



13 years ESJ
Special edition

Generación de Valor Sustentable para Modelos de Negocios de Mipymes del Sector Aeroespacial de México

Javier Maldonado Romo

Instituto de Materiales Avanzados para la Manufactura Sostenible
Tecnológico de Monterrey, Mexico

Hugo Javier Buenrostro Aguilar

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México

Lisette Farah Simón

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México

Francisco Antonio Alatorre Parra

Facultad de Contaduría y Administración y
Facultad de ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n37p120](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n37p120)

Submitted: 10 October 2022
Accepted: 15 December 2022
Published: 03 February 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Maldonado Romo J., Farah Simón L., Buenrostro Aguilar H.J. & Alatorre Parra F.A. (2023). *Generación de Valor Sustentable para Modelos de Negocios de Mipymes del Sector Aeroespacial de México*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (37), 120.
<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n37p120>

Resumen

En comparación con otros rubros de la economía, el desarrollo de la industria aeroespacial en México es prácticamente reciente, de ahí que su estudio y análisis es muy necesario para comprobar la evolución que ha tenido, así como las propuestas que siguen surgiendo para aprovechar el dinamismo y crecimiento que ha presentado desde inicios del siglo XXI. Por otro lado, las condiciones económicas en México han impulsado la creación de micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) en todas las áreas productivas, una de las cuales es la industria aeroespacial. Debido a ello, ha sido imperativo para el gobierno mexicano establecer la normatividad necesaria para la conformación, regulación y perfeccionamiento de las estrategias comerciales

en materia aeroespacial, con el fin de asegurar su funcionamiento conforme lo exigen las normas internacionales. A través de un cuadro de generador de valor sustentable, se emplea un análisis para establecer un plan de acción con base en los lineamientos nacionales e internacional en relación con la situación de las mipymes mexicanas en el sector aeroespacial. Este trabajo describe un enfoque para que las mipymes mexicanas de este sector económico tengan una mayor visión de las características sobre estrategias sustentables para una mayor competitividad y generar valor sustentable. De esta manera, se establece una ponderación basada en TOPSIS Fuzzy para establecer las estrategias sustentables adecuadas para alcanzar los objetivos esperados en los lineamientos de la industria aeroespacial en México.

Palabras claves: Mipymes, Industria aeroespacial, Modelos de negocios, Estrategias sustentables

Sustainable Value Generation for MSME Business Models in the Aerospace Sector in Mexico

Javier Maldonado Romo

Instituto de Materiales Avanzados para la Manufactura Sostenible
Tecnológico de Monterrey, Mexico

Hugo Javier Buenrostro Aguilar

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México

Lisette Farah Simón

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México

Francisco Antonio Alatorre Parra

Facultad de Contaduría y Administración y
Facultad de ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México

Abstract

Compared to other areas of the economy, the development of the aerospace industry in Mexico is recent, hence its study and analysis is very necessary to verify the evolution it has had, as well as the proposals that continue to emerge to take advantage of the dynamism and growth that it has presented since the beginning of the 21st century. On the other hand, economic conditions in Mexico have promoted the creation of micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs) in all productive areas, one of which is the aerospace industry, which is why it has been imperative for the Mexican

government to establish regulations necessary for the conformation, regulation, and improvement of commercial strategies in aerospace, in order to ensure its operation as required by international standards. Through a sustainable value generator chart, an analysis is used to establish an action plan based on national and international guidelines concerning the situation of Mexican MSMEs in the aerospace sector. This work describes an approach for Mexican MSMEs in this economic sector to have a more excellent vision of the characteristics of sustainable strategies for greater competitiveness. In this way, a weighting based on TOPSIS Fuzzy is established to establish the appropriate sustainable strategies to achieve the objectives expected in the guidelines of the aerospace industry in Mexico.

Keywords: MSME, Aerospace industry, Business models, Sustainable strategies

Introducción

El desarrollo de la industria aeroespacial en México comenzó en la década de 1940 con el interés por la cohetaría. En 1959 se construyeron dos cohetes de propelente líquido, uno de los cuales llegó hasta la estratósfera. Asimismo, en 1962 se creó, por decreto presidencial, la Comisión Nacional del Espacio Exterior, misma que desapareció en 1977. Después de diez años se estableció el Instituto Mexicano de Comunicaciones que estuvo vigente durante nueve años (Rivera Parga, 2017). Por lo anterior, durante este periodo, fueron pocos los avances en la industria aeroespacial en México, debido a la poca estabilidad y seguimiento de las instituciones reguladoras.

