



La sostenibilidad energética con paneles solares y su relación económico-social en la incertidumbre para el desarrollo regional de México

Volumen 2021 No (2). Julio-Diciembre. Pág. 97-110

ISSN: 0121-1048 IMPRESO ISSN: 2422-3220 EN LÍNEA

**Ramos Sánchez, Jesús
Ricardo**

*Universidad Tecnológica de
Nuevo Laredo, México.
jramos@utnuevolaredo.edu.mx*

ORCID: 0000-0002-6101-1876.

**Chávez Rivera,
Rubén**

*Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo, México.
ruben.chavez@umich.mx*

ORCID: 0000-0002-1177-3928.

**Alcaraz Vera, Jorge
Víctor**

*Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo, México.
talcarazv@hotmail.com*

ORCID: 0000-0002-9115-5694.

Resumen*

Actualmente, la tendencia mundial de generar vías alternativas para acceder a economías sostenibles y amigables al medio ambiente cobra especial importancia al haber otras vías de obtención de recursos, satisfactores de necesidades y la misma generación de energía sin la dependencia absoluta de los combustibles fósiles. La tendencia global muestra diversos mecanismos de producción energética, sin embargo, la dificultad para cuantificar los sistemas multifactoriales en los estándares socioeconómicos resulta complejo y, más aún, su efecto en el desarrollo regional. En el caso de estudio, aparece que el 25% de los usuarios no logran el ahorro significativo sostenible con el uso de celdas fotovoltaicas en las viviendas en clima extremo. Mediante relaciones borrosas se identifican los factores críticos sobre el comportamiento humano. Los factores críticos se obtienen del análisis factorial permite justificar las variables latentes con los factores críticos en función a la percepción de los encuestados, y estas variables son la base para incidir en las relaciones causales que inciden con Mapas Cognitivos Difusos para conocer la sostenibilidad o insostenibilidad energética.

Palabras claves. control, energías renovables, medición, paneles solares, sostenibilidad

Códigos JEL: D14, D61, I31, O33, O35, P18, P28

Recibido: 06/12/2020. Aceptado: 25/07/2021. Publicado: 01/12/2021.

* Citación: Ramos Sánchez, J. R., Chávez Rivera, R. & Alcaraz Vera, J. V. (2021). La sostenibilidad energética con paneles solares y su relación económico-social en la incertidumbre para el desarrollo regional de México. *Inquietud Empresarial*, 21(2), 97-110. <https://doi.org/10.19053/01211048.12182>

Energy sustainability with solar panels and their economic-social relationship in the uncertainty for the regional development of Mexico

Abstract

The global trend in generating alternative ways to access sustainable and environmentally friendly economies has gained special importance, as there are other ways of obtaining resources, satisfying needs and the same generation of energy without the absolute dependence on fossil fuels. The global trend shows diverse mechanisms of energy production, however, the difficulty in quantifying multifactor systems in socio-economic standards is complex and even more so, its effect on regional development. In the case study, it appears that 25% of users do not achieve significant sustainable savings with the use of photovoltaic cells in homes in extreme weather. Through fuzzy relationships, critical factors about human behaviour are identified. The critical factors are obtained from the factor analysis, it allows justifying the latent variables with the critical factors based on the perception of the respondents, and these variables are the basis for influencing the causal relationships that affect with Fuzzy Cognitive Maps to know the sustainability or unsustainability energetic.

Keywords: control, renewable energy, measurement, solar panels, sustainability.

JEL codes: D14, D61, I31, O33, O35, P18, P28

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto regional el deterioro ambiental obliga a que se apliquen sistemas integrales en las políticas en materia de sustentabilidad, ya que en la próxima década existe el riesgo de alterar de forma irreversible el sustrato natural que proporcione una prosperidad económica sustentable. Actualmente, la participación en energías limpias en el México es moderada, éstas tienden a tener una mayor participación en un largo plazo, en función del potencial de varias regiones del país en lo general.

La generación bruta de electricidad en Tamaulipas ascendió a 32,958.5 Gwh en el año 2012, cifra que representa el 12.7% sobre la generación bruta de electricidad a nivel nacional. Esta generación se ha llevado a cabo a través de plantas de ciclo combinado en un 88.8% y 11.0% con termoeléctrica

convencional, es decir, el 99.8% de la generación es con recursos fósiles. Hasta ahora el desarrollo de la energía renovable ha sido modesto en la entidad; la realidad es que tiene un alto potencial en materia eólica, primeramente. En segundo lugar, potencial fotovoltaico, y en tercero, el hidroeléctrico. Será necesario incrementar el gasto destinado a la Ciencia y la Tecnología aplicado al sector energético y con lo que se generarían mayores oportunidades para construir una base importante de capital humano (Canales, Zeraoui y Valente, 2015).

Entre las características más importantes de sostenibilidad energética en este trabajo es orientado en la gestión y aplicación de la tecnología con el objetivo de obtener un diagnóstico sobre beneficios económicos-ambientales reales de la región. La cual es entendida como un nuevo ecosistema integral de la administración de inputs y outputs

energéticos. Cuando los outputs son superiores al input el conjunto tecnológico se desajusta y provoca la devastación energética, (Díaz, 2015). En materia de desarrollo socioeconómico y el tema de la sustentabilidad en la república mexicana debe de estar enfocada a incrementar los niveles de vida y mejorar el bienestar (Sheahan, 1987; Méndez, 2012). Producto de la innovación, el ensamble social se presenta a través de la eco-tecnología productiva buscando un ciclo virtuoso de producción global; por lo tanto, los ecosistemas presentan nuevos esquemas de autogestión y satisfactores (Leff, 2002).

Las inversiones en paneles solares (PS) es satisfacer las demandas energéticas y con ello la sostenibilidad energética. No obstante, de que la inversión en PS sea demasiado alta para el sector residencial. Adicional existe una serie de factores sobre la implementación y la utilización de celdas fotovoltaicas que están sujetos a condiciones que aún no quedan claros en el mercado de las energías limpias. La incertidumbre de los usuarios de la tecnología sobre el conocimiento en el manejo, consumo óptimo y las relaciones de capacidad instalada versus consumo son las adecuadas, ya que una adquirida la tecnología después de un tiempo hay un desencanto, ya que no obtienen el ahorro-energético esperado. Es claro las celdas fotovoltaicas resulta una alternativa muy atractiva para la generación de energía, pero está sujeta a ciertas restricciones que regularmente es desconocida por los clientes.

El documento se compone de un apartado teórico que aborda la importancia entre la tecnología y el ser humano además de los consumos energéticos. En el apartado metodológico se establece un principio de análisis factorial exploratorio y confirmatorio a través de la lógica difusa; el apartado de resultados se presentan los rendimientos energéticos y consumos; a manera de conclusión se determina que el factor humano

y su relación con la tecnología pueden generar buenas aportaciones cumpliendo una serie de mecanismos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. *Desarrollo tecnológico*

La dinámica mundial provoca que la demanda energética se mantenga en constante crecimiento, la proyección indica que sería del 1.6% hasta el 2050, llegando así a los 22 mil 100 millones de toneladas equivalentes de petróleo; la dependencia en los combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas seguirá cubriendo el 80% de la demanda del mundo para el 2050 si no existe un giro en las políticas energéticas internacionales (Collado, 2009). Todavía la inversión en PS es alta por lo que hace inaccesibles para mayor parte de la población, aunque la rentabilidad a mediano y largo plazo sean realmente atractiva, (Mahmoud y Ibrik, 2006). Existen dos tipos principales de conexión a la red eléctrica en lo que se refiere a los PS, una de ellas es la de almacenaje de energía; no obstante, la legislación mexicana no la permite en zonas urbanas, solo en áreas rurales y con una solicitud especial; y la otra opción de instalación es híbrida, que va directa a la red y a un acumulador de almacenaje. Esta opción es a la que se recurre en los equipos fotovoltaicos en México (Bitar, 2017). Lo anterior exige administrar la energía para la sostenibilidad a largo plazo, más aún, se ha demostrado que el desarrollo energético con la implementación de PS en Alemania y España, donde se logra desarrollo local sostenible para afrontar el crecimiento poblacional, desarrollo económico y procesos tecnológicos cada vez más demandantes de energía, (Nakicenovic, Grübler, & McDonald, 1998; Moreno, 2007; Arias, 2009)

De acuerdo con varios autores, entre ellos Elías *et al.* (2012), el sector energético está tercerizado: la industria con un 36%; el

comercio y los servicios con un 32%; y el sector residencial con un 32%. De esta manera la economía energética pudiera abordarse a través de los edificios, mejorando el aislamiento, la iluminación más eficiente y aparatos con eficiencia energética. Lo anterior obliga a la búsqueda en la disminución de costos en el mediano plazo, con la idea de llegar a una demanda de cero energías eléctricas para los usuarios. Un ejemplo son las bombas geotérmicas, que reducen en un 70% la demanda de frío y calor (Flavin, 2008). Para comprender de mejor manera el fenómeno, es necesario considerar dos variables sumamente importantes: el clima y la demanda total del propio edificio; es una especie de oferta y demanda: entre mayor será la radiación solar, mayor será el consumo energético. En el renglón del consumo del agua el indicador es similar, sin embargo, la constante sería el consumo de la fuente energética como un valor de mitigación de satisfactores energéticos como la climatización (Código Técnico de Edificación, 2009).

El enfoque central de este trabajo es de cubrir las necesidades energéticas a través de la identificación diversos mecanismos de uso en PS, así como los cambios en el estilo de vida. Esto se confirma en un estudio efectuado en la ciudad de Zaragoza y Huelva, donde se plasmó la rentabilidad económica de una instalación fotovoltaica cuando está en conexión con la red. Esto, en un caso documentado de una vivienda unifamiliar, el ciclo virtuoso de combinación entre tecnología ahorradora y vivienda se logra; sin embargo, el escenario en la ciudad de Victoria-Gasteiz el resultado es adverso al tener el plazo de recuperación económica muy alto, por lo que no es rentable (Rodríguez, 2010).

El acceso a los PS es limitado, su alto costo de inversión inicial lo hace en algunas ocasiones inasequible, que genera una limitante bastante importante; los precios pueden rondar desde los 0.55 a los 0.65 dólares por watt. Generalmente

el sistema fotovoltaico está interconectado a la red con una generación constante de promedio diaria; en un escenario normal de vivienda tradicional la inversión inicial podría rondar los \$2,500 dólares. En muchos de los casos para México esta tecnología es inalcanzable (Sánchez, Martínez, De la luz, Ortega y Sánchez Pérez, 2017).

A manera de antecedente, quien descubrió el efecto fotovoltaico es Alexandre Becquerel en el año 1938. El proceso consiste en la transformación de la luz a electricidad a través de un semiconductor; para el año 1877, William Grylls Adams, profesor de filosofía, de origen inglés, apoyado de Richard Evans Day, lograron crear la primera célula fotovoltaica de selenio. Ambos hallazgos presentaron avances de gran relevancia para la comunidad energética; sin embargo, muy poco útiles, puesto que la cantidad de electricidad que se obtenía era mínima, pero el camino a la energía alternativa a través de un proceso fotovoltaico quedaba abierto para posteriores investigaciones y procesos de desarrollo e innovación tecnológica (Oviedo, Badii, Guillen y Lugo, 2015).

Para el año de 1953, Gerald Pearson, quien laboraba para los laboratorios Bell, concluyó el trabajo anterior al patentar la primera célula fotovoltaica. Los inicios se dieron con un silicio, pese a ello, con el selenio se tenía mejor eficiencia; algunos consideran este hallazgo como serendipia. El proyecto fue retomado por Daryl Chaplin y Calvin Fuller, quienes laboraban también para los laboratorios Bell; el proyecto fue perfeccionado y produjeron con ello una cantidad suficiente de energía para que el modelo fuera útil. De esta manera se fraguaba la primera celda fotovoltaica con una utilidad de proveeduría real de energía (Oviedo, Badii, Guillen y Lugo, 2015).

En la actualidad, Alemania, China y Estados Unidos ofrecen celdas solares con rendimientos aceptables de producción energética. Se trata de

quién puede mejorar y hacer más eficientes las celdas solares. Esta misma tendencia de innovación ha alcanzado a sistemas de iluminación, electrodomésticos pequeños, sistemas de bombeo, hasta centrales de producción de energía eléctrica. En esta afanosa carrera tiene como objetivo el liderazgo del desarrollo tecnológico, donde la versatilidad es una característica fundamental orientado al aporte social (Oviedo, Badii, Guillen y Lugo, 2015).

La definición de sostenibilidad tiene diferentes aristas y ha sido debatida constantemente, sin embargo, la aportación de Fernández (2011) ilustra el ámbito económico como la posibilidad de que las futuras generaciones sean más ricas, que tengan mayor renta per cápita y calidad de vida que las generaciones pasadas. El concepto pretende crear un valor con base en el correcto uso del capital y el adecuado cumplimiento de los intereses; de esta manera se busca cumplir con los esquemas de los de precios competitivos, servicios de calidad, empleo, salarios justos y dignos; y desde luego una economía de mercado, todo ello con una visión de prosperidad económica.

2.1. Influencia de elementos consumidores de energía en la incertidumbre

El consumo energético en las familias mexicanas puede variar entre una familia y otra, el comportamiento humano interviene de manera significativa en los consumos energéticos al interior de las casa-habitación, la cual se debe a varios factores, como la edad, el número de habitantes, las áreas habitacionales, entre otras, como las necesidades para satisfacer el bienestar y confort de los individuos. De modo que todos estos elementos intervienen en el consumo de energía eléctrica, sobrepasan la capacidad de instalación (PS), lo cual resulta difícil de medir. Lo anterior obliga mediante

encuestas a conocer e interpretar subjetivamente consumos, de acuerdo con sus actividades en forma de relaciones causales y conceptos con mapas cognitivos difusos (MCD), (Kosco, 1986, 1997; Carlsson, 1996; Peláez, Bowles, 1995), para obtener una aproximación al fenómeno del consumo energético excesivo. Las relaciones causales se manifiestan a través de intensidades representadas de manera lingüística con sentido positivo o negativo, según su efecto económico en las conexiones entre arcos y nodos. El vector concepto permite iniciar la simulación de forma iterativa y consecutiva hasta lograr la estabilidad, cuando el vector concepto anterior es igual al vector actual, $C_{t-1} = C_{t+1}$. Al igual que las redes neuronales la construcción relacional causal entre varios conceptos influyen de manera positiva o negativa sobre el resultado (Hiliera & Martínez, 2000).

El proceso iterativo se manifiesta con el producto entre el vector concepto y la matriz de asignación; los elementos de la matriz son conformados por pesos w_{ij} de asignación extraídos de la opinión de expertos, normalizada por el conceso de datos estadísticos (encuesta), a través de frecuencias relativas concluidas en frecuencias acumuladas complementarias, conocidas como “expertón” (Kaufmann, *et al.* 1994). Así, pues, el MCD permite ajustar las relaciones sobre el vector concepto previamente seleccionados y va modificándose en cada iteración, ofreciendo un equilibrio al paso de las iteraciones con todos los elementos que tienen interacción, y al final resultan estar modificando sus estados originales de relación. De este modo, la información de los elementos de w_{ij} (matriz de consenso), para p opiniones de la encuesta es:

$$w_{ij} = \bigcup_{p=1}^{p=q} w_{ij}^p = \max(w_{ij}^1, w_{ij}^2, \dots, w_{ij}^q). \quad (1)$$

La opinión vertida por cada uno de los encuestados es seleccionada por el mayor valor de pertenencia, correspondiente al renglón y columna en las matrices consensadas. Posteriormente, las opiniones de los encuestados conforman la matriz de transición, w , la cual será multiplicada por el vector concepto. Entonces, la función del producto entre el vector concepto en el estado t , C_t con la matriz de pesos, w provoca la transferencia del nuevo vector concepto en estado $t+1$, C_{t+1} :

$$C_{t+1} = f(C_t, w). \quad (2)$$

La función f se ajusta a saltos unitarios, es decir, adquiere valores iguales a cero, si el argumento es menor de 0; o bien, toma valores de uno, si el argumento es mayor o igual a cero. Así mismo, cabe señalar que, si se contempla la evaluación del concepto a lo largo del tiempo en iteraciones sucesivas, se recurre a la función de identidad. La función de identidad permite visualizar y analizar las oscilaciones y simular las funciones, una vez logrado la estabilidad o equilibrio.

3. METODOLOGÍA

De acuerdo con Pomeranz (2011) indica que los procesos tecnológicos deben de ser medidos, en el caso de las celdas fotovoltaicas el método más apropiado es la diferencia simple; es decir, la comparación del avance a priori y a posteriori, de esta forma se mide la brecha y el impacto entre uno y otro. El análisis es realizado en Victoria Tamaulipas, a través de los registros históricos proporcionados por los usuarios sobre el consumo eléctrico en el antes y después de los PS. La propuesta está estructurada en cuatro pasos:

Es el **análisis de consumos energéticos** de los usuarios a través de correlaciones de ahorro promedios contra la capacidad instalada para visualizar los pronósticos.

Se presentan **series de tiempos** del antes y después de la tecnología como el comportamiento del fenómeno real de la región; y desde la perspectiva financiera se analiza la Tasa Interna de Retorno (TIR) para evaluar rentabilidad de la tecnología en el corto plazo.

El **análisis factorial confirmatorio** de aquellas variables que están relacionadas con el fenómeno desde la perspectiva cualitativa, como elementos base para conocer las variables latentes del caso de estudio.

El **proceso difuso** es integrado por relación de factores de comportamiento social en la búsqueda del confort en función a los consumos energéticos excesivos y la influencia subjetividad del confort que obligue a la insostenibilidad de forma temporal o permanente. La integración de impactos colaterales con afectación en el ahorro en el uso PS es a través de la matriz de marco lógico para la explicación de los factores que intervienen en el fenómeno. La integración de relaciones de factores que interviene el uso PS para obtener confort y bienestar en el contexto comportamiento económico, Figura 1.

Las corrientes de sostenibilidad son diversas, pero es claro que puede registrarse un “desarrollo local sostenible” teniendo presente el uso racional de la energía (caso: ciudad Victoria) y sin un sistema de gestión sobre las políticas energéticas en México; y como manifiesta Moreno (2007) y que se da en Friburgo, Alemania, la desventaja es que en México no existen regulaciones ni políticas de medición para el desarrollo de estas tecnologías y el impacto en la población.

4. RESULTADOS

La base de datos del objeto de estudio comprende 57 usuarios de tecnología en ciudad Victoria, Tamaulipas; cada usuario presenta

comportamientos de consumo energético diferentes (Ramos, 2019).

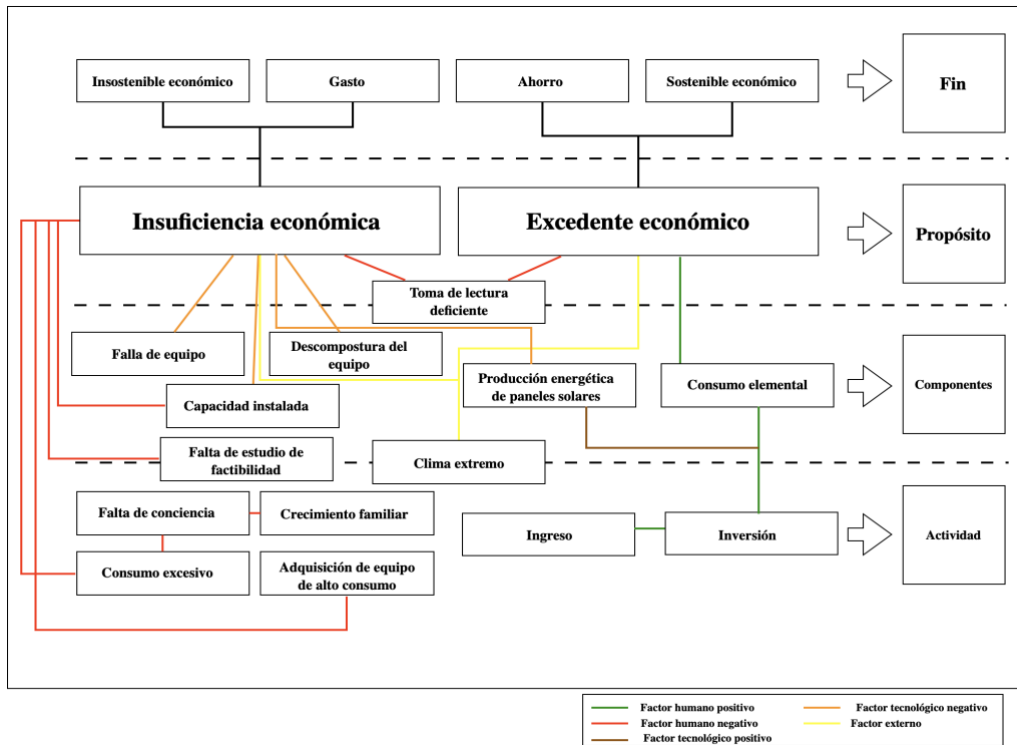
4.1. *Análisis de consumos energéticos*

De los registros de consumo de los clientes se obtiene la relación lineal entre los ahorros en pesos (\$); están sujetos a la capacidad (por cada kilowatt producido se tienen 4 paneles solares instalados). De modo que el promedio de ahorro contra kilowatt producido se obtiene de la ecuación (3) de la curva de regresión ajustada a estos promedios de ahorro (\$) por capacidad instalada (Kw) entre los usuarios de la muestra analizada; así, pues, los coeficientes de correlación múltiple son de 0.78, el coeficiente de determinación de 0.61 y el coeficiente de determinación ajustado de 0.59. La curva de regresión de ajuste (en Excel) es:

$$\text{Ahorro (\$)} = 5718.99 (\text{Capacidad instalada, Kw}) - 12614.30. \tag{3}$$

Con la ecuación anterior se demuestra que sin uso de PS se tienen pérdidas promedio de 12614.30 en pesos (\$) promedio. La generalización de consumo energético para la zona de Victoria, Tamaulipas, conduce a que para garantizar un ahorro significativo se requiere promedio mayor a 2.5 Kw de capacidad instalada. Por otro lado, si la capacidad instalada se encuentra en el rango de 1 a 2 Kw, se compromete en buena medida al ahorro significativo. El ahorro en kilowatts de los usuarios entre el antes y después de la tecnología (PS) se confirma el ahorro significativo en la mayor parte de los usuarios. Por el contrario, se puede apreciar que existen distintos usuarios que pueden rebasar la capacidad instalada y sus rendimientos de ahorro resultan negativos; los consumidores más significativos en este sentido son: 2, 10, 20, 26, 34, 39, 57 (véase gráfico 1)

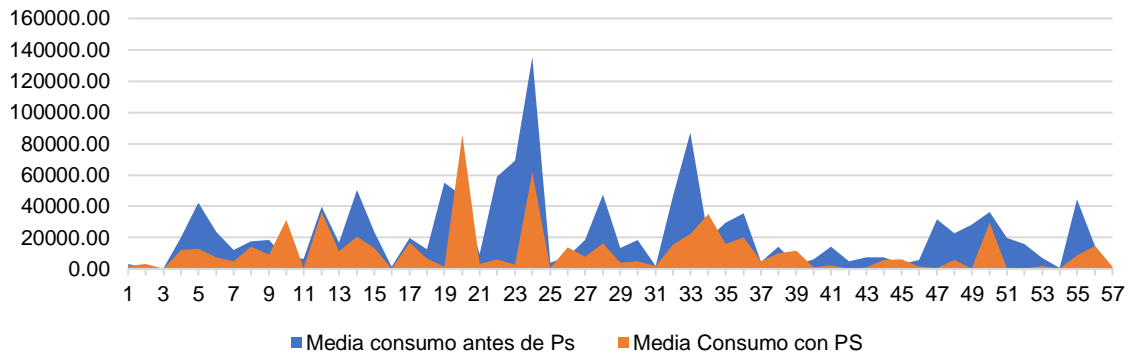
FIGURA 1. MATRIZ DEL MARCO LÓGICO DEL USO DE PANELES SOLARES Y SU CONTEXTO SOCIAL Y ECONÓMICO



Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

La sostenibilidad energética con paneles solares y su relación económico-social en la incertidumbre para el desarrollo regional de México

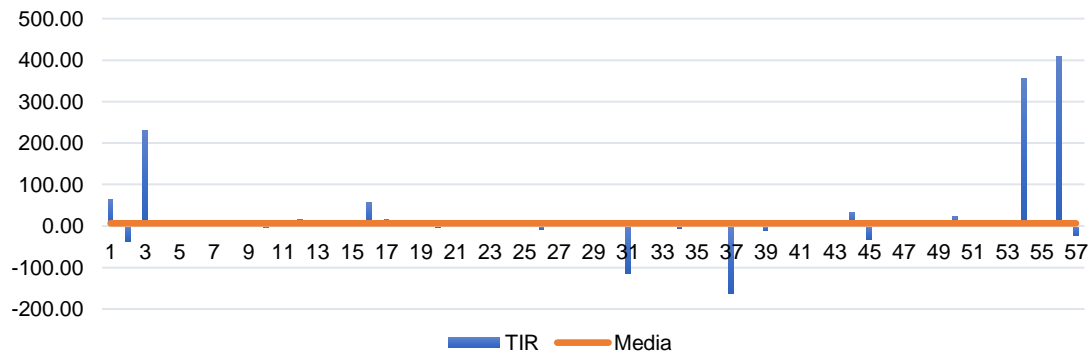
GRÁFICO 1. AHORRO ENERGÉTICO DE LOS USUARIOS.



Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

En la población de usuarios por cada panel instalado la inversión es de \$161 000.00. En busca de la sostenibilidad económica la tasa interna de retorno en el equipo (Mete 2014), donde el promedio del TIR es de 6.61 años (véase gráfico 2).

GRÁFICO 2. TASA INTERNA DE RETORNO.



Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

4.2. Comportamiento del estudio a través de Serie de tiempo

En el tema de análisis de la inserción de paneles solares en la vivienda, con el objetivo de aligerar la carga económica, se profundizó a través de periodos de tiempo. Los que se clasifican de acuerdo con el número de usuarios, de los que se cuenta información del antes y después de la tecnología y sus consumos de energía por cliente; es decir, que en los gráficos siguientes el tamaño de usuarios es

variado. De modo que el comportamiento por clasificación manifiesta un proceso estocástico aleatorio entre el consumo de Kw y el ahorro significativo. En los dos primeros meses no existe un ahorro significativo entre el antes y después de los PS (véase gráfico 3), no obstante, en los cuatro meses siguientes existe una marcada diferencia entre el antes y después; mientras que en los meses siguientes estas diferencias se vuelven más suaves (véase gráficos 5, 6, 7 y 8).

GRÁFICO 3. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 2 MESES.

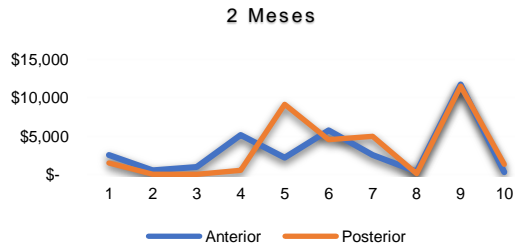


GRÁFICO 4. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 4 MESES.

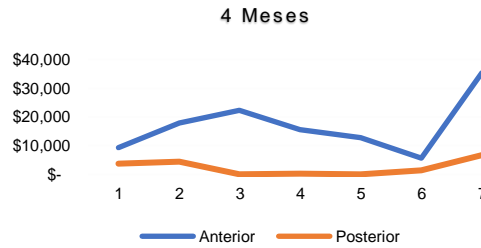


GRÁFICO 5. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 6 MESES.

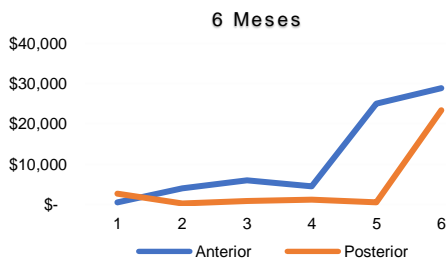


GRÁFICO 6. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 8 MESES.

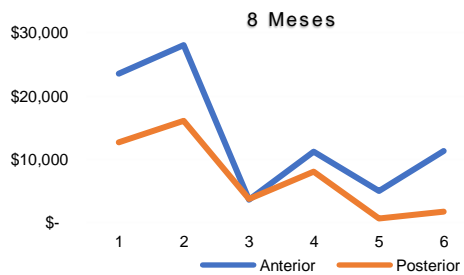


GRÁFICO 7. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 10 MESES.

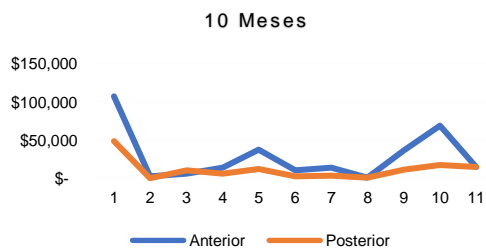
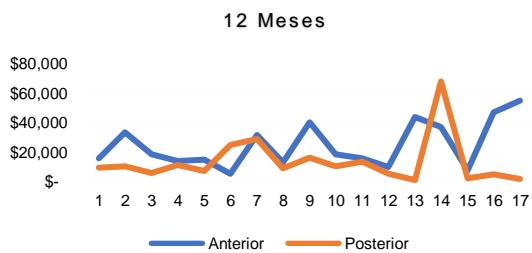


GRÁFICO 8. ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO DE 12 MESES.



4.3. Relación de variables

De los registros de consumo energético, casi el 25% de los clientes no tienen un ahorro significativo, con fuerte carga subjetiva, donde interviene el factor humano. Por consiguiente, se recurre a la encuesta realizada (cualitativa), donde se conocen los ítems que tienen correlación con los factores relevantes, de modo que se aplica el análisis de factorial

confirmatorio en IBM SPSS Statistics 22, y la fiabilidad del instrumento a través de la prueba de esfericidad KMO y Bartlett (0.763), aproximación Chi-cuadrada de 672.78 con 21 grados de libertad y significancia de 0.0. Las variables que afectan el ahorro e insostenibilidad con la adquisición de tecnología se justifican en la sumatoria de rotación; el cuestionario de la varianza

acumulada con 6 componentes es de 99.15 por ciento. En este sentido, se tienen seis elementos en la matriz de componentes rotados para satisfacer sus necesidades en la *prioridad por la tecnología* con 0.979, la *adquisición de PS* con 0.916, la *satisfacción con el equipo* con 0.765 para el primer componente de la varianza; seguido por el *confort* con 0.96, la *mejora en la calidad de vida* con 0.901 para segundo componente; en el *ahorro en mente* de las personas por adquirir el equipo es de 0.803 para el tercer componente; la satisfacción con PS es de 0.607 en el cuarto componente; nuevamente la mejora en calidad de vida es de 0.432 para el quinto componente. Finalmente, el confort muy débil presenta el 0.209 para sexto componente. Así, pues, esta participación de estos componentes fortalece la relación con los *Usuario-Necesidad de ahorro y Bienestar-Inversión en tecnología* para su análisis difuso.

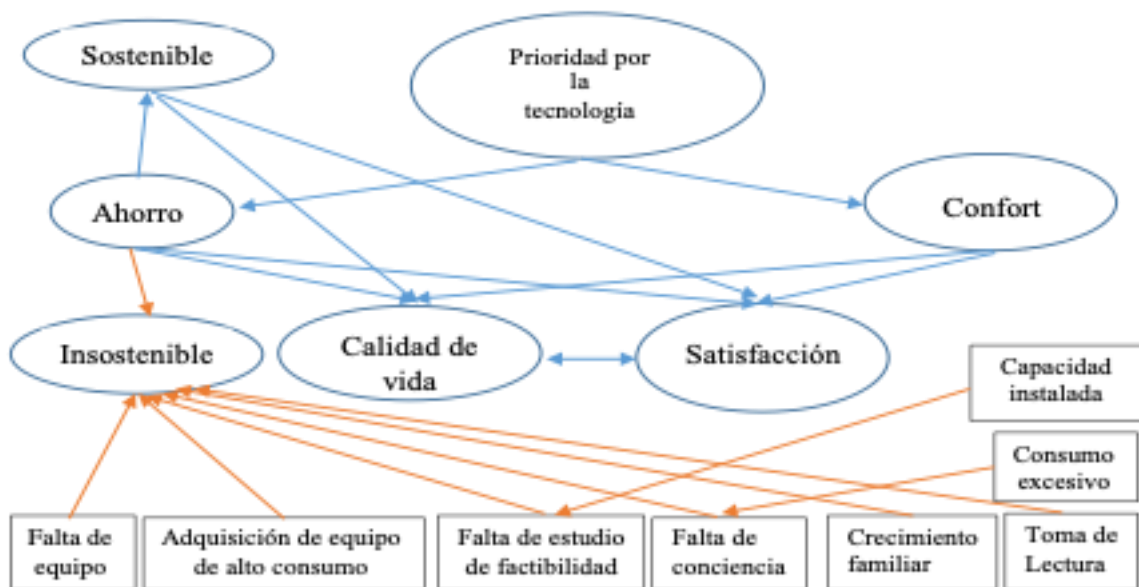
4.4. Análisis difuso

La contextualización del análisis lineal de los promedios de ahorro vs kilowatt producido

en la ecuación (3), donde se destaca un marcado ahorro promedio significativo cuando se tiene más de 2.5 Kw, o lo equivalente a 10 paneles solares instalados. El fenómeno en el contexto real se puede afirmar que existe un comportamiento aleatorio entre el antes y después de los PS en función al ahorro y la capacidad instalada como se ve en las series de los gráficos del 3 al 6. Esta incertidumbre sobre el ahorro queda sujeto, sin lugar a dudas, al comportamiento humano y otros factores que se mencionarán más adelante.

Entre los factores más importantes en los que se presume no existe ahorro, se toman de la encuesta y las consecuentes afectaciones laterales al fenómeno (véase figura 2). Adicionado con el reforzamiento, a través de la consulta a expertos y proveedores de paneles solares y concretada en la valuación de esperanza matemática (fuzzy: expertón), en el intervalo de [0, 1] para cada factor (Kaufmann; Gil; Terceño, 1994), 3ª columna del cuadro 1.

FIGURA 2. COMPONENTES Y RELACIÓN DE VARIABLES.



Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

CUADRO 1. LA VALUACIÓN DE EXPERTOS EN LOS ELEMENTOS DE IMPACTOS COLATERALES Y ESPECIFICACIONES.

Forma de impacto colateral	Determinantes del impacto	Valuación: $E[0, 1]$
Falla en equipo (FE)	Los paneles solares presentan una avería que no permite la producción establecida (en pico o no) la producción debe de estar acorde a la degradación y desgaste del equipo.	[0.3, 0.6]
Adquisición de equipo de alto consumo (AEAC)	Se trata de cualquier compra, renta o permuta de cualquier equipo de alto impacto energético de consumo constante como aire acondicionado, calefacción, refrigerador u otro de este tipo.	[0.6, 0.8]
Falta de estudio de factibilidad (FEF)	Antes de instalar los paneles solares, la empresa debe de realizar un costeo o estudio de factibilidad donde revise todos los aparatos existentes y determine cuáles son ahorradores y cuáles ya cumplieron su ciclo con el propósito de reemplazarlos; no pueden existir aparatos de consumo energético alto antiguos y paneles solares ahorradores, no se cumple la función. La recomendación es equipo ahorrador en todos los aparatos.	[0.6, 0.8]
Falta de conciencia (FC)	Una vez instalados los paneles solares, algunas de las familias continúan con prácticas recurrentes de “no” eficiencia energética y ahorro. Se recomienda un manual de buenas prácticas de ahorro de energía.	[0.7, 0.9]
Crecimiento familiar (CF)	La planeación familiar es importante para el presupuesto; si no se tiene una visión de planeación el consumo energético, incrementa.	[0.65, 0.8]
Capacidad instalada (CI)	El usuario y el proveedor del producto deben de asegurarse que la capacidad instalada sea la ideal para el cliente y la satisfacción de sus necesidades; es importante tener en cuenta la obsolescencia de los equipos y la “no” compatibilidad de los equipos al tratar de ampliar la capacidad instalada.	[0.7, 0.9]
Toma de lectura deficiente (TLD)	La Comisión Federal de Electricidad comúnmente toma de forma errónea la lectura del consumo energético, de esta manera cobra importancia el control y la medición de la producción y el consumo.	[0.2, 0.35]
Descompostura del equipo (DE)	Falla general o avería mayor del equipo, es cuando no existe producción, puede generarse por daños humanos o climatológicos.	[0.3, 0.4]
Clima extremo (CE)	Al incrementar la temperatura en el verano se encienden los climas con el propósito de alcanzar el confort, lo mismo ocurre en la época de invierno. El factor clima se traduce en un gasto oneroso.	[0.4]
Consumo excesivo (CEX)	Uso indiscriminado de la energía eléctrica sin ninguna restricción. Consumo energético constante de aparatos chico, medianos y de alto consumo.	[0.7, 0.9]

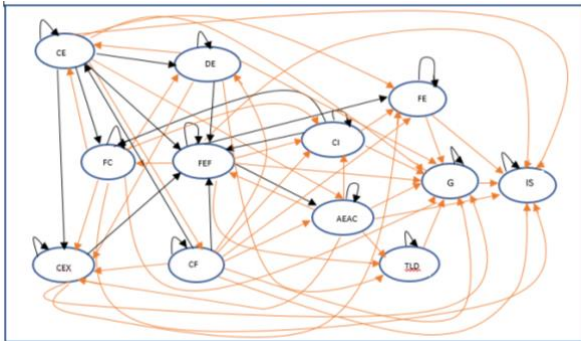
Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

El análisis multifactorial involucrado con MCD para justificar la insostenibilidad de fenómeno sobre aquellos que clientes que no pudieron ahorrar con PS (25%), y considerando que el vector concepto iniciador es clima extremo (CE), puesto que, en Victoria, Tamaulipas, el rango de temperaturas máxima promedio se encuentra entre 30°C y 35°C de marzo a octubre (INEGI, 2017). El producto R entre el vector concepto iniciador, C_i que multiplica a la matriz w y generando un nuevo vector C_{i+1} . Este proceso iterativo concluye cuando el vector concepto penúltimo sea igual al último en escala binaria ($C_{n-1} = C_n$).

Las relaciones entre las variables del cuadro 1 tienen como resultante de *insostenibilidad* (IS) representada por resultados negativos con comportamiento cíclico a partir de la iteración 6 y 7 en adelante. Por otra parte, se destacan por su magnitud positiva de *falta de estudio de factibilidad* (FEF) *sostenida* entre 0.7 y 1.7; la *falta de conciencia* (FC) al principio es alta y luego va suavizándose a valores entre 0.2 y 0.6; la *descompostura de equipo* (DE) tiene valores positivos y negativos en los primeros seis iteraciones y luego crece cercano a 3 y baja a valores entre 0 y 0.3 (véase figura 3):

La sostenibilidad energética con paneles solares y su relación económico-social en la incertidumbre para el desarrollo regional de México

FIGURA 3. MAPA COGNITIVO Y SU CORRESPONDIENTE MATRIZ DE IMPACTOS COLATERALES CON AFECTACIÓN EN EL AHORRO DE LOS PANELES SOLARES



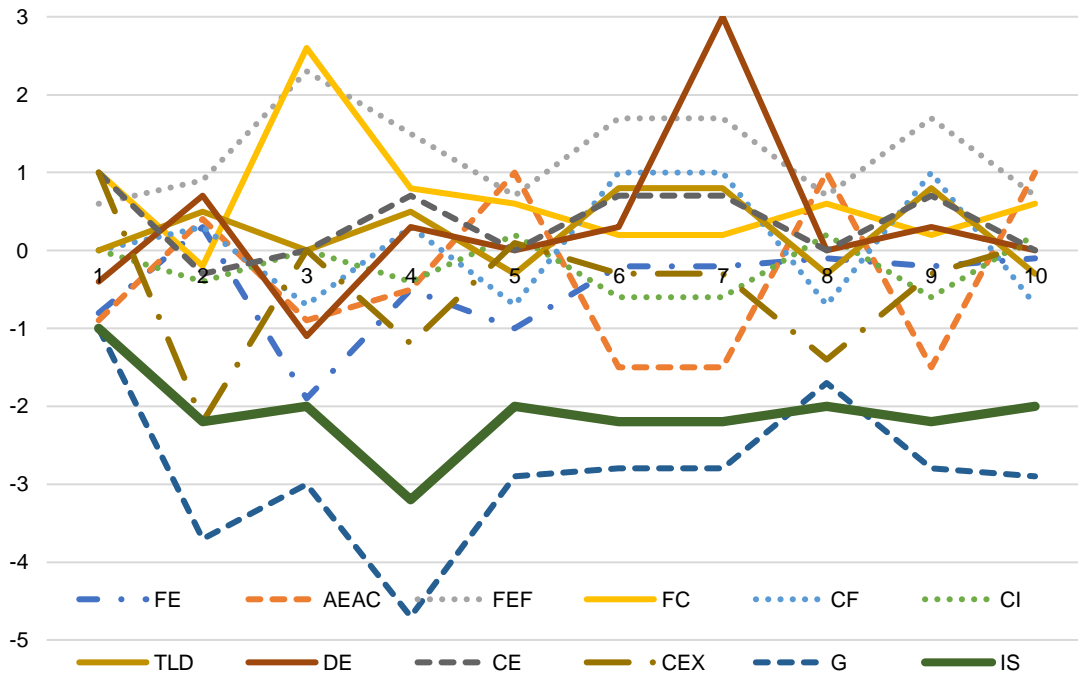
	FE	AEAC	FEF	FC	CF	CI	TLD	DE	CE	CEX	G	IS
FE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1
AEAC	0	1	-1	0	0	-0.8	-0.3	0	0	-0.9	-0.9	-1
FEF	0.8	0.7	1	0	0	-1	-0.1	0	0	0	-1	-1
FC	0	0	0	1	0	-1	0	-0.7	-1	-1	-1	-1
CF	-0.4	-0.6	0.7	-0.8	1	-0.6	0	-0.3	0.5	-0.8	-0.6	-0.2
CI	-0.3	0	0.8	0.6	-0.7	1	0	0	0	0	-1	0
TLD	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.4	0
DE	0	0	0.4	0	0	0	-0.2	1	-0.8	-0.5	-0.8	0
CE	-0.8	-0.9	0.6	1	0	0	0	-0.4	1	1	-1	-1
CEX	-0.8	0	0.9	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
IS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

Con todos los elementos involucrados en la matriz de impactos colaterales y multiplicado con los vectores concepto, resulta negativa la

IS en valores que oscilan entre: -2.2 y -2.0 , después de la iteración 5 en adelante para el 25% de los usuarios de PS (Vease figura 4).

FIGURA 4. LA INSOSTENIBILIDAD QUE REPRESENTA EL 25% DE LOS CLIENTES CON PS.



Fuente: Elaboración propia con base en resultados.

5. CONCLUSIONES

La tendencia de implementación de PS es creciente en el mercado, no obstante, su elevado costo de inversión inicial. Los usuarios que fueron analizados residen en una zona climática expuesta a temperaturas extremas

con mucha demanda energética y con el afán de explorar la sensibilidad de los usuarios sobre la necesidad de PS para mejorar la calidad de vida en sus viviendas optaron por la inserción de este tipo de tecnología.

Los números que los paneles solares arrojan una mejoría parcial. Los usuarios en promedio podrán recuperar su inversión en 6.61 años; el promedio de ahorro representado en dinero fue de \$9,503.46 (\$14,093.38 según la ecuación (3) de regresión). Al comparar el periodo anterior con el posterior a la inserción de los paneles solares, el ahorro en kilowatts es de 11,984.18, lo que representa un ahorro económico total del 20.40% en divisas.

En el aspecto técnico, el promedio de paneles solares instalados es de 18.71 celdas, lo que equivale a 4.67 kilowatts de producción en la capacidad instalada. La media de consumo económico reflejado en el recibo de la Comisión Federal de Electricidad era de \$23,032.28 pesos y con la inserción de los paneles solares disminuyó a \$11,048.10 pesos, la inversión promedio de los usuarios fue de \$753,451.75 pesos.

El desarrollo del equipo o adaptación se midió a través de las series de tiempo, a los dos meses no existe un claro impacto en la generación de ahorro o excedente; en cambio, a los cuatro meses la brecha se amplía habiendo un evidente ahorro a través de los paneles solares; a los 6 meses esa brecha de ahorro se empieza a cerrar de forma paulatina. El comportamiento es similar a los 8, 10 y 12 meses, es aquí donde los factores intangibles se descubrieron a través del mapa cognitivo difuso. Entre las variables destacadas por el análisis factorial confirmatorio y las relaciones difusas de la encuesta con las familias (cuadro 1), y el análisis de mapas cognitivos difusos confirman la insostenibilidad económica para aquellas viviendas familiares con consumos energéticos altos y descontrolados.

Contribuciones de los autores: Jesús Ricardo Ramos Sánchez elaboró el proyecto maestro de la investigación, así como el trabajo de campo y proyecciones de los análisis factoriales. Rubén Chávez Rivera proyectó el análisis de la lógica difusa y colaboró con teorías. Jorge Víctor Alcaraz Vera estableció el

orden teórico, la redacción del primer borrador y correcciones del documento así como validación de las proyecciones.

Financiación: "Esta investigación no recibió financiación externa"

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos obtenidos para la investigación se componen en dos vertientes, el primero de ellos pertenece a un trabajo de campo donde se recopiló información con tenedores de paneles solares en la fase exploratoria y en la segunda fase se recopiló información a través de la comisión federal de electricidad para cumplir con el apartado confirmatorio.

Agradecimientos: Sin agradecimientos.

Conflictos de intereses: "Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses"

6. REFERENCIAS

- Arias, A. (2009). Casa Rural Sostenible. Proyecto final de Carrera de la especialización en electricidad Barcelona: Universidad de Cataluña.
- Banco de México (s.f.). ¿Cómo podemos saber si un país se encuentra económicamente bien? Midiendo su actividad y cómo se encuentra su población en general. Recuperado de: <http://educa.banxico.org.mx/economia/crecimiento-economia.html>
- Bitar, S, M. (2017). Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía en el sector industrial de Colombia. Bogotá: Colegio de Estudios Superiores de Administración.
- Canales, R. M., Zeraoui, Z. y Valente, A. (2015). Tamaulipas, Visión 2025. Un análisis prospectivo. La visión Tamaulipas 2025. Tamaulipas: El Colegio de Tamaulipas.
- Carlsson C. (1996). *Knowledge formation in strategic management*. HICSS-27. Proceedings, IEEE. Los Alamitos: Computer Society Press.
- Chávez, M. (2012). Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional "San Antonio" de Riobamba". Tesis (Ingeniería mecánica). Escuela superior politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Chávez, R., Ortiz, R., & Alcaraz, V. (2017). Optimización de estrategia para la formalización de inocuidad del agua (fuzzy) en cultivos rubus spp en los Reyes, Michoacán. *Revista del claustro de profesores de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la Universidad*

La sostenibilidad energética con paneles solares y su relación económico-social en la incertidumbre para el desarrollo regional de México

- Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciencias Empresariales*, Enero-Junio 2017, No. 29.
- Código Técnico de Edificación (2009). Orden VIV/989/2009. BOE 23/09/2009. Ahorro Energía DB- HE. España: Editado por el Ministerio de la Vivienda.
- Collado, E. (2009). Energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos. LUGAR: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales / Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Díaz, R. (2015). Desarrollo sustentable. Una oportunidad para la vida. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Elías, X., & Bordas, S. (2012) Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Fernández, R. (2011). La dimensión económica del desarrollo sostenible. España: Editorial Club Universitario.
- Flavin, Ch. (2008). Construir una economía baja en carbono. La situación del mundo 2008. Informe Anual del Wordwatch Institute, LUGAR: Edit CIP-Icaria.
- Hiliera J. R. & Martínez V. (2000). Redes Neuronales Artificiales Fundamentos modelos y aplicaciones RA-MA. Madrid: Editorial Madrid.
- INEGI, (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Tamaulipas 2017. Recuperado de: www.inegi.gob.mx.
- Kaufmann A; Gil A; Terceño G. (1994). Matemáticas para la economía y la gestión de empresas, (1ª. Edición), Barcelona: Foro Científico.
- Kosko H. & B. (1986). Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal on Man Machine Studies*, 24(1), 65-75.
- Kosko H. & B. (1997). Fuzzy Engineering. Ed. Prentice-Hall New Jersey.
- Leff, E. (2002). Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. México: Siglo XXI Editores / PNUMA.
- Mahmoud, M., & Ibrik, I. (2006). Techno-economic feasibility of energy supply of remote villages in Palestine by PV-systems, diesel generators and electric grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (10), 128-138.
- Méndez, J. S. (2012). Problemas económicos de México y sustentabilidad. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Mete, M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión, Fides et ratios, 7.
- Moreno, S. (2007). El debate sobre el desarrollo sustentable o sostenible y las experiencias internacionales de desarrollo urbano sustentable. Centro de Estudios Sociales y de opinión pública de la Cámara de Diputados LX Legislatura, documento de trabajo número 29. Ciudad de México, Distrito Federal.
- Nakicenovic, N., Grübler, A., & McDonald, A. (1998). Global energy perspectives. London: International Institute for Applied Systems Analysis in cooperation with World Energy Council.
- Ortegon E., J. F. Pacheco, y Prieto A. (2005). Metodología del Marco Lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Series manuales No. 42. Santiago: ILPES-CEPAL.
- Oviedo, J., Badii, M., Guillen, A., & Lugo, O. (2015). Historia y uso de energías renovables. *International Journal of Good Conscience*, 1 (10), 1-21.
- Pomeranz, D. (2011). Métodos de evaluación. Boston: *Harvard Business School*, 1-12
- Ramos, J. R. (2019). Modelo estructural de desarrollo económico sostenible para la vivienda: caso Victoria, Tamaulipas, (Tesis doctoral inédita) ININEE, UMSNH, México.
- Rodríguez, A. (2010). Estudio de factibilidad para el abastecimiento energético de viviendas unifamiliares a partir de energía solar. Presentado en el 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XIV Congreso de Ingeniería de Organización. España: Donostia-San Sebastián.
- Sánchez, A., Martínez, D., De la Luz, R., Ortega, J., y Sánchez Pérez, P. (2017). Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial. Guía para el dimensionamiento y diseño de sistema fotovoltaicos. México: Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sheahan, J. (1987). Modelos de desarrollo en América Latina. Pobreza, represión y estrategia económica. México: Editorial Patria.