

**MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL PROCESO DE  
PRODUCCIÓN ARTESANAL DE AGAVE MEZCALERO:  
UNA PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIO CON  
ENFOQUE SISTÉMICO Y DE PROCESOS CON  
REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

**Área de investigación: Administración de la tecnología**

**Ignacio Alejandro Olivares Chapa**

Facultad de Contaduría y Administración  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México  
alexchap@unam.mx

**Graciela Bribiesca Correa**

Facultad de Contaduría y Administración  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México  
gbribies@fca.unam.mx

**XX**  
CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE  
CONTADURÍA  
ADMINISTRACIÓN  
E  
INFORMÁTICA





## MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ARTESANAL DEL AGAVE MEZCALERO: UNA PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIO CON ENFOQUE SISTÉMICO Y DE PROCESOS CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES

### Resumen

En esta investigación, se midió, evaluó y pronosticó la sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, por medio de un modelo de negocio de cinco etapas: producto, mercado, producción, organización y finanzas, y se analizaron, evaluaron y pronosticaron índices de sustentabilidad de la primera etapa, a través de redes neuronales artificiales para lograr el desarrollo sustentable; con fundamento en el marco general de la teoría y concepto de la sustentabilidad. Se identificaron factores de contaminación o impacto ambiental asociados a la producción y relaciones de impacto al trinomio sociedad-economía-medioambiente, en palenques de la región de Santiago Matatlán, Oax. Se obtuvo una muestra aleatoria y estratificada de dieciocho productores en seis palenques afiliados al Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, A.C., los cuales constituyeron las unidades de estudio. Los datos obtenidos se utilizaron para formar un grupo de prueba, dando como resultado, una red neuronal artificial entrenada para lograr el pronóstico de índices de sustentabilidad de las etapas restantes (ISUPP). Con base al modelo de negocio propuesto en esta investigación, los productores contarán con guías publicadas que les permitirán conocer cómo interactuar en tiempo real con la red neuronal entrenada, a través de un dispositivo portátil y así podrán determinar el grado de sustentabilidad de sus procesos de producción artesanal del agave mezcalero.

**Palabras clave:** sustentabilidad, modelo de negocio, redes neuronales artificiales, desarrollo sustentable.





## Formulación del problema

El calentamiento global y el cambio climático –causa y efecto, respectivamente– (López, Cambio Climático y Calentamiento Global, 2009) son las variables a partir de las cuales, diversos sectores del planeta están sufriendo trastornos ambientales, donde la interacción entre la sociedad, la economía y el medio ambiente, constituyen gran parte del problema, conociéndose como modelo de sustentabilidad. Las características que se presentan en la región<sup>1</sup> de Santiago Matatlán, Oax., son: un clima predominante semiseco cálido, con una precipitación pluvial aproximada de 600 a 800 mm al año<sup>2</sup>. Este municipio no cuenta con fuentes de agua permanentes como son los ríos o lagos. En su topografía, figura la presencia de cerros y lomas de baja altitud, ya que una parte del municipio, un 70% aproximadamente, está ocupada por un tramo de la Sierra Madre del Sur<sup>3</sup>; por tal motivo el terreno pedregoso es el que domina, siendo las rocas de tipo volcánico las que mayormente se encuentran en el municipio, lo cual dificulta el uso de la tierra para fines agropecuarios. El ingreso económico no ha sido suficiente para mejorar el índice de calidad de vida de los habitantes de esta región, teniendo un índice de desarrollo humano (IDH<sup>4</sup>) de 0.629/1.00, y de acuerdo con los parámetros de la ONU, corresponde a un nivel medio bajo en calidad de vida. Las actividades socioeconómicas en el cultivo del agave y producción de mezcal representan el único ingreso relevante en el municipio, con una aportación del 52% de los ingresos para el mismo<sup>5</sup>. A consecuencia de estas actividades, se presentan problemas (indicadores) por la falta de servicios sanitarios como limpia y drenaje, el incremento de la contaminación medioambiental y la depredación del entorno natural como resultado de los malos manejos de residuos. Otro problema grave, es la generación de gases de efecto invernadero debido a la combustión de insumos renovables y no renovables, liberando metanos, dióxido de carbono y óxido nitroso, principalmente. Los factores negativos aumentan considerando el factor morfológico de la tierra, ya que el abastecimiento de agua potable entre la población que principalmente se utiliza en el consumo humano y la irrigación de cultivos, resulta insuficiente. Asimismo, las formas, procesos y técnicas de producción artesanal del cultivo del agave mezcalero, han sufrido cambios e impactos a lo largo del tiempo, tanto por diversos factores productivos como



<sup>1</sup> El término región se utiliza en esta investigación, como lugar o locación.

<sup>2</sup> INEGI. Prontuario de información estadística municipal. México. 2010

<sup>3</sup> Idem

<sup>4</sup> Índice de Desarrollo Humano: Parámetro de la ONU para medir la calidad de vida de los habitantes de una región siendo 1 el valor más alto (Muy alto) y 0.3 o menos el valor más bajo (Muy bajo)

<sup>5</sup> Plan municipal para el desarrollo rural sustentable. Oaxaca. México. 2010



por las relaciones asociadas con el trinomio sociedad-economía- medio ambiente<sup>6</sup>.

### Impactos ambientales en la producción del agave mezcalero

La producción artesanal del agave mezcalero en el estado de Oaxaca, México, enfrenta la pérdida de su capital natural, como muchos países del mundo, por el grado de deterioro y devastación de sus recursos naturales, a causa del incremento de una cultura de consumo de bienes y servicios descontrolada, y de la falta de consideración del tiempo de regeneración de las capacidades de carga naturales del planeta. El impacto negativo que sufre el medio ambiente en el proceso de producción, afecta las estructuras de resiliencia, vulnerabilidad y robustez (principios básicos de sustentabilidad). La primera se refiere a la capacidad de regeneración de los ecosistemas de soportar, adaptarse y recuperarse de perturbaciones ambientales. La segunda, a la sensibilidad y capacidad adaptativa a la exposición de impactos ambientales; “representa la interfaz entre la exposición a amenazas físicas en el bienestar humano y la capacidad de las personas y comunidades para controlar tales amenazas<sup>7</sup>”. La tercera se refiere a la capacidad de un sistema a mantener un estado deseado a pesar de las perturbaciones o fluctuaciones, en sus partes o elementos componentes de su ambiente (Brussard, Reed, & Tracy, 2014). Otros de los graves problemas que impactan el proceso de producción artesanal del agave mezcalero, es la comercialización del producto, la cual se realiza tanto a granel como en el embotellado con y sin marcas, donde los envasadores o intermediarios lo acopian, lo homogeneizan y lo envasan como un solo producto, provocando una ausencia de diferenciación y reconocimiento de la calidad de buenos mezcales<sup>8</sup>. En la Figura 1, se ejemplifica el modelo teórico-conceptual del planteamiento del problema de investigación.



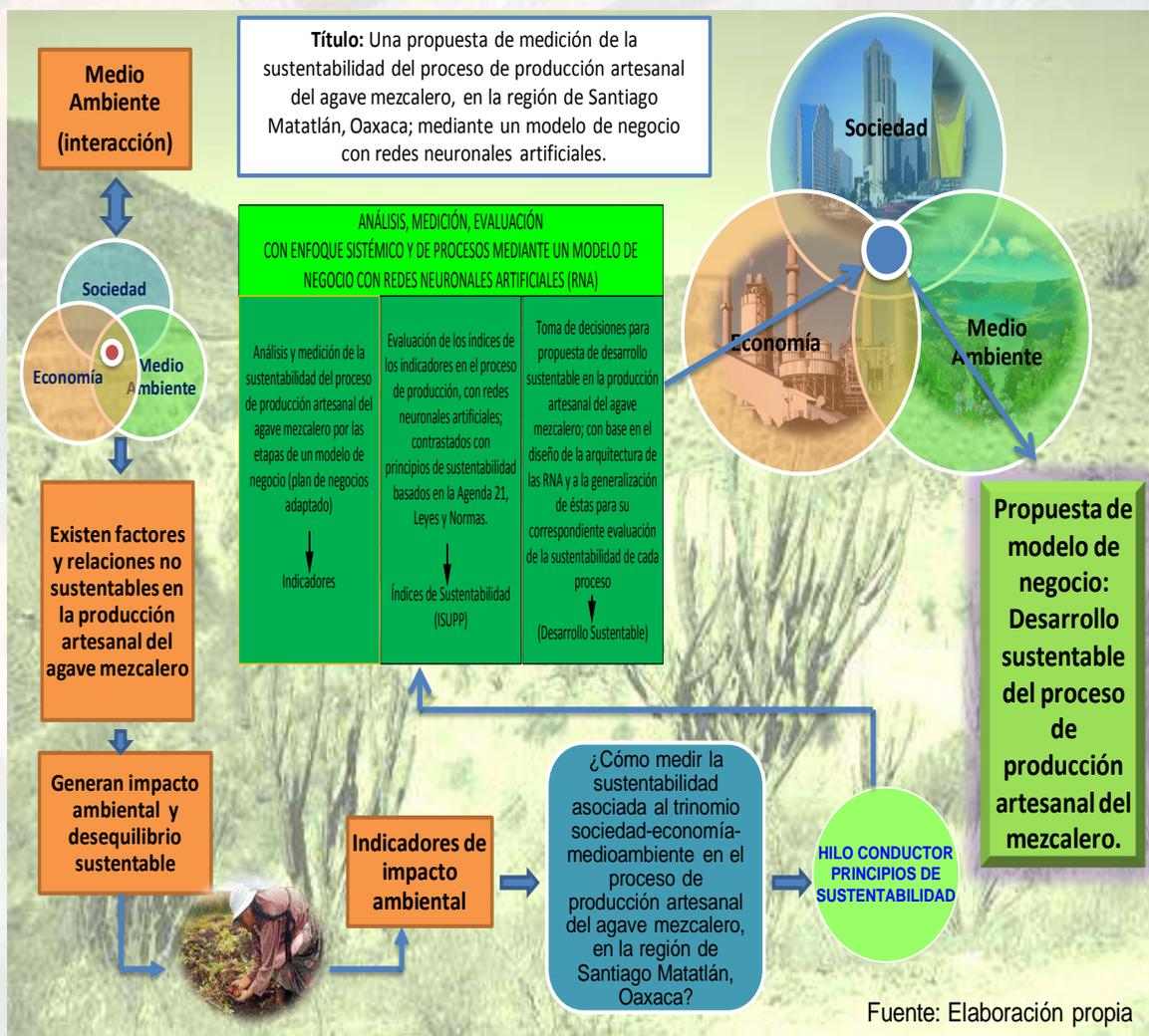
<sup>6</sup> El medio ambiente se refiere al medio natural de los ecosistemas, formado por todos los seres vivos del planeta en su biodiversidad y el espacio físico donde se interrelacionan; incluyendo la flora, fauna, bosques, agua, aire y tierra. Ehrlich, Paul; Walker, Brian "Rivets and Redundancy". BioScience, vol.48 no. 5. Mayo de 1998. pp. 387. American Institute of Biological Sciences.

<sup>8</sup> Crisis mezcalera: una agroindustria marginada. SIPIG-UNAM. (Sistema de Información de Pueblos Indígenas del estado de Guerrero). Universidad Nacional Autónoma de México. México 2009.





**Figura 1: Modelo teórico-conceptual del planteamiento del problema de investigación<sup>9</sup>**



**Pregunta de investigación**

¿Cómo medir la sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, asociada al trinomio sociedad-economía-medioambiente, en palenques de la región de Santiago Matatlán, Oaxaca?

Objetivo de la investigación

Medir la sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero -con enfoque sistémico y de procesos- por medio de un modelo de negocio de cinco etapas: producto, mercado, producción, organización y finanzas; identificando factores de contaminación o impacto ambiental asociados a la producción y relaciones de impacto asociadas al trinomio

<sup>9</sup> Derechos de Autor en trámite. IMPI





sociedad-economía-medioambiente, en palenques de la región de Santiago Matatlán, Oax., y analizar, evaluar y pronosticar con redes neuronales artificiales los resultados de índices de sustentabilidad máxima, alta, media, baja y no sustentable, para el logro de una propuesta de modelo de negocio para el desarrollo sustentable del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, en los palenques artesanales de la COMERCAM, en la región de Santiago Matatlán, Oaxaca.

Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo mixto, con alcance observacional, exploratorio y descriptivo; no experimental y transversal (Sampieri, 2011) (QUINN, 1990) (Mario, 2008), (Ramírez, 2000) (Razo, 2002) (k Yin, 2003). Asimismo, para el estudio del fenómeno (desequilibrio en la sustentabilidad del proceso de producción artesanal de agave mezcalero), se determinó utilizar el método de caso colectivo de conveniencia (QUINN, 1990) ya que permitirá en una comunidad de productores artesanales de agave mezcalero, observar, explorar, definir y describir los factores y relaciones de impacto en la sustentabilidad, y realizar las propuestas para el logro del desarrollo sustentable pertinentes.

### Metodología de la investigación

Se hizo una asociación del modelo de un plan de negocios<sup>10</sup>, con el modelo actual de sustentabilidad (trinomio: sociedad-economía-medioambiente), a partir de la revisión de los contenidos y de la metodología propuesta de diversos autores en planes de negocios y proyectos de inversión<sup>11</sup>. Con lo anterior, se diseñó un modelo de negocio adaptado o específico para la medición del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, consistente de cinco etapas: producto, mercado, producción, dirección y finanzas. Se aplicó la metodología DELPHI (Linstone & Turrof) y la dinámica de sistemas (Aracil, 1995, Madrid), (k Yin, 2003), (Douma, Giourga, Loumou, & Polychronaki, 2010) a dieciocho productores de seis palenques de la COMERCAM en la región de Santiago Matatlán, Oax., muestrados al azar y de manera estratificada; lo que permitió encontrar e identificar factores de contaminación o impacto ambiental que están asociados a la producción (como los gases de efecto invernadero) y relaciones de impacto asociadas al trinomio sociedad-economía-medioambiente (actividades y decisiones humanas). Lo anterior permitió determinar las fases de los procesos de producción, los principios de sustentabilidad (basados en la Agenda 21, MESMIS, Leyes y Normas), los indicadores como factores de la producción y relaciones con el trinomio sociedad-economía-medioambiente, las variables de los indicadores (impactos

<sup>10</sup> Documento teórico conceptual

<sup>11</sup> Varios autores: Oscar Hugo Pedraza, Alejandro Lerma Kirchner, Rodrigo Varela, Arturo Morales Castro, Alfonso Ortega Castro, Gabriel Baca Urbina y Nacional Financiera.



ambientales) y los valores de los índices de sustentabilidad deseables y sustentados en leyes y normas<sup>12</sup>.

### Marco teórico conceptual

Las teorías y conceptos: sustentabilidad, desarrollo sustentable, principios de sustentabilidad, calentamiento global, cambio climático, modelo de negocio y redes neuronales artificiales, constituyen el fundamento y la pertinencia de esta investigación.

La Sustentabilidad o sostenibilidad, “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (ONU, 1992)”. Este concepto surgió y se posicionó, a partir del conocimiento y conciencia (Boullón, 2006) de las graves consecuencias que está sufriendo nuestro planeta, por diversas acciones humanas (causas) que contaminan el medioambiente provocando y generando diversos impactos ambientales (efectos) como lo es, el cambio climático, entre los más graves. La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU (CMMAD) presentaron en el año de 1987, el primer documento que trata de conciliar el concepto de sustentabilidad o sostenibilidad y el de desarrollo sustentable, (sustainable en inglés) con el título “Nuestro Futuro Común” (nombre original del Informe Brundtland)<sup>13</sup>.

El desarrollo sustentable, concepto que se acuñó en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CNUDS) llevada a cabo en Río de Janeiro, 1992 (Río+20), donde se llegó a la conclusión de que el desarrollo sostenible o sustentable, debiera ser “aquel que permita mantener el equilibrio entre el desarrollo socioeconómico y la calidad de los recursos naturales en todos los niveles, individual, colectivo, local, regional o global” (Moreno, 2010) y garantizar su reproducción en lo social, para las próximas generaciones. Asimismo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), México, 1996; en su Artículo 3º, inciso XI, establece que el desarrollo sustentable es “el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras<sup>14</sup>”. En esta



<sup>12</sup> (SEMARNAT, 2011), (NOM-070-SCFI-1994., 1994), (Astier, R, & Galván, Evaluación de Sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional, 2008), (INEGI, 2000, México; ISBN 970-13-3015-3).

<sup>13</sup> (ONU, Río+20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, 2012). Documento final de la conferencia.

<sup>14</sup> Indicadores de Desarrollo Sustentable en México, INEGI, 2000.



investigación, integraron quince principios de sustentabilidad<sup>15</sup> a partir del Programa o Agenda 21 (ONU, 1992), IIA Sección, Capítulo 14, “Fomento de la agricultura y del desarrollo rural sostenible”, Marcos de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales (MESMIS)<sup>16</sup>, Marcos de Evaluación Presión-Estado-Respuesta (PER)<sup>17</sup>, normas<sup>18</sup> y leyes mexicanas (SNIARN, 2011). Y como resultado de la investigación de campo, se adaptaron cinco nuevos principios de sustentabilidad relacionados con las cinco etapas del modelo de negocio: productividad-producto, adaptabilidad-mercado, resiliencia-producción, eficiencia-organización, y rentabilidad-finanzas (véase Figura 2).

### Figura 2: Modelo propuesto para la definición de principios y medición de la sustentabilidad

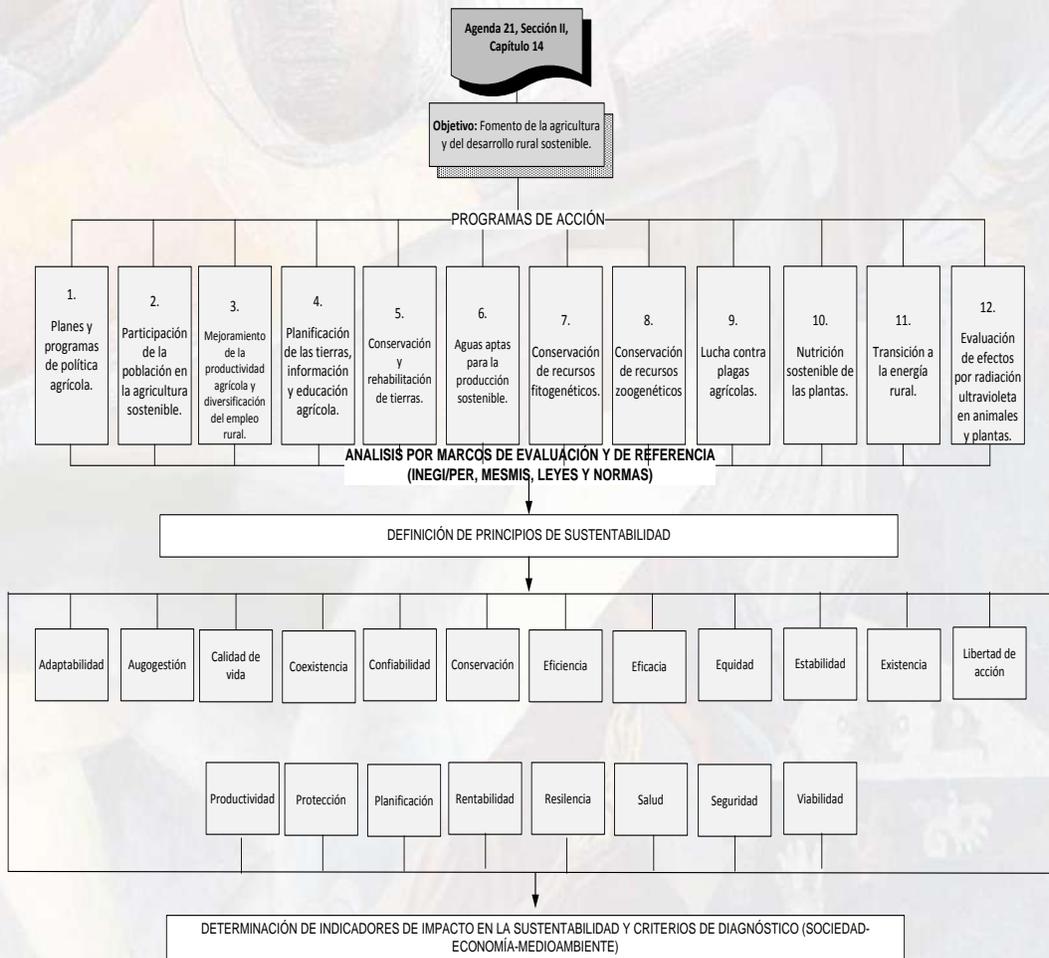


<sup>15</sup> Principios de sustentabilidad alineados con la Sección II, Capítulo 14 de la Agenda 21, utilizando la estructura de los Marcos de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad; Normas y Leyes Mexicanas.

<sup>16</sup> (Astier, R, & Galván, Evaluación de Sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional, 2008)

<sup>17</sup> (INEGI, 2000, México; ISBN 970-13-3015-3)

<sup>18</sup> (NOM-070-SCFI-1994., 1994)



Fuente: Elaboración propia

*El calentamiento global*, “Se han incrementado las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en la atmósfera, además de la emisión de otros gases de efecto invernadero provocados por actividades humanas<sup>19</sup>”. Significa que el globo terráqueo se calienta y se ha calentado no sólo de manera natural, sino también de manera generada o provocada, registrando actualmente temperaturas al doble de las conocidas en el siglo XVIII, las cuales de continuar así, pudieran llegar a aumentar en 0.2 grados cada década. A este fenómeno se le conoce como “calentamiento global<sup>20</sup>”. Etimológicamente, calentamiento global, del latín *calens, calentis*, del verbo *caleo, calere, calui*, “calor”; *mentum*, “medio o instrumento”, *Globus*, “globo, esfera”; contextualmente, globo terráqueo; da significado al “efecto de producir calor en el planeta<sup>21</sup>”.

<sup>19</sup> Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC), 2 de febrero de 2007. ONU.

<sup>20</sup> Idem.

<sup>21</sup> Wally Broecker. Revista Science. 8 de agosto 1975.



El término “*cambio climático*” se utilizó desde principios del siglo XX, para denotar cambios o variaciones en el clima<sup>22</sup> de manera histórica, presente y futura; ya sea por eventos que ocurrieran de manera natural o provocada por acciones humanas, en todos los niveles del planeta. Los científicos definieron los riesgos producidos por los gases de efecto invernadero alrededor de los años 70’s, proponiendo el término Global Warning o calentamiento global (López L. V., Cambio Climático y Calentamiento Global, 2009).

El concepto de *modelo de negocio* (plan de negocios adaptado<sup>23</sup>) utilizado y aplicado en esta investigación, se utilizó para medir la sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, y responde al análisis primeramente del significado de “modelo”, el cual a partir del análisis de varios teóricos al respecto como: Lasswell, Lindblom, Garrido, *Freire*, *Roe*, *Chapman & Hall*- entre otros- se precisa este concepto para la construcción del modelo de negocio, así como también del análisis de otros teóricos en planes de negocios<sup>24</sup>. En una generalización, puede decirse que un modelo es un método racional para poder identificar, analizar, representar, generalizar y proponer expresiones de ideas, conocimientos o concepciones concretas o abstractas.

El vocablo “negocio” proviene del latín “*negotium*” (*nec y otium*), es decir, “lo que no es ocio” y es un acto que, generalmente, tiene objetivos lucrativos, de ganancia, de beneficio o provecho<sup>25</sup>. Luego entonces, un modelo de negocio, Se utilizaron los conceptos de *Freire*, *Roe* y *Chapman & Hall*, así como de Baca Urbina, Pedraza y Lerma Kirchner, para diseñar un modelo propio para la medición del proceso de producción artesanal del agave mezcalero; ya que estos autores precisan el concepto de un modelo de negocio, y puede aplicarse para la identificación de factores que se asocian a variables objetivas, medibles, así como con variables que tienen que ver con los estilos de vida en la sociedad, la economía y los recursos naturales. A continuación se presenta el sistema de obtención de datos para la medición de datos con el modelo de negocio (Figura 3).



<sup>22</sup> El clima, está formado por una serie de fenómenos meteorológicos que conforman o caracterizan el estado medio de la atmósfera en alguna región del planeta, pudiendo ser cálido, templado o frío.

<sup>23</sup> Un plan de negocios, es un documento teórico-metodológico integrado por cinco etapas en general para su realización: el estudio del producto, del mercado, de la organización, de la producción y de las finanzas (incluyendo los aspectos legales).

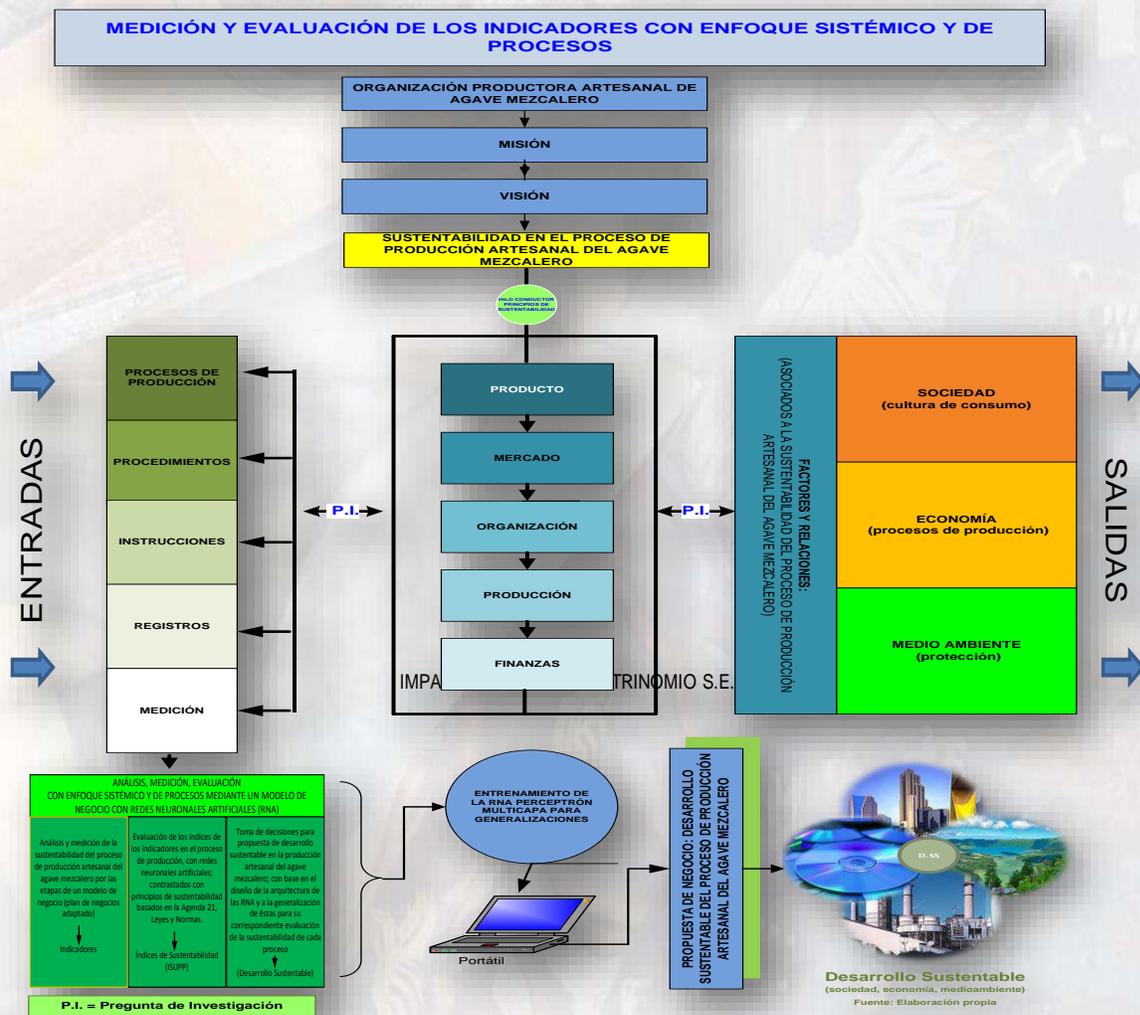
<sup>24</sup> Varios autores: Oscar Hugo Pedraza, Alejandro Lerma Kirchner, Rodrigo Varela, Arturo Morales Castro, Alfonso Ortega Castro, Gabriel Baca Urbina y Nacional Financiera.

<sup>25</sup> Diccionario Enciclopédico Vox 1. © 2009 Larousse Editorial, S.L.





Figura 3: Sistema de obtención de datos para el modelo de negocio<sup>26</sup>



Fuente: Elaboración propia

A partir del sistema de obtención de datos, se presenta la estructuración del modelo de negocio que se diseñó para su aplicación en la medición de la sustentabilidad (Tabla 1).

Tabla 1: Modelo de Negocio específico para la medición de la sustentabilidad del proceso artesanal del agave mezcalero

<sup>26</sup> Derechos de Autor en trámite. IMPI



Etapas y fases del Modelo de Negocio (Plan de Negocios adaptado)	Fases del proceso de producción artesanal del agave mezcalero	Principios de sustentabilidad: (Leyes, Normas, Agenda 21, MESMIS, PER)	Indicadores: Factores asociados a la producción y Relaciones al trinomio	VARIABLES de los Indicadores (impactos ambientales)	Índices de sustentabilidad (ISUPP)
<b>ETAPA I Producto:</b>					
Fases					
• Siembra	X	X	X	X	Índices / lote
• Corte	X	X	X	X	Índices / lote
<b>ETAPA II Mercado:</b>					
Fases					
• Demanda	X	X	X	X	Índices / lote
• Oferta	X	X	X	X	Índices / lote
• Precio	X	X	X	X	Índices / lote
<b>ETAPA III Organización:</b>					
Fases					
• Palenque artesanal	X	X	X	X	Índices / lote
• Personal	X	X	X	X	Índices / lote
<b>ETAPA IV Producción:</b>					
Fases					
• Insumos	X	X	X	X	Índices / lote
• Proceso	X	X	X	X	Índices / lote
• Tecnología:	X	X	X	X	Índices / lote
○ Horno	X	X	X	X	Índices / lote
○ Macerado	X	X	X	X	Índices / lote
○ Contenedores	X	X	X	X	Índices / lote
○ Alambique	X	X	X	X	Índices / lote
• Aspectos ambientales	X	X	X	X	Índices / lote
<b>ETAPA V Finanzas:</b>					
Fases					
• Inversión inicial	X	X	X	X	Índices / lote
• Tasa productiva	X	X	X	X	Índices / lote
• TIR	X	X	X	X	Índices / lote
• VAN	X	X	X	X	Índices / lote

Fuente: Elaboración propia con productores artesanales del agave mezcalero

Las *redes neuronales artificiales (RNA)*, se utilizaron y aplicaron en esta investigación, a efecto de analizar, evaluar y pronosticar los índices de sustentabilidad de la medición del proceso de producción artesanal del agave mezcalero. Las RNA, son una tecnología computacional, es decir, herramientas informáticas de análisis los cuales funcionan como modelos computarizados inspirados en la estructura a bajo nivel del cerebro humano. Una RNA, es “una red de elementos simples usualmente adaptativos masivamente interconectados en paralelo y con organización jerárquica los cuales buscan interactuar con los objetos del mundo real, del mismo modo que lo hace un sistema nervioso biológico<sup>27</sup>”, y pueden utilizarse en un gran número y variedad de aplicaciones,

<sup>27</sup> Kohonen (1982:59).



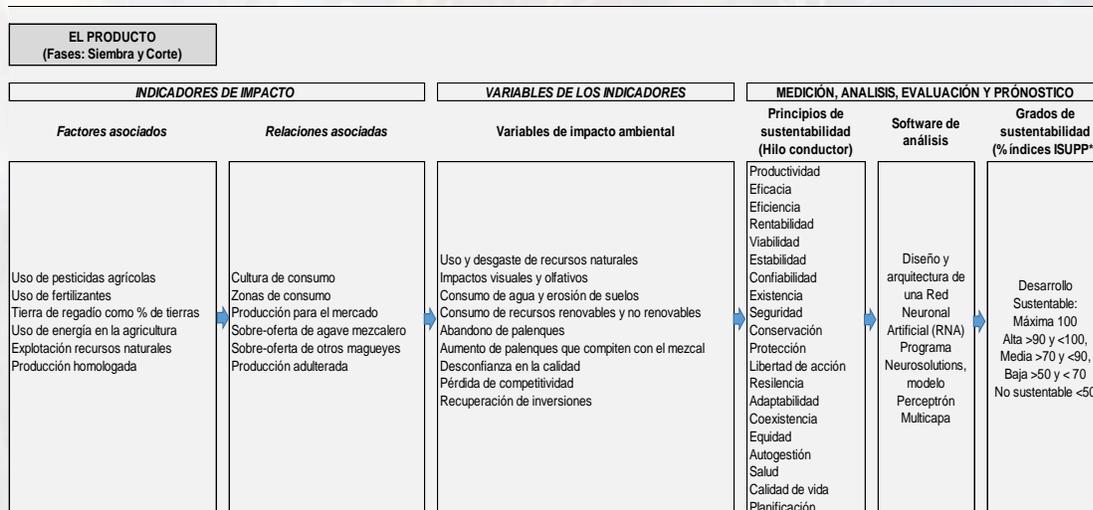
tanto comerciales como militares. Se pueden desarrollar redes neuronales en un periodo de tiempo razonable y pueden realizar tareas concretas mejor que otras tecnologías convencionales, incluyendo a los sistemas expertos. Las redes neuronales presentan una alta tolerancia a fallos del sistema y proporcionan un alto grado de paralelismo en el proceso de datos. Por esta razón es posible implementar redes neuronales de bajo costo.

La pertinencia del uso de las redes neuronales artificiales en esta investigación, se debe al manejo y análisis de las múltiples variables implicadas en el proceso de la producción; ya que las RNA permiten asociar un proceso de aprendizaje supervisado considerando, las entradas o estímulos, conocidos como patrones de entrada y patrones de salida.

### Resultados y conclusiones

Para lograr el desarrollo sustentable, se identificaron, integraron y definieron indicadores y variables de impacto ambiental descritos en la Agenda 21, SEMARNAT/INEGI y visitas en campo. Con lo anterior, se diseñó y entrenó un modelo de red neuronal artificial a efecto de lograr la medición de la sustentabilidad para cada etapa del proceso. En esta ponencia, sólo se presenta la primera etapa del modelo de negocio, “producto” (ver Figura 4).

Figura 4: Indicadores y variables para el diseño de la RNA



\* ISUPP (Índice de Sustentabilidad del Proceso de Producción)

Fuente: Elaboración propia

Se midió en la primera etapa del modelo de negocio (producto), la sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero, identificando en campo (palenques), diversos factores de impacto asociados a la producción, y relaciones de impacto asociados al trinomio sociedad-economía-medioambiente. Se encontraron diversos indicadores de impacto ambiental (factores) -como el uso de pesticidas y la generación de gases de





efecto invernadero-, y decisiones (relaciones) del proceso no acordes a la NOM-070-SCFI-1994 (véase Tablas 2 y 3).

**Tabla 2: Factores de impacto asociados a la producción artesanal del agave mezcalero**

Proceso de producción	Factores de desequilibrio	Ubicación	Impactos ambientales (Indicadores de desequilibrio sustentable)
I-Siembra y Corte	Tipos y formas de corte del maguey.	Zonas de plantíos	Desechos.
II-Cocido	Forma y método de cocido de las piñas en hornos de tierra.	Hornos caseros	Deforestación por uso de maderas o leños para la cocción, calentamiento de la tierra, generación de gases.
III-Molienda	Forma y tipo de molienda del bagazo.	Zonas de maceración manual	Producción de bacterias y microorganismos.
IV-Fermentación	Método, procedimiento y actividades para la fermentación del bagazo.	Barriles de madera u ollas de barro.	Generación de gases.
V-Destilación	Método, procedimientos y actividades de destilación.	Alambiques de barro, cobre, madera o quiote combinados.	Calentamiento y generación de vapores, metales en el proceso: plomo, cadmio y zinc.
VI-Ajuste de alcoholes	Método, procedimiento y actividades para el ajuste de alcoholes.	Alambiques rústicos	Doble o triple proceso de destilación, falta de controles en la medición de alcoholes.
VII-Envasado	Método, procedimiento y actividades en el envasado del producto terminado.	Tinas de Plástico	Utilización de envases contaminantes al medio ambiente; Contaminación del producto.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Las relaciones de impacto (decisiones y actividades humanas) asociadas a la sociedad-economía y medioambiente que se encontraron, fueron las siguientes:





**Tabla 3: Relaciones de impacto ambiental en el proceso de producción artesanal del agave mezcalero**

<b>Relaciones de desequilibrio</b>	
<b>Relación con la Sociedad</b>	<b>Impactos ambientales</b>
Cultura de consumo	Uso y desgaste de recursos naturales
Tipos de productos	Consumo de recursos naturales renovables y no renovables
Costos – precios	Creación de empleos
Zonas de consumo	Impactos visuales, uso y desgaste de recursos naturales
Alianzas	Creación de empleos
<b>Relación con la Economía</b>	<b>Impactos ambientales</b>
Producción–mercado	Consumo de agua, y erosión de suelos.
Recursos humanos	Creación de empleos
Recursos materiales	Consumo de recursos naturales renovables y no renovables
Recursos técnicos	Utilización de tecnologías, contaminación
Recursos financieros	Ganancias
<b>Relación con el Medio ambiente</b>	<b>Impactos ambientales</b>
Recursos naturales	Consumo de agua, erosión de suelos, desgaste de recursos naturales renovables y no renovables
Costos – precios	Ganancias

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Asimismo, se identificaron y definieron las variables asociadas a esos indicadores y se estructuraron índices de sustentabilidad (ISUPP) a efecto de analizar, evaluar y pronosticar la sustentabilidad del proceso. Los datos obtenidos, fueron analizados mediante ecuaciones estructurales para determinar la importancia de los pesos entre las variables, como causalidad y efecto en la sustentabilidad. Posteriormente, estos resultados fueron evaluados y pronosticados a través de un modelo de red neuronal artificial adecuado a las necesidades de la investigación (modelo perceptrón multicapa tipo back propagation), para posteriormente diseñar una arquitectura de red neuronal que permitiera la generalización de un aprendizaje supervisado, de manera paralela y distribuida, obteniendo los índices ISUPP, los cuales se clasificaron en grados de sustentabilidad máxima (100%), sustentabilidad alta (>90% y <100%), sustentabilidad media (>70% y <90%), sustentabilidad baja (>50% y <70%) y no sustentable (< a 50%).

### **Índices de Sustentabilidad del Proceso de Producción (ISUPP)**

Se diseñaron los índices de sustentabilidad del proceso de producción artesanal del agave mezcalero (ISUPP), a partir del análisis y selección de principios de sustentabilidad, propuestos en la Agenda 21, ONU, 1992 (mostrados en la Figura 2); en los indicadores de desarrollo sustentable en México (INEGI, INE/SEMARNAP) trabajos auspiciados por la Comisión de Desarrollo



Sustentable de Naciones Unidas (CDSONU)<sup>28</sup>; en los indicadores de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, capítulo XVI, 2012; y en las normas ISO. Los índices integrados en la etapa “Producto” se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4: Índices de cinco de los principios de sustentabilidad<sup>29</sup>**

Principios de sustentabilidad en la etapa “Producto”		Unidad de medida
PS1	Productividad	Resultados de la producción-lote/ Medios utilizados
PS2	Eficacia	Resultados / Objetivos planeados
PS3	Eficiencia	Medios / Recursos totales
PS4	Rentabilidad	Utilidades / Ventas - c/lote
PS5	Viabilidad	Recursos utilizados / Recursos planeados

Fuente: Diseño y elaboración propia

Se diseñó una arquitectura de red neuronal artificial (Figura 5) para pronosticar el grado de sustentabilidad de los índices, alimentándola con los datos de prueba de campo, proporcionados por los productores. Dichos datos corresponden a dieciocho productores de seis palenques. El modelo de RNA que se utilizó en esta investigación fue un perceptrón multicapa, con aprendizaje dirigido, y con una arquitectura compuesta por: una capa de entrada, dos capas ocultas y una capa de salida. La capa de salida con tres variables dependientes: sustentabilidad en la sociedad, en la economía y en el medioambiente y con una función de activación tangente hiperbólica. El entrenamiento de la red dio como resultado que, de los dieciocho productores de seis medidas y evaluados, seis fueron pronosticados con sustentabilidad máxima, nueve con sustentabilidad alta, y tres con sustentabilidad media. Ninguno fue no sustentable, *por lo que se comprueba la efectividad del modelo*.

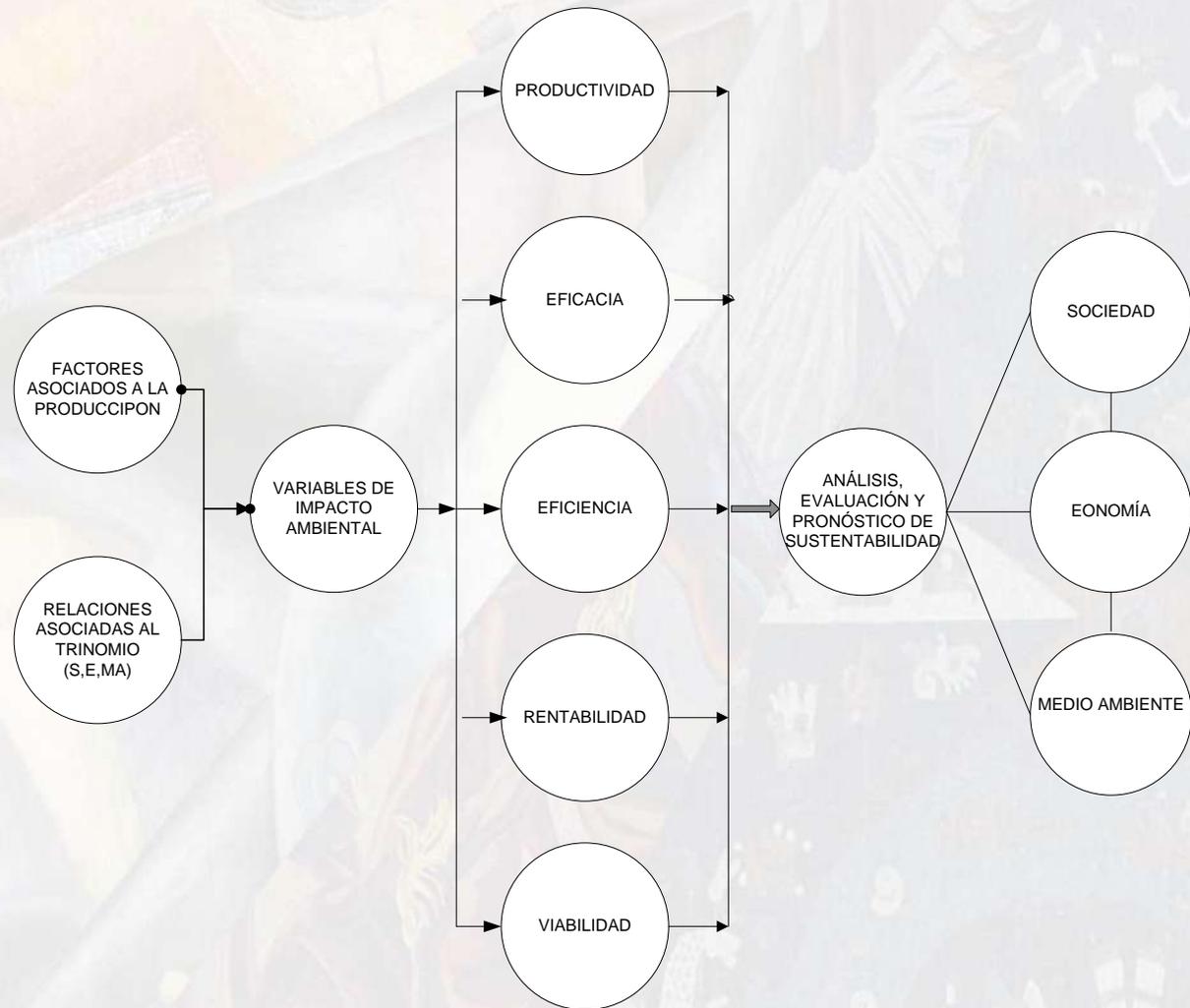


<sup>28</sup> (INEGI, 2000, México; ISBN 970-13-3015-3)

<sup>29</sup> Se presentan cinco de los veinte principios de la Figura 2, dado que el límite de cuartillas en esta ponencia, es reducido.



**Figura 5: Arquitectura de la Red Neuronal Artificial de la etapa Producto**



Fuente: Diseño y elaboración propia

En las siguientes tablas (5 y 6) se puede observar los resultados del entrenamiento de la RNA, con una función de activación hiperbólica y cuyos errores similares permitieron deducir que está entrenada para el pronóstico de los índices de sustentabilidad para el logro del desarrollo sustentable, en la etapa producto.

Los datos obtenidos como factores asociados a la producción, fueron los siguientes:





**Tabla 5: Factores asociados a la producción**

CLAVES DE FACTORES	CONCEPTOS DE LOS FACTORES
FUP	Uso de pesticidas agrícolas
FUF	Uso de fertilizantes
FTR	Tierra de regadío como porcentaje de tierras cultivables
FUE	Uso de energía en la agricultura
FRN	Recursos naturales
FPH	Producción Homologada



Los datos obtenidos como relaciones asociadas al trinomio, sociedad-economía-medioambiente, fueron los siguientes:

**Tabla 6: Relaciones asociados al trinomio sociedad-economía-medioambiente**

CLAVES DE LAS RELACIONES	CONCEPTOS DE LAS RELACIONES
RCC	Cultura de consumo
RZC	Zonas de consumo
RPM	Producción para el mercado
RSOM	Sobre oferta del agave mezcalero
ROOM	Sobre oferta de otros magueyes
RPA	Producción adulterada



El resultado de las ecuaciones para encontrar los índices de los principios de sustentabilidad, resultaron de acuerdo a la siguiente fórmula:

*Principios de sustentabilidad*

$$= \alpha_0 + \beta_1 * FUP + \beta_2 * FUF + \beta_3 * FTR + \beta_4 * FUE + \beta_5 * RZC + \beta_6 * RSOM + \beta_7 * RPA + \beta_8 * NHC$$

Estas ecuaciones corresponden a los resultados de la red neuronal artificial entrenada, para encontrar el grado de sustentabilidad de los principios, para el desarrollo sustentable.





	Alpha	Beta 1	Beta 2	Beta 3	Beta 4	Beta 5	Beta 6	Beta 7	Beta 8
Ecuación 1	PS2 = 0.805 +	-.024 * FUP +	-.658 * FUF +	0.335 * FTR +	-0.383 * FUE +	.029 * RZC +	.706 * RSOM +	-.152 * RPA +	-.254 * NHC
Ecuación 2	PS3 = .915 +	0.397 * FUP +	-.03 * FUF +	0.226 * FTR +	0.226 * FUE +	0.0070 * RZC +	0.024 * RSOM +	.432 * RPA +	-.498 * NHC
Ecuación 3	PS4 = .948 +	.532 * FUP +	-.925 * FUF +	-.668 * FTR +	-.136 * FUE +	-1.017 * RZC +	.001 * RSOM +	-.187 * RPA +	-.210 * NHC
Ecuación 4	PS2 = .410 +	-.104 * FUP +	.388 * FUF +	-.277 * FTR +	.200 * FUE +	.409 * RZC +	-.959 * RSOM +	.519 * RPA +	-.438 * NHC
Ecuación 5	PS2 = .783 +	-.037 * FUP +	.529 * FUF +	.488 * FTR +	-.494 * FUE +	.020 * RZC +	-.651 * RSOM +	.035 * RPA +	-.451 * NHC

Las variables discriminadas por su poca significancia fueron las siguientes:

Recursos Naturales	Producción Homologada	Cultura de Consumo	Producción para el Mercado	Sobre Oferta del Mezcal	Número de horas en siembra
FRN	FPH	RCC	RPM	RSOM	NHS



Este conjunto de cinco ecuaciones representan la primera etapa (producto) del modelo de negocio y serán puestas en un sitio web, para que los productores puedan interactuar en tiempo real con la red neuronal entrenada, a través de un dispositivo portátil y así podrán determinar el grado de sustentabilidad de sus procesos de producción artesanal del agave mezcalero.

La Tabla 5 muestra un resumen de los datos de entrenamiento y arquitectura de la red neuronal artificial propuesta en esta investigación.

Tabla 7: Datos de entrenamiento de la RNA

Resumen del modelo			
Entrenamiento	Suma de errores cuadráticos	.007	
	Error relativo global promedio	.001	
	Error relativo para dependientes de escala	Sustentabilidad de Sociedad	.002
		Sustentabilidad de Economía	.001
		Sustentabilidad de Medio Ambiente	.001
	Regla de parada utilizada	1 pasos consecutivos sin disminución del error <sup>a</sup>	
Tiempo de entrenamiento	0:00:00.01		
Prueba	Suma de errores cuadráticos	2.945	
	Error relativo global promedio	.800	
	Error relativo para dependientes de escala	Sustentabilidad de Sociedad	.692
		Sustentabilidad de Economía	2.232
		Sustentabilidad de Medio Ambiente	.477

a. Los cálculos del error se basan en la muestra de prueba.

%

Las siguientes tablas, muestran los pronósticos de sustentabilidad del trinomio sociedad, economía y medio ambiente.





## Bibliografía

Barbosa, L., & Almeida., J. (2003). Methodology for comparative analysis of sustainability in agroforestry systems. . *Revista Economía y Sociología Rural*. Vol. 41 número 1 Brasilia Jan/Mar 2003.

Bertalanffy, L. v. (1989). *Teoría General de los Sistemas, fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica México.

Boullón, R. (2006). Espacio Turístico y Desarrollo Sustentable. *Redalyc*, 17-24.

Bribiesca, C. G. (2006). *Redes neuronales artificiales para la toma de decisiones: el caso de tutores del Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración de la UNAM*. México: <http://132.248.9.34/pd2007/0613643/0613643.pdf#search=%22GRACIELA BRIBIESCA CORREA%22>.

Brussard, P., Reed, J., & Tracy, C. (2014). Ecosystem Management: what is it really? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 7; 22-27.

CEPAL. (2001). Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible estado del arte y perspectiva. . *Serie manuales. Número 16. Santiago de Chile*.

Change, I. I. (Abril de 2014). *Fifth Assessment Report*. Obtenido de <http://www.ipcc.ch/>

CINU, C. d. (2000). *Medio ambiente*. Obtenido de [http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu\\_n5.htm](http://www.cinu.org.mx/ninos/html/onu_n5.htm)

Cobo, R. J. (2009). El concepto de tecnologías de la información. Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la sociedad del conocimiento. Vol. 14. Número 27. ISSN: 1137-1102. *ZER*, 295-318.

Desarrollo, P. N. (2012). *PND, México, 2007-2012*. Obtenido de [http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/1/PND\\_0712.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/1/PND_0712.pdf)





Douma, D. T., Giourga, C., Loumou, A., & Polychronaki, E. A. (2010). *A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. Ecological indicators 10 (2010) pages 255 263.*

Economía., S. a. (2006-2012). Obtenido de <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/sala-de-prensa/comunicados/6559-la-busqueda-de-la-sustentabilidad-ambiental-tambien-genera-oportunidades-de-negocio-bruno-ferrari>



Ehrlich, P., & Walker, B. (1998). *Rivets and Redundancy. BioScience. American Institute of Biological Sciences. Vol. 48, No. 5.*

Ehrlich, P., & Walker, B. A. (1998). *Rivets and Redundancy. BioScience.*

Enkerlin, E. C., Cano, G., Garz, R. A., & Vogel, E. (1997). *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. International Thompson Editores.*



Escobar, D. J. (2007). El desarrollo sustentable en México (1980-2007). *Revista Digital Universitaria. DGSCA-UNAM. Vol. 9, No.3, ISSN: 1067-6079.*

Española, D. d. (2013). Obtenido de <http://lema.rae.es/drae/?val=sustentabilidad>

Fabius, L. (1 de Marzo de 2014). *Ministère des Affaires étrangères de la France.* Obtenido de <http://www.diplomatie.gouv.fr/es/>

García, M. C., & Zizumbo, V. D. (2009). *Tecnología agrícola tradicional en la producción de vino mezcal (mezcal y tequila) en el sur de Jalisco, México. Revista de Geografía Agrícola, num. 41/65.* Obtenido de <file:///C:/Users/ALEX/Downloads/rga-699.pdf>

González, C. O. (2007). *Diseño de un instrumento de planeación para incorporar en la evaluación de sistemas, enfoques hacia la sustentabilidad. Programa de Doctorado en Ingeniería. UNAM. México, D.F.*





INEGI, I. (2000, México; ISBN 970-13-3015-3). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. Obtenido de [http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf)

k Yin, R. (2003). Applied Social Research Methods Series, 3rd Edition, Vol 5. Kirk-Othmer. (1984, 3d Edition). *Encyclopedia of chemical Technology*. New York: John Wiley & Sons.

López, L. V. (2009). *Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable*. México: Trillas.



Mario, T. y. (2008). *El Proceso de la Investigación Científica*. Limusa.

Medina, L. L. (2002). *Métodos de Investigación, Tomos I y II*. Secretaría de Educación Pública.

Mood, J. (1995). *Conceptos de Producción, México*. México.



Moreno, H. A. (2010). *Factores asociados a la sustentabilidad de agroecosistemas de agave azul, en la sierra de Amula Jalisco: propuesta metodológica para su medición*. Puebla, Puebla: Tesis.