Es a partir de 2005 que esta industria comenzó a crecer en México con la llegada de empresas interesadas en este sector (GOB-MX, 2016). En 2010 se instauró la Agencia Espacial Mexicana (AEM), como un organismo público descentralizado dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con personalidad jurídica y patrimonio propios, asimismo y dada la especificidad de su campo de acción, contarían con autonomía técnica y de gestión para el cumplimiento de sus objetivos (DOF, 2011)

La AEM está enfocada en (SCT, 2020):

... construir capacidades nacionales en rubros estratégicos y tareas prioritarias del gobierno, [entre los que se encuentran], la protección de la población ante desastres y fenómenos naturales, apoyar la productividad agrícola, cuidar del medio ambiente, monitorear el cambio climático, además de acciones de seguridad y vigilancia.

Según sus análisis, México empezó a posicionarse como uno de los principales proveedores de componentes aeroespaciales en el mercado

estadounidense y uno de los países con mayor Inversión Extranjera Directa en la industria aeroespacial.

En 2012, la AEM y ProMéxico realizaron un esfuerzo conjunto para articular las actividades de fomento y promoción del desarrollo de la industria espacial mexicana, dando como resultado el *Plan de Órbita: mapa de ruta del sector espacial mexicano*, que engloba las propuestas de la industria, la academia y el gobierno para el desarrollo del sector espacial mexicano; con el mismo objetivo, en 2016 se creó el Plan de Órbita 2.0, que establecía que eran más de 300 empresas relacionadas con el sector aeroespacial, de éstas el 84.1% eran micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) y, a su vez, 79% de ellas eran de manufactura, mientras que las restantes ofrecían servicios de diseño e ingeniería y mantenimiento, reparación y operación (Secretaría de Economía, 2016).

Con el incremento de las actividades de la industria aeroespacial y sus respectivos beneficios económicos, actualmente existen requisitos y características que sólo las grandes empresas pueden cumplir, tales como estrictos requerimientos de calidad, personal capacitado, equipo especializado, investigación de alto impacto, generación de productos duraderos e inversiones de al menos un millón de dólares —según la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA) en 2013— (GOB-MX, 2016). Asimismo, se debe considerar certificaciones para operar en esta industria, como la AS9100, además, otras certificaciones que destacan la calidad, el medio ambiente, la gestión de la energía, la seguridad y el riesgo (SAE, 2004).

Para el presente trabajo, es necesario resaltar que las empresas son generadoras de aportes a la sociedad, la distribución de la riqueza, así como del uso de la tecnología para la transformación de materias primas en productos o servicios, de ahí que resulta relevante señalar la posición que ocupan las micros, pequeñas y medianas empresas (mipymes) que se encuentran inmersas en la industria aeroespacial. Por tal motivo, la complejidad del mundo actual exige que las organizaciones consideren objetivos, estrategias y acciones encaminados hacia la sustentabilidad.

De acuerdo con Gómez (2013), la sustentabilidad en las organizaciones requiere que se integren aspectos sociales y ambientales en los objetivos principales de la empresa, sin que ello genere una afectación del aspecto económico. Bajo dicho contexto, se propone un análisis para la generación de un plan de acción para las mipymes manufactureras mexicanas en la industria, basado en el marco de generación de valor sustentable, con la finalidad de identificar estrategias sustentables que se puedan integrar en los modelos de negocios de las mipymes de este sector. Además, se describe la situación actual de las mipymes de la industria aeroespacial mexicana, así como los lineamientos nacionales e internacionales que guían a las entidades

económicas que la conforman en la generación de valor.

Para este fin, se identifican los índices representativos de un modelo de economía circular y estrategias sustentables y, por último, mediante la herramienta FUZZY TOPSIS (Wang, 2004 y Rihab 2017), se construye un plan de acción a partir de tres enfoques de generación de productos amigables con el ambiente que son Eco-design (Yongming, 2009), Prospectiva sustentable (Thonemann, 2020) y Eco-QFD (Tsai-Chi, 2005). De esta manera, se busca ofrecer alternativas viables para que las mipymes sean capaces de diseñar e implementar estrategias adecuadas para incursionar o incrementar su competitividad en un sector que se considera que puede tener gran potencial para el desarrollo de la sociedad mexicana.

Revisión de literatura

En este apartado se analiza la situación actual de las mipymes de la industria aeroespacial en México, a través de la revisión de la literatura que da origen a los lineamientos y requisitos que los programas gubernamentales especifican en materia de sustentabilidad, considerando que la sustentabilidad es el eje central para el desarrollo de la industria aeroespacial.

En la Tabla 1, se presenta el análisis fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) que describe la situación de las mipymes de la industria aeroespacial en México, el cual se expone con base en el estudio realizado por ProMéxico, mismo que se describe en el Plan de órbita 2.0 publicado en 2017 (ProMéxico, 2017; Secretaría de Economía, 2012).

Tabla 1. Análisis FODA de las mipymes en la industria aeroespacial mexicana

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Mercado internacional competitivo Conocimiento del mercado aeronáutico Clústeres regionales Base industrial manufacturera consolidada Localización geográfica Capital humano joven, capaz, relativamente barato Red de tratados de libre comercio.	Nuevos modelos de negocios Rápido crecimiento Incurción en productos y servicios aeroespaciales Consolidación de la industria Tecnologías accesibles Reemplazo de la flota aérea Creciente demanda proveniente de mercados emergentes Especialización como país en componentes, sistemas, servicios dentro de la cadena de valor global	Capital y recursos limitados Capital Humano poco especializado Dependencia tecnológica Cadenas de suministro poco sincronizadas Aportación al valor agregado limitado Contratación subordinada Brecha tecnológica Bajo presupuesto gubernamental Infraestructuras deficientes Sistema tributario que inhibe la inversión Reglas poco claras para conseguir fondos para desarrollo tecnológico Bajos niveles de certificación en empresas de menor tamaño	Competencia internacional voraz Dependencia tecnológica, necesidad de desarrollar capacidades tecnológicas propias Modelo de negocios inadecuados Inestabilidad económica Inseguridad Fuga de talento Rigurosos controles de calidad Mayor brecha tecnológica El apoyo gubernamental desligado de interés privado Menor inversión gubernamental Aumento en el precio de los insumos Corrupción

Elaboración propia a partir de ProMéxico (2017). *Plan de órbita 2.0. ProMexico. Mapa de Ruta del Sector Espacial en México.* Recuperado de: <http://www.promexico.gob.mx/documentos/biblioteca/plan-orbita.pdf>. SE (2018). Diagnóstico del sector aeroespacial en México a nivel internacional, Secretaría de Economía, recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58801/Diagnostico_del_sector_en_Mexico_y_a_nivel_internacional.pdf

A partir de lo expuesto en la Tabla 1, se puede observar que el panorama para las mipymes, que forman parte de la industria aeroespacial en México, aún es muy incierto; debido, principalmente, por las amenazas y debilidades que enfrenta esta industria. Además, los apoyos de financiamiento para ellas son insuficientes y, al ser sus recursos limitados, su desarrollo se puede ver afectado. En este sentido, se puede afirmar que no existe una relación sólida entre las mipymes con la industria privada, ya que existe un nulo apoyo de su parte y deben buscar opciones para no afectar las actividades económicas de las empresas en términos de inversión y recursos.

De esta manera, se buscan alternativas para que, a través de la sustentabilidad, sea posible reducir costos y obtener mejores beneficios para las mipymes de la industria aeroespacial mexicana, esto a partir de lineamientos externos emitidos por organizaciones nacionales e internacionales en materia aeroespacial y sustentabilidad. Por lo tanto, se consideran los objetivos de desarrollo sustentable descritos por la ONU (Organización de las Naciones Unidas), el Plan de Órbita 2.0 y el Plan de actividades 2020-2024 y se realiza un estudio comparativo basado en el modelo de la Penta hélice que involucra a las empresas, la sociedad, el medio ambiente, el gobierno y la academia (Tabla 2).

Tabla 2. Comparativo de actividades por realizar en el Plan de Órbita 2.0, Plan de actividades espaciales 2020-2024 y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU con perspectiva basada en la Penta hélice

Plan	Empresa	Sociedad	Ambiente	Gobierno	Academia
Plan de órbita 2.0	Espacio comercial para realizar actividades económicas	Cambio en la distribución de la fuerza de trabajo Empoderamiento de los individuos	Agricultura de precisión	Soberanía y seguridad en el espacio	Estancias de investigación en el extranjero
	Espacio comercial más accesible			Desarrollar un marco jurídico	Pasantías en desarrollos tecnológicos
	Aumentar la certificación espacial Nuevos nichos de mercado			Apoyos gubernamentales y de vinculación	Desarrollo de recursos humanos especializados
					Desarrollo de nuevas tecnologías

Plan de actividades espaciales	Desarrollo de nuevos modelos de negocio Mayor participación de la industria privada	Mayor cobertura en población vulnerable Mejoramiento en materia de salud, seguridad y protección	Proteger el medio ambiente Mantener los recursos de manera sustentable	Soberanía y seguridad en el espacio Instrumentos legales que fundamenten las acciones de cooperación Mayor regulación	Incrementar capacidades en exploración espacial Aumentar programas de estudio Mayor habilidad y conocimientos científicos
ONU	Trabajo decente y crecimiento económico Producción y consumos responsables Industria, innovación e infraestructura	Fin de la pobreza Hambre cero Salud y bienestar Igualdad de género Disminución de las desigualdades	Agua limpia y saneamiento Energía asequible y no contaminable Acción por el clima Vida submarina y terrestres	Ciudades y comunidades sostenibles Paz, justicia e instituciones sólidas Alianzas para lograr objetivos	Educación de calidad

Elaboración propia basada en el Plan de órbita 2.0 (ProMéxico, 2017). AEM (2020). Programa Nacional De Actividades Espaciales 2020-2024. Recuperado el 30 de mayo de 2021, de: <https://www.gob.mx/aem/documentos/programa-nacional-de-actividades-espaciales-2020-2024>. ONU (2017). Metas de los objetivos de desarrollo sostenible. ONU. Recuperado de https://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/170713_ODS-metas-digital.pdf

En el Plan Órbita 2.0 se destaca la importancia de contar con el modelo de hélice Penta; no obstante, en lo que respecta al medio ambiente, sólo describe las actividades a las que la industria espacial afectará directamente, como las relacionadas con la agricultura y no menciona cómo reducir el impacto ambiental generado por las actividades de este sector. De acuerdo con el desarrollo sustentable, el medio ambiente se beneficiaría indirectamente, sobre todo por el desarrollo de nuevos materiales y el impacto en la gestión y el control de los residuos que deben incluirse en los marcos legales establecidos por el gobierno.

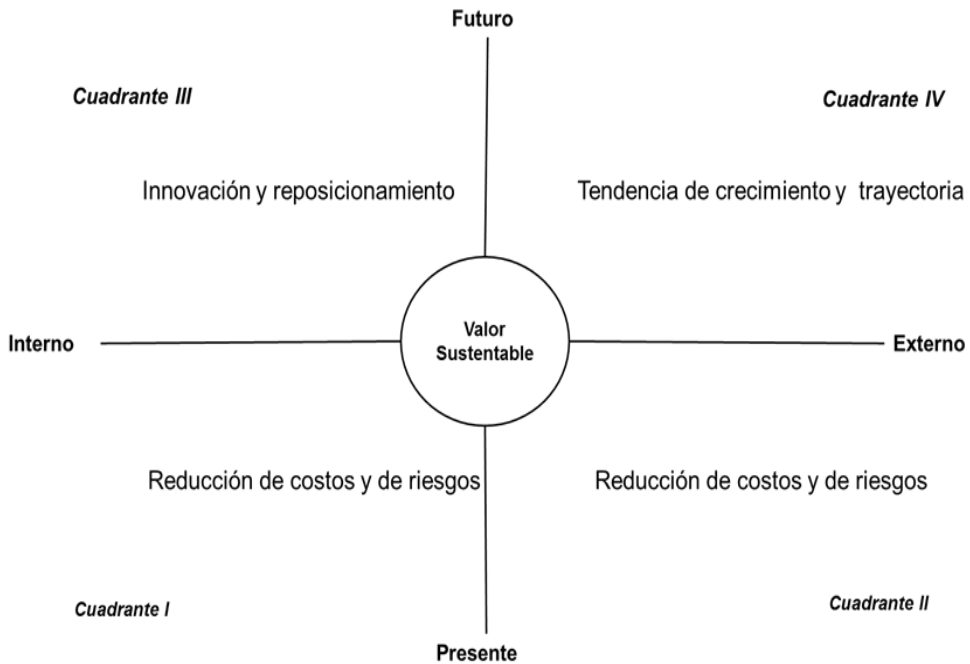
En comparación con el Plan de Órbita 2.0, el Plan Nacional de

Actividades Espaciales 2020-2024 ofrece una visión acorde con los objetivos de la ONU para 2030, aunque no establece estrategias que contribuyan al medio ambiente; también menciona el aumento de la industria privada en la realización de actividades en el espacio, sin resaltar los beneficios que generan en este sector. En cuanto a lo social, el gobierno y la academia, hasta cierto punto comparten la misma visión y mencionan que, directamente, habrá beneficios para la sociedