológico, la mejora de productividad, de técnicas y procesos y en lo académico, promueve el aprovechamiento intelectual de las capacidades humanas.

#### 1.3.1 Indicadores de desarrollo económico e investigación

a) **El Gasto en Investigación y Desarrollo.** Se refiere a los “ gastos corrientes y de capital (público y privado) en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos, incluso los conocimientos sobre la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso de los conocimientos para nuevas aplicaciones. El área de investigación y desarrollo abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental”. (Banco Mundial, 2016) En la **Figura I. 2** Se puede observar un comparativo de este indicador en 5 países: México, Alemania, España, Estados Unidos y Chile en el período de a 2006 a 2013.

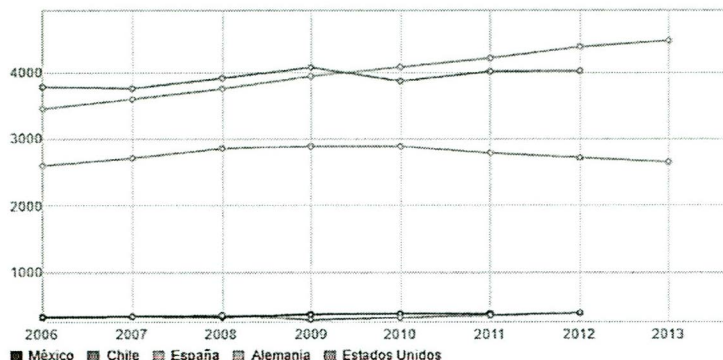


Fuente: Banco Mundial (2016) [http:// datos.bancomundial.org /](http://datos.bancomundial.org/)

b) **Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas)** se refiere a los “... profesionales que se dedican al diseño o creación de nuevos conocimientos,

productos, procesos, métodos o sistemas, y a la gestión de los proyectos correspondientes. Se incluyen los estudiantes de doctorado (nivel 6 de la CINE 97) dedicados a investigación y desarrollo.” (Banco Mundial, 2016) y se presenta el comparativo en la **Figura I. 3** para los mismos países.

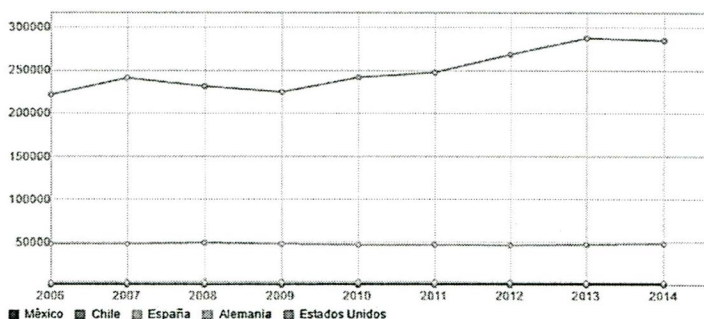
**Figura I. 3 Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (M personas)**



Fuente: Banco Mundial (2016) [http:// datos.bancomundial.org /](http://datos.bancomundial.org/)

**c) Solicitudes de patentes, residentes** “Son... los derechos exclusivos sobre un invento: un producto o proceso que presenta una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema. Una patente brinda protección respecto de la invención al dueño de la patente durante un período limitado que suele abarcar 20 años.” (Banco Mundial 2016) se muestra el comparativo en la **Figura I.4**. En esta figura puede observarse la tendencia de Estados Unidos para la Solicitud de patentes residentes que supera el rango de comparación con el resto de los países incluidos. Se ha decidido conservar esta gráfica así para resaltar la producción incomparable de patentes de este país. En el Capítulo 3 se resalta a la Solicitud de Patentes como una parte clave en la producción de investigación de los últimos años y las ventajas o desventajas que esta reserva o privatización del conocimiento implica en la sociedad.

**Figura I. 4 Solicitud de patentes residentes**



Fuente: Banco Mundial (2016) <http://datos.bancomundial.org/>

De los comparativos de las figuras anteriores pueden evidenciarse dos escenarios a mejorar: el mayor crecimiento a la investigación nacional partiendo de su financiamiento, el incremento del número de investigadores, mientras que la producción de patentes puede representar un cambio en los objetivos de la investigación que no necesariamente podría reflejar consecuencia con el desarrollo sostenible.

Como una consecuencia de la búsqueda de alternativas hacia un desarrollo sustentable, o bien la forma de poder estimar la sustentabilidad de los sistemas, se han creado diversas técnicas de evaluación que serán explicadas en el siguiente apartado y que contribuyen así a la discusión que acompaña la necesidad de un desarrollo sostenible.

#### 1.4 Técnicas de evaluación de sustentabilidad

En las últimas décadas se desarrollaron técnicas y posteriormente marcos de evaluación de sustentabilidad que buscan desarrollar estrategias de medición de sustentabilidad a través de indicadores de sustentabilidad. Las primeras de ellas, tenían objetivos difusos o muy generales y sin una integración o lectura conjunta de los indicadores de sustentabilidad, mientras que los marcos de evaluación propusieron metodologías para evaluar sistemas interrelacionados, donde los indicadores representan las cualidades específicas esperadas o los valores objetivo de un Sistema Alternativo de Referencia (SAR) a comparar con el sistema actual. Adecuar los marcos de evaluación a la diversidad de sistemas productivos o de manejo de recursos en pro de la sustentabilidad puede ser

el principal ejercicio de la investigación de nuestros tiempos, si lo que se quiere es conseguir, a través de todas las ciencias, una solución a la crisis ecológica.

Si bien el objeto de esta tesis no es realizar un análisis desde la economía, es importante reconsiderar que la ingeniería influye y participa directamente en la economía, con sus innovaciones y sus consecuencias derivadas y es por ello que se ha recalcado en cada apartado la necesidad de un análisis crítico al propio sistema en que la ingeniería se desarrolla.

Se puede encontrar en los marcos de evaluación, el tratamiento al concepto de sustentabilidad como un metaconcepto debido a que involucra cualidades de distintas disciplinas, y la consideran entonces como una característica dinámica porque se presenta en todas las etapas de realización de un proyecto. Así mismo, reconocen que la sustentabilidad no puede ser la misma para todo sistema, ya que cada solución y cada problema obedece a las características locales del sitio donde se implementa y a los criterios de sustentabilidad que se quieren alcanzar (Astier et al, 2008: 42).

Si bien estos marcos podrían parecer deslocalizados de la economía y del debate internacional, ante la practicidad de contar con una herramienta que permita la construcción de sistemas más sustentables, y su utilidad en cuanto a la capacidad de ofrecer lecturas conjuntas de los indicadores de sustentabilidad, son dos de las cualidades que revelan su importancia para el tema.

La mayoría de las técnicas de sustentabilidad consistía en listas de indicadores de sustentabilidad, que brindaban demasiada información sin integrar sus resultados, o aportar una lectura global comprensible, por lo que poco contribuían en la planeación y la toma de decisiones sobre el objeto de estudio. Posteriormente se desarrollaron marcos de evaluación de sustentabilidad que buscan hacer evaluaciones integrales, que consideren la dinámica del sistema de estudio.

Por ello las técnicas y marcos de evaluación de sustentabilidad pueden diferenciarse en tres grupos: (Astier et al, 2008: 43)

- **Listas de indicadores de sustentabilidad**, con enfoques ambiental, económico y menormente social e institucional. Generalmente no integran los indicadores y dificultan su análisis para planificación, además los indicadores no son aplicables a distintos contextos, por lo tanto no distingue la relevancia para la sustentabilidad de sus indicadores.

- **Metodología de evaluación para determinar índices de sustentabilidad.** Sintetizan información de los indicadores en un sólo valor numérico con consideraciones arbitrarias, al transformarlos en índices agregados, por ejemplo, "ofrecen una retroalimentación pobre al simplificar el análisis en un sólo valor numérico".

- **Marcos de evaluación de Sustentabilidad (MES).** Propuestas metodológicas flexibles para una evaluación por etapas. Parten de atributos, objetivos generales aplicables a varios contextos, guían a la derivación de indicadores específicos a partir de la caracterización del sistema de estudio.

Tal como se dijo, la sustentabilidad entendida como un proceso de desarrollo sustentable implica la evaluación iterativa del sistema en cada una de sus etapas, de manera que dirija el proyecto a la sustentabilidad buscada a partir de aplicar correcciones o mejoras al proyecto después de cada evaluación.

#### 1.4.1 Marcos de Evaluación de sustentabilidad

Los marcos de evaluación son herramientas metodológicas desarrolladas para poder llevar a la práctica el concepto de sustentabilidad en los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (SMRN). Algunas de estas iniciativas establecen aspectos básicos de sustentabilidad a alcanzar y su caracterización las hace caso - específicas, es decir, la sustentabilidad del sistema está en función de las propiedades del sistema.

Permiten evaluar un sistema actual por comparación con un sistema alternativo que incluya mejoras evidentes detectadas respecto al sistema original, los marcos también establecen los valores máximos y mínimos que definen el estado de sustentabilidad del mismo. Esto permite guiar los procesos de planificación y en consecuencia, se tiene una herramienta fundamentada en la toma de decisiones. (Astier et al, 2008: 43)

Existen variadas iniciativas de Marcos de Evaluación de Sustentabilidad aplicados casi todas las veces a Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (SMRN), algunos de ellos son el resultado de iniciativas específicas, como el Marco de Evaluación CIFOR desarrollado para evaluar sistemas forestales. Los marcos tienen varias características en común que se describen a continuación, sin embargo, lo primordial en ellas es que consideran a los sistemas bajo estudio como: cambiantes, dinámicos y adaptativos en el tiempo.

Los marcos de evaluación analizan a los sistemas bajo estudio a través de : (Astier et al, 2008: 49 - 53)

- **Enfoque.** Se refiere a que pueden ser marcos orientados a objetivos y marcos sistémicos. Los primeros, deben cumplir con ciertos aspectos generales para ser sustentables, así como las expectativas o aspiraciones para satisfacer un SMRN. Sin embargo, elegir un sistema que se apegue a los objetivos planteados en un momento no necesariamente es el más sustentable a lo largo de su ciclo de vida. Los marcos sistémicos se enfocan en atributos que muestren el comportamiento de aspectos funcionales de sustentabilidad, retoman conceptos como resiliencia y adaptabilidad.

- **Énfasis en Áreas de evaluación.** Las áreas de evaluación o ejes pueden separarse en social, ambiental, económica e institucional. Algunos marcos de evaluación pueden estar orientados a una o más de estas áreas en particular, o desde varios enfoques como el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y marco para el Manejo de la resiliencia, ambos enfatizan los aspectos socioeconómicos y ambientales.

- **Tipo de evaluación.** El tipo de evaluación es la respuesta a su diseño, pueden ser ex post o ex ante y se refiere a si el análisis es realizado después de implementar estrategias de sustentabilidad o antes de su implementación, respectivamente. En este sentido, pueden clasificarse también como parte de la evaluación o como parte de la planeación.

- ✓ **EX POST.** Se evalúa por comparación, de acuerdo a un proyecto de referencia y uno ya realizado, estas evaluaciones se realizan durante el tiempo y permiten medir el estado de sustentabilidad de un sistema en dicho momento.

- ✓ **EX ANTE.** Son evaluaciones que permiten plantear diferentes escenarios con base en un proyecto de referencia, sirven para la planeación de proyectos.

- **Escala de evaluación.** Debe incluir atributos en las tres dimensiones que se presentan, aunque puede estar enfocada sólo en alguna de éstas.

- ✓ **Espacial.** Se refiere a la ventana de observación y la precisión de los objetos medidos, es el tipo de escala más usada en los marcos de evaluación.

- ✓ **Organizacional.** Muestra las articulaciones entre unidades básicas que controlan la actividad del sistema, como son las instituciones o la familia, los marcos de evaluación aún carecen de elementos para abordarlas de manera efectiva.

- ✓ **Temporal.** Corresponde a la duración de la observación y puede ser dividido en intervalos, esta escala estudia los efectos socioambientales en el tiempo. La escala también puede ser en corto, mediano y largo plazo.
- **Formas de derivar indicadores**
  - ✓ **Top down.** Los indicadores se obtienen a partir de la consulta a expertos o especialistas en el tema, sobre los objetivos de relevancia, de cada objetivo se derivan indicadores o criterios para evaluar, este proceso suele devenir en largas listas de indicadores.
  - ✓ **Bottom up.** La selección de indicadores se realiza con todos los actores participantes del proyecto, de manera que se pueda tener una selección robusta basada en experiencias. Se obtienen de caracterizar el Sistema de Manejo de estudio, con base en los puntos críticos que afectan positiva o negativamente su sostenibilidad.
- **Integración de indicadores.** La integración de indicadores es una etapa crucial en una evaluación de sustentabilidad, puesto que permite sintetizar la información obtenida de los indicadores de forma útil. Existen algunas metodologías que se mencionan en esta misma bibliografía:
  - ✓ **Índices.** Se ponderan los indicadores a una unidad de medida común a todos para obtener un solo valor, la desventaja es que reducen la información a tal punto que puede perderse información relevante.
  - ✓ **Representaciones gráficas.** Muestran el desempeño de cada indicador por separado dentro de un análisis integral, transparentan la información y esta forma es de fácil implementación. El MESMIS y el marco para la Evaluación de Satisfactores lo incorporan.
  - ✓ **Modelos.** Estudian la dinámica de los SMRN, existen modelos que optimizan un sistema al minimizar los efectos entre las diferentes dimensiones de sustentabilidad, así como modelos de simulación que estudian el comportamiento dinámico de éstos. Su implementación real es compleja, aunque permiten evaluar las consecuencias de su comportamiento en el tiempo. Se utilizan en evaluaciones ex – ante.
- **Participantes en la evaluación.** Una evaluación se realiza a través de los diferentes actores locales que actúan en las escalas y etapas del proyecto, algunos enfatizan la participación académica, de ONG's, empresas públicas y privadas, o bien de expertos que no dan pie a la inclusión de otros actores sociales.

La pluralidad en la participación de la evaluación de sustentabilidad en sus distintas fases es importante pues asegura su credibilidad y legitimidad al evaluarla, además de que cada actor puede aportar mayor riqueza a los criterios de evaluación a definir para un sistema. En este trabajo de tesis, se involucró la participación de académicos, que forman parte del proyecto de Investigación a evaluar así como académicos expertos en materia de sustentabilidad, en la definición de indicadores para evaluarlos durante todo el ciclo de vida del proyecto, esto permite que la evaluación aun cuando se realiza por la autora integra la visión de otros puntos de vista.

• **Experiencia en su aplicación.** “La aplicabilidad de un marco de evaluación depende de su flexibilidad para adaptarse a diversos sistemas de manejo y capacidades técnicas” (Astier et al, 2008: 53), es por ello que un marco también se caracteriza por su capacidad de validar diversos estudios de caso. Aún los marcos con objetivos específicos pueden ser de gran valor por la experiencia en su uso para la evaluación de sistemas afines. El marco MESMIS, por ejemplo, se considera por sus desarrolladores como una herramienta inacabada que reconoce la necesidad de mejorar los procesos de evaluación de sustentabilidad a través de su aplicación a diversos sistemas. En la **Tabla 1.1** se retoma la síntesis de (Ibid: 48) sobre las distintas iniciativas para la Evaluación de la Sustentabilidad.

**Tabla 1.1 Características de Marcos de Evaluación de sustentabilidad**

MARCO	ENFOQUE	ÉNFASIS EN ÁREAS DE EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	ESCALA	DERIVACIÓN DE INDICADORES	INTEGRACIÓN DE INDICADORES	PARTICIPANTES EN LA EVALUACIÓN	EXPERIENCIA
Presión- Estado- Respuesta	Sistémico	Ambiental	ex post	Institucional (Comunidades-nación)	Bottom up	Índice Agregado	Consultor Externo	Alta, poca sistematización
PICABUE	Orientado a Objetivos	Social	ex post	Institucional (Comunidades-nación)	Top down	No integra	Consultor Externo Actores sociales	Baja
MARPS	Orientado a Objetivos	Ambiental	ex post	Institucional (Comunidades-nación)	Top down	Índice Agregado	Consultor Externo Actores locales	Medio, poca sistematización
CIFOP	Orientado a Objetivos	Ambiental - Económico	ex post	Especial (ciertos a miles de ha)	Top down Bottom up	No integra	Consultor Externo Actores locales	Alta, con sistematización
EVALUACION DE SATISFACTORES	Sistémico	Ambiental - Económico - Social	ex post	Institucional	Bottom up	Gráfica	Consultor Externo Diversos Sectores	Medio, con sistematización
MANEJO DE RESILIENCIA	Sistémico	Ambiental - Económico - Social	ex ante	Institucional	Bottom up	Modelos	Consultor Externo Diversos Sectores	Baja
AMESH	Sistémico	Ambiental - Económico - Social	ex ante	Institucional	Bottom up	Modelos	Consultor Externo Diversos Sectores	Baja
MESMIS	Sistémico	Ambiental - Económico - Social	ex post ex ante	Institucional	Bottom up	Gráfica Modelos	Consultor Externo Diversos Sectores	Muy alta, con sistematización
SEAN	Sistémico	Ambiental Económico	ex ante	Espacial	Top down	No integra	Consultor externo	Baja

Fuente: Astier et al (2008)

En el siguiente apartado se abordan las cualidades y funciones de los indicadores de sustentabilidad, para una mejor comprensión de su función y la relevancia en su elección.

## 1.4.2 Indicadores de sustentabilidad

En la literatura se señala la dificultad de definir exactamente a un indicador en el contexto del desarrollo sustentable, por ello es de utilidad el concepto de indicadores sociales, dado por Bauer en 1966, como: "estadísticas, serie estadística o cualquier forma de indicación que nos facilita estudiar dónde estamos y hacia dónde nos dirigimos con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y determinar su impacto". (Citado en Mondragón, 2002)

Un indicador ayuda a representar una medida cualitativa o cuantitativa de una característica de un objeto, de manera que por comparación o por escalas antes establecidas, igualmente cuantitativas o cualitativas se puede indicar la situación o estado de cosas en la que se encuentra nuestro objeto a evaluar. Por ello, no se eligen indicadores de los que no se tiene información o forma de comparar ya que no será relevante para la evaluación. (Astier et al, 2008: 78) Por ello, "son herramientas útiles para reducir la complejidad de la descripción de un sistema... son particulares a los proceso de los que forman parte ...y dependerán de las características del problema específico bajo estudio" y en este sentido de los criterios de formulación. (Ibid: 72).

Por otro lado, no existe una lista de indicadores de sustentabilidad universales puesto que los indicadores son particulares a los procesos de los que forman parte, el valor que tenga en un caso de estudio puede no tener significado en otro sistema de estudio. Es decir, los indicadores se corresponden a valores esperados previo análisis de la información de la que se dispone y que mejor describe una característica del sistema de estudio.

Se puede resumir que los indicadores de sustentabilidad integran significados sociales, culturales, ambientales y económicos de acuerdo al valor que toman en el tiempo. Por ello para realizar una Evaluación de sustentabilidad se requiere de indicadores, que permitan conocer "la respuesta que esta información genera entre los agentes sociales involucrados en el manejo de los recursos" es decir, son "herramientas de cambio hacia sistemas más sustentables". (Ibidem: 90)

Finalmente, es indispensable resaltar que contar con un número enorme de indicadores tampoco aporta a una evaluación si al tratar de integrarlos generan innumerables opciones o posibilidades al sistema y no una lectura de conjunto. El desarrollo y derivación de indicadores de sustentabilidad para evaluar el estudio de caso de esta tesis se presenta en el Capítulo 3.

## Capítulo 2. La investigación académica en ingeniería

En este capítulo se revisan los elementos que caracterizan a la investigación científica y a la investigación tecnológica. Dado que este trabajo de tesis aborda la investigación académica en las áreas de ingeniería se busca reconocer, por sus características, el tipo de investigación que se realiza con mayor frecuencia en estas áreas, así como la identificación de las etapas que implican los procesos de realización de cada una de estas investigaciones. Se contrasta a su vez con los procesos de Innovación en ingeniería tanto para la industria privada como para los centros de investigación académicos.

Se busca además que esta identificación sirva de guía para establecer los criterios de diagnóstico para la evaluación de sustentabilidad de un proyecto de investigación académica en las áreas de Ingeniería, aún cuando se reconoce su aplicación para este caso específico pero que puede servir de modelo hacia la evaluación de otras investigaciones de ingeniería particulares.

Se identifican las etapas del proceso de investigación, con el fin de ordenar de una manera lógica las etapas que conforman el proceso completo de investigación. Cabe resaltar que no son los métodos de investigación los que se ponen a discusión en esta tesis, sino los objetivos que persigue cada proceso y, bajo la metodología del marco de evaluación de sustentabilidad, los valores obtenidos del sistema a evaluar respecto a los esperados, meta o de referencia. Se reconoce de esta manera un único método para hacer investigación: el método científico.

### 2.1 Características de la investigación académica en ingeniería

La ingeniería es un ejercicio crucial para el desarrollo de un país, pues diseña, planea y ejecuta actividades de infraestructura, tecnología, energía, producción de bienes, es decir incide en los procesos de transformación y creación de bienes y servicios de los que disponemos, todo ello basado en un conocimiento científico previo.

En Estrada y Morán (2013), se destaca que los ingenieros no pueden ser neutrales puesto que “mejoran las cosas o las empeoran”, dado el impacto directo de la ingeniería en el ambiente y la sociedad. (Ibid: 7). Así como la responsabilidad en el desarrollo de los proyectos durante todo su ciclo de vida, ya que es en el diseño donde “todos los errores importantes son cometidos desde el primer día” y por ello el planteamiento de una solución y la mentalidad de un ingeniero deben ser

otras. (Ibid: 9) Esto se suma a los argumentos que se trataron en el capítulo anterior en relación a la educación para la sustentabilidad.

En este sentido, los autores indican que los retos a plantearse en la ingeniería son: reducir los efectos ambientales y sociales en la creación de productos, servicios e infraestructura, manejo eficiente de recursos, aumento de la calidad de vida, garantizar que los nuevos diseños cumplan con los criterios de sustentabilidad y "los más competitivos en el mercado". (Ibid: 8) Este último incluiría una crítica sobre si hay que pagar costos o daños ambientales, o revalorizar los bienes naturales ante los económicos. También se añadiría el alargar el tiempo de vida de los productos y la socialización de los mismos si busca impactarse en los beneficios sociales.

Dean (n. d.) menciona que la investigación en las ciencias de la ingeniería, por sus características, se vincula de forma natural con la Innovación tecnológica, como se verá a detalle en el apartado 2.1.2. Mientras que en Rincón, (2011) se resalta que, la investigación en el último siglo se ha caracterizado por desarrollar tecnologías, técnicas y transformaciones a tecnologías ya existentes, es decir, un tipo de investigación que permite establecer contacto con la realidad y contribuye a mejorar el estudio de la Investigación científica.

A manera de conclusión:

- La investigación en ingeniería aporta soluciones a problemas específicos de la sociedad
- La investigación contribuye al desarrollo, de manera que un desarrollo sustentable requiere una investigación igualmente sustentable en el tiempo.

En este sentido, además de contener los criterios que demanda la Investigación en sí misma deben agregarse criterios de sustentabilidad no sólo porque se trata de producción de conocimiento sino porque la ingeniería incide en todos los procesos productivos, como se ha dicho y en la consecución de una vida digna para todas las especies en la Tierra.

## **2.2 Tipos de investigación académica en Ingeniería**

La Investigación es un ejercicio intelectual, que comúnmente a través del Método científico busca llegar a nuevas leyes, propiedades, descubrimientos y principios científicos, filosóficos y empíricos técnicos. A través del descubrimiento se tiene un carácter de conquista parcial, hasta que nuevos avances modifiquen parcial o en su totalidad la verdad conocida. (Cegarra, 2004: 41)

Atendiendo a los conceptos de ciencia y tecnología, se tiene que la ciencia es un tipo de pensamiento y acción que permite descubrir leyes de formación y cambio de los hechos del mundo (Bunge, 1969) y la tecnología sería el resultado de aplicar racionalmente principios científicos para la invención de herramientas con tareas específicas (Rincón S. I., 2011).

Por lo tanto, la investigación se diferencia por el tipo de conocimiento buscado y adquirido, de esta manera la investigación científica se relaciona con las ciencias formales o fácticas y la Investigación tecnológica con las ciencias fácticas, distintas estas dos de la investigación filosófica e histórica. (Cegarra, 2004: 42)

Se retoman los conceptos de (Cegarra, 2004: 41, 42), Bello, (1996) y Dean, (n. d.) que distinguen los siguientes tipos de investigación que se realiza en las áreas de ingeniería, por su objeto de estudio:

❖ **Investigación Fundamental o Básica**, produciría conocimientos científicos sobre comportamientos, factores, causas, basados en la creación o descubrimiento de nuevas ideas o leyes; busca el progreso del conocimiento científico sin objetivos comerciales.

❖ **Investigación Aplicada**, busca solucionar problemas o situaciones que demanda el conocimiento científico, por ello no descubriría nuevas leyes sino procesos, funciones, técnicas o nuevos elementos utilizables. Se enfoca en resolver problemas o ideas en el corto o mediano plazo para innovar procesos o productos con fines específicos de calidad o productividad.

❖ **Investigación de desarrollo**, se refiere a las actividades para llevar a la práctica los nuevos procesos o productos a escalas piloto o experimental, generalmente esta investigación puede ser motivada por industrias o empresas quienes serán los mismos beneficiarios.

La investigación científica obtiene leyes o principios que utilizados para sus posibles aplicaciones prácticas deriva en investigación aplicada, realizable tanto en universidades, empresas como centros de investigación privados, y una vez que se traslada o configura en máquinas llega a una investigación de desarrollo. La distingue también de la Investigación Fundamental libre como aquella que se realiza en universidades o centros de investigación propiamente. (Cegarra, 2004: 43)

Agrupando a la Investigación Fundamental o Básica en la Investigación Científica y a la Investigación Tecnológica en la Aplicada y de desarrollo, basados en los objetos de estudio y objetivos finales, a saber: (Ibid: 46, 50)

❖ **Investigación científica.** La búsqueda de nuevo conocimiento teórico o experimental puede obtenerse a través de la obtención de conocimientos particulares, la existencia o naturaleza de entidades, la naturaleza de un proceso, el perfeccionamiento de instrumental, confirmación experimental de leyes y teorías, descubrimientos fortuitos. También incluye la formulación de leyes a través de modelos experimentales, teorías marco, o bien la construcción de sistemas teóricos.

❖ **Investigación tecnológica.** También conocida como aplicada y de desarrollo busca inventar o transformar artefactos o procesos de un mismo objeto para ofrecerlos al mercado, proveer una solución a un problema presente y obtener un beneficio económico. Es experimental y engloba obtener conocimientos particulares en nuevos productos, nuevos procesos o nuevos artefactos. Se apoya en la investigación aplicada, especializaciones de ésta de acuerdo al campo de desarrollo y la existencia de otras tecnologías.

De acuerdo a Bello, (1996) la forma cómo se aborda el objeto de estudio en la investigación tecnológica, se realiza a partir de la reflexión sobre la tecnología ya existente, al analizar sus orígenes y potencialidades y la demanda de este hecho en el presente o futuro, esta reflexión permite dar una pauta al método de investigación que permita desarrollar y producir dicha reflexión. Así, reflexionar una máquina sobre sus nuevas funciones permite un espacio-objeto de estudio para la investigación tecnológica, que una vez que el conocimiento científico posibilita la investigación tecnológica, llegará un punto en que esta innovación tecnológica generará sus propios problemas a resolver, nuevos problemas de carácter y origen tecnológico que pueden plantearse a través de la Investigación Científica. (Ibid)

La investigación tecnológica puede partir no sólo de mejoras a tecnologías existentes sino de transferencias tecnológicas y de conocimiento de empresas extranjeras, o bien a través de la adquisición monetaria de patentes, con lo que también se contribuye al desarrollo tecnológico y a la mejora de procedimientos y procesos en países con un menor desarrollo científico y tecnológico.

Algunas de las diferencias ya mencionadas se resumen en la **Tabla II.1 Diferencias entre investigación científica e investigación tecnológica.**

**Tabla 2. 1 Diferencias entre investigación científica e investigación tecnológica**

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA		INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
Busca conocimiento, soluciona interrogantes	EL PROBLEMA	Busca resolver necesidades reales
Explicación del problema, reúne y sistematiza el conocimiento	EL MARCO TEÓRICO	Documenta y deduce la realidad. Retoma el conocimiento para renovar procedimientos, artefactos, técnicas que solucionen problemas prácticos.
Afirmación teórica tentativa, admite la curiosidad y planteamiento de hipótesis	LA HIPÓTESIS	Solución tentativa, define objetivos concretos a alcanzar
Información completa, detallada y clara. El conocimiento está disponible para todos,	COMUNICACIÓN	Información restringida, parcial. Descubre el saber hacer. El conocimiento se resguarda a través de patentes para su uso.
Plazos de investigación largos	TIEMPO	Plazos de investigación cortos, la investigación puede ser obsoleta
Es necesario aislar el objeto de estudio		Es necesaria la interdisciplinariedad

**Fuente:** Basado en Nina (2010) y Álvarez (2013)

El *Saber hacer* ó *Know how*, que se tiene como resultado de la investigación tecnológica; es el valor agregado del que se obtienen beneficios económicos ya sea por su distribución comercial (empresas) o bien por regalías de patentes (empresas, universidades, centros de investigación) cada vez más comunes en el contexto del capitalismo. Diversos autores señalan la exclusividad del resultado de una investigación tecnológica asociado a su valor económico como una principal diferencia entre estas dos investigaciones.

Para autores como Rincón, (2011) y Bello, (1996) reconocen que debe hacerse una precisa y clara distinción en el abordaje metodológico que, entre otras cosas, promovería la Creatividad y la Innovación. En la **Tabla II.2** se pueden comparar los elementos que constituyen a cada una de estas investigaciones.

**Tabla 2. 2 Diferencias en la estructura de la Investigación científica vs tecnológica**

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
GENERALIDADES. Título, Autor, Asesor, Tipo de Investigación, Localidad, Duración del Proyecto.	Título del proyecto
Plan de la Investigación Planteamiento del problema Justificación Limitaciones Objetivos	Identificación de Problemática Formulación del problema de Investigación Identificación de objeto de investigación Campo de conocimiento específico Objetivo de la Investigación
Marco Teórico Antecedentes del proyecto Bases teóricas Terminos básicos	Hipotesis de la Investigación Estado del Arte Referencias de otros investigadores Objeto de estudio de la investigación
Marco metodológico Hipotesis Diseño Métodos de estudio Técnicas y métodos de manejo de datos Métodos de análisis	Elaboración de modelo teórico Solución ideal del problema  Elaboración del modelo cuántico Cómo verificar la solución
Referencias	Tareas, cronograma, presupuesto
Anexos	Patentes
	Referencias

**Fuente:** Basado en Jiménez, C. C. (2008, enero 23)

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas anteriormente, en la investigación académica en ingeniería se realiza tanto investigación científica como tecnológica, con una creciente y contundente inclinación hacia la investigación tecnológica, ante la búsqueda de mejoras tecnológicas o nuevas metas de alcance de las tecnologías ya existentes, así como innovación de servicios y técnicas.

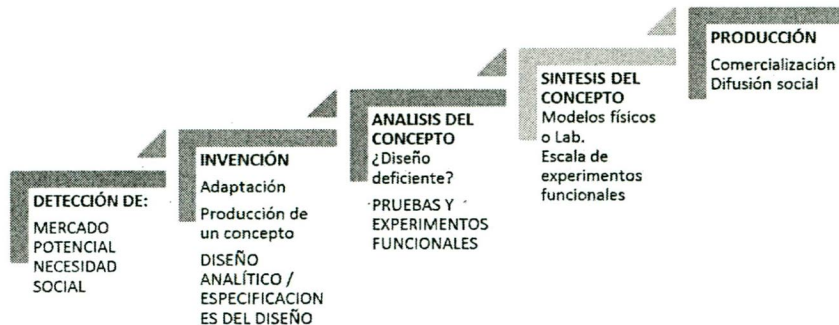
En el siguiente apartado se revisan las características de la investigación tecnológica y su estrecha relación con la innovación y la ingeniería.

### 2.2.1 Innovación e investigación tecnológica

La innovación es una de las cualidades que determinan el avance tecnológico, pues "es la incorporación de conocimiento científico y tecnológico, propio o ajeno para modificar un proceso productivo, artefacto, máquina; para un fin valioso a la sociedad." (Dean, R. A. (n. d.)) Y guarda una estrecha relación con la ingeniería como una ciencia que produce productos, procesos y servicios innovadores para la sociedad a través de la investigación tecnológica. Para Dean (n. D.), este

paralelismo Innovación- Investigación tecnológica con la labor de la ingeniería, se basa en los rasgos del pensamiento ingenieril al diseñar soluciones y que se esquematizan en la **Figura II. 1**:

**Figura II. 1 Planteamiento de soluciones en ingeniería**



**Fuente:** Basado en Dean, R. A. (n. d.)

Por otro lado, Dean (n. d.) ofrece una serie de descripciones de cada una de estas características y que son reproducidas en este trabajo para resaltar la similitud de estas características con los criterios de sustentabilidad que se establecerán más adelante para la evaluación de sustentabilidad de la investigación tecnológica.

### Características de la Investigación tecnológica

- Pensamiento ingenieril.** Se refiere al diseño de soluciones como adaptación intencionada de medios para alcanzar un fin preconcebido y que supera una situación dada.
- La finalidad** es generar conocimiento útil para solucionar un problema concreto.
- Influencias Externas.** Las soluciones se realizan para casos específicos debidos al contexto económico, temporal, social, cultural, geográfico.
- Realizabilidad.** Se refiere a la factibilidad o condiciones de realizabilidad tecnológica tanto material como operacional, que propicie la generación de conocimiento útil. Mientras que es operacional si se tienen conocimientos previos y habilidades necesarias para su implementación. Si alguna condición material u operacional no se cumple se tiene una oportunidad de proponer objetos de investigación científica/tecnológica.
- Los objetivos iniciales** pueden ser poco claros al inicio y responden más a la intuición de posibles soluciones dado el actual conocimiento científico y tecnológico.

f) **El diseño no es definitivo**, hay más de una alternativa correcta para un diseño de solución a un problema. Con ello queda siempre la opción de mejorar un diseño, de innovar. En esta característica se puede agregar que el diseño para un desarrollo sustentable debe regirse por principios éticos y ecológicos que no pueden eludirse.

g) **Los métodos** para plantear soluciones son científicos y las metodologías de ingeniería, pues en ambas se valida el funcionamiento esperado.

h) **La retroalimentación de resultados** se realiza por etapas cíclicas de diseño y experiencias funcionales, esto permite modificar los objetivos en todo el proceso o proponer correcciones, es entonces una capacidad de controlar el diseño y asegurar los objetivos y sobresale una relación con la evaluación iterativa en la sustentabilidad como proceso.

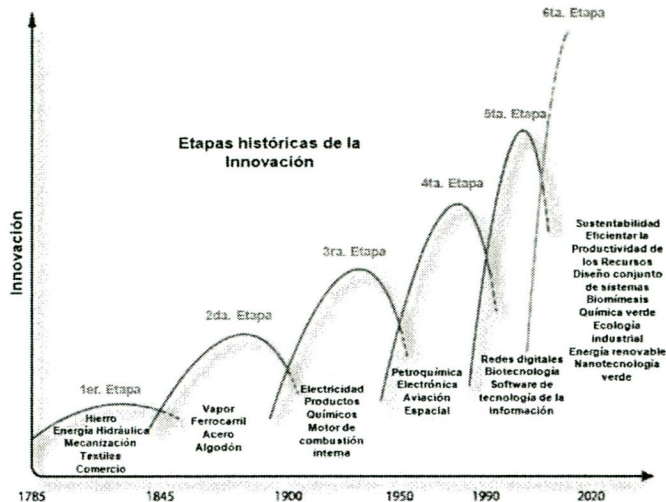
i) **El resultado** puede ser una novedad técnica, una mejora en el diseño, en los componentes, la estructura o a un sistema. La composición de técnicas conocidas en otras más complejas es la fuente de novedad más importante en la técnica.

En "*The Natural Advantage of Nations*" se propone una identificación de las etapas históricas determinadas por las innovaciones tecnológicas, en la **Figura II.2** se puede observar, en el último período de 2000 en adelante, que las innovaciones están caracterizadas por la sustentabilidad, eficiencia energética, energías renovables, ecología industrial, entre otras. Cabe señalar que esta identificación puramente técnica alude al enfoque primordial de las innovaciones, mientras que la influencia de estas rupturas tecnológicas en la economía no es analizada por razones de espacio y objetivos de este trabajo de tesis. Sin embargo conviene señalar que estas etapas coinciden con los períodos de crisis u ondas largas que han identificado autores desde la perspectiva de comprender de qué manera se reproduce el capital<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Se pueden consultar los trabajos de Carlota Perez, como: *Microelectrónica, ondas largas y cambio estructural mundial. Nuevas perspectivas para los países en desarrollo.* (Versión en castellano de la autora, de artículos 1985 y 1990).

Figura II. 2 Etapas históricas de la Innovación



Fuente: Hargroves, K. y Smith, M. (2005).

Sin embargo, no son las tecnologías y el desarrollo de investigación los factores que han llevado al agotamiento de los recursos naturales así como a la precariedad social y ambiental por sí solas, sino las relaciones sociales y de reproducción que se establecen, así su valoración y jerarquización en detrimento de otros aspectos sociales y ambientales. En este sentido, la Figura anterior se presenta para mostrar que mundialmente también existe un interés por enfocar los esfuerzos tecnológicos hacia la sustentabilidad, en particular por la evidente crisis ecológica que cuestiona nuestra permanencia, de manera que dichos esfuerzos tendrán que provenir desde distintos frentes: el académico, el institucional, el industrial y el de la lucha social.

En el siguiente apartado, 2.2, se analiza el ciclo de vida de una investigación y se compara con el ciclo de vida de un proyecto de ingeniería, nótese que se utiliza únicamente como una idea conceptual, para identificar todos los elementos que forman parte de los procesos tanto de la investigación científica como tecnológica.

## 2.3 Análisis del ciclo de vida en la investigación académica

"El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto." (Sanes: 17)

Generalmente esta herramienta se ha utilizado para evaluar la producción limpia de una empresa, puesto que al separar las etapas del proceso completo se pueden estimar emisiones contaminantes e impactos ambientales asociados a la producción en cada una de sus etapas, es decir, desde la obtención de materia prima hasta la disposición final de la tecnología o productos asociados, o al término de su vida útil.

El primer ACV se realizó para disminuir el consumo de recursos y las emisiones al ambiente para Coca Cola en 1969, y a partir de 1980 se populariza su uso y se establecen códigos internacionales y estandarizaciones para homogeneizar sus métodos. (Sanes: 16) Por ello puede considerarse como una herramienta para el manejo sustentable de recursos, desde la perspectiva ambiental y económica, y vincularse a su vez con la ecoeficiencia. (Ibid: 18)

Puede sintetizarse que el análisis de ciclo de vida en su aplicabilidad ha tenido como objetivo final la reducción de costos a través de un manejo eficiente de recursos y una reducción sustancial de emisiones y residuos. En la Norma Mexicana PROY-NMX-CC-10006-IMNC-2003, IMNC, [6] se resalta que "... las fases de los proyectos dividen el ciclo de vida del proyecto en secciones gestionables, tales como el diseño, desarrollo, realización y finalización". (Ibid: 4.1.3, pag. 4).

El propósito de incluir conceptualmente al ACV se debe a la diferenciación por etapas de la investigación académica, de manera que permita comprender las actividades asociadas al proceso completo y de ésta forma colaborar en la especificación de criterios de diagnósticos y la derivación de indicadores de sustentabilidad alusivos a cada proyecto de investigación en particular.

### 2.3.1 Ciclo de vida de la Investigación científica y tecnológica

Se reitera que la investigación que se realiza en las áreas de ingeniería puede ser científica o tecnológica y por ello, aunque esta tesis únicamente abordará a la investigación tecnológica, se presentan a continuación ambos procesos en cuatro etapas.

En la **Tabla 2. 3 Etapas en el proceso de investigación científica y tecnológica**, se presentan los análisis de ciclo de vida de cada proceso de investigación, con el fin de poder relacionar, a la investigación tecnológica con el ciclo de vida de un proyecto de ingeniería.

**Tabla 2. 3 Etapas en el proceso de investigación científica y tecnológica**

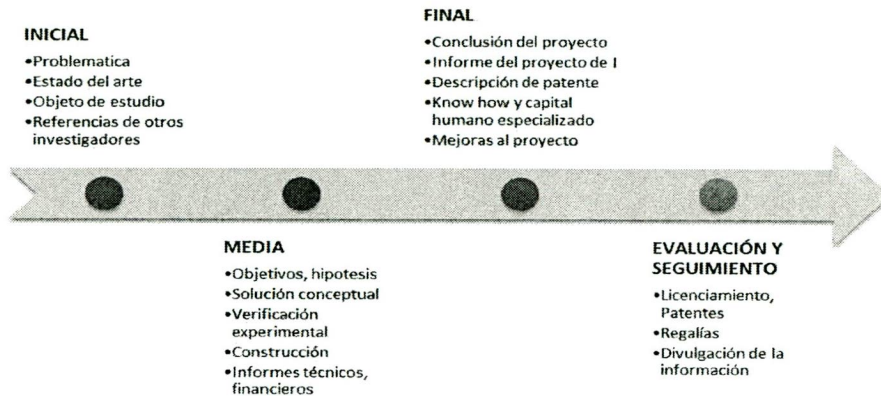
	<b>INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA</b>	<b>INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA</b>
<b>INICIAL</b>	<b>IDEA</b> Referencia de otros autores Bases teóricas y antecedentes  <b>TEMA DE ESTUDIO</b> Pregunta de investigación Propósito de investigación Justificación, Método de investigación  <b>HIPOTESIS</b> Deducir consecuencias Conceptos y variables Escala de medición Objetivos general y específicos Plan de investigación	<b>PROBLEMÁTICA</b> Estado del arte Conocimiento previo Referencia de otros autores  <b>OBJETO DE INVESTIGACIÓN</b> Situación deficiente a mejorar Método de investigación Planteamiento de innovaciones  <b>HIPOTESIS</b> Aporte tecnológico o técnico: Innovación sustentable Objetivos general y específicos Cronograma Presupuesto
<b>MEDIA</b>	<b>DISEÑO</b> Selección de método de investigación Selección de muestra Diseño de instrumento de medición de variables y validación Recolección de datos Aplicar instrumento de medición Análisis de datos	<b>DISEÑO</b> Modelo teórico conceptual Solución conceptual del problema Método de investigación / Metodología Modelo cuantico o de verificación Construcción de la innovación (técnica o tecnología) Verificación experimental o cuasi experimental del modelo teórico Revisión de tareas, costos
<b>FINAL</b>	<b>RESULTADOS, CONCLUSIÓN</b> Análisis de resultados Verificar Resultados Validación de instrumento de medición Conclusiones Reporte de investigación	<b>RESULTADOS, CONCLUSIÓN</b> Entregables por etapa del proyecto Análisis de resultados Evaluación de la investigación Conclusiones Mejoras al modelo teórico y cuantico Reporte de investigación Descripción de patentes
<b>E&amp;S</b>	Validación de la investigación Tesis Revistas indexadas / arbitradas	<b>Evaluación de la Investigación</b> Tesis Revistas indexadas / arbitradas Patentes / Licenciamiento

**Fuente:** Basado en Bello (1996) y Nina (2010).

Como ya se ha dicho, la aplicación completa del ACV sigue procedimientos estandarizados conocidos e incluye las entradas y salidas al sistema de estudio, dado que el análisis no se realiza con un enfoque primordialmente ambiental sino sistémico, se acude únicamente a este análisis para la identificación de las etapas y su posible derivación de indicadores ambientales, la caracterización

de entradas y salidas se realiza conforme a la metodología seleccionada y explicada en el siguiente capítulo. En la **Figura II.3** se muestran las 4 etapas de la investigación tecnológica como un proceso.

**Figura II. 3 Ciclo de vida del proyecto de IT**



**Fuente:** Elaborado por la Autora.

Dentro de la estructura del ciclo de vida de un proyecto de investigación y a lo largo de todas sus etapas, están también los entregables, que son los productos intermedios entre fases, materiales o inmateriales, que permiten evaluar la marcha y cumplimiento de objetivos de un proyecto o investigación. Al integrar la evaluación de sustentabilidad al proyecto, los entregables permitirían informar, por etapas, sobre el estado de sustentabilidad del sistema de estudio y permitirían aplicar mejoras para corregir errores o carencias del proyecto en la siguiente etapa.

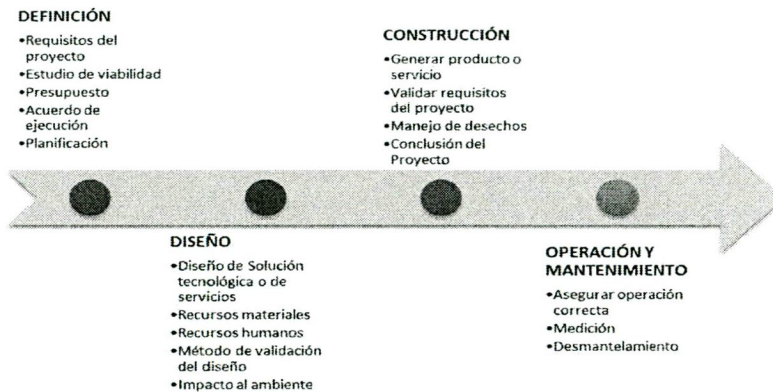
Es importante señalar nuevamente una de las diferencias notables entre la IT y la IC, que se refiere al uso y disponibilidad de los productos obtenidos con la investigación, como son los manuales de procedimiento o las patentes obtenidas con la investigación tecnológica accesibles a través de un pago por su uso. Este hecho, relaciona indiscutiblemente que si el producto contiene un valor comercial, necesariamente tendría que ser financiada la realización de su diseño y producción, sin embargo pondría en duda la relevancia de proponer soluciones enfocadas hacia un desarrollo sustentable. Es decir, si la investigación tecnológica para ser sustentable tiene que buscar la realización de productos viables y factibles, con un mercado potencial derivado de sus objetivos de innovación así como un análisis financiero que respaldará su realización, lo que se está reproduciendo y sosteniendo es el sistema económico.

En qué sitio quedarían las innovaciones que no buscan un uso comercial sino funcional o bien de aporte a la sustentabilidad. Sin embargo, es importante diferenciar la privatización del conocimiento de las innovaciones y no la financiación a la investigación en si misma.

### 2.3.2 Ciclo de vida del proyecto de ingeniería

En Estrada y Morán (2013) se señalan los principales retos hacia la sustentabilidad que debe enfrentar la ingeniería, en cuanto a la consideración de los aspectos sociales y ambientales relacionados con la viabilidad de un proyecto, además de su viabilidad técnica y económica. En la **Figura II. 4**, se muestran las etapas del ciclo de vida de un proyecto en ingeniería en 4 etapas.

**Figura II. 4** Ciclo de vida de un proyecto de ingeniería



**Fuente:** Elaborado por la Autora.

Mientras que en la **Tabla 2. 4**, se conjuntan los elementos comunes en las fases de la investigación tecnológica y el proyecto de ingeniería.

Tabla 2. 4 Análisis de Ciclo de Vida de la Investigación en ingeniería

ETAPA	ACTIVIDAD
<b>INICIAL</b>	<b>PROBLEMÁTICA</b> Estado del arte Referencia de otros autores <b>OBJETO DE INVESTIGACIÓN</b> Situación deficiente a mejorar Requisitos del proyecto Viabilidad del proyecto <b>HIPOTESIS</b> Innovación sustentable: tecnológica o técnica Objetivos general y específicos Planificación Presupuesto Acuerdo de ejecución (Financiamiento institucional)
<b>MEDIA</b>	<b>DISEÑO</b> Modelo teórico conceptual Método de investigación / Metodología Modelo cuantico o de verificación del diseño Recursos materiales y humanos Verificación experimental o de validación del diseño Impacto al ambiente Manejo de desechos
<b>FINAL</b>	<b>CONCLUSIÓN DEL PROYECTO</b> Validar requisitos del proyecto Impacto al ambiente Entregables Mejoras al proyecto Reporte de investigación / Informe del proyecto Descripción de patentes Capital humano especializado
<b>E&amp;S</b>	<b>Evaluación de la Investigación</b> Divulgación: Tesis, Revistas indexadas / arbitradas Patentes / Licenciamiento Disposición final de residuos y productos generados

Fuente: Elaborado por la Autora.

### 2.3.3 La Gestión tecnológica

Es importante mencionar que la metodología de la investigación, así como la evaluación de sustentabilidad de ésta, están plenamente vinculadas puesto que la metodología establece metas o criterios de diseño a alcanzar y éstos obedecen a su vez a los atributos de sustentabilidad propuestos en la metodología y ello conducirá a buscar los mecanismos para llegar a dichas metas. Dichas mejoras al proyecto provienen finalmente de la evaluación de sustentabilidad que idealmente

se tendría que realizar por etapas de la investigación tecnológica o bien iterativamente de manera que en cada ciclo se mejore el proceso de acuerdo a un sistema de referencia objetivo.

Por ello es relevante la elección del marco de evaluación, la selección de indicadores que mejor estimen el estado de sustentabilidad, la realización en tiempo y forma de una investigación tecnológica, vista como una rúbrica de gestión de recursos (materiales y humanos), tareas y objetivos se conoce como Gestión tecnológica (GT).

La gestión tecnológica, en concordancia con la gestión de un proyecto de ingeniería, permite saber qué actividades se realizarán, en qué tiempos y con qué recursos humanos y materiales en cada una de las fases, así como los gastos asociados en cada fase. Por ello, algunos centros de investigación exitosos en el desarrollo de investigación e innovación, con financiamiento institucional y de particulares, resaltan como una de las lecciones clave en la concreción de las investigaciones la existencia de una gestión tecnológica oportuna. Se tomó como referencia la gestión tecnológica de más de 80 proyectos exitosos que fueron contratados en un período de 4 años y realizados a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET-UNAM y la Coordinación de Vinculación y gestión tecnológica. Vega-González (2006) y Vega-González (2011).

“La GT se realiza para desarrollar todas aquellas competencias que la organización requiere para mejorar su desempeño. Esto incluye el manejo de su capital intelectual, y la habilidad para la formación de equipos de trabajo y para administrar las tecnologías de equipo, de producto y de proceso disponibles.” Vega-González (2011).

En consecuencia, la GT puede considerarse como un indicador de sustentabilidad en el sentido de poder evaluar la gestión del proyecto de investigación, pues permite medir las posibilidades de éxito de una investigación a lo largo de su ciclo de vida. Las etapas de la Gestión tecnológica se aprecian en la **Figura II. 5**.

Figura II. 5 Ciclo de vida de un proyecto de Gestión Tecnológica en un Centro de I&D



Fuente: Vega-González, L. R. (junio, 2006), Idem (enero – marzo, 2011).

Nótese que las fases de la GT pueden coincidir con las fases de la investigación tecnológica, por lo que también refuerza la síntesis de información que se ha realizado en los apartados anteriores.

En el siguiente capítulo se desarrollan los pasos del marco de evaluación de sustentabilidad elegido y su adaptación para la evaluación de la investigación tecnológica: "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales".

### **Capítulo 3. Evaluación de sustentabilidad de la investigación en ingeniería: “Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales”.**

Existen diferentes marcos de evaluación de sustentabilidad enfocados a la evaluación de sistemas, como se vio en el primer capítulo de esta tesis. Dadas las características de este estudio, se eligió al Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales mediante Indicadores de sustentabilidad (MESMIS) por sus cualidades y alcances objetivos hacia distintos sistemas de manejo. La siguiente información respecto a sus cualidades y metodología puede consultarse Astier et al (2008).

El marco MESMIS fue desarrollado en 1999 con el objetivo de obtener una herramienta para la evaluación de sustentabilidad de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (SMRN) a través de la evaluación *ex post* o por comparación con un sistema alternativo que se caracteriza como objetivo. Esta metodología cuenta con rasgos explicativos claros y sencillez en su desarrollo, que facilita su adaptación a otros sistemas de manejo, e inclusive cuenta con potencial de ser mejorado, como aseguran sus desarrolladores. Si bien se quiere evaluar una investigación académica, su fase de diseño y experimental debe considerar la interacción con los recursos naturales, sociales y el espacio donde se desarrolla de manera que este marco ofrece amplias posibilidades para su aplicación a diversos sistemas. Astier et al (2008)

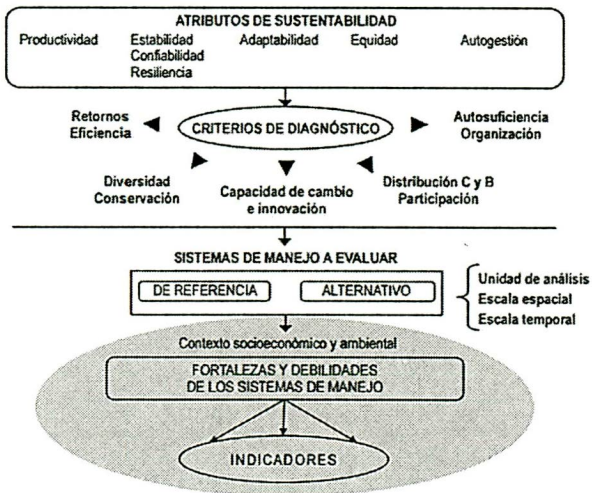
El MESMIS es reconocido por sus autores como un marco que no fue diseñado para satisfacer objetivos específicos de la evaluación, sino por las metas esperadas y particularidades propias de cada sistema de estudio y que serán representadas y resumidas en un sistema de referencia u objetivo. La base teórica que fundamenta la derivación de indicadores consiste en una detallada caracterización del sistema y sus relaciones con el exterior, tal como se revisará en el primer apartado de este capítulo. El ACV anterior en su desglose muy básico, es un complemento a esta caracterización porque permite determinar las etapas que componen el proceso de investigación tecnológica y la posibilidad de derivar los indicadores en cada una de las etapas del ciclo de vida, permitiendo una evaluación global y por fases, esta última posible siempre que se

tengan registros históricos de mediciones. Adicionalmente, las experiencias en la utilización del marco MESMIS son publicas y pueden ser consultadas en el enlace [www.gira.org.mx](http://www.gira.org.mx), también en este sitio se puede encontrar un ejemplo interactivo de la forma cómo se desarrolla cada uno de los pasos de esta metodología.

### 3.1 Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

La metodología MESMIS concibe a la sustentabilidad dinámica, multidimensional y en un contexto socioambiental y espacio temporal específicos, es operativamente flexible pues se adapta a la información y capacidad técnica disponible localmente, propone atributos generales de sustentabilidad que sirven para guiar la construcción de los criterios de diagnóstico y los consecuentes indicadores de sustentabilidad. Por ello consiste en un proceso iterativo en el sentido de mejorar el grado de sustentabilidad alcanzado en cada evaluación y requiere la participación de todos los actores involucrados en el sistema de estudio, otorgando así especial relevancia a las características y necesidades locales de cada proyecto de estudio. La **Figura III. 1 Esquema General MESMIS**, presenta los elementos que conforman el marco MESMIS.

**Figura III. 1 Esquema general MESMIS**



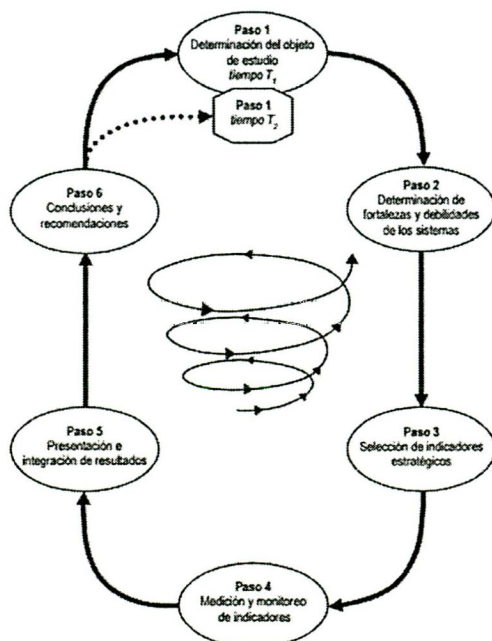
Fuente: Astier, M. et al (Coordinadores)(2008).

En la figura anterior se puede observar como un diagrama de flujo, se comienza con los atributos de sustentabilidad deseables y propuestos por este marco, de donde se derivan a su vez los criterios de diagnóstico globales que ayudarán a definir las fortalezas y debilidades del sistema de estudio respecto al sistema de referencia o el sistema deseado y la consecuente derivación de indicadores de sustentabilidad para evaluarlo por comparación.

### 3.1.1 Pasos para la evaluación MESMIS

La evaluación cíclica consta de 6 pasos, que se observan en la **Figura III. 2**, las curvas interiores se refieren precisamente a que la evaluación es iterativa: una vez terminada la primera ronda de evaluación, se integran las mejoras al sistema detectadas en el primer ciclo y posteriormente comienza una nueva ronda de evaluación de sustentabilidad, y así repetidamente, hasta obtener valores de los indicadores cercanos a los valores del sistema de referencia, que es aquel sistema esperado u objetivo.

**Figura III. 2 Pasos generales en la evaluación de sustentabilidad con el MESMIS**



Fuente: Astier, M. et al (Coordinadores) (2008).

Cada paso se describe a continuación, mientras que en el siguiente apartado se desarrollan cada uno de los pasos para la investigación tecnológica en ingeniería correspondiente al estudio de caso de esta tesis. La información se obtuvo de Astier et al, 2008.

**Paso 1. Caracterización del sistema.** Identifica el sistema de manejo a evaluar, en su contexto socio ambiental a escalas espacial y temporal así como el sistema alternativo u objetivo. Se describen sus componentes biofísicos, entradas y salidas de forma cualitativa y sus relaciones, las prácticas que involucra el sistema, características socioeconómicas de los actores principales, tipo de organización, así como la interacción entre sistemas y subsistemas (de acuerdo al caso de estudio).

**Paso 2. Determinación de fortalezas y debilidades.** Proviene de un análisis de los aspectos ambientales, técnicos, económicos, sociales e institucionales que vulneran o limitan al sistema para su sostenibilidad en el tiempo y aquellos que lo robustecen.

**Paso 3. Selección de criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos.** Se identifican los indicadores que facilitarán la evaluación de sustentabilidad a través de la caracterización del sistema y la forma de estimar los atributos de sustentabilidad mediante los criterios de diagnóstico. Un conjunto coherente de indicadores buscará cubrir aspectos medibles relevantes y evitar incluir una lista larga de ellos que no aporten a la evaluación integral de todos los aspectos.

**Paso 4. Medición y monitoreo de indicadores.** La derivación de los indicadores ambientales, económicos, sociales e institucionales debe describir el propósito que tienen para los objetivos de la investigación, la forma de medirlos, monitorearlos y compararlos. Para el análisis en el tiempo puede recurrirse a modelos de variables o a series de datos históricas.

**Paso 5. Presentación e integración de resultados.** Es la etapa en la que se resume e integra la información obtenida de los indicadores, este paso es crucial pues permitirá emitir conclusiones sobre la sustentabilidad del sistema. Algunas alternativas para integrar y comunicar de forma más clara los resultados son las gráficas radiales, pues representan el conjunto total de los indicadores como porcentajes de los parámetros objetivos, pero al ser estos últimos las metas a alcanzar proporcionan una idea global de la sustentabilidad y la dirección en la que se pueden enfocar las mejoras al sistema de estudio.

**Paso 6. Conclusiones y recomendaciones.** Se brindan comentarios y observaciones sobre las limitantes y posibilidades de mejora al sistema a fin de alcanzar un mayor grado de sustentabilidad. Este paso cierra el primer ciclo de evaluación y da inicio a un nuevo ciclo.

### **3.2 MESMIS aplicado a la investigación académica en ingeniería: Proyecto Conacyt 189282**

En este apartado se desarrollan cada uno de los 6 pasos de la metodología MESMIS descritos anteriormente, para la investigación académica a evaluar: "Manufactura de módulos FV de CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales". Cabe señalar que se ha buscado, en conjunto con los investigadores participantes de esta caracterización del sistema, que los indicadores puedan servir para el caso general de una investigación tecnológica, por ello, como se verá más adelante algunos de los indicadores aún cuando no pudieron medirse sí se definieron y propusieron parámetros de evaluación ya que se consideran de relevancia y que pueden ser coincidentes en otras investigaciones de ingeniería.

La investigación de estudio se reconoce como una investigación tecnológica porque:

- Responde a una mejora de eficiencia de una tecnología ya existente: La IT del caso de estudio busca el desarrollo de nuevas técnicas en los procesos de sublimación y depósito de materiales de las tecnologías fotovoltaicas de película delgada CdS/CdTe para la mejora de eficiencia en áreas de 100cm<sup>2</sup>.
- Busca innovar o conocer los procesos preindustriales nacionales para una tecnología nacional escalable, con aprovechamiento de energía solar.
- Responde a las necesidades de suministro de energía a través de tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía, como alternativa viable ante el consumo intensivo de combustibles fósiles o recursos naturales finitos
- Crea un espacio donde se conjugan capital humano, conocimiento y tecnología.

Para determinar los objetivos esperados de este sistema de estudio, se identificaron, a través del ACV, las etapas en el proceso de realización de la investigación tecnológica y sus principales actividades a desarrollar. La representación por fases del proyecto de investigación más la caracterización de la investigación como un sistema que se interrelaciona con otros sistemas permite

la derivación de institucionales, ambientales y sociales, principalmente, como se presenta a continuación. De manera que el sistema de estudio: Investigación académica en las áreas de ingeniería debe entenderse como un proceso que implica 4 etapas, identificadas en el apartado 2.4.2 del capítulo 2 y que se retoman para la evaluación por etapas que puede realizarse al proyecto. En el apartado siguiente, se desglosan los pasos 1 a 3 de la metodología MESMIS.

### **3.2.1 Caracterización de la investigación académica (Paso 1 MESMIS)**

Si bien, una parte importante en la evaluación del proyecto de investigación es alcanzar sus propias metas propuestas en cuanto a la mejora de eficiencia de las celdas fotovoltaicas, el objetivo de esta evaluación de sustentabilidad se centra en la evaluación, en todo el ciclo de vida, de la investigación tecnológica como tal, es decir que además de cumplir los criterios de investigación se añaden criterios de sustentabilidad comúnmente utilizados para el análisis del Sistema de Manejo de Recursos Naturales (SMRN).

#### **Paso 1. Caracterización del sistema a escala y subsistemas relacionados.**

En este paso se caracterizan al sistema y conjuntos de subsistemas que se relacionan e interactúan con el sistema bajo estudio, de manera que se puede representar su escala espacial y temporal. Se identifican las relaciones de mayor relevancia que permitan caracterizar al proyecto de investigación tecnológica. Así, el MESMIS permite identificar a la Unidad de Producción, que tiene como equivalente a la Unidad de Investigación en áreas de ingeniería (la investigación en ingeniería) y el subsistema de estudio o investigación tecnológica de estudio, respectivamente. Para abordarlo se identifican:

- Localización del área de estudio
- Características socioeconómicas y a la Unidad de Producción o unidad de investigación en ingeniería, con los subsistemas y relaciones entre estos.

#### **A) LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El proyecto de investigación académica a evaluar se desarrolla en los laboratorios de Tecnologías Sustentables de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (en adelante UACM), Plantel San Lorenzo Tezonco (en adelante, SLT), ubicado en Prolongación San Isidro 151, Col. San Lorenzo Tezonco en la delegación Iztapalapa, Ciudad de México.

La UACM Cuenta con 5 planteles: Casa Libertad, Centro Histórico, Cuauhtepac, Del Valle y San Lorenzo Tezonco, ubicadas todas ellas en la Ciudad de México. Fue creada el 26 de abril de 2001 por el Gobierno del Distrito Federal, es autónoma desde diciembre de 2004, y es una oferta educativa pública con carreras de licenciatura y posgrado en diferentes áreas enmarcadas en 3 colegios: Colegio de Humanidades y Ciencias Sociales, Colegio de Ciencias y Humanidades y Colegio de Ciencia y Tecnología. Entre sus objetivos como institución busca brindar una formación crítica, con conocimientos y herramientas científicas y humanistas que brinden soluciones viables y comprometidas socialmente.

La investigación tecnológica a evaluar, se desarrolla por el Colegio de Ciencia y Tecnología en el Plantel SLT y al ser ésta su sede de ejecución, uno de los criterios para la selección de indicadores sociales, ambientales e institucionales es que pueda favorecer el entorno local, así como la sostenibilidad del propio proyecto. La investigación a estudiar comenzó a inicios de 2014, al cierre de 2016 se encuentra en su fase final y su desarrollo práctico fue estructurado en 4 etapas. La información principal del proyecto se obtuvo de los reportes o entregables 1, 2 y 3, del avance técnico económico del proyecto, de donde se extrajeron datos para la caracterización del proyecto y para la derivación y estimación de los indicadores de sustentabilidad. Estos reportes se pueden consultar en los anexos de esta tesis. (Conacyt (2014), (2015) y (2016))

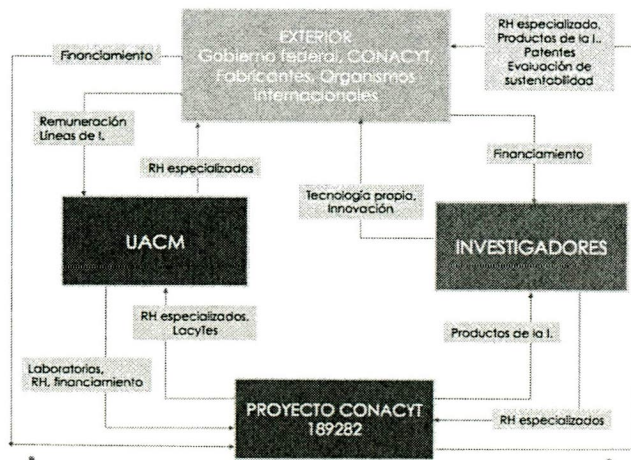
Por otro lado, los procesos de manufactura preindustrial identificados durante la investigación tecnológica serán protegidos a través de patentes, por lo que el proceso de manufactura en sí mismo no será evaluado en esta tesis, sino el proceso de investigación tecnológica como tal y en consecuencia las metas sociales, técnico económicas, institucionales y ambientales que se esperan de una investigación tecnológica propia de las áreas de ingeniería. Por ello, la descripción de los indicadores de sustentabilidad pretende ser lo más general posible y evalúa a la investigación tecnológica bajo la derivación de indicadores y reconocimiento de etapas del proceso de investigación, con la ayuda del análisis de ciclo de vida. La forma de evaluar los criterios de sustentabilidad y etapas fueron propuestos por la Autora, en conjunto con el responsable técnico del proyecto, Dr. Rogelio Mendoza Pérez y la asesora de esta tesis la Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada. Como se verá a continuación, la caracterización del sistema de estudio requiere que pueda identificarse el sistema mayor al que pertenece el sistema de estudio, así como los subsistemas con los que se relaciona.

## B) CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

En el aspecto económico, el proyecto cuenta con financiamiento al cien por ciento para su realización. Los rubros contemplan la adquisición de maquinarias, materias primas, y la remuneración de una parte de los recursos humanos participantes en esta investigación tecnológica. Los recursos humanos que emplea, incluidos los responsables del proyecto, deben contar con la formación de ingeniería o áreas afines, así como ser pertenecientes a la planta docente o de egresados de la UACM, como prioridad local. Si bien el proyecto no detalla como objetivos la formación de recursos humanos especializados, se reconoce en esta caracterización global la interacción con la comunidad universitaria a través de los productos académicos generados, la formación de recursos humanos especializados con o sin remuneración.

La **Figura III. 3 Caracterización del sistema de estudio** muestra el sistema de estudio completo, donde los subsistemas: Proyecto Conacyt 189282, UACM, Investigadores (Recursos humanos) y el Exterior interactúan a través de las actividades que los relacionan hacia el interior o al exterior de estos mismos a través de las flechas que indican los flujos de entrada y salida (las relaciones e interacciones) entre el subsistema Proyecto Conacyt 189282 (en su caso general: Investigación tecnológica en ingeniería) y el resto de los subsistemas.

**Figura III. 3 Caracterización del Sistema de estudio**



Fuente: Elaborado por la Autora.

Una vez identificadas las interacciones que guarda el sistema completo o unidad de investigación con los subsistemas, se procede a caracterizar al subsistema de estudio, que se nombrará en adelante como PROYECTO CONACYT 189282, o Sistema de Estudio de Referencia.

### C) CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL PROYECTO CONACYT 189282

Esta investigación tecnológica consiste en la mejora de eficiencia al 8% de módulos fotovoltaicos (FV) de película delgada (*Thin film*) en áreas de 100cm<sup>2</sup>, por las técnicas de sublimación y depósito de CdS y CdTe, y otros procesos preindustriales de manera que su objetivo principal es identificar y reproducir los procesos de mejora de eficiencia para su posible manufactura preindustrial. Los prototipos de módulos FV a obtener encuentran su antecedente en módulos de la misma tecnología por técnicas de depósito pero en áreas de 1cm<sup>2</sup>.

El proyecto se desarrolla en 4 etapas, definidas desde su propuesta inicial, la primera de ellas comenzó en 2014 y se espera su conclusión el segundo semestre de 2016. Para actualizar esta información, se notifica que la última etapa ha concluido en marzo de 2017. Como ya se indicó, el proyecto cuenta con financiamiento al 100% a través de Conacyt para su realización, y se desarrolla en las instalaciones de la UACM SLT a cargo de investigadores adscritos a esta institución y pertenecientes al Colegio de Ciencia y Tecnología. El espacio designado para su realización fue en los laboratorios del edificio A de la UACM SLT, laboratorios ya construidos y concedidos para la fase de experimentación y validación del diseño de manufactura, su realización en este espacio permitió la creación del actual Laboratorio de Ciencias y Tecnologías Sustentables (LACyTES) de la UACM. En la **Tabla 3.1** se presenta el cronograma oficial de actividades de este proyecto.

**Tabla 3.1 Cronograma del Proyecto Conacyt 189282**

ETAPA	ACTIVIDAD				
	Diseño/Construcción de equipo	Procesamiento películas delgadas	Estaciones de trabajo	Caracterización módulos FV	Manuales, patentes, modelos de utilidad
I	X	X			
II	X	X	X	X	
III		X	X	X	
IV		X	X	X	X

Fuente: Conacyt, 2016.

Cabe resaltar, que tanto en la primera como en la segunda etapa del proyecto se aprovecharon además las instalaciones del Laboratorio de Física Avanzada, de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional, para poder realizar pruebas y validaciones del diseño de los módulos antes de la llegada, instalación y puesta en operación de la totalidad de los equipos que conforman el área de producción de módulos fotovoltaicos del proyecto Conacyt 189282, en la UACM SLT. Sin embargo, dadas las características de la investigación y que no se reporta como sede oficial a este laboratorio se considera como parte del Exterior e incluso como parte de Investigadores.

Los recursos humanos necesarios para la realización del proyecto se componen básicamente de egresados de las carreras de Licenciatura del Colegio de Ciencia y Tecnología y de la Maestría de Fuentes Renovables de Energía y Eficiencia Energética, actualmente Maestría en Ingeniería Energética, que accedieron al proyecto como parte de su proceso de titulación en licenciatura y maestría, donde cabe resaltar que los temas de tesis han sido afines al tema de investigación en el que participaron, además de la realización de servicio social (éste último únicamente para licenciatura). El proyecto a su vez, ha podido remunerar a algunos de los participantes en el proyecto, aunque no a la totalidad de ellos sin embargo se considera una fortaleza del proyecto:

- Conclusión y registros de tesis de Licenciatura y Posgrado (aún cuando no estén terminadas)
- Publicación de artículos científicos de divulgación
- Conclusión de Servicio Social

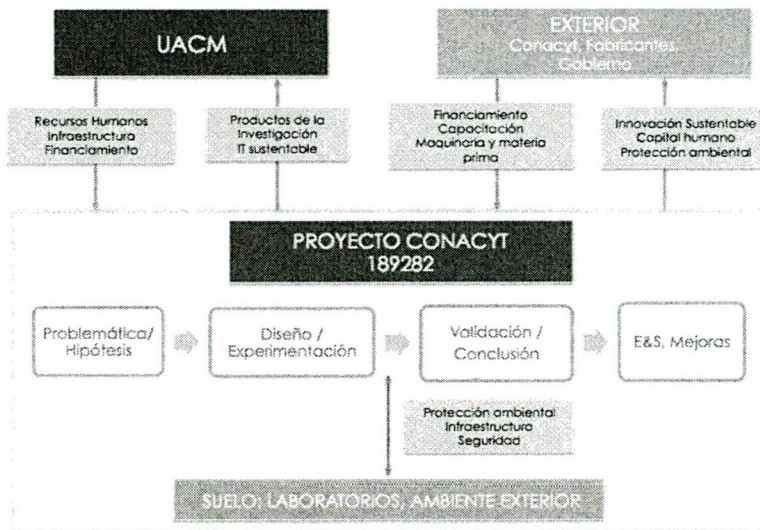
Cabe destacar que la sustentabilidad en el aprovechamiento de recursos humanos busca que éstos sean locales, sin embargo la IT no está limitada a favorecer la asistencia local pero si tiene un mayor peso la formación local de recursos humanos.

Aún sin la conclusión de tesis o la obtención de grado, este proyecto ha promovido la formación capital humano especializado en el desarrollo de procesos de mejora de eficiencia de módulos fotovoltaicos de película delgada, en las fases en las que han estado involucrados dichos recursos humanos, ya que a nivel nacional no se tiene un proyecto de innovación equivalente a éste en una universidad pública y es por ello que se considera la totalidad de los registros de tesis.

Respecto a los recursos materiales y objetivos técnicos, en el diseño de la solución de mejora de eficiencia se plantea la adquisición de equipos de depósito, serigrafía, escaneado, limpieza, conexión y encapsulado de los módulos fotovoltaicos, es decir, la instalación y entrada en operación de las estaciones de proceso, incluyendo el suministro de los equipos y la capacitación para su uso hacia los participantes del proyecto.

La caracterización del Proyecto Conacyt 189282, se muestra en la **Figura III. 4**, en ésta se pueden observar las relaciones principales con los subsistemas UACM (Recursos humanos e infraestructura) y el Exterior, nótese que el Proyecto Conacyt 189282 corresponde a su vez a un proceso de Investigación tecnológica dividido en cuatro etapas.

**Figura III. 4 Caracterización del Proyecto Conacyt 189282**



**Fuente:** Elaborado por la Autora.

La evaluación puede realizarse en cada etapa del proceso de IT, en cada etapa del cronograma del proyecto o bien globalmente. Se recomienda hacer evaluaciones en cada etapa del proyecto de manera que puedan implementarse mejoras a la etapa siguiente, en este caso de estudio, dado que el proyecto ya estaba avanzado y no se dispone de toda la información por etapas, las evaluaciones serán a través de los datos globales. El siguiente paso, permite hacer una identificación más cercana de los indicadores de sustentabilidad a evaluar pues identifica las fortalezas y debilidades de la IT.

### 3.2.2 Identificación de Fortalezas y debilidades (Paso 2 MESMIS)

Este siguiente paso corresponde a la identificación de los factores que favorecen, fortalecen o robustecen al proyecto así como aquellos factores que lo afectan negativamente o lo vulneran en términos de sustentabilidad y que están presentes en el estado actual de la IT. Es importante destacar estos factores pues de ellos se derivan los indicadores y el sistema alternativo que recoge los objetivos y características esperadas del sistema de estudio o IT a evaluar. Si bien se está caracterizando para una investigación en particular, se agregan indicadores que pueden considerarse para una investigación de ingeniería, en general.

En el marco MESMIS la identificación de fortalezas y debilidades se realiza a través de los Criterios de Diagnóstico en su estado actual, que responden a su vez a atributos de sustentabilidad propuestos en este marco de evaluación. Los criterios de diagnóstico propuestos en la metodología MESMIS, se enlistan a continuación con sus respectivas fortalezas y debilidades.

- **Retornos:** La investigación busca principalmente alcanzar una mejora de eficiencia de los módulos de película delgada, sin embargo los productos obtenidos de la investigación como la obtención de grado o servicio social, la divulgación en medios especializados representan fortalezas en la medida en que estos procesos se presenten, puede englobarse en alcance de metas y productos de la investigación.
- **Eficiencia:** Se refiere a la eficiencia en los procesos. En el proceso de producción de los módulos se identifica como una fortaleza el reciclado y la reutilización de materias primas, así como el bajo consumo de energía, sin embargo, el consumo energético por producción de módulo FV, así como en el reciclado y reuso de materiales no se encuentra en los anexos Conacyt (2014, 2015 y 2016) y fue determinada con la consulta directa al responsable del proyecto Conacyt 189282, el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, donde se dijo que no fueron registrados los tiempos de depósito en cada módulo lo cual impide registrar el consumo de energía necesario por módulo pero se reconoce como fortaleza que sí se realiza reuso y reciclado de materiales de depósito CdS/CdTe.
- **Conservación.** La IT de estudio no contempla gastos para protección ambiental o mecanismos de tratamiento de residuos peligrosos asociados al proyecto, como pueden ser la utilización y manejo de los compuestos cancerígenos que se utilizan (Cadmio,

principalmente), por lo que se reconoce como una debilidad. Se consideran los impactos negativos en agua, suelo y aire derivado de las actividades del proyecto.

- **Diversidad.** La IT busca identificar el ó los procesos preindustriales asociados para la fabricación de las películas delgadas por depósito de CDS/CdTe, por lo que la adaptación o mejora de técnicas de depósito o variación de compuestos se considera con alta diversidad y como una fortaleza la divulgación diversa de la información generada a partir de este proyecto de investigación.
- **Distribución.** El financiamiento otorgado por el gobierno federal a través de Conacyt cubre todas las necesidades económicas del proyecto, sin embargo, la gestión y avance de las entregas comprometidas en cada fase puede derivar en el alargamiento de plazos o retrasos no previstos para alcanzar los objetivos totales del proyecto, se tiene en los años Conacyt (2014, 2015 y 2016) el avance del proyecto y de éste se derivará la calificación del avance del mismo. En la distribución se incluyó la carencia del gasto en protección ambiental y los gastos destinados a los recursos humanos únicamente como empleos generados, como una fortaleza.
- **Participación.** Los actores involucrados en el proyecto tienen una participación altamente activa, existe un encargado responsable del proyecto así como una división del trabajo o reparto de actividades y esta diferenciación en la asignación de tareas permite que puedan involucrarse en procesos particulares y fortalecer la operación de la cadena productiva. Las etapas del proyecto implican una sucesión de entrada en operación de los equipos, previo pedido e instalación, posterior a la capacitación de personal y su operación, en este rubro se consideran como fortalezas los recursos humanos locales de la UACM y los empleos generados.
- **Innovación y cambio.** El proyecto es innovador porque permite incorporar la renovación de tecnología para la búsqueda de prácticas preindustriales nacionales, que permitan realizar la producción de módulos fotovoltaicos de película delgada con mejoras de eficiencia del 8% a través de técnicas de depósito con un menor costo e infraestructura asociada. Sin embargo, la innovación del proyecto tiene como debilidad el no haber considerado los impactos ambientales del proyecto, en el sentido de no reintegrar los recursos naturales extraídos a la tierra directa o indirectamente.

- **Autosuficiencia.** El sistema depende por completo de la asignación de recursos financieros federales en tiempo y forma, por lo que retrasos en esta gestión afectan directamente al proyecto. La autosuficiencia también es medida en los recursos materiales y de servicios imprescindibles en la realización de un proyecto como son: el acceso seguro al agua, la energía y la información, en el último de éstos se reconoce como una debilidad el hecho de carecer de información relevante a la formación de los participantes del proyecto.
- **Organización.** Se incluyen las fortalezas y debilidades en la comunicación y claridad de los resultados a través de los de informes o entregables, la gestión de recursos y administración del proyecto se relacionan con la existencia de una óptima gestión tecnológica para la obtención de resultados exitosos.

### 3.2.3 Derivación de indicadores de sustentabilidad (IS) (Paso 3 MESMIS)

En este paso se realiza la derivación de los indicadores de sustentabilidad como características medibles en la investigación tecnológica y mejor responden a los criterios de diagnóstico ya sea como una fortaleza o una debilidad sobresaliente e identificada a su vez de la caracterización del sistema de estudio. Cabe resaltar que cada fortaleza y debilidad responde a los valores del sistema de referencia, tanto por los objetivos del proyecto como por las cualidades identificadas en conjunto con los expertos y participantes del proyecto Conacyt 189282.

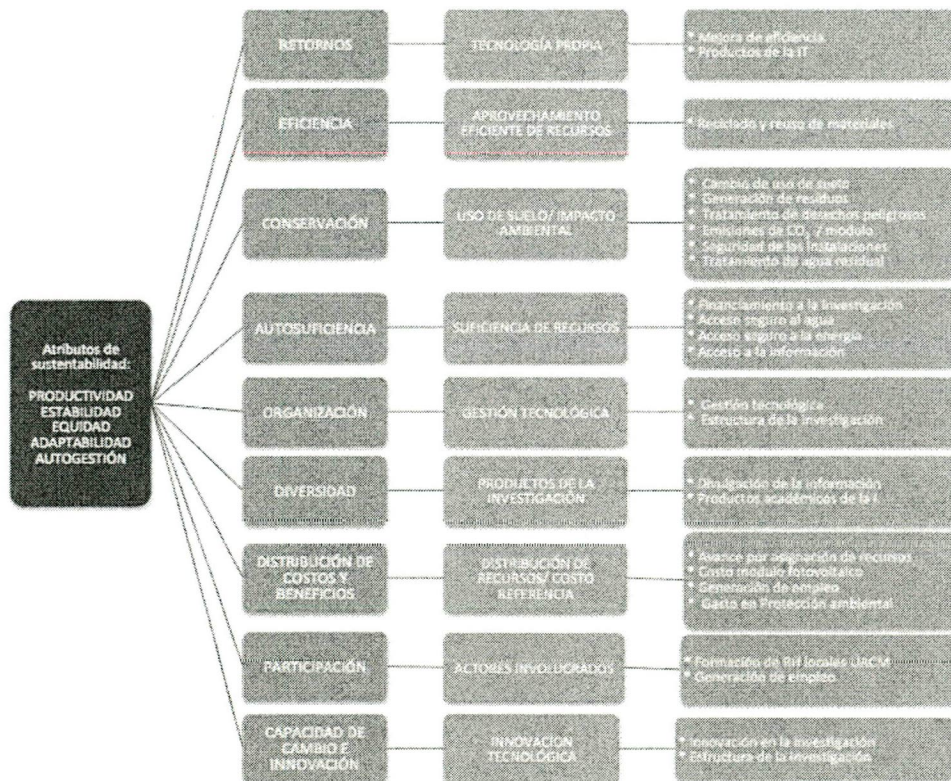
Se reiteran algunas de las características que pueden ayudar a una mejor selección de los indicadores de sustentabilidad:

- Existe la posibilidad de compararlos con valores de normativas, valores estándar o equivalentes
- Son medibles o pueden estimarse a través de variables conocidas
- Aportan información específica, no repetitiva y relevante para el estudio
- Son coherentes con las características del sistema.

En la **Figura III. 5 Derivación de indicadores de sustentabilidad**, se representa el resultado de la derivación de indicadores, el diagrama de árbol comienza con los atributos de sustentabilidad generales que propone el MESMIS, los criterios de diagnóstico generales (que se definieron en el apartado anterior) y de acuerdo a estas definiciones se establecieron las particularidades adaptadas

a la investigación tecnológica. La tercera rama del diagrama de árbol representa las fortalezas y debilidades identificadas por criterio de diagnóstico y finalmente, la parte final del árbol identifica los indicadores de sustentabilidad que cubren mayormente las características generales de estos (mencionadas en los párrafos anteriores) . Cabe resaltar que algunos de los indicadores de sustentabilidad no podrán ser evaluados en esta investigación dado que no se tiene un registro de mediciones previo o en todas las fases del proyecto, sin embargo, se conservan todos los indicadores derivados para poder presentar sus definiciones y forma de evaluación dado que pueden servir de guía para otras investigaciones y que sin duda aportarían grandemente a esta evaluación.

**Figura III. 5 Derivación de indicadores de sustentabilidad**



Fuente: Elaborado por la Autora.

Aún cuando una evaluación de sustentabilidad debe realizarse por un equipo multidisciplinario, así como la caracterización de sus indicadores, ésta evaluación sí consideró en la selección de sus

indicadores de sustentabilidad las opiniones de los participantes del proyecto, en particular al responsable técnico del proyecto Conacyt 189282: el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, así como la opinión de investigadores adscritos al Programa de Energía de la UACM, como la asesora de esta tesis la Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada, además de su participación en medición de los indicadores en conjunto con la autora.

En el siguiente apartado se asocian los indicadores de sustentabilidad que se derivaron con cada una de las etapas identificadas para la IT. Posteriormente, se presentan identificados por dimensiones cada uno de los indicadores, con sus definiciones y la forma como serán medidos. La evaluación de sustentabilidad final, de acuerdo al marco MESMIS, se realiza estandarizando cada uno de los indicadores con respecto a los valores objetivo a alcanzar respecto a un sistema de referencia, se establecen así los valores máximos y mínimos que serán representados por el Sistema de Referencia, de acuerdo a las aportaciones teóricas revisadas en el primer capítulo, las normas vigentes, los objetivos particulares del proyecto y los productos o trabajos que comenzaron con este proyecto y que se esperaba fueran concluidos.

#### **3.2.4 Derivación de IS asociados al ACV de la investigación en ingeniería**

Como un complemento al Paso 3 de la metodología MESMIS, en el que se realizó la derivación de indicadores de sustentabilidad a través de los criterios de diagnóstico con la identificación de las fortalezas y debilidades del sistema de estudio, en este apartado se diferencian por etapas de la investigación tecnológica, de manera que con esta distinción puede realizarse la evaluación de sustentabilidad por etapas y esto permitiría un mejor desempeño global del sistema. Para el caso del proyecto Conacyt 189282, se tienen mediciones de algunos indicadores en cada etapa por ello o bien indicadores sin posibilidad de medición dada la falta de registros durante la realización experimental, sin embargo, se incluyen con la observación de que puedan clarificar la derivación de indicadores para futuras investigaciones.

En la **Tabla 3.2**, se muestran las etapas en el proceso de investigación tecnológica en ingeniería, con los atributos y criterios de diagnóstico de sustentabilidad esperados en cada etapa así como los indicadores de sustentabilidad asociados.

Tabla 3.2 Indicadores de sustentabilidad en el ACV de la Investigación en ingeniería

ATRIBUTOS DE SUSTENTABILIDAD	ETAPA	CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO	INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD
	Problemática / Hipótesis	Capacidad de cambio e innovación Autosuficiencia Conservación	Innovación de la investigación Estructura de la investigación Financiamiento a la investigación Acceso seguro al agua Acceso seguro a la energía Acceso a la información Cambio de uso de suelo Cambio de uso de suelo Generación de residuos
	Diseño / Experimentación	Conservación Organización Distribución de costos y beneficios Autosuficiencia Participación	Tratamiento de desechos peligrosos Tratamiento de agua residual Seguridad de las instalaciones Gestión Tecnológica Estructura de la investigación Avance por asignación de recursos Generación de empleo Formación de RH locales UACM Gasto en protección ambiental Acceso seguro al agua Acceso seguro a la energía Acceso a la información
PRODUCTIVIDAD ESTABILIDAD EQUIDAD ADAPTABILIDAD AUTOGESTIÓN	Validación / Conclusión	Retornos Eficiencia Conservación Distribución de costos y beneficios Autosuficiencia Participación Organización	Mejora de eficiencia Productos Académicos de la I. Reciclada y reuso de materiales Cambio de uso de suelo Generación de residuos Tratamiento de desechos peligrosos tratamiento de agua residual Seguridad de las instalaciones Avance por asignación de recursos Acceso a la información Acceso seguro a la energía Acceso seguro al agua Formación de RH locales UACM Generación de empleo Gestión Tecnológica Estructura de la investigación
	E.S., Mejoras	Retornos Diversidad Organización	Mejora de eficiencia Productos Académicos de la I. Divulgación de la investigación Gestión Tecnológica Estructura de la investigación

Fuente: Elaborado por la Autora.

### 3.3 Definición de IS derivados de Conacyt 189282

Una vez relacionados los indicadores de sustentabilidad con las etapas que conforman el proceso de una IT, como un complemento a la metodología MESMIS, se presentan a continuación las definiciones, objetivos de evaluación y la forma cómo serán medidos o estimados, ya sea cualitativa o cuantitativamente, cada definición incluye tablas para la recopilación de información de los indicadores. Estas definiciones corresponden aún al **Paso 3: Selección de Indicadores estratégicos**.

#### 3.3.1 DIMENSIÓN ECONÓMICA

##### 1) FINANCIAMIENTO A LA INVESTIGACIÓN

###### **Definición**

Se refiere a las fuentes de financiamiento que cubren el total de gastos que implica la realización de la investigación tecnológica, de acuerdo al presupuesto inicial estimado por los responsables de la misma. La identificación de gastos específicos no se incluye, ya que por ejemplo, la ausencia de algunos de estos gastos específicos se reflejará en la respuesta que tengan otros indicadores asociados, por ejemplo el gasto por protección ambiental se considera como un indicador adicional como se verá más adelante.

Este indicador puede incluir un análisis de los distintos financiamientos, en caso de que hubiera más de un promotor, el porcentaje de cobertura de gastos, y si se trata de fondos nacionales o internacionales. El financiamiento a la investigación sintetiza la fuente de financiamiento, el porcentaje de cobertura y el consecuente impacto de ésta en la obtención de resultados exitosos del proyecto de investigación.

###### **Propósito**

Se considera que un proyecto de investigación es factible y puede concluirse con éxito si cuenta con una o varias fuentes de financiamiento que cubran al 100% su presupuesto estimado, ya sea como la suma de presupuestos o bien si proviene de un único fondo.

### Parámetros de evaluación

Se sugiere enlistar y diferenciar a las instituciones de donde provienen los financiamientos, como porcentajes de la cobertura del costo total del proyecto. Esta diferenciación puede servir en un análisis más fino, como puede ser el impacto que tiene la fuente de financiamiento en los objetivos buscados y alcanzados. La tabla muestra un ejemplo:

Tipo de Financiamiento	% Financiamiento
CONACYT	
UACM	
ICyT	
Gobierno Federal	
BID / BM	
PNUD	
Global	

## 2) COSTO DE PRODUCCIÓN/MODULO FABRICADO

### Definición

Se refiere a los costos asociados para la producción de un módulo FV de 100cm<sup>2</sup>, se sugiere calcular en valores unitarios comunes a los valores estándar para facilitar su comparación. Se consideran los costos asociados por materia prima, desgaste de equipos, combustible, consumo de energía, transporte, restauración de uso de suelo, gastos de protección ambiental, gastos administrativos y técnicos, y otros gastos asociados como puede ser el trámite de patentes.

### Propósito

Comparar el precio de producción preindustrial, que permita estimar los costos de fabricación nacionales con los costos de producción de referencia.

### Parámetros a evaluar

Los costos de los módulos FV generalmente se representan en USD/Wpico, sin embargo los costos de referencia comerciales para las tecnologías de película delgada en los módulos FV necesariamente diferirán del costo obtenido con el proyecto y en todo caso se tendrían que conocer los componentes de costo que considera dicho precio comercial para poder hacer esta comparación.

Es importante evaluar este indicador pues está completamente vinculado al diseño de producción, que debe contemplar los costos por evitar daño ambiental o como último caso su reducción. Sin embargo, este indicador no será considerado en la evaluación de sustentabilidad del caso de estudio de esta tesis, ya que no se tiene un proceso estandarizado y los costos no están determinados por Wpico producidos, dado que muchos de estos módulos no fueron servibles. Por otro lado no se tiene información suficiente, por parte del responsable técnico del proyecto para poder estimar este costo, en el aspecto del consumo de energía, por ejemplo, sin embargo se considera de relevancia considerarlo en las definiciones por la utilidad de conocer los costos de producción y los criterios de comparación con precios de referencia y que puede servir por analogía a otras investigaciones tecnológicas. Como se verá en el último capítulo, en el paso 4, se reporta un costo de producción obtenido que se deja de forma indicativa junto con los elementos que se consideraron para éste.

### **3) MEJORA DE EFICIENCIA**

#### **Definición**

El proyecto Conacyt 189282 busca obtener eficiencias superiores al 8% y la mejora implica su obtención en módulos FV con áreas de 100 cm<sup>2</sup>, está vinculado a su vez con la obtención y descripción de los procesos preindustriales para la fabricación de los módulos de película delgada CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup>, es decir, con la obtención de patentes.

#### **Propósito**

Evaluar el cumplimiento de metas del proyecto: la mejora de eficiencia en la producción de los módulos fotovoltaicos de película delgada CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup>.

#### **Parámetros a evaluar**

Se evalúa la eficiencia de los módulos terminados en una escala por rangos de eficiencia. La evaluación puede realizarse por etapa del proyecto de investigación, de esta forma puede evidenciarse la evolución en el proceso, así como el resultado de las mejoras implementadas en cada etapa. En la evaluación del proyecto Conacyt 189282, se produjeron módulos sin una clara diferenciación en las etapas en las que estos se fabricaron, por ello la evaluación, inclusive por etapas de la IT se realiza globalmente.

#### 4) GASTO EN PROTECCIÓN AMBIENTAL (% DE RECURSOS DESTINADOS AL PROYECTO)

##### Definición

Se refiere a los costos económicos que enfrenta el proyecto de investigación por su posible impacto negativo al ambiente. Este gasto está destinado a evitar, reducir y eliminar la contaminación asociada, o cualquier otra degradación al ambiente debida a las actividades y diseño del proyecto. Las investigaciones que se realicen en el presente deben considerar un gasto por protección ambiental del total del presupuesto requerido para garantizar su contribución al desarrollo sustentable.

##### Propósito

Mide los esfuerzos llevados a cabo por la gestión del proyecto para proteger y restaurar el ambiente ante las actividades que implica la fase experimental de la IT.

##### Parámetros a evaluar

Se consideran los tres factores ambientales que aparecen en la tabla, y si éstos fueron incluidos en los gastos por protección ambiental, de manera que no influye el porcentaje destinado a cada factor ambiental sino el haberlo considerado en el proyecto.

Factor ambiental	Recursos del proyecto
Agua	Sí (1) / No (0)
Aire	Sí (1) / No (0)
Suelo	Sí (1) / No (0)

#### 5) AVANCE POR ASIGNACIÓN DE RECURSOS

##### Definición

Se refiere al uso eficiente de los recursos económicos que financian y posibilitan la realización de la IT. La debida asignación de recursos contribuye al alcance de objetivos propuestos en cada etapa de la investigación de ingeniería de estudio.

##### Propósito

Evaluar el cumplimiento de las actividades de cada etapa del proyecto, debido a la asignación oportuna y uso adecuado de los recursos destinados por etapa del proyecto.

### Parámetros a evaluar

Se agrupan las actividades principales que se proyectaron en cada etapa del proyecto, se evalúa respecto de las actividades efectivamente realizadas y se obtiene un porcentaje de avance. En este indicador considera a la falta de recursos oportunos un impedimento para la realización de las actividades proyectadas en cada etapa de la investigación.

Etapa	Actividad del proyecto	Proyectadas	Realizadas	% Avance
1				
2				
3				
4				

Fuente: CONACYT (2016)

### 3.3.2 DIMENSIÓN SOCIAL

#### 1) FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS LOCALES UACM

##### Definición

Se refiere a la formación de capital humano especializado local, debido a la existencia del proyecto. En la formación de recursos humanos locales UACM se considera a todos los participantes que hayan contribuido y aprendido del proyecto a través de la realización de tesis de licenciatura, maestría, servicio social, o prácticas profesionales de la UACM, seguidos de los participantes de otras instituciones universitarias.

##### Propósito

Evaluar el porcentaje de formación de recursos humanos especializados remunerados o no remunerados locales, provenientes de la UACM, generados a partir del proyecto.

##### Parámetro de evaluación:

Como se ha dicho antes, se incluye a la totalidad de los participantes, tanto los remunerados y no remunerados, puesto que su importancia reside en la formación de capital humano.

Parámetro a evaluar	RH UACM	Otra Inst.	% RH UACM
RH remunerados			
RH no remunerados			
Global			

Se ha dejado así esta tabla para hacer notar que un análisis más fino puede hacer esta diferenciación en la remuneración, a fin de poder aportar mejoras más específicas.

## 2) GENERACIÓN DE EMPLEO

### Definición

Se refiere a la creación de fuentes de trabajo para la comunidad local y profesionistas provenientes de la comunidad universitaria de la UACM. Este indicador es distinto al indicador de Formación de RH locales de la UACM, ya que implica que la investigación a desarrollar considera los empleos directos requeridos por el proyecto: por los perfiles profesionales, experiencia y su distribución de funciones como un valor agregado.

### Propósito

Se evalúa la proporción de empleos generados por el proyecto, provenientes de la comunidad local o universitaria.

### Parámetros a evaluar

Se evalúa como un porcentaje del total de empleos generados.

**Generación de empleo UACM= (#Empleados Locales / #Total Empleos Generados)\*100**

Etapa	Empleos UACM	Empleos Otras instituciones
Total		

## 3) ACCESO AL AGUA SEGURO

### Definición

El acceso al agua es un derecho, su disponibilidad y uso garantiza además las condiciones mínimas de higiene y salud del espacio donde se desarrolla la fase experimental de la IT. Desde la perspectiva del desarrollo de este proyecto de investigación, consiste en estimar la proporción de tiempo con suministro seguro al agua potable respecto al tiempo total de duración del proyecto de investigación. Este suministro considera únicamente el abastecimiento diario de agua y no la cantidad de consumo pues sólo se considera para actividades básicas de higiene, si el proyecto

requiere altas cantidades de agua, debe complementarse con otros indicadores como: tratamiento de agua residual, captación o cosecha de agua pluvial, consumo de agua permitido por persona, etc. Este acceso seguro al agua puede ser de las siguientes formas: a) Agua entubada, toma pública o b) Agua de lluvia.

### **Propósito**

Contar con acceso seguro al agua en cantidad y calidad suficientes, no excedentes, para garantizar que se desarrollen efectivamente las actividades del proyecto.

### **Parámetros de evaluación**

El acceso al agua seguro se estima como un porcentaje de la totalidad de días en que se realiza la IT, globalmente o por etapas.

$$\% \text{ Días AAS / Etapa} = (\text{Días c/Agua}) / (\text{Días etapa}) * 100$$

Donde:

**% Días AAS / Etapa:** Acceso al Agua Seguro por etapa del proyecto

**Días c/Agua:** Total de días con disponibilidad de agua durante cada etapa a evaluar

**Días etapa:** Total de días contabilizados por etapa o ciclo completo

## **4) ACCESO SEGURO A LA ENERGÍA**

### **Definición**

El acceso a la energía eléctrica es un derecho, ya que constituye uno de los servicios básicos para garantizar un mínimo de satisfactores para una calidad de vida digna. Desde la perspectiva del desarrollo de este proyecto de investigación, consiste en estimar la proporción de tiempo con suministro seguro a energía eléctrica que garantice la realización óptima de las actividades del proyecto que requieren de este servicio. El suministro de energía puede provenir de: a) Suministro desde la Red eléctrica pública y b) Suministro local, o generación distribuida. Tendrá un mayor peso el auto abasto de energía de fuentes renovables.

### **Propósito**

Contar con acceso seguro al suministro eléctrico en cantidad y calidad, para la realización óptima de todas las actividades del proyecto de investigación a evaluar.

### Parámetros de evaluación

Se estimará el acceso al suministro eléctrico seguro, como un porcentaje de la cantidad total de días que dura el proyecto, globalmente o por etapas.

$$\% \text{ Días ASES/Etapa} = (\text{Días c/SE}) / (\text{Días etapa}) * 100$$

Donde

**% Días ASES/Etapa:** Días con Acceso al Suministro Eléctrico Seguro por etapa

**Días c/SE:** Total de días con Suministro Eléctrico durante la etapa a evaluar

**Días etapa:** Total de días contabilizados por etapa de evaluación o global.

Etapa	DÍAS /ETAPA	DÍAS c/SE	Días ASES %
1			

## 5) SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES

### Definición

Se refiere al cumplimiento de las medidas de seguridad mínimas necesarias en el sitio donde se desarrolla la IT, y que permiten una adecuada y prematura prevención de accidentes y enfermedades debidas al manejo de los equipos y materiales dentro de las instalaciones donde se desarrolla la investigación.

### Propósito

Evaluar el cumplimiento de los requisitos mínimos para el manejo seguro de material, equipo e instalaciones, con el fin de evaluar si las actividades del proyecto se realizan en condiciones seguras.

### Parámetros de evaluación

En la tabla se proponen algunos requisitos de seguridad que pueden considerarse en la evaluación, cada lista corresponde a las características de manejo de materiales y maquinarias específicas de cada sistema de estudio, siempre que se manejen sustancias con cierto grado de toxicidad deben tenerse medidas precautorias para el manejo, tratamiento y desecho de éstas. Se evalúa como un porcentaje de cumplimiento respecto de todas las medidas de seguridad registradas.

Requisito	Cumple Sí (1) / No (0)
Equipo de protección personal	

Hojas de Seguridad  
 Señalamiento de seguridad  
 Manuales de operación de equipos  
 Botiquín y primeros auxilios  
 Equipo de extinción de fuego  
 Programa de mantenimiento a las instalaciones  
 Sistema de protección de tierras  
 Sistema de protección eléctrica

**Total**

### 3.3.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL

#### 1) GENERACIÓN DE RESIDUOS PER CÁPITA

##### Definición

Se refiere a la cantidad de residuos sólidos urbanos generados por los participantes de la investigación tecnológica en el sitio donde ésta se desarrolla.

##### Propósito

Este indicador es fundamental para cualquier estudio relacionado al manejo integral de residuos sólidos urbanos. Es dinámico, ya que cambia con el tiempo de acuerdo a la situación socioeconómica y cultural de un país. (SINIA, 2001: 5)

##### Parámetros de evaluación

La generación de residuos per cápita, para el caso del proyecto de investigación, corresponde al menor parámetro de referencia, el domiciliario. Lo que se busca es evaluar un adecuado control en la generación de residuos en los sitios donde se desarrolla la IT. Se considera el promedio generado al día, ya sea por etapas o globalmente. Este indicador no se incluye en los resultados finales ya que no se tiene un registro de los desechos generados durante las actividades normales del proyecto.

Parámetro	Total
Participantes del proyecto: habitantes (hab)	
Producción de desechos al día (kg)	
Producción per cápita (kg/ hab-día)	
Referencia CDMX	1.3 kg/ hab-día

## 2) TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS

### Definición

Es la cantidad total de desechos peligrosos generados que han sido tratados, por etapa o globalmente, debidos a las actividades del proyecto, de acuerdo a la definición de Desechos peligrosos de la Convención de Basilea.

### Propósito

Cuantificar la cantidad, tipo y tratamiento a los residuos peligrosos derivados de las actividades del proyecto, con la finalidad de identificar si se realiza una disposición final correcta, de acuerdo a la normatividad vigente nacional o internacional.

### Parámetros de evaluación

Se sugiere generar una lista de los compuestos tóxicos o con propiedades de uso especial, e indicar si se realiza la disposición final correcta.

Tipo de residuo peligroso*	Categoría	Disposición final Sí (1) / No (0)
----------------------------	-----------	-----------------------------------

## 3) CAMBIO DE USO DE SUELO

### Definición

Superficie total afectada en m<sup>2</sup> para la asignación del espacio donde se realiza la IT, para un uso distinto a la función original del suelo: la agricultura.

### Propósito

Manifiestar los cambios de uso de suelo distintos de su función principal, debidos a las actividades del proyecto y su cumplimiento de la Ley Federal de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.

### Parámetros de evaluación

Se evalúa el cumplimiento a Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente, Título III, capítulo II, Art. 98 Fracc. 6.

#### **4) TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

##### **Definición**

Se refiere a la recolección de las aguas residuales provenientes de las actividades del proyecto, para su traslado a una planta de tratamiento que permita su descarga al ambiente sin efectos perjudiciales para la salud humana y del ecosistema, o bien para su reutilización. De acuerdo a las condiciones particulares del proyecto se puede prever necesario el tratamiento de agua residual si la zona cuenta con suministro continuo de aguas pesadas, jabonosas, y/o además no se cuenta con planta de tratamiento en las instalaciones de la IT.

##### **Propósito**

Evaluar el nivel potencial de contaminación ante la falta de tratamiento de agua residual proveniente de las actividades de la IT, de acuerdo a la normatividad vigente: **NOM001-SEMARNAT 1996**: Uso público urbano.

##### **Parámetros de evaluación**

Se evalúa la existencia de un programa de tratamiento de agua residual en atención a la norma o programa de seguimiento a esta norma.

#### **5) RECICLADO Y REUSO DE MATERIALES**

##### **Definición**

Se refiere al uso óptimo de la materia prima utilizada para la fabricación de los módulos fotovoltaicos, durante todo el ciclo de vida del proyecto. Este indicador aporta información sobre la eficiencia en el uso de recursos disponibles para la fase experimental de la IT.

##### **Propósito**

Medir el consumo sustentable de la materia prima reutilizada en el proceso de fabricación de los módulos FV, durante todo el ciclo de vida del proyecto.

##### **Parámetros de evaluación**

Se sugiere realizar una lista de las materias primas o insumos reutilizables y/o reciclables, y si éstas se han reciclado durante el proceso de fabricación de los módulos FV.

## 6) EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> / PRODUCCIÓN DE MODULO FV

### Definición

Son las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de las actividades del proyecto: por consumo de energía eléctrica equivalente a las centrales eléctricas típicas del país, por transporte y por procesos asociados en la fabricación de los módulos FV.

### Propósito

Estimar el nivel de CO<sub>2</sub> emitido por unidad producida, por etapa o globalmente. Se evaluará considerando la Norma de Emisiones de Fuentes Fijas o bien por comparación de emisiones evitadas de una fuente convencional a los módulos FV *thin film*. Si bien este tema es nuevo, en el sentido de si existe una referencia específica de emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la fabricación de generadores de energía convencionales, cabe resaltar que se requiere medirlos y compararlos para verdaderos aportes en pro del desarrollo sustentable.

### Parámetros de evaluación

Para el sistema de estudio este parámetro se considera neutro ya que no se cuenta con disposición de información por parte del Responsable técnico del proyecto, para poder realizar los cálculos de estimación de emisiones de CO<sub>2</sub>. La tabla muestra algunos de los parámetros que se pueden considerar en el cálculo de emisiones.

Parámetro	Emisión de CO <sub>2</sub> / unidad
Consumo eléctrico de los equipos	
Transporte de materiales	
Transporte de maquinaria	
<b>Total de emisiones</b>	

### 3.3.4 DIMENSIÓN INSTITUCIONAL

#### 1) INNOVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN

## **Definición**

Se refiere a la originalidad de la IT a realizar y al cumplimiento con al menos uno de los criterios teóricos que fueron presentados en el Capítulo 1 de esta tesis. Se consideran además las afinidades con planes nacionales o internacionales, únicamente en el sentido de su viabilidad y factibilidad, es decir, que no encuentre límites institucionales para su realización. La innovación sustentable busca también ser coherente con las necesidades locales de la o las instituciones universitarias en donde se realiza.

## **Propósito**

Se evaluará si el proyecto es innovador en los objetivos y alcances de la IT y busca representar las características de innovación y sustentabilidad esperadas en la investigación académica en ingeniería.

## **Parámetro de evaluación**

Los parámetros pueden incluir alguno de los siguientes criterios de innovación, se han enlistado en orden jerárquico de importancia debido principalmente al alcance de cada definición de innovación hacia la sustentabilidad, mientras que los demás criterios se apegan a la factibilidad de realización de una IT, tanto por su coherencia con políticas nacionales, internacionales y su afinidad institucional o universitaria:

**Si Sí cumple con los criterios es (1) y, si No cumple es (0).**

### **a) Innovación Sustentable.**

- Reducir al mínimo la fractura metabólica con la naturaleza dadas las prácticas intensivas que se ejercen sobre el suelo, ya sea con la producción local, la recuperación de la tierra y el campo en las innovaciones, en temas agrícolas y otros sectores, la consideración de la dignidad y crecimiento del conocimiento del hombre a través del trabajo, así como la maximización de las satisfacciones humanas y espirituales. (Basado en Marx, 2010: 127; Marx, 2009: 611; Marx: 752 y Schumacher: 40)
- El diseño de la cuna a la cuna “considera que se debe proponer una estrategia de cambio. No se trata de buscar una opción menos dañina sino de repensar la totalidad del proceso de diseño en sí mismo. La eficiencia no tiene valor propio, depende del valor del sistema mayor del que es parte. Si los propósitos son cuestionables, la eficiencia puede hacer a la destrucción aún más grave.” (Giuliano: 4)

- Se refiere a “la incorporación de conocimiento científico y tecnológico, propio o ajeno para modificar un proceso productivo, artefacto, máquina; para un fin valioso a la sociedad.” Dean, (n. d.)
  - Las innovaciones en ingeniería deben buscar reducir los efectos ambientales y sociales en la creación de productos, servicios e infraestructura, manejo eficiente de recursos, aumento de la calidad de vida, garantizar que los nuevos diseños cumplan con los criterios de sustentabilidad” esperados. (Estrada y Morán: 8)
- b) Fondos o planes nacionales.** El cumplimiento de objetivos de planes nacionales, o su contribución a las necesidades que éstos plantean, ayuda a que el proyecto no enfrente obstáculos legales o institucionales debido a su novedad, sobre todo cuando la IT requiere para su realización de financiamiento. Algunos ejemplos, para el tema específico de energía:
- PLAN NACIONAL DE DESARROLLO (2013-2018) “Línea III. 2 Articular educación, Ciencia y Desarrollo Tecnológico para una sociedad más justa y próspera. Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sustentable.” PND (2013 - 2018)
  - FONDOS SECTORIALES DE ENERGÍA (2014 - 2018). Líneas de Acción 3.1, 5.1, 9.3 que forman parte de las estrategias para fortalecer las capacidades tecnológicas, institucionales e industriales, del documento con el mismo nombre.
  - PROSENER 2013 -2018. Programas específicos para financiamiento.
    - Ampliar la utilización de fuentes de energías limpias y renovables, promoviendo la eficiencia energética y la responsabilidad social y ambiental.
    - Fortalecer la seguridad operativa, actividades de apoyo, conocimiento, capacitación, financiamiento y proveeduría en las distintas industrias energéticas nacionales.
  - PEFRHME 2014. Respecto a la formación de recursos humanos especializados en la transformación de tecnologías con aprovechamiento de fuentes renovables, el programa enuncia que busca abatir las necesidades en la investigación, en el sentido de que “México aproveche y potencie la formación de talento para apoyar el desarrollo de un sector de energía más atractivo, dinámico y competitivo. Para ello, es necesario cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de especialistas capaces de desempeñarse activamente en el sector

energético en los próximos años, tanto en la cantidad como con la calidad, las disciplinas y los niveles de competencia requeridos". (PEFRHME, 2014: 5)

c) **Afinidad internacional.** Si la investigación tecnológica no encontrará afinidad con los objetivos de los planes nacionales, puede sustentarse en:

- Resolución 1514, de la Asamblea de las Naciones Unidas el 14 de diciembre de 1960. "Todos los pueblos tienen el derecho de libre determinación; en virtud de este derecho, determinan libremente su condición política y persiguen libremente su desarrollo económico, social y cultural."
- Educación para el Desarrollo sostenible (EDS). La investigación tecnológica se enmarca dentro de características de una EDS. (UNESCO, 2016)
  - ✓ Se preocupa por el bienestar de las cuatro dimensiones de la sostenibilidad: el medio ambiente, la sociedad, la cultura y la economía;
  - ✓ Usa una variedad de técnicas pedagógicas que promueven el aprendizaje participativo y los pensamientos elevados;
  - ✓ Es relevante a nivel local y culturalmente apropiada;
  - ✓ Se basa en las necesidades, percepciones y condiciones locales pero reconoce que el satisfacer las necesidades locales a menudo tiene impactos y consecuencias internacionales;
  - ✓ Concierno a la educación formal, no formal e informal;
  - ✓ Acepta la naturaleza en constante evolución del concepto de sostenibilidad;
  - ✓ Es interdisciplinaria. Ninguna disciplina puede apropiarse de la EDS para sí misma; todas las disciplinas pueden contribuir a la EDS.
- **Objetivos DS COP 21.** Se refiere a los 17 Objetivos de desarrollo sustentable y sus 169 metas, en materia de crecimiento económico, inclusión social y sostenibilidad ambiental, se resaltan los Objetivos 4, 9 y 12.
  - ✓ **Objetivo 4.** Educación de calidad: inclusiva y con oportunidades de aprendizaje toda la vida para todos.
  - ✓ **Objetivo 9.** Construir infraestructura resiliente, industrialización inclusiva y sustentable y fomentar la innovación.
  - ✓ **Objetivo 12.** Producción y consumo responsables. Garantizar modalidades de consumo y producción sustentables.

- d) **Afinidad con los objetivos universitarios.** La investigación académica debe buscar cubrir las necesidades locales del sitio donde se desarrolla, además de su afinidad a los objetivos universitarios donde se desarrolla.
- **OBJETIVOS UACM.** (UACM, 2016)
    - ✓ Garantizar la libertad académica y la pluralidad de pensamiento
    - ✓ Contribuir al desarrollo cultural, profesional y personal de los estudiantes
    - ✓ Asegurar un alto nivel en todas sus actividades académicas, y la plena confiabilidad de los certificados, títulos y grados otorgados
    - ✓ Establecer una relación responsable y de participación con la sociedad
  - **PROGRAMA DE ENERGÍA UACM.** Busca "... Con base en una conciencia histórica derivada del estudio sistemático y, sobre todo, crítico del sector energético, incidir en el diseño y construcción de un modelo viable para el aprovechamiento racional y sustentable de los recursos del país, con énfasis en su entorno inmediato, la Ciudad de México" PEUACM (2016).

**Medición:**

Se considera el cumplimiento de al menos uno de los criterios de innovación en cualquiera de los 3 aspectos antes descritos, pueden agregarse cada uno de ellos y medir globalmente la existencia de cada criterio.

Criterio	Cumple Sí (1) / No (0)
Innovación sustentable	
Fondos o Planes Nacionales	
Afinidad universitaria	
Afinidad internacional	
<b>Global</b>	

**2) ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN**

**Definición**

Se refiere a los elementos básicos que estructuran la presentación de la Investigación Tecnológica, la cual permite una comunicación clara de los resultados del proyecto.

**Propósito**

Se evaluará que la presentación o informe final del proyecto de investigación tecnológica, cumpla con los elementos de la rúbrica que evalúa la estructura de la investigación.

## Parámetro de Evaluación

Se evaluará como un porcentaje de cumplimiento, clasificado como deficiente o ejemplar, del total de los requisitos enlistados.

**Tabla 3. 3 Rúbrica de evaluación de informes de proyectos de investigación**

#	Parámetro	Objetivo	Deficiente (0) / Cumple (1)
1	Título	Sintético, concreto	
2	Índice	Estructura contenido	
3	Resumen	Ideas principales, secuencia del informe	
4	Introducción	Presentación de la I.	
5	Estado del Arte	Referencias de Objeto de estudio, otros autores	
6	Modelo Teórico conceptual	Solución ideal	
7	Modelo Cuántico	Verificación Modelo T. Conceptual	
8	Construcción de Artefacto o proceso	Descripción patente / Descripción del proceso	
9	Resultados,	Resultados verificación experimental.	
10	Conclusión	Síntesis del Objeto de estudio	
11	Mejoras al proyecto	Valor agregado al proyecto obtenido de la Conclusión	
12	Futuros trabajos	Propuesta trabajos similares	
13	Referencias, Citas (APA, HARVARD)	Cumple norma y estilo elegido, Bibliografía actual	
14	Anexos	Formato de norma elegida	
15	Anexos	Información adicional para sustentar el trabajo	
16	Formato: fuente, espaciado, tamaño de fuente	Legible, uniforme, tamaño de fuente no menor a 12 pts. Orden y espaciado.	

Fuente: Basado en Galán, M. (2016) y Jiménez, C. C. (2008, enero 23).

### 3) PRODUCTOS ACADÉMICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### Definición

Se refiere a la producción de resultados derivados de la IT, se consideran los productos que tienen un impacto institucional por su aportación científica.

#### Propósito

Se evaluará el tipo y número de productos de la investigación derivados de la IT.

#### Parámetros de evaluación

En la tabla se muestran algunos ejemplos de productos derivados de la investigación, dado su carácter científico pero que a su vez tienen un impacto social sobresaliente al favorecer metas

sociales individuales, por ejemplo, la elaboración de tesis. Nótese que idealmente la propuesta de investigación debiera proponerse una meta de productos de la investigación.

#	Parámetro	Cantidad	UACM / Otra institución
1	Tesis licenciatura concluidas		
2	Tesis licenciatura en proceso		
3	Tesis maestría concluidas		
4	Tesis maestría en proceso		
5	Servicio social		
6	Manuales de proceso		
7	Patentes		
<b>Global</b>			

#### 4) ACCESO A LA INFORMACIÓN

##### Definición

Se refiere a la cantidad y variedad de bibliografía científica relacionada y relevante al tema de la IT, se consideran la cantidad y disponibilidad de revistas especializadas, tesis, libros y acceso a acervo digital que aporta al proyecto de investigación.

##### Propósito

Cuanto mayor sea la disponibilidad de acceso a la bibliografía científica especializada en la UACM, más amplia y mejor será la gama de información de los participantes de la IT.

##### Parámetros de evaluación

Se evaluará la disponibilidad de las alternativas de acceso a la información científica especializada en la UACM SLT, como un porcentaje del total de los tipos de información:

Parámetro	Sí (1) / No (0)
Revistas especializadas / arbitradas	0
Libros	0
Tesis	
Biblioteca digital	0
Catalogo digital de revistas indexadas	0

#### 5) DIVULGACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

##### Definición

Se refiere a la divulgación de los resultados del proyecto de investigación tecnológica a través de la

difusión en foros, revistas especializadas o arbitradas, revistas de divulgación tecnológica, congresos así como la publicación tesis de licenciatura y maestría.

### Propósito

Se medirá el alcance de difusión de los resultados del proyecto de investigación a través de los productos académicos concretados o publicados.

### Parámetros de evaluación

#	Parámetro	Cantidad	Total registrado
1	Tesis publicadas		
2	Artículos publicados en foros		
3	Artículos publicados en revistas		
4	Exposición en congresos		
5	Conferencias, Foros, Talleres		

## 6) GESTIÓN TECNOLÓGICA

### Definición

Se refiere a la administración óptima de la IT, a través de la asignación de actividades por etapas a los participantes de la misma.

### Propósito

Evaluar el cumplimiento de las actividades incluidas en la gestión tecnológica, que facilitan su desarrollo y permiten una conclusión exitosa del mismo.

### Parámetros de evaluación

Se evalúa como un porcentaje de cumplimiento del total de las actividades.

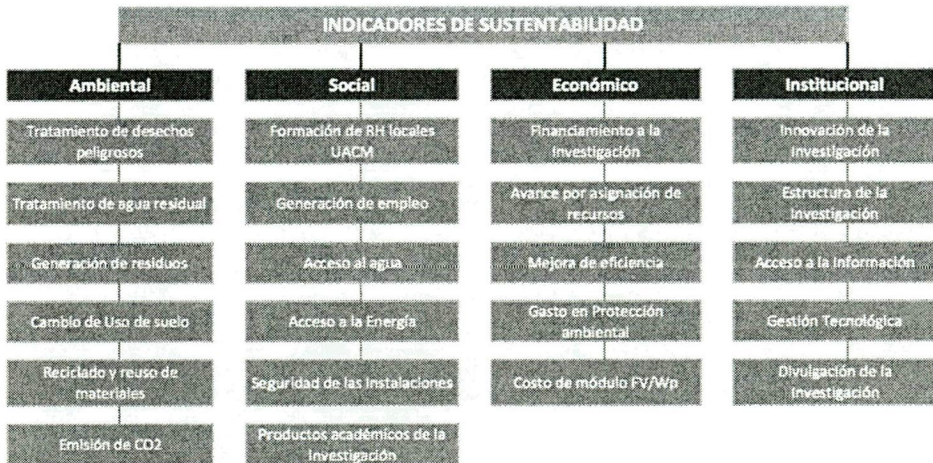
#	Parámetro	Si (1) / No (0)
1	Necesidad / Demanda	
2	Capacidades internas	
3	Especificaciones de diseño	

# BIBLIOTECA UACM

4	Propuesta técnico económica
5	Administración tecnológica del proyecto
6	Planeación administrativa
7	Instrumentos contractuales del acuerdo
8	Negociación
9	Cierre del proyecto
10	Propiedad intelectual
11	Licenciamientos
12	Evaluación y vigilancia
Global	

Finalmente, en las siguientes figuras se presentan agrupados esquemáticamente, por dimensiones, los indicadores de sustentabilidad anteriormente derivados, de manera que pueda facilitarse la lectura de conjunto de los indicadores que servirán para poder hacer la evaluación de sustentabilidad de la investigación de ingeniería: Conacyt 189282. En la **Figura III. 6 Indicadores de sustentabilidad de la investigación tecnológica**, se resumen los IS derivados en sus 4 dimensiones: ambiental, social, técnico económica e institucional.

**Figura III. 6 Indicadores de sustentabilidad de la investigación tecnológica**



Fuente: Elaborado por la Autora.

En las **Figuras III. 7 a III. 10**, se desglosan los indicadores de sustentabilidad por dimensión de sustentabilidad y su presencia en cada una de las etapas de la IT. Nótese que aún cuando algunos indicadores están presentes en el proceso completo, su medición relevante puede identificarse

únicamente en una etapa, por ejemplo, el indicador de Financiamiento a la investigación, si bien impacta todo el proceso, su evaluación relevante se encuentra al inicio del proyecto, donde se sabe si la IT tendrá recursos financieros o no.

**Figura III. 7 Indicadores sociales de la investigación en ingeniería**



Fuente: Elaborado por la Autora.

**Figura III. 8 Indicadores económicos de la investigación en ingeniería**



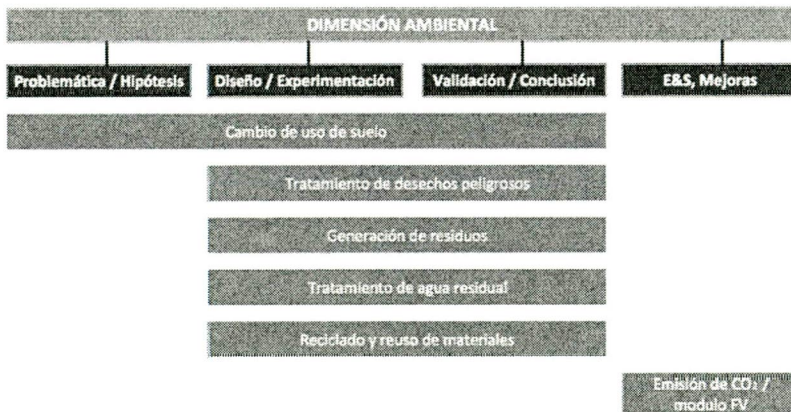
Fuente: Elaborado por la Autora.

**Figura III. 9 Indicadores institucionales de la investigación en ingeniería**



Fuente: Elaborado por la Autora.

Figura III. 10 Indicadores ambientales de la investigación en ingeniería



Fuente: Elaborado por la Autora.

La medición de los indicadores, previa definición, corresponde al paso 4 del MESMIS: **Paso 4: Medición y monitoreo de indicadores** que es abordada en el siguiente capítulo. Así mismo se presentan los resultados de la medición de cada uno de los indicadores de sustentabilidad definidos en esta última sección del capítulo 3. Posteriormente se presenta la integración de los resultados de estas mediciones y su evaluación desde tres alcances: global, por etapas de la IT y por dimensión.

## Capítulo 4. Resultados de la evaluación de sustentabilidad de la investigación académica en ingeniería

En el capítulo anterior se concluyó con el Paso 3 de la metodología MESMIS, con la derivación y definición de los indicadores de sustentabilidad. Dicha derivación se basó en las características de la investigación tecnológica y el proyecto de investigación en particular, se consideró la información disponible del proyecto, así como si ésta información podía ser comparable con otras medidas tanto establecidas en normativas ambientales así como de los objetivos establecidos en la IT en particular, y que servirán de referencia para poder hacer la medición, evaluación y posterior presentación integrada de los resultados de la evaluación de sustentabilidad.

El previo establecimiento de parámetros y escalas de evaluación de los indicadores de sustentabilidad se relaciona directamente con el **Paso 4: Medición y monitoreo de indicadores**, que se desarrolla a continuación en conjunto con los últimos pasos del marco MESMIS:

**Paso 5.** Integración de indicadores

**Paso 6.** Conclusiones y recomendaciones de la evaluación

La medición de los indicadores se realiza globalmente (hasta la etapa en la que se encuentra el proyecto), se realizan a su vez las evaluaciones por etapas de la investigación tecnológica, así como por dimensión de sustentabilidad: ambiental, económica, social e institucional. Con las siguientes observaciones: la presentación de la evaluación por etapas se realizó con la medición global de los indicadores, dado que los resultados registrados de estas mediciones no se tienen, en todos los casos, por etapas. Sin embargo, la evaluación por etapas, permite integrar aquellos indicadores que fueron identificados con mayor influencia en dicha fase de la IT y que aportan información útil respecto a las debilidades o fortalezas presentes a lo largo del proyecto. Cabe resaltar que toda la información vertida en los resultados que se presentan a continuación está contenida en los reportes de avance del proyecto Conacyt (2014), Conacyt (2015) y Conacyt (2016), así como en información proporcionada por el Dr. Rogelio Mendoza Pérez como responsable técnico del Proyecto Conacyt 189282.

Cada una de estas evaluaciones e integraciones de IS se presenta en gráficas radiales estandarizadas, como propone el marco MESMIS, para un manejo más práctico de la información y la identificación fácil de aquellos IS que pueden mejorarse respecto a su valor objetivo o esperado.

#### 4.1 Medición de indicadores de sustentabilidad

En este apartado se presentan los resultados de las mediciones de cada uno de los indicadores, de acuerdo a sus parámetros y valores de referencia, previamente establecidos, máximos y mínimos que pueden alcanzar. Para algunos de ellos se realizaron algunos cuadros de información adicionales, ya que un análisis más detallado sobre las posibilidades de mejora de la investigación puede realizarse identificando todas las relaciones que guarda el indicador en cuestión, con otras variables relacionadas al proyecto y que podría servir para trabajos futuros. En esta presentación de resultados, se han conservado todos los IS derivados incluyendo aquellos que no fue posible su medición para esta IT particular, explicación que se detalla a continuación en cada caso, y que sin embargo se sugiere considerarlos en otras investigaciones dada su relevancia para la respuesta de la IT en cada dimensión.

Los resultados de la evaluación se presentan, de acuerdo a la metodología MESMIS, como un porcentaje del valor objetivo de referencia, ya sea máximo o mínimo, tal como se desarrolla a continuación de la presentación de resultados de los IS. Mientras que al final de éste capítulo, se presenta la integración de resultados, conclusiones y mejoras propuestas al proyecto, hasta la etapa 3 de la cual se dispone información hasta el momento de realización de esta tesis.

##### 4.1.1 Dimensión Económica

###### 1) FINANCIAMIENTO A LA INVESTIGACIÓN

Fondo NACIONALES	Porcentaje total
CONACYT	100%

###### 2) COSTO DE PRODUCCIÓN/MODULO FABRICADO

En este proyecto no es posible comparar el costo de producción del módulo fotovoltaico producido, ya que sólo se encuentra información de costos de producción industriales como referencia, mismos que hacen incomparables dichas medidas al tratarse de técnicas e insumos que implican costos de producción mucho menores. Por otro lado, la información de  $USD/W_{pico}$  no es posible obtenerla para

los prototipos generados en laboratorio, dada la variación de eficiencia que se presenta en la fabricación de cada uno (no se tienen módulos de la misma potencia, haciendo difícil su estimación de costo por  $W_{pico}$ ) además de que no se registraron los tiempos de fabricación en cada estación de producción. De manera ilustrativa se presenta el costo promedio obtenido en la fabricación de los módulos FV de película delgada en áreas de 100cm<sup>2</sup> del proyecto Conacyt 189282, mismo que incluye material para la estructura del módulo y materiales para la interconexión y manufactura.

\$ MXN Costo/MFV	Estado
375.14	Sin evaluar

### 3) MEJORA DE EFICIENCIA DEL PRODUCTO

Etapa	# MFV	Eficiencia %	Promedio eficiencia %
1	2	0.4% y 1.3%	0.85
2	6	2.1% (3) y 2.7% (3)	2.4
3	20	2.1% (19) y 12% (1)	2.59
<b>Global</b>	<b>28</b>		<b>2.43</b>

### 4) GASTO EN PROTECCIÓN AMBIENTAL (como % de recursos destinados al proyecto)

El proyecto Conacyt 189282 no consideró gastos por protección ambiental en ninguna de las etapas del proyecto.

Recurso por factor ambiental	Recurso Sí(1) / No (0)
Agua	0
Aire	0
Suelo	0
<b>Global</b>	<b>0</b>

### 5) AVANCE POR ASIGNACIÓN DE RECURSOS

En la siguiente **Tabla 4. 1**, se presenta un registro de las actividades principales que fueron proyectadas en cada etapa del proyecto, así como las actividades que efectivamente fueron realizadas. Con esta información se obtuvo el avance por asignación de recursos como un porcentaje de las actividades realizadas respecto a las proyectadas en el mismo período, dado que en los entregables se enfatiza que algunas actividades se retrasaron en conjunto con la entrega de recursos para poder realizarlas.

Así mismo, se informó que la demora en los tiempos de entrega de los equipos que conforman la cadena de producción de los módulos FV, por parte de los proveedores, influyó en el retraso de algunos tiempos programados en el cronograma del proyecto.

**Tabla 4. 1 Avance por asignación de recursos del proyecto Conacyt 189282**

Etapa	Actividad del proyecto	PROY	REAL	% AVANCE
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar equipos, modificación y construcción de los mismos.</li> <li>- Crecimiento de capas CdS, CdTe y Mo en áreas de 100cm<sup>2</sup>, con sistema de sublimación y sputtering.</li> <li>- Modificaciones en las 4 estaciones de trabajo para premanufactura de MFV de 100 cm<sup>2</sup>.</li> <li>- Caracterizar películas delgadas para evaluar resultados preliminares.</li> </ul>	4	2	50
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar y retroalimentar resultados de mejores respuestas FV, para optimizar parámetros de crecimiento en los sistemas de Sublimación y Sputtering para la obtención de mejores capas delgadas de CdS, CdTe y Mo.</li> <li>- Iniciar crecimiento de películas delgadas de ZnO, SnO<sub>2</sub>, CdS y CdTe en nuevos sistemas de sublimación y sputtering.</li> <li>- Integración y puesta en marcha de equipos semi automatizados en estaciones de trabajo (serigrafía y depósito electroquímico).</li> <li>- Continuación de las actividades en las 4 estaciones de trabajo para pre manufactura de MFV de 100cm<sup>2</sup>.</li> <li>- Continuación con la actividad de caracterización de las películas delgadas.</li> </ul>	5	4	80
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semiautomatización de Screen-printing.</li> <li>- Desarrollo de unidad modificada de depósito por electrólisis (No fue necesario modificar la unidad de ESFM-IPN).</li> <li>- Construcción de estación de encapsulado.</li> <li>- Pruebas con resinas en estación de encapsulado ESFM-IPN como adelanto a la manufactura de los MFV de la etapa 4.</li> <li>- Adquisición de equipos de caracterización de materiales y del simulador solar para la medición de I, V de MFV de CdTe.</li> <li>- Caracterización de películas delgadas de SnO<sub>2</sub>, ZnO, CdS, CdTe, Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, ZnTe y Cu- Mo de 100 cm<sup>2</sup>, obtenidas en los nuevos sistemas para evaluar resultados preliminares.</li> <li>- Procesamiento de MFV de CdTe en áreas de 100cm<sup>2</sup> con los nuevos sistemas adquiridos.</li> </ul>	6	6	100
4	-			

Fuente: CONACYT (2016)

Evaluación por etapas y global:

Etapa	% Avance	Parámetro % Avance
1	50	90 a 100%
2	80	50 al 89%
3	100	0 al 49%
<b>Global</b>	<b>76.6%</b>	

#### 4.1.2 Dimensión social

##### 1) FORMACIÓN DE RH LOCALES UACM

En este indicador se desglosa la tabla con los recursos humanos remunerados, no remunerados y de otras instituciones, a fin de que en las mejoras a este u otros proyectos se pueden analizar otros factores que afectan al resultado de cada indicador. En esta investigación se consideran los recursos humanos provenientes de la UACM, sin diferenciación, respecto del total.

Etapa	RH rem	RH no rem	UACM	Otra institución
1				0
2	9	1	9	1
3	3	2	4	1
4				
Global	12	3	13	2

##### 2) GENERACIÓN DE EMPLEO

Como se observa en las tablas, se reportó la generación de un empleo en la etapa 3 del proyecto, proveniente de la comunidad universitaria del plantel UACM en SLT. Esto puede atribuirse a que en la planeación del proyecto no se plantearon los recursos humanos especializados necesarios para contribuir a la IT y probablemente mientras se realizaba ésta, fue detectada la necesidad de contar con un especialista. Sin embargo se evaluó el total y dado que no existía una meta previa, se considera esta generación de empleo como la máxima a alcanzar, ante la falta de su indicación preliminar.

Etapa	Empleos UACM	Otras Instituciones
1	0	0
2	0	0
3	1	0
Global	1	0

##### 3) ACCESO AL AGUA

De acuerdo a la información proporcionada por el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, responsable técnico del proyecto Conacyt 189282, no se tuvo un solo día sin falta de agua durante las etapas 1, 2 y 3 de la IT, por otro lado, se informó que aquellos equipos que requieren agua para su funcionamiento son indirectos, pues la requieren para enfriamiento de condensadores, de manera que la circulación del

agua que se utiliza proviene de un colector propio, misma que es reutilizada durante varios ciclos, por lo que no se vieron afectadas las actividades principales de la IT.

#### 4) ACCESO A LA ENERGÍA

Tanto para este indicador como para el anterior, no se pudo realizar un muestreo debido a que la evaluación de sustentabilidad se planteó posterior al inicio de la investigación Conacyt 189282, de manera que esta información de días promedio sin acceso a la energía fue igualmente proporcionada por el responsable técnico del proyecto, el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, y se presenta en la tabla siguiente:

Etapa	DÍAS /ETAPA	DIAS ASES	% DASES
1	127	2	1.57
2	133	2	1.50
3	163	2	1.22
Global	423	6	1.42

#### 5) SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES

La información fue proporcionada por el Responsable Técnico del Proyecto el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, no se pudo obtener una fecha específica en la que éstas fueron generadas por lo que su evaluación por etapas tampoco es posible, sino la cuantificación de elementos de seguridad que se establecieron en la definición de este indicador.

Requisito	Cumple Sí (1) / No (0)
Equipo de protección personal	1
Hojas de Seguridad	1
Señalamiento de seguridad	1
Manuales de operación de equipos	1
Botiquín y primeros auxilios	1
Equipo de extinción de fuego	1
Programa de mantenimiento a las instalaciones	1*
Sistema de protección de tierras	1
Sistema de protección eléctrica	1
<b>GLOBAL</b>	<b>9</b>

\*Revisión semestral, pólizas de mantenimiento a los equipos fueron programadas con las empresas proveedoras durante la vigencia del proyecto. Posterior a la conclusión del proyecto no se tienen contratadas pólizas de mantenimiento.

### 4.1.3 Dimensión ambiental

#### 1) GENERACIÓN DE RESIDUOS

Este indicador no pudo ser medido ya que no se cuenta con un registro en bitácoras, de la producción de basura entre los participantes de esta IT, mientras que realizar un muestreo para considerar su evaluación en el presente trabajo, implica condiciones distintas en el momento en que se desarrolló esta tesis.

#### 2) TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS

En la tabla siguiente se muestra una lista de los compuestos peligrosos que se manejan en esta IT, así como el tipo de toxicidad que presentan. La última columna: Disposición correcta, hace referencia a los únicos compuestos de los que se tienen desechos y que requieren tratamiento especial, de acuerdo a la información proporcionada por el responsable técnico de la IT, Rogelio Mendoza Pérez.

Desecho peligroso*	Categoría	Disposición correcta SI (1) / NO (0)
CdTe < 50mg	Carcinogénicos	Contenedores especiales cerrados (1)
CdCl <sub>2</sub> < 5g	Carcinogénicos	
CdS < 25mg	Carcinogénicos	
Acetona/ Isopropanol	Flamable	
<b>Global</b>		<b>100 %</b>

#### 3) CAMBIO DE USO DE SUELO

**Evaluación:** Este indicador impacta la totalidad del proyecto Conacyt 189282. Es evaluado negativamente en todas las etapas, puesto que el uso de suelo es distinto a su actividad principal: la agrícola.

Cumple con ley LGEEPA Sí (1)/ No (0)	Categoría
	Sustentable
<b>0</b>	<b>No Sustentable</b>

#### 4) TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El suministro de agua para el proyecto Conacyt 189282 proviene de la red pública y se utiliza principalmente para abastecer el sistema de recirculación de los enfriadores de los equipos que

forman parte de la cadena productiva del proceso. Por un lado, se realiza el mantenimiento a dichos enfriadores: esto es, se desecha el agua de los contenedores, misma que en todo el proceso está aislada de los equipos, los participantes y la materia prima utilizada. Sin embargo, dado que el proyecto se desarrolla en la delegación Iztapalapa, Ciudad de México, México; donde se tiene una muy baja calidad del agua, ya que ésta presenta altas concentraciones de sales y minerales; a ello se suma que el plantel SLT de la UACM no cuenta con una planta de tratamiento de agua, debido a estos dos factores, se considera imprescindible y prioritario, bajo condiciones similares, que se prevea y realice el tratamiento de agua residual para que el vertido al drenaje público no contribuya a entregar un agua con mayor concentración de sales, considerando que en la recirculación para enfriamiento pierde volumen de este líquido, por evaporación.

NOM001SEMARNAT 1996: Uso público urbano		Cumple	Sí (1) / No (0)
Sí			
No			0

### 5) RECICLADO Y REUSO DE MATERIALES

En esta tabla se considera al CdTe como parte de los materiales que se reutilizan en el proceso, así como el agua que sirve para enfriar los equipos condensadores. Respecto al aprovechamiento del agua, se evita la descarga continua de este líquido pues se recircula hasta cierta cantidad de veces antes de ser desechada al drenaje público. Esta información fue proporcionada por el responsable técnico del proyecto, Dr. Rogelio Mendoza Pérez.

Tipo de residuo/ materia prima	Reutilizado Sí (1) / No (0)
CdTe	1
Agua	1
Global	2

### 6) EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> / PRODUCCIÓN DE MODULO

De acuerdo a la información proporcionada por el responsable técnico del proyecto, Dr. Rogelio Mendoza Pérez, no se cuenta con información de consumos de energía en la fabricación de los módulos fotovoltaicos en áreas de 100 cm<sup>2</sup> del proyecto Conacyt 189282, ya que el tiempo de fabricación entre una serie de módulos y otra fue distinto en cada caso y no pudo ser registrado en

bitácoras, sin embargo se considera relevante tener en cuenta este indicador en otros proyectos pues el consumo de energía forma parte de los costos de producción y permite a su vez calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas a la producción de módulos FV *thin film* de 100cm<sup>2</sup> por las técnicas de depósito y sublimación.

#### 4.1.4 Dimensión institucional

##### 1) INNOVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN

En la evaluación del caso de estudio de esta tesis se consideró el cumplimiento de al menos uno de los elementos incluidos en cada uno de los criterios de Innovación sustentable, la afinidad con objetivos institucionales de la UACM y la afinidad con los programas nacionales.

Criterio Innovación	Cumple Sí (1) / No (0)
Innovación sustentable	1
Afinidad con objetivos UACM	1
Afinidad programas nacionales	1
<b>Global</b>	<b>3</b>

##### 2) ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.

Se realizó la rúbrica de cada uno de los informes entregados sobre el avance del proyecto. Hasta la fecha de evaluación de sustentabilidad de este caso de estudio práctico se tenían publicados oficialmente los informes correspondientes a las etapas 1, 2 y 3. Como ya se mencionó en el capítulo anterior, este indicador tiene como objetivo medir la presentación de los informes en su capacidad de comunicación respecto a la problemática planteada, alcances, cómo se realiza la verificación teórica y experimental, así como la comunicación clara de los resultados de la investigación. La evaluación se realizó en conjunto con la asesora de tesis de este trabajo, la Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada.

#	Parámetro	Objetivo	Informe 1	Informe 2	Informe 3
1	Título	Sintético, concreto	1	1	1
2	Índice	Estructura contenido	0	0	0
3	Resumen	Ideas principales, secuencia del informe	0	0	0
4	Introducción	Presentación de la I.			
5	Estado del Arte	Referencias de Objeto de estudio, otros autores			
6	Modelo Teórico conceptual	Solución ideal	1	1	1
7	Modelo Cuántico	Verificación Mod. Teo. Conceptual	1	1	1
8	Construcción de Artefacto o proceso	Descripción patente / Descripción del proceso	1	1	1
9	Resultados,	Resultados verificación experimental.	1	1	1
10	Conclusión	Síntesis del Objeto de estudio	1	1	1
11	Mejoras al proyecto	Valor agregado al proyecto obtenido de la Conclusión	1	1	1
12	Futuros trabajos	Propuesta trabajos similares	1	1	1
13	Referencias, Citas	Uniformidad y calidad en la referencia a otros autores.	1	1	1
14	(APA, Harvard)	Cumple formato de norma elegida.	0	0	0
15	Anexos	Información adicional para sustentar el trabajo	1	1	0
16	Formato: fuente, tamaño de fuente, espaciado	Legible, uniforme, interlineado no menor a 1.15, tamaño de fuente no menor a 12.	1	1	1
		GLOBAL	11	11	10

Fuente: Elaborado por la Autora.

Nótese que se descartaron los elementos Introducción y Estado del arte, ya que los informes o entregables de avance de este proyecto, por su estructura, no las incluyen, sin embargo para la presentación del documento final, se espera que estén contenidos para una comunicación óptima de los resultados o incluso para la comparación por medio de los resultados experimentales.

Informe #	Puntaje Informe
1	11
2	11
3	10
Global	11

### 3) PRODUCTOS ACADÉMICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#	Parámetro	Comunidad UACM	# Otra institución
1	Tesis licenciatura concluidas	5	
2	Tesis licenciatura en proceso	2	
3	Tesis maestría concluidas	4	1 UV
4	Tesis maestría en proceso	1	1 UV
5	Servicio social concluido	7	
6	Manuales de proceso		
7	Patentes		
	Total	17	2

En la siguiente tabla se desglosa la información correspondiente a recursos humanos remunerados y no remunerados, del total de participantes al proyecto, así como las tesis de licenciatura y maestría concluidas y en proceso, para ayudar a un análisis más fino en la búsqueda de mejoras al proyecto.

Etapa	RH Rem	RH no rem	Tesis Lic	Tesis Mae	SS
1 y 2	9	1	3		5
3	3	2		2	2
4			2	2	
<b>Global</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

#### 4) ACCESO A LA INFORMACIÓN

El criterio para evaluar la disponibilidad de información útil al desarrollo del proyecto Conacyt 189282, se basó en aquella disponibilidad de fuentes de información con un nivel mínimo de especialización y sustento teórico referente al proyecto de investigación. La evaluación se realizó en conjunto con el responsable técnico del proyecto Dr. Rogelio Mendoza Pérez, por lo tanto, de acuerdo a esta información este indicador no cuenta con bibliografía útil especializada en el acervo de la UACM en ninguna etapa del proyecto.

Parámetro	Si (1) / No (0)
Revistas especializadas	0
Libros	0
Tesis	0
Biblioteca digital	0
Catalogo digital de revistas indexadas	0
<b>Global</b>	<b>0</b>

#### 5) DIVULGACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se consideraron únicamente las tesis concluidas y publicadas, artículos en revistas, exposiciones en congresos, la participación en foros y talleres, y seminarios, como la Escuela de Verano de FV, como formas efectivas de transmitir los resultados derivados del proyecto Conacyt 189282.

#	Parámetro	Total Publicado	Total registrado
1	Tesis publicadas	9	12
2	Artículos publicados en foros		
3	Artículos publicados en revistas	2 (2014) y 3 (2015)	5
4	Exposición en congresos	4 (2015) y 2 (2014)	6
5	Conferencias, Foros, Talleres	2 (2014) y 3 (2013)	5

En la tabla siguiente se presentan los parámetros anteriores desglosados por etapa.

Etapa	Tesis publicadas	Artículos revistas	Congresos	Foros, talleres, conferencias	Total etapa
1				3	3
2	3	2	2	2	9
3	2	3	4		9
4	4				4
<b>Global</b>	9	5	6	5	<b>25</b>

El valor objetivo máximo del sistema de referencia considera el total de tesis registradas.

## 6) GESTIÓN TECNOLÓGICA

De las actividades descritas en la gestión tecnológica se calificaron sólo aquellas que están presentes en los entregables del proyecto.

Etapa	#	Parámetro	Si (1) / No (0)
1	1	Necesidad / Demanda	1
1	2	Capacidades internas	1
1	3	Especificaciones de diseño	1
1	4	Propuesta técnico económica	1
1	5	Administración tecnológica del proyecto	0
1	6	Planeación administrativa	1
1-4	7	Instrumentos contractuales del acuerdo	1
1	8	Negociación	0
4	9	Cierre del proyecto	0
4	10	Propiedad intelectual	0
4	11	Licenciamientos	0
4	12	Evaluación y vigilancia	1
<b>Global</b>			<b>7</b>

El valor objetivo máximo de referencia corresponde al total de parámetros incluidos en la gestión tecnológica (12) y 0 al mínimo.

## 4.2 Integración de indicadores de sustentabilidad

Tal como se dijo al inicio de este capítulo, la integración de los IS medidos se presenta a través de gráficas radiales, producidas con la estandarización de los indicadores respecto de sus valores objetivo, ya sean máximos o mínimos esperados.

### 4.2.1 Evaluación de sustentabilidad global

En este apartado se resumen los resultados globales del proyecto, cabe destacar que la evaluación se considera hasta la etapa 3 dado que aún no se publicaban formalmente los resultados obtenidos en la Etapa 4 del proyecto Conacyt 189282. Si bien, el cronograma del proyecto se divide en 4 fases, es importante recapitular que las etapas de la Investigación tecnológica o académica de ingeniería identificadas, fueron: Problemática / Hipótesis, Diseño / Experimentación, Construcción / Validación y una última fase de Evaluación y seguimiento / Mejoras.

Estas actividades corresponden al **Paso 5. Integración de Indicadores** que se presenta en los siguientes 3 apartados, comenzando por la estandarización de los indicadores de sustentabilidad derivados, para ello se establecieron los valores máximos y mínimos que pueden alcanzarse de acuerdo a un sistema de referencia esperado, con el cual será comparado el proyecto Conacyt 189282. De esta manera puede tenerse el mismo criterio para compararlos: el porcentaje en el que alcanzan el valor esperado u objetivo y que a su vez permite una mayor simplicidad para la lectura integrada de resultados. Para ello, se siguen los siguientes pasos, de acuerdo a Astier, et al (2008).

- Declarar las unidades correspondientes de cada indicador
- Establecer los valores mínimos y máximos que pueden tomar los indicadores
- Determinar si el indicador tiene su valor óptimo en un Máximo o un Mínimo, respecto al valor objetivo del sistema de referencia con el que se está comparando el sistema de estudio o proyecto Conacyt 189282.
- Estandarizar los valores globales obtenidos de cada indicador como sigue:

Si el objetivo es **maximizar** el valor del Indicador, el valor objetivo será:

$$NS = \frac{(V_{max} - V)}{(V_{max} - V_{min})} * 100$$

Si el objetivo es **minimizar** el valor del indicador, el valor objetivo será:

$$NS = \frac{(V - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} * 100$$

Donde:

**NS:** Nivel de sustentabilidad o nivel de desempeño del indicador de sustentabilidad;

**V :** Valor del indicador evaluado globalmente o por etapas;

**V<sub>min</sub> :** Valor mínimo que puede tomar el indicador de sustentabilidad, representa su peor escenario, y viceversa si el valor óptimo del indicador es minimizar;

**V<sub>max</sub> :** Valor máximo que puede tomar el indicador de sustentabilidad, representa su mejor escenario, y viceversa si el valor óptimo del indicador es minimizar;

En la **Tabla 4. 2** se muestran los resultados estandarizados de cada uno de los indicadores de sustentabilidad evaluados globalmente. En la última columna se puede observar el porcentaje de cumplimiento respecto a los valores óptimos mínimos o máximos que son deseables de alcanzar en el sistema de estudio, de manera que este porcentaje obtenido representa la porción en la que el indicador alcanza al valor óptimo de referencia que se espera obtener en la IT. La columna de Dirección de cambio hace referencia a si el objetivo óptimo del indicador es un valor mínimo o un valor máximo establecido.

Es importante recordar que esta medición corresponde al primer ciclo de evaluación de la investigación caso de estudio, al concluir esta evaluación se pueden detectar las mejoras a implementar en cada indicador, de manera que una vez realizadas las mejoras se pueda realizar un nuevo ciclo de evaluación que permita nuevamente detectar mejoras posibles al proyecto, así como una estimación del grado de sustentabilidad que tiene la IT respecto a dichos valores objetivo que se han planteado.

Tabla 4. 2 Estandarización Global de Indicadores de Sustentabilidad

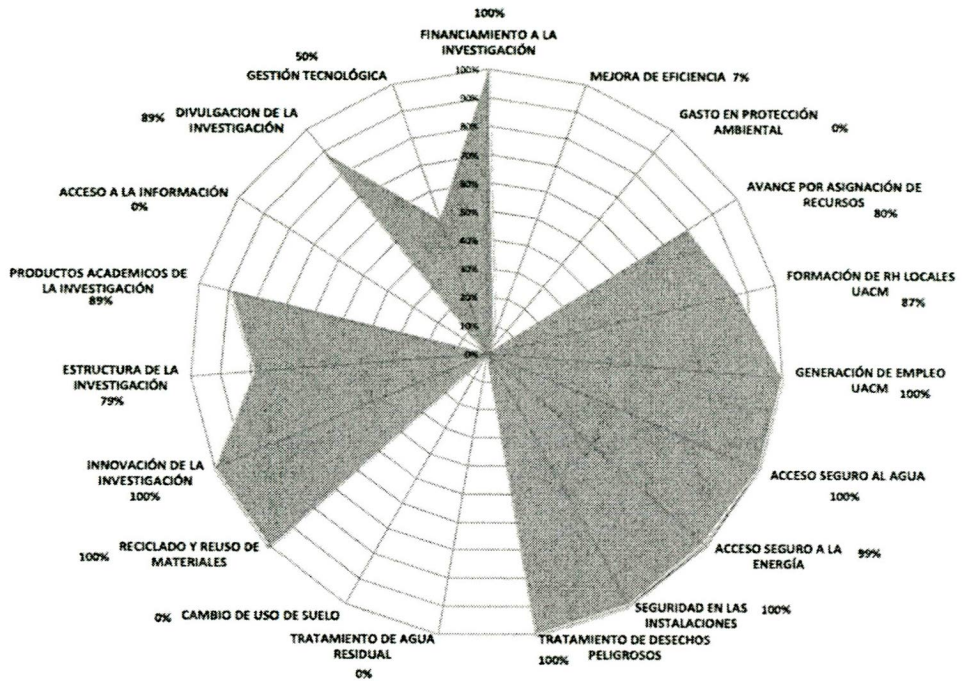
INDICADOR DE SUSTENTABILIDAD	UNIDAD	DIRECCIÓN DE CAMBIO	SAR	Vmin	Vmax	STD SAR
FINANCIAMIENTO A LA INVESTIGACIÓN	%	MAX	100	0	100	100%
MEJORA DE EFICIENCIA	COEFICIENTE	MAX	2.42857	2	8	7%
GASTO EN PROTECCIÓN AMBIENTAL	COEFICIENTE	MAX	0	0	3	0%
AVANCE POR ASIGNACIÓN DE RECURSOS	%	MAX	12	0	15	80%
FORMACIÓN DE RH LOCALES UACM	%	MAX	13	0	15	87%
GENERACIÓN DE EMPLEO UACM	%	MAX	1	0	1	100%
ACCESO SEGURO AL AGUA	%	MAX	0	0	423	100%
ACCESO SEGURO A LA ENERGÍA	%	MAX	6	0	423	99%
SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES	COEFICIENTE	MAX	9	0	9	100%
TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS	%	MAX	4	0	4	100%
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	%	MAX	0	0	1	0%
CAMBIO DE USO DE SUELO	COEFICIENTE	MIN	1	1	0	0%
RECICLADO Y REUSO DE MATERIALES	%	MAX	2	0	2	100%
INNOVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	COEFICIENTE	MAX	3	0	3	100%
ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	COEFICIENTE	MAX	11	0	14	79%
PRODUCTOS ACADEMICOS DE LA INVESTIGACIÓN	COEFICIENTE	MAX	17	0	19	89%
ACCESO A LA INFORMACIÓN	COEFICIENTE	MAX	0	0	5	0%
DIVULGACION DE LA INVESTIGACIÓN	COEFICIENTE	MAX	25	0	28	89%
GESTIÓN TECNOLÓGICA	COEFICIENTE	MAX	6	0	12	50%

Fuente: Elaborado por la Autora.

En la **Figura IV.1** se presenta la integración global de los resultados estandarizados de los IS, como una gráfica radial, donde el radio máximo representa el 100% de nivel de sustentabilidad y facilita identificar visualmente aquellos indicadores con mayor posibilidad de mejoras.

Así, los indicadores con menor nivel de sustentabilidad o que menos alcanzan sus valores objetivo, son: la Mejora de eficiencia, Gasto en Protección ambiental, Tratamiento de agua residual, Cambio de uso de suelo y Acceso a la Información. Así mismo se identifican los indicadores de Estructura de la investigación y la Gestión tecnológica, con posibilidades de mejora dado que no rebasan el 80% de su cumplimiento objetivo.

Figura IV. 1 Integración global de indicadores de sustentabilidad de la investigación en ingeniería



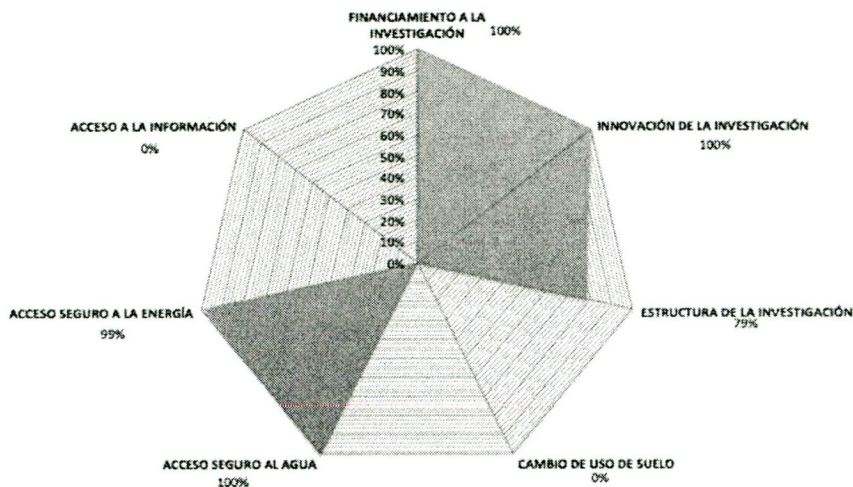
Fuente: Elaborado por la Autora.

#### 4.2.2 Evaluación de sustentabilidad por etapas

La evaluación por etapas consideró las mediciones globales, dado que no se tenía información uniforme para todos los indicadores en cada una de sus etapas. Sin embargo, aún cuando se consideraron los resultados globales, la integración de indicadores por etapas ayuda a visualizar qué grado de sustentabilidad se ha alcanzado en cada etapa, de acuerdo a los criterios de diagnóstico e indicadores asignados por etapas, hasta el momento actual del proyecto Conacyt 189282. Nótese que esta evaluación por etapas es distinta al cronograma de trabajo de este proyecto Conacyt 189282 y busca principalmente, poder detectar las mejoras posibles al proyecto de acuerdo a sus indicadores. Las fases son: Problemática e hipótesis, Diseño y Experimentación, Validación y Conclusión; y la Evaluación, Seguimiento y Mejoras al proyecto.

En la **Figura IV. 2**, se presenta la integración de los indicadores relacionados a la *Problemática de la investigación tecnológica*, mismos que fueron establecidos en el capítulo anterior.

**Figura IV. 2 Integración de IS etapa 1: Problemática Conacyt 189282**



**Fuente:** Elaborado por la Autora.

Como puede observarse, las deficiencias en esta etapa son relativas al Cambio de uso de suelo, que por otro lado es irreversible de su función principal agrícola y afecta negativamente a todas las etapas del proyecto, a menos que la IT sea referida a la recuperación de suelos agrícolas. El Acceso a la información especializada es nulo e institucionalmente se detecta como una mejora a emprender para la realización y respaldo de investigaciones futuras. Como una consecuencia de su identificación al evaluar el proyecto Conacyt 189282, sin duda, robustece las capacidades y necesidades de la UACM.

Como cualidades se destaca que al tratarse de una IT financiada en su totalidad, nótese que aquí se evalúa el financiamiento total al presupuesto de la IT sin señalar si se consideraron aspectos económicos como el gasto en protección ambiental u otros costos sociales, dado que se tienen indicadores específicos que aportan una mejor lectura a cada dimensión de sustentabilidad. La Innovación de la investigación propone mejorar la tecnología fotovoltaica de película delgada por técnicas de depósito en áreas más grandes, es decir, la mejora tecnológica con aprovechamiento de fuentes renovables de energía, así como la búsqueda de procedimientos preindustriales para una

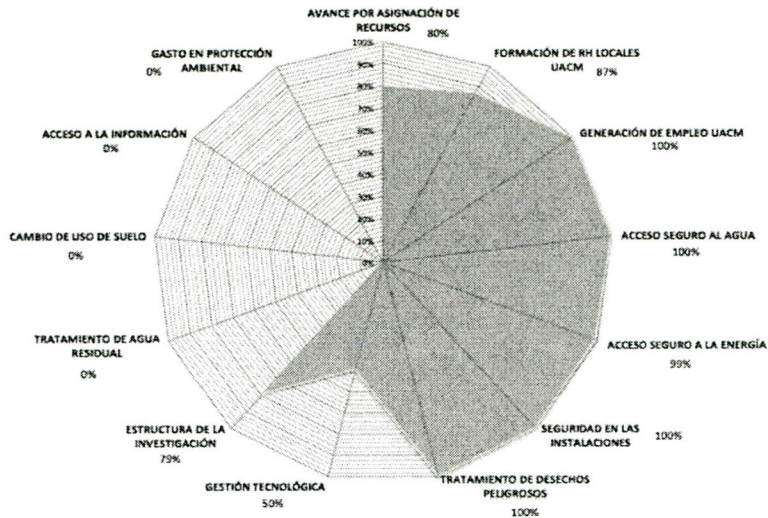
tecnología nacional, con lo cual se cubren al menos uno de los elementos considerados en los criterios de este parámetro

La estructura de la investigación se realizó a la presentación de cada uno de los informes o entregables realizados por etapa programada y en general, se obtuvo que pueden ser mejorados si se incluye un índice de contenidos que permita un fácil acceso a los puntos que se desarrollan en los informes, un resumen de los temas relevantes que se abordan, así como una correcta utilización de las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas, estos tres elementos pueden colaborar en una mejor comunicación, una presentación clara de los resultados de cada etapa y enfatizar sus elementos más importantes.

Los indicadores de Acceso seguro a la energía y Acceso seguro al agua, aparecen evaluados óptimamente de acuerdo, a la información proporcionada por el responsable técnico del proyecto, Dr. Rogelio Mendoza Pérez, sin embargo, se insiste en la pertinencia de contar con mediciones en cada etapa y elaboradas por un conjunto de participantes de la IT, expertos y otros actores relacionados, de manera que las mediciones no sean parciales y en consecuencia sesgadas.

En la **Figura IV. 3**, se presenta la integración de indicadores relacionados a la etapa de Diseño- Experimentación, como puede observarse, incluye una gran parte de los IS ya que en esta etapa se encuentran actividades teóricas y prácticas relacionadas. Nuevamente se señala la importancia de poder contar con mediciones en cada fase, incluso de acuerdo al cronograma específico de cada investigación de ingeniería, ya que esto permite dar un mejor seguimiento a la evaluación y a la implementación oportuna de mejoras al proyecto, además de brindar orden y respaldo a la organización y gestión del proyecto.

Figura IV. 3 Integración de IS etapa 2: *Diseño Conacyt 189282*



Fuente: Elaborado por la Autora.

En esta fase de Diseño - Experimentación se puede notar que la mitad de los IS fueron evaluados con resultados casi óptimos, mientras que el resto presentan serias deficiencias. Dado que algunos de los indicadores se repiten en cada fase, y dado que se consideraron los resultados globales aunque se presentan estos resultados por etapas, conviene ahondar sobre aquellos de los que no se ha hecho mención anteriormente. Sobresale el indicador de Gasto en protección ambiental, el cual no fue considerado en los costos incluidos en la fase experimental del proyecto Conacyt 189282 y en consecuencia, aún cuando dicha IT está cubierta al 100% ésta no considera los costos asociados a la recuperación o mejora ambiental debida a la realización de ésta.

Así mismo, el Tratamiento de Agua residual no fue considerado en ninguna de las etapas, sin embargo, tal como se señala en el capítulo anterior, en la definición y propósito de su evaluación, este tratamiento es requerido debido a la ubicación geográfica del sitio, además de la inexistencia de planta de tratamiento en el edificio y finalmente, debido a que una descarga de agua residual si tratar abona en la conformación de un problema mayor localmente.

Respecto a la Gestión tecnológica, con resultados del 50%, sin duda se tiene un área con grandes posibilidades de mejora enfocadas principalmente a la organización óptima, la definición de

actividades y funciones a los participantes del proyecto e incluso a la oportuna designación de recursos humanos a cada estación de fabricación, que en los reportes de cada etapa así como en entrevistas realizadas al Responsable Técnico del proyecto, Dr. Rogelio Mendoza Pérez, no se tiene de forma explícita y planeada la asignación de responsabilidades que incluyan el seguimiento de cada actividad e implementación de mejoras.

Por otro lado, los indicadores que alcanzan o se acercan a su valor óptimo de referencia son, por un lado la Formación de RH locales UACM, Generación de empleo que obedecen a beneficios sociales indirectos ya que la IT no se planteó metas en estos aspectos, sino que se obtuvieron a medida que se desarrolla el proyecto Conacyt 189282, y que sin duda brindan una aportación social a la comunidad local de la UACM, principalmente. La Seguridad de las instalaciones y el Tratamiento de desechos peligrosos, fueron igualmente aspectos derivados sobre la marcha del proyecto, que en ausencia de un Gasto en protección ambiental colaboran en la seguridad social y ambiental en la medida que fueron implementados. Sin embargo, es importante resaltar que el indicador de Tratamiento de desechos peligrosos, debe ser parte del diseño de la IT puesto que cada desarrollo o mejora de tecnología debe considerar el tratamiento de aquellos materiales que potencialmente impliquen riesgos al ambiente.

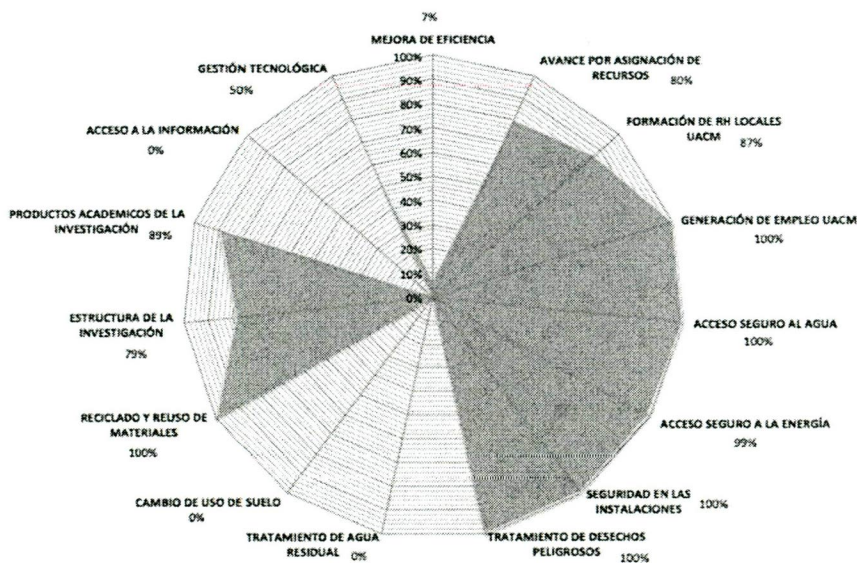
Por su parte el Avance por asignación de recursos, se vio retrasado en las etapas 1 y 2 evaluadas, debido a la demora en la entrega de los equipos por parte de los proveedores y la consecuente capacitación técnica, de acuerdo a la información proporcionada en los reportes técnicos y al responsable técnico del proyecto.

En la **Figura IV. 4**, puede observarse nuevamente el nulo nivel de sustentabilidad correspondiente a los indicadores ambientales, y por otro lado también con un mínimo el indicador de Mejora de eficiencia, nótese que este indicador, a pesar de contar con información en cada etapa del proyecto, se evalúa globalmente si esta meta establecida en el proyecto Conacyt 189282 fue alcanzada, de este hecho se deriva como consecuencia, al menos hasta esta etapa de desarrollo y evaluación, que aún no ha sido posible derivar los procedimientos de fabricación preindustrial de dichos módulos por parte de sus equipo de trabajo. Por su parte el indicador de Reciclado y reuso de materiales, aparece evaluado positivamente, sin embargo, cabe resaltar que esta meta o actividad no fue establecida previamente, sino incorporada al desarrollo de la IT, y que de acuerdo al Responsable técnico, el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, se identifican como los únicos insumos

posibles de reutilizar al CdTe y al agua, nuevamente se reitera la necesidad de realizar las evaluaciones y mediciones con todos los participantes del proyecto así como expertos para evitar sesgos en los resultados o bien un mayor rango de mejoras relacionadas a este indicador.

Finalmente, el indicador Productos Académicos de la Investigación permite evaluar la concreción de documentos derivados de la IT, que por un lado ayuda en la difusión de sus resultados directos o indirectos, robustece las líneas de investigación de la UACM, y que además considera el total de tesis registradas tanto las publicadas como las que se tienen en proceso de realización, así como la publicación de artículos, ya que todas estas formas reproducen conocimiento y recursos humanos especializados.

**Figura IV. 4 Integración IS etapa 3: Validación, Conclusión Conacyt 189282**

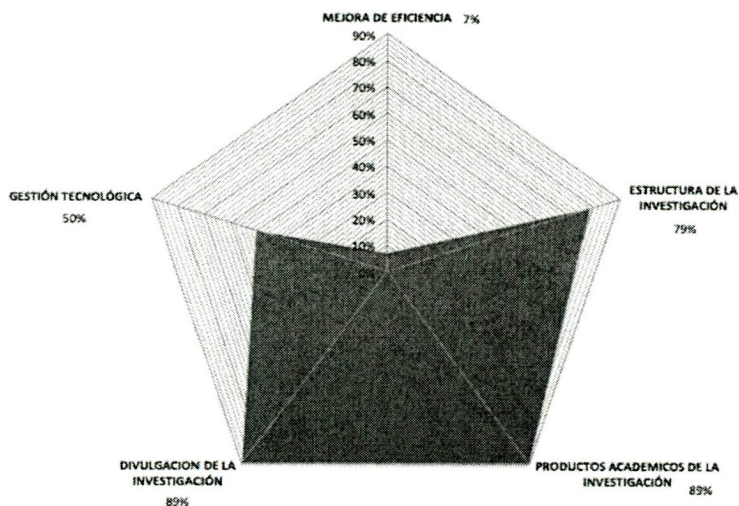


Fuente: Elaborado por la Autora.

La última etapa de la IT corresponde a la Evaluación, seguimiento y mejoras al proyecto Conacyt 189282, y que se ilustra en la Figura IV.5, se destacan focos de atención en la Mejora de eficiencia, Gestión tecnológica y Estructura de la Investigación, mientras que la Divulgación de la investigación, aún cuando tampoco fue considerada en la fase de diseño o entre las metas de la IT, ofrece beneficios indirectos obtenidos en el desarrollo de ésta y dado que considera la culminación y

publicación de todos los productos académicos derivados, la meta indirecta establecida fue el registro total de estos, el porcentaje de mejora se alcanza concluyendo –principalmente- las tesis de licenciatura y maestría.

**Figura IV. 5 Integración de IS etapa 4: E&S, Mejoras Conacyt 189282**



Fuente: Elaborado por la Autora.

#### 4.2.3 Evaluación de sustentabilidad por dimensión

Este apartado busca ayudar en la lectura conjunta de indicadores a través de cada dimensión de sustentabilidad, de manera que su integración puede aportar conclusiones sobre las dimensiones donde el proyecto Conacyt 189282 tiene una mejor respuesta, ya sea por su alcance en metas previamente establecidas o por sus resultados colaterales al realizarla.

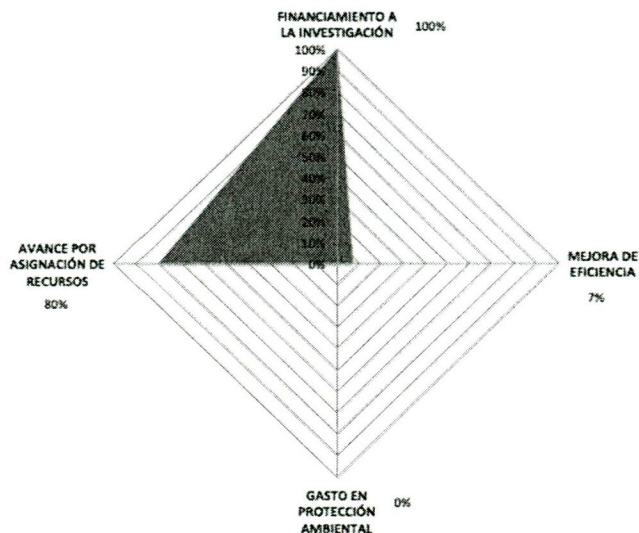
A fin de no redundar en la respuesta obtenida de cada IS, antes mencionados, se presentan los resultados con algunas observaciones globales, mientras que en los siguientes apartados de este capítulo se ofrecen algunas conclusiones generales y observaciones para trabajos futuros.

Las Figuras IV. 6 a IV. 9, presentan las gráficas radiales como integración de sus indicadores asociados, por dimensión de sustentabilidad, para el proyecto Conacyt 189282.

Cabe resaltar que estas integraciones, así como las anteriores por etapas y la integración global, no incluyen aquellos indicadores de los que no se disponía de información para su comparación o evaluación y que sin embargo, sí fueron mantenidos tanto en las definiciones del Capítulo 3, como en la presentación de resultados.

De la **Figura IV.6**, puede observarse la necesidad de incluir mejoras al menos en el 50% de sus criterios, dado que el porcentaje que alcanzan la mitad de sus indicadores es nulo, situación que puede deberse a deficiencias en el diseño y planeación de la IT, así en la experiencia aportada por los participantes del proyecto. La mejora de eficiencia, sugiere la posibilidad de incluir expertos técnicos así como una mejor gestión y organización de las actividades del proceso productivo de los módulos FV. La protección ambiental es una parte fundamental que debe considerar el diseño de la IT, debido a las consecuencias ambientales derivadas de la fase de experimentación, la previa suposición de las precauciones y recuperaciones ambientales a implementar dado el manejo de residuos u operación de equipos requeridos en Conacyt 189282.

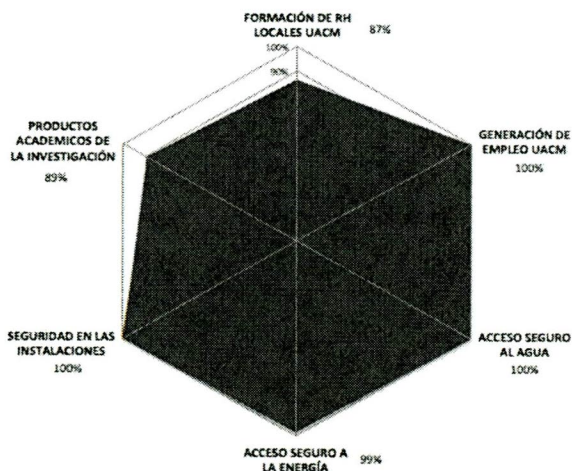
**Figura IV. 6 Integración global de IS: Dimensión Económica**



Fuente: Elaborado por la Autora.

En la **Figura IV. 7**, se presenta la integración de indicadores de la dimensión social, con un resultado visual que claramente evidencia una respuesta positiva socialmente, considerando incluso que ninguno de estos indicadores fue planteado como una meta del proyecto Conacyt 189282. Los Productos Académicos de la Investigación presentan apenas un nivel del 89%, debido a que se otorgó un mayor peso a los productos, que además de derivarse de Conacyt 189282, son provenientes de la comunidad de la UACM. Nótese, sin embargo, que en esta evaluación de la Productos académicos de la investigación no se considera la publicación de manuales y patentes ya que la evaluación se realizó hasta la etapa 3 del cronograma de dicha IT. Los resultados globales en esta dimensión son plausibles ya que se consiguieron sobre la marcha del proyecto y no necesariamente obedecen a una planeación previa ni a una gestión tecnológica implementada.

**Figura IV. 7 Integración global de IS: Dimensión Social**

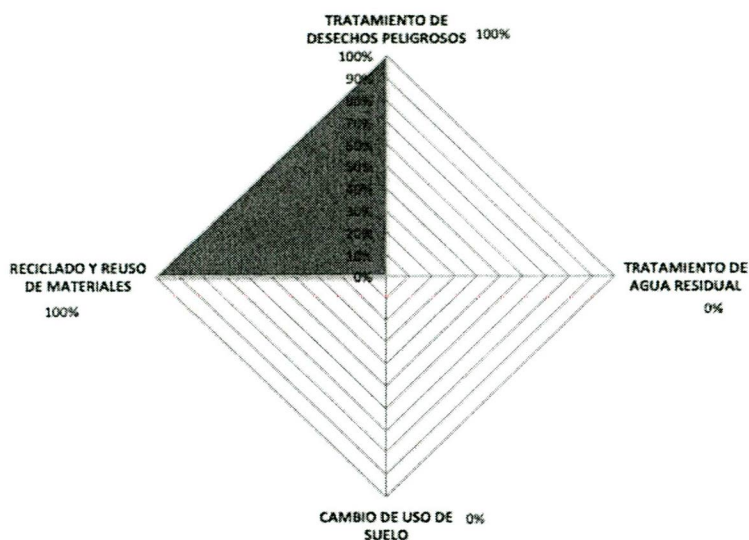


**Fuente:** Elaborado por la Autora.

En la **Figura IV. 8**, en la dimensión ambiental se conservaron únicamente cuatro indicadores, la mitad de ellos tiene un nivel nulo de sustentabilidad: el Cambio de uso de suelo y el Tratamiento de agua residual, este último de acuerdo al tipo de agua en la zona y la inexistencia de una planta de tratamiento de agua en las instalaciones y por su impacto ambiental, es necesario el Tratamiento de agua residual, para evitar con ello que el agua utilizada para enfriamiento de los equipos y desechada al drenaje común, no contribuya a aumentar la concentración de sales y otros metales

pesados. Mientras que el indicador de Uso de suelo, dada su ocupación distinta al servicio agrícola es no sustentable, en este sentido, las medidas de contribución a la recuperación de nutrientes de dicho suelo o suelos equivalentes podrían mejorar esta medida negativa, o bien otras soluciones que puedan desarrollarse en una siguiente IT que considere esta guía de evaluación de sustentabilidad a la investigación en ingeniería como referencia.

**Figura IV. 8 Integración global de IS: Dimensión Ambiental**



Fuente: Elaborado por la Autora.

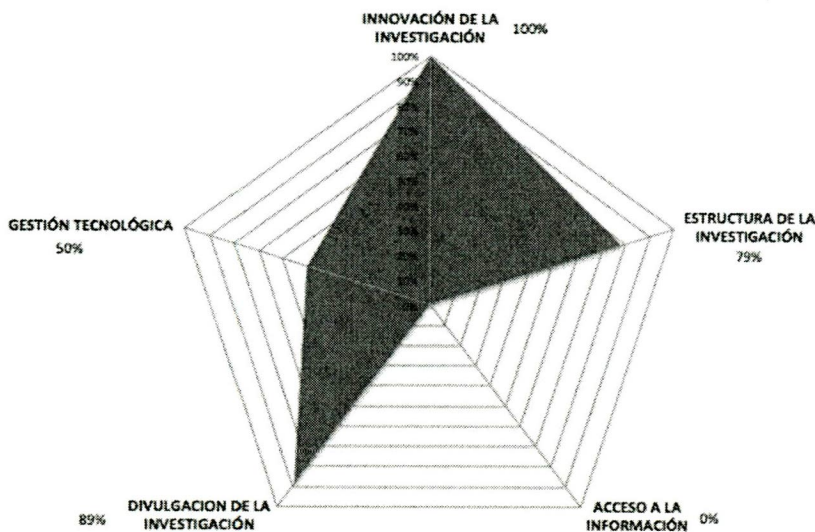
En cuanto al indicador de Generación de residuos, como ya se ha dicho en la presentación de resultados, al no haberse registrado este dato en cada una de las etapas, es difícil conocer si la IT se realizó en condiciones de higiene mínimas, o bien si existe un nivel de cultura en la disposición de residuos que se refleja en la producción diaria menor a un límite de referencia, como se definió en el capítulo 3. Sin embargo, al no contar con mediciones ni registros de los desechos producidos en cada etapa, hacer una evaluación ex post no arrojaría una medida confiable dado que las actividades en esta etapa del proyecto son distintas a las anteriores así como sus condiciones.

Cabe señalar, que es crucial que se pueda detectar la disposición correcta de desechos peligrosos por un equipo evaluador o con la participación de los actores relacionados al proyecto y no obtener dicha información de un único responsable, puesto que una incorrecta disposición de

residuos altamente tóxicos no sólo tiene un impacto humano sino ambiental importante, al arrojar estos residuos sin un tratamiento especial se pueden derivar impactos mucho mayores y que abarquen incluso una escala espacial mayor a la del proyecto, debido a omisiones o negligencias.

En la **Figura IV. 9**, se presenta la integración de sus IS asociados, se pueden observar amplias posibilidades de mejora, el nivel alto se centra en la Innovación de la Investigación, principalmente debido a que la IT busca mejorar una tecnología existente para brindar beneficios sociales al contar con una tecnología nacional que utiliza además fuentes renovables de energía, por otro lado, es afín a los objetivos institucionales de la UACM y a programas nacionales al estar financiado por Conacyt, sin embargo cabe destacar que estrictamente debieran cumplirse cada uno de los elementos considerados en dichos criterios que como ya se ha dicho, se consideró en su evaluación el cumplimiento de al menos uno de estos elementos.

**Figura IV. 9 Integración global de IS: Dimensión Institucional**



Fuente: Elaborado por la Autora.

Por ejemplo, si éste indicador fuera estricto, en las consideraciones para su diseño no se tiene un cuestionamiento profundo sobre las mejoras en diversos aspectos, que pudiera promover esta tecnología, como es el cambio de diseño de la cuna a la cuna o que proponga metas sociales y ambientales a las que contribuye el proyecto, como pueden ser la reducción de desigualdades

sociales o hacia la dignificación del trabajo humano a través de la especialización en la construcción de tecnologías solares, como una alternativa de trabajo digno o de la cuantificación cabal de las emisiones contaminantes asociadas u otros impactos ambientales.

Así, también puede decirse que en la dimensión institucional debe mejorarse la planeación para tener una notoria mejora en la Gestión tecnológica que ayude a los logros del proyecto, así como el Acceso a la información especializada como mejora de acervo bibliográfico en la UACM. Por otro lado, la comunicación de los resultados del proyecto, evaluada a través de la rúbrica generada para la Estructura de la investigación, contrasta con la alta respuesta a la Divulgación de la IT. Esto último se debe a que la estructura evalúa los entregables y en la divulgación intervienen los productos académicos terminados (tesis de licenciatura y maestría, artículos de revistas, presentación en seminarios y foros) que se presentan con diferentes estructuras de comunicación y contenidos, mismos que no fueron evaluados sino sólo los reportes por etapas, además de que este último recoge la cantidad producida y no la claridad comunicativa.

#### **4.3 Conclusiones a la evaluación de sustentabilidad**

Este trabajo de investigación intentó presentar apenas un atisbo de algunos de los principales temas a discusión cuando se habla de desarrollo sustentable y sustentabilidad y las formas cómo este concepto es comprendido y definido, además de las diversas propuestas metodológicas para evaluar la sustentabilidad.

Se considera de gran relevancia el debate existente sobre si es posible un desarrollo sustentable dentro del capitalismo, dada la amplitud de este concepto y las innumerables definiciones asociadas, es destacable que si bien existe la imperiosa necesidad de un desarrollo económico que considere los impactos a la naturaleza y a la humanidad, esta necesidad surge a partir de que son fracturadas las condiciones de permanencia de vida digna natural y humana, y su asociación con las actividades industriales en todos los sectores productivos, de manera que el planteamiento de un desarrollo sustentable no puede escapar a las críticas evidenciadas por diversos autores a las contradicciones que se reproducen dentro del capitalismo, y en consecuencia la sustentabilidad tiene que cuestionarse la coherencia de objetivos entre el sistema económico y el sistema ecológico que permite nuestra existencia.

Por otro lado, este trabajo de tesis retoma la metodología MESMSIS con el fin de poder dar continuidad a un trabajo de investigación que ha tenido varias experiencias de aplicación que promueven la evaluación de sustentabilidad a partir de criterios generales que a través de la caracterización de un sistema de estudio, oriente los resultados esperados como óptimos desde las dimensiones: social, ambiental, económica e institucional. Así mismo, adecuar este marco de evaluación a una investigación académica de ingeniería, aporta en la generación de herramientas prácticas que cuestionen pero sobre todo estimen en qué medida se apuesta por la sustentabilidad, y en qué medida la ingeniería puede establecer mayores compromisos con el trabajo productivo en el que influye directamente, pero ante todo, en los aspectos colaterales que implican los proyectos de ingeniería y la manera en la que comúnmente es determinada su factibilidad.

Esta propuesta de evaluación busca crear una guía básica para la elaboración de proyectos de investigación tecnológica en las áreas de ingeniería, con un sentido enfocado a la sustentabilidad donde se puedan integrar criterios y atributos de sustentabilidad como los planteados por la metodología MESMSIS y por ello, se eligió dicha metodología como una herramienta con amplias posibilidades de permitir su adaptación considerando a la Investigación tecnológica, sus etapas y actividades representativas, como una unidad productiva, que a su vez se relaciona con distintas unidades para posibilitar su existencia.

El seguimiento del marco MESMSIS, generalmente usado para manejo de recursos naturales y para proyectos ex post, permite estructurar esta serie de pasos donde se resaltan las características esperadas para un proyecto de investigación particular y se refuerza con ejemplos de cómo poder establecer dichos criterios para otras investigaciones, y para mejorar esta guía, que significa un primer paso práctico en un sentido de realizar investigación académica en ingeniería con un objetivo que incluya las dimensiones de la sustentabilidad. Y es a través de esta caracterización que se pueden identificar las fortalezas y debilidades que presenta el sistema de estudio, basado en los criterios de diagnóstico generales, que propone MESMSIS y que en conjunto permiten que el sistema de estudio cuente (en la medida que sus indicadores de sustentabilidad se acercan a los objetivos meta o de referencia) con un nivel conjunto de atributos de sustentabilidad asociados: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión.

En este punto es importante señalar a la investigación tecnológica como el principal tipo de investigación que se realiza con mayor frecuencia en ingeniería, relacionada a su vez con las

innovaciones que han determinado las tecnologías propias de cada momento histórico, pero ante todo por la forma cómo se realiza investigación, es decir, bajo que objetivos, consideraciones y criterios de viabilidad, que han sido principalmente técnico económicas. A partir de la revolución industrial puede asociarse incluso con los ciclos económicos propios del capitalismo.

Por su parte, la medición y presentación de los resultados de la evaluación de la IT a través de la integración de sus indicadores de sustentabilidad, permite tener un conocimiento global de las características a mejorar en una investigación en cada dimensión de sustentabilidad o en cada etapa. En el presente estudio, permitió detectar que la ausencia de registros de mediciones oportunos impactaba directamente en la propia mejora al proyecto, las oportunidades de mejora en el diseño de soluciones tecnológicas en ingeniería, e incluso la necesidad de recursos humanos especializados, entre otras sugerencias que se derivan de una baja evaluación de los indicadores, que incluso pudiera derivarse de la experiencia profesional de sus desarrolladores y participantes.

Los siguientes indicadores presentaron mediciones nulas, a diferencia de los indicadores que no pudieron medirse o por falta de elementos con los cuales compararlos: Gasto en protección ambiental, Tratamiento de agua residual, Cambio de uso de suelo, Acceso a la información y la Mejora de eficiencia como los primeros focos de atención. Tres de los indicadores son ambientales, aún cuando el Gasto en protección ambiental es económico, su naturaleza se fundamenta en la consideración de los impactos ambientales que puede ocasionar la realización de la IT en su fase experimental.

El indicador de Acceso a la información es puramente institucional y se relaciona con las deficiencias de material de consulta especializado que presenta la UACM, por lo que debe considerarse prioritario en la medida en que esta universidad ha podido ser beneficiaria de un proyecto vanguardista financiado por Conacyt; y que a su vez fortalece las capacidades de recursos humanos, con la creación del Laboratorio de Ciencias y Tecnologías Sustentables (LACyTES) en la UACM y en consecuencia, la mejora en la disposición de recursos bibliográficos especializados que contribuyan de forma fehaciente a las investigaciones académicas en ingeniería. Dicho acceso a la información puede ser físico o virtual, este último considera la adquisición de licencias para la consulta de libros, revistas y artículos científicos de actualidad.

Por otro lado, la Mejora de eficiencia no pudo alcanzarse. Si bien las causas pueden ser muy diversas, se apunta como posible, y dado que se asignó el financiamiento en su totalidad, a la falta de una adecuada Gestión tecnológica, ligada a una ausencia de Generación de empleo especializado que tampoco se consideró en su diseño, y ello lleva a que no puedan describirse, al menos hasta la etapa 3 del cronograma de Conacyt 189282, los procesos preindustriales de fabricación y sus respectivas patentes, uno de los objetos principales de la realización de esta IT.

También se concluye, que en general, la investigación presenta un nivel de sustentabilidad alto en la dimensión social debido a la formación de recursos locales de la UACM que se fundamenta en la obtención de productos de la investigación: tesis, artículos, servicio social y en consecuencia a la divulgación de la IT. Cabe señalar en este aspecto social, que la Formación de RH locales UACM no alcanza el 100% porque se consideró como objetivo el total de RH registrados, sin embargo dos de ellos pertenecen a la Universidad Veracruzana, y la definición de este indicador otorga un mayor peso a los recursos humanos locales egresados de la UACM. Un análisis más fino diferencia entre participantes remunerados y no remunerados con el fin de identificar si esto influye en la conclusión de sus objetivos particulares (tesis, servicio social, artículos), para esta investigación es difícil de contrastar dado que la mayoría de ellos recibió una beca como remuneración, sin embargo aquellos que no tuvieron un apoyo económico concluyeron satisfactoriamente sus trabajos de tesis, por ejemplo. Podrían influir algunos otros factores, como el nivel de estudios del egresado y en consecuencia el nivel de compromiso con la conclusión de una tesis.

Como indicadores evaluados en un nivel medio se tiene a la Gestión tecnológica y a la Estructura de la investigación principalmente, estos dos asociados a una posible carencia en la planeación del proyecto, que puede mejorarse si la evaluación se realiza por etapas o iterativamente desde su primera fase programada. Estos dos indicadores reflejan entonces, la necesidad de participantes especializados o designados para la consecución de metas en cada etapa del proyecto y la debida revisión respecto a la claridad en la comunicación de los resultados del proyecto, respectivamente.

Respecto a aquellos indicadores que no pudieron ser integrados a la evaluación, se resaltan, por su importancia, a la Emisión de CO<sub>2</sub>/módulo fabricado y al Costo módulo FV. El primero de ellos es relevante porque difícilmente se tiene información de este tipo, desde esta escala y considerando

todos los elementos en la cadena productiva de los módulos FV que generan emisiones asociadas a dicho proceso, de manera que es una oportunidad que permite la realización de este tipo de IT y que desafortunadamente no se aprovechó cabalmente. Existen además emisiones contaminantes que comúnmente no son cuantificadas, como aquellas asociadas al transporte de materias primas y equipos y consumo de energía eléctrica, que sin embargo deben incluirse si se desea hacer una evaluación exhaustiva y correctiva en todo el proceso.

En cuanto al Costo por módulo FV, es importante que investigaciones posteriores puedan realizar un análisis de costos de cualquier tecnología o servicio que se está proponiendo, pues se tiene, igual que con el indicador anterior una oportunidad inmejorable de poder cuantificar los costos asociados totales, incluidos los costos por recuperación o mejora ambiental y social.

Se agrega también la importancia de retomar los estudios y aportes científicos que se han realizado en el pasado, independientemente de las directivas internacionales sobre el desarrollo sustentable recientes, puesto que promueven la necesidad de considerar la relación que guarda la humanidad con la naturaleza y que en pos del desarrollo económico capitalista, donde el crecimiento económico es la prioridad, se ha fracturado y con ello se vulnera la permanencia de la vida y del conocimiento.

Finalmente, es importante reconocer que la mayoría de los indicadores derivados de la investigación no corresponden a metas planteadas, e incluso su consideración mejoraría aspectos del propio diseño y planteamiento de soluciones tecnológicas en la ingeniería. En este sentido el indicador Mejora de eficiencia, aún cuando al momento de evaluar este proyecto Conacyt 189282 no había sido logrado, es importante recordar que la obtención de los procesos preindustriales asociados a dicha mejora de eficiencia son el paso requerido para la obtención de patentes y en este sentido plantean una disyuntiva en cuanto a la sustentabilidad de la investigación en ingeniería: ¿Es sustentable privatizar el conocimiento académico a través de una patente?

Otra conclusión relevante es que debido a que no se tenía un equipo multidisciplinario para realizar esta derivación de indicadores y evaluación tanto oportuna como imparcial, se procedió a medir y evaluar con la premisa de la procedencia de las fuentes de información de manera que este trabajo, como se ha indicado desde el inicio permita guiar la realización de investigaciones futuras con un enfoque basado en atributos de sustentabilidad, así como la búsqueda de herramientas de

evaluación de sustentabilidad que aporten a crear tecnologías o propuestas desde la academia que contribuyan a un ejercicio responsable de la ingeniería y que sin duda puede y debe ser mejorado.

#### **4.3.1 Mejoras y futuros trabajos**

Las mejoras genéricas derivadas de evaluar al proyecto Conacyt 189282 y los futuros trabajos relacionados a la presente evaluación de sustentabilidad serían:

- 1) En primer lugar se puede señalar la posibilidad de seguir esta guía de evaluación de sustentabilidad como una base para la realización de protocolos de investigación en ingeniería, de manera que facilite el planteamiento que debe abordarse en una investigación académica, pensada con objetivos que contribuyan al desarrollo sustentable o que busque contribuir con herramientas que evalúan el grado de sustentabilidad de los procesos y actividades que se realizan en la ingeniería. Esto como un primer paso, ya que cada proyecto práctico implicará mayores retos de análisis, sin embargo, esta guía que aplica un marco de evaluación de sustentabilidad para sistemas de manejo de recursos naturales, que ha sido adaptada para el análisis de la Investigación académica en ingeniería, es un primer acercamiento a los aspectos de análisis que requiere la formación de ingenieros respecto a temas de sustentabilidad o de revisión de la forma en la que comúnmente se han evaluado como factibles los proyectos de ingeniería, académicos y productivos, a través de su énfasis en los resultados de costo beneficio.
- 2) El diseño de la investigación se puede mejorar incorporando además de esta guía de evaluación, la adaptación de indicadores de sustentabilidad particulares a cada investigación tecnológica particular que refuercen la información que aportan algunos de los indicadores propuestos. Por ejemplo, se pueden mejorar aspectos de diseño relacionados con las externalidades que enfrenta la fase experimental de un proyecto de investigación en ingeniería, a saber: Gasto en protección ambiental, la Gestión tecnológica, así como el Manejo de desechos y Tratamiento de residuos tóxicos, es decir, considerar todos aquellos factores que pueden traer consecuencias negativas al ambiente con el que interactúa y donde se desarrolla la fase experimental de la IT.
- 3) Dado que el análisis de este trabajo de tesis se realizó ex post a la realización de 3 de las 4 etapas del proyecto Conacyt 189282, es conveniente destacar la dificultad en la medición de indicadores, incluyendo aquellos que no tenían registros o formas de comparación con

normas u otros estándares, y que fortalece la idea de contar con una guía como una forma de mejorar los planteamientos de las investigaciones, y la aplicación de mejoras sucesivas en cada etapa, contribuyendo así, a mejorar el grado de sustentabilidad que se busca, tal como describe la metodología MESMIS: evaluaciones iterativas o cíclicas que permitan mejorar a la IT en conjunto.

- 4) En el aspecto ambiental se puede añadir que es necesario, un planteamiento de investigaciones enfocadas hacia la sustentabilidad, contabilizar y registrar aspectos como el consumo de energía, costos de producción y en consecuencia, emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a toda la cadena o ciclo de vida del proyecto, y de forma relevante la cuantificación de las posibles externalidades locales por manejo correcto de residuos, sobre todo aquellos desecho tóxicos perjudiciales al ambiente y la salud humana. Y como bandera principal: el hecho de procurar restablecer las condiciones del medio ambiente en toda IT de nuestros tiempos.
- 5) Otra conclusión final y crucial a este estudio, es la necesidad de contar con la participación de un equipo evaluador, constituido por participantes al proyecto, expertos, y otros colaboradores, pues la disposición de información así como la evaluación deben ser conjuntas y multidisciplinarias, de lo contrario podrían parcializar y sesgar el resultado final o acotar sus lecciones contenidas.

Finalmente esta propuesta, busca beneficiar concretamente el desarrollo de investigaciones que puedan favorecer la creación de soluciones en la ingeniería que consideren como prioridad la vida en este planeta, a través de los criterios de innovación que permiten retomar las posturas de científicos que hace tiempo ya hablaban de la necesaria sustentabilidad, como un metabolismo universal de la humanidad con la naturaleza que permite así su reproducción permanente, pero sobre todo, su permanencia digna y simbiótica.

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura I.1 Etapas del proceso de desarrollo sustentable	16
Figura I. 2 Gasto en investigación y desarrollo	20
Figura I. 3 Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (M personas)	21
Figura I. 4 Solicitud de patentes residentes	22
Figura II. 1 Planteamiento de soluciones en ingeniería	35
Figura II. 2 Etapas históricas de la Innovación	37
Figura II. 3 Ciclo de vida del proyecto de IT	40
Figura II. 4 Ciclo de vida de un proyecto de ingeniería	41
Figura II. 5 Ciclo de vida de un proyecto de Gestión Tecnológica en un Centro de I&D Universitario	44
Figura III. 1 Esquema general MESMIS	46
Figura III. 2 Pasos generales en la evaluación de sustentabilidad con el MESMIS	47
Figura III. 3 Caracterización del Sistema de estudio	52
Figura III. 4 Caracterización del Proyecto Conacyt 189282	55
Figura III. 5 Derivación de indicadores de sustentabilidad	59
Figura III. 6 Indicadores de sustentabilidad de la investigación tecnológica	81
Figura III. 7 Indicadores sociales de la investigación en ingeniería	82
Figura III. 8 Indicadores económicos de la investigación en ingeniería	82
Figura III. 9 Indicadores institucionales de la investigación en ingeniería	83
Figura III. 10 Indicadores ambientales de la investigación en ingeniería	83
Figura IV. 1 Integración global de indicadores de sustentabilidad de la investigación en ingeniería	99
Figura IV. 2 Integración de IS etapa 1: <i>Problemática Conacyt 189282</i>	101
Figura IV. 3 Integración de IS etapa 2: <i>Diseño Conacyt 189282</i>	103
Figura IV. 4 Integración IS etapa 3: <i>Validación, Conclusión Conacyt 189282</i>	105
Figura IV. 5 Integración de IS etapa 4: <i>E&amp;S, Mejoras Conacyt 189282</i>	106

Figura IV. 6 Integración global de IS: Dimensión Económica	107
Figura IV. 7 Integración global de IS: Dimensión Social	108
Figura IV. 8 Integración global de IS: Dimensión Ambiental	109
Figura IV. 9 Integración global de IS: Dimensión Institucional	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de Marcos de Evaluación de sustentabilidad	27
Tabla 2. 1 Diferencias entre investigación científica e investigación tecnológica	33
Tabla 2. 2 Diferencias en la estructura de la Investigación científica vs tecnológica	34
Tabla 2. 3 Etapas en el proceso de investigación científica y tecnológica	39
Tabla 2.4 Etapas del ciclo de vida de la investigación académica en ingeniería	42
Tabla 3.1 Cronograma del Proyecto Conacyt 189282	53
Tabla 3.2 Indicadores de sustentabilidad en el ACV de la Investigación en ingeniería	61
Tabla 4. 1 Avance por asignación de recursos del proyecto Conacyt 189282	88
Tabla 4. 2 Estandarización Global de Indicadores de Sustentabilidad	99

## **SIGLAS**

**ACV-** Análisis de ciclo de vida

**CONACYT-** Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

**DS-** Desarrollo sustentable

**IPCC-** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

**IS-** Indicadores de sustentabilidad

**IT-** Investigación tecnológica

**MESMIS-** Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad

**SLT-** Plantel San Lorenzo Tezonco

**UACM-** Universidad Autónoma de la Ciudad de México

**UNESCO-** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (por sus siglas en inglés)

## REFERENCIAS

- **AI (2013)**. Estado del Arte y prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo. Observatorio de la Ingeniería Mexicana. Disponible en: <http://www.observatoriodelaingenieria.org.mx/index.html>
- **Álvarez, M. (2013)**. Investigaciones Tecnológicas. Venezuela: Wordpress. Recuperado en: <https://technologicalresearch.wordpress.com/>
- **APA (2016)**. Normas APA 2016 Edición 6. Disponible en: <http://normasapa.net/normas-apa-2016/>
- **Astier, M. et al (Coordinadores) (2008)**. Evaluación de sustentabilidad: Un enfoque dinámico y multidimensional. España: SEAE, CIGA, CIECO, ECOSUR, GIRA, FIAES, Mundiprensa.
- **Astier, M. et al (Ed.) (1999)**. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de Evaluación MESMIS. México: Mundi-Prensa, GIRA, UNAM.
- **Bello, F. (1996, julio- noviembre)**. "La investigación tecnológica: O cuando la solución es el problema". FACES Universidad de Carabobo. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/>
- **BID (2015)**. Informe sobre sostenibilidad de 2014. Banco Interamericano de Desarrollo.
- **Canales, S. A. (2007)**. La política científica y tecnológica en México: el impulso contingente en el período 1982-2006. [Tesis de Doctorado]. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales- Sede Académica de México. México. Disponible en: [http://conocimientoabierto.flacso.edu.mx/medios/tesis/canales\\_a.pdf](http://conocimientoabierto.flacso.edu.mx/medios/tesis/canales_a.pdf)
- **Capdevielle, M. y Flores, S. J. (n. d.)**. La política tecnológica en México: enfoque teórico e implementación. México: UAM-Xochimilco. Disponible en: [http://148.206.107.15/biblioteca\\_digital/capitulos/175-2995kic.pdf](http://148.206.107.15/biblioteca_digital/capitulos/175-2995kic.pdf)
- **Cegarra, S. J. (2004)**. Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica. España: Diaz de Santos.
- **Complexus (2015)**. Educación para el Desarrollo Sostenible. Compromiso con el Programa de Acción Mundial sobre la Educación para el desarrollo sostenible. Disponible en: <http://www.uv.mx/cosustenta/>

- **CONACYT (2014)**. Primer informe técnico parcial FOMIX 2012-2, Noviembre 2013 – abril 2014, Proyecto 189282. "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales asociados". México: UACM LaCyTeS.
- **CONACYT (2015)**. Segundo informe técnico parcial FOMIX 2012-2, 27 Agosto de 2014 – 27 febrero 2015, Proyecto 189282. "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales asociados". México: UACM LaCyTeS.
- **CONACYT (2016)**. Tercer informe técnico parcial FOMIX 2012-2, 1 julio de 2015 – 12 febrero de 2016, Proyecto 189282. "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm<sup>2</sup> y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales asociados". México: UACM LaCyTeS.
- **Corona, L. (1984)**. Perspectivas de la política científico - tecnológica en México: El rol de las Universidades. Problemas del desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía. 15(57). Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/pde/article/view/37015/33609>
- **Dean, R. A. (n. d.)**. La investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería y la innovación tecnológica. Disponible en: <https://www.unrc.edu.ar/publicar/23/dossidos.html>
- **Estrada, G. L. y Morán, M. C. (2013)**. Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo. La Ingeniería para la sostenibilidad. [En línea]. México: Academia de Ingeniería – Conacyt. Disponible en: <http://www.observatoriodelaingenieria.org.mx/docs/pdf/5ta.%20Etapa/6.La%20ingenier%C3%ADa%20para%20la%20sostenibilidad.pdf>
- **Fondo Verde (2012)**. Crisis ambiental planetaria. Modulo 1. España: Editorial Ambiental.
- **Fondos Sectoriales de Energía (2014). Fondos Sectoriales de Energía Estrategia (2014-2018). Líneas de acción.** México: SENER. Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/articulos/fondos-sectoriales-de-energia-estrategia-2014-2018?state=draft>
- **Foster, B. (23 diciembre, 2014)**. Marx y la fractura del metabolismo universal de la naturaleza. Disponible en: <https://marxismocritico.com/2014/12/23/marx-y-la-fractura-en-el-metabolismo-universal-de-la-naturaleza/>

- **Galán, M. (2011, mayo 16).** Definición de Políticas y líneas de Investigación en la Universidad. [Entrada en blog]. Metodología de la Investigación. Disponible en <http://manuelgalan.blogspot.mx/2011/05/definicion-de-politicas-y-lineas-de.html>
- **Galán, M. (2016).** Guía Metodológica para diseños de investigación. [Blog spot] Metodología de la investigación. Disponible en: <http://manuelgalan.blogspot.mx/p/guia-metodologica-para-investigacion.html>
- **Giuliano, G. (2011).** Ingeniería y desarrollo sustentable. UCA Argentina. Encontrado en: <http://www.uca.edu.ar/mailling/ingreso/2011-06-Ingenieria-Desarrollo-Sustentable-IngGustavo-Giuliano.pdf>
- **Gutiérrez, G. E. (abril- junio 2008).** De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: Historia de la Constitución de un enfoque multidisciplinario. Ingenierías. XI (39). Disponible en: <http://ingenierias.uanl.mx>
- **Hargroves, K. y Smith, M. (2005).** The Natural Advantage of Nations: Business Opportunities, Innovation and Governance in the 21st Century. (Vol. 1) Disponible en: <http://www.naturaledgeproject.net/NAON.aspx>
- **IMPI-SE (2013).** Guía del Usuario de patentes y modelos de utilidad. México: Instituto Mexicano de la propiedad.
- **Banco Mundial (2016).** Indicadores del Desarrollo Mundial (2015 - 2016). [Base de datos]. Grupo Banco Mundial. Disponible: <http://datos.bancomundial.org/>
- **IPCC (2013).** "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América: Cambridge University Press.
- **Jiménez, C. C. (2008, enero 23).** Metodología de la investigación tecnológica. [Entrada de blog]. Gestipolis. Disponible en: <http://www.gestipolis.com/metodologia-investigacion-tecnologica/>
- **Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2001, 7 de diciembre).** [En línea]. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Disponible en: [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235.pdf)

- **Marx, K. (1973).** El Capital, Tomo III. Cap. XLVI y XLVII. México: Fondo de Cultura Económica, 953 p.
- **Marx, K. (2009).** El capital Tomo I Libro I Vol. 2 España: Vigesimocuarta reimpresión Siglo XXI.
- **Marx, K. (2010).** El Capital Tomo I Libro I El proceso de producción del capital. Vol. 1. Cap. III España: Siglo XXI.
- **MESMIS interactivo (2007).** Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de sustentabilidad. México: SEMARNAT-2002-C01-0800. Disponible en: <http://mesmis.gira.org.mx/mesmis-interactivo>
- **Mondragón, P. A. (2002).** ¿Qué son los indicadores? Revista de información y análisis. Cultura, Estadística y Geografía. 19. 52-58. Disponible en: [http://www.planeacion.unam.mx/descargas/indicadores/materiallectura/Mondragon02\\_inegi.pdf](http://www.planeacion.unam.mx/descargas/indicadores/materiallectura/Mondragon02_inegi.pdf)
- **Nina, Ch. J. (2010, octubre 20).** Investigación e innovación Tecnológica. [Entrada de diapositiva]. LinkedInSlide Share. Disponible en <http://es.slideshare.net/juanitonina/investigacin-e-innovacin-tecnologica>
- **NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013).** Edificación Sustentable- Criterios y Requerimientos ambientales mínimos. México: Secretaría de Economía. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- **OECD (2016).** Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo. OECD. Disponible en: [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- **ONU MÉXICO (2016).** Organización de las Naciones Unidas en México. Disponible en: <http://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>
- **ONU (1960).** Las Naciones Unidas y la descolonización: Declaración sobre la concesión de la independencia a los países y pueblos. Disponible en: <http://www.un.org/es/decolonization/declaration.shtml>
- **Plan estratégico AI 2014-2018 (2015).** México: Academia de Ingeniería. Disponible en: [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/2015/02/plan\\_estrategico\\_030215.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/2015/02/plan_estrategico_030215.pdf)
- **PND (2013 - 2018).** Plan Nacional de Desarrollo. México: Gobierno de República.

- **PEFRHME (2014).** Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética. México: SENER – SEP – CONACYT. Disponible en <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/365/PE-FormacionRecursosHumanos.pdf>
- **PEUACM (2016).** Programa de Energía de la UACM. México: UACM. Disponible en: <http://portal.uacm.edu.mx/ProgramasyCentros/ProgramadeEnerg%C3%ADaPEUACM/tabid/184/Default.aspx>
- **PROSENER 2013 – 2018.** Programa Sectorial de Energía 2013 2018. México: Diario Oficial de la Federación (diciembre 2013, 13). Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-sectorial-de-energia-2013-2018?idiom=es>
- **Quiroga, M. R. (2007).** Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: Avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Chile: CEPAL. Disponible en: <http://www.cepal.org/deype/publicaciones/xml/4/34394/LCL2771e.pdf>
- **Quiroga, M. R. (2012).** Indicadores de sustentabilidad: Experiencia mundial y desafíos para América Latina. Chile: CEPAL. Disponible en: <http://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESSION-7-Quiroga-Indics-Susten-Presentacion.pdf>
- **Rincón, S. I. (agosto 2011).** Investigación científica e Investigación tecnológica como componentes para la Innovación: Consideraciones técnicas y metodológicas. Contribuciones a las Ciencias Sociales. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/cccss/13/ibrs.html>
- **Rodríguez, P. D. (2011).** Capitalismo Verde. Una mirada a la estructura de BID en cambio climático. Colombia: Censat Agua Viva – Amigos de la Tierra.
- **Sanes, A. (2012).** El análisis del Ciclo de Vida en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8875/1/905079.2012.pdf>
- **SINIA (2001).** Indicadores para gestión municipal de residuos sólidos. Chile: Sistema Nacional de Información Ambiental. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-31698\\_recurso\\_11.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31698_recurso_11.pdf)
- **SENER (2013).** Estrategia Nacional de Energía 2013-2027. México: Secretaría de Energía. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>

- **SENER (2014).** Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética. México: SENER, SEP, CONACYT, Gobierno Federal.
- **Schumacher, E. F. (1983).** Lo pequeño es hermoso. España: Ediciones Orbis, S. A.
- **UACM (2016).** Universidad Autónoma de la Ciudad de México. México: UACM. Disponible en [www.uacm.edu.mx](http://www.uacm.edu.mx)
- **UNESCO (2016).** Educación para el Desarrollo sostenible. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/education-for-sustainable-development/>
- **Vega-González, L. R. (enero – marzo, 2011).** Modelo de Gestión de proyectos de desarrollo tecnológico y vinculación de un centro de I&DT universitario. Ingeniería, investigación y tecnología. 12(1). Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/>
- **Vega-González, L. R. (junio, 2006).** Modelo del Ciclo de vida de un Proyecto de Gestión Tecnológica y vinculación en un Centro de I&D Universitario. I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I. UNAM. Palacio de Minería, México.
- **WCED (2016).** Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. UN Documents: Gathering a body of global agreements. [En línea]. Disponible en: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>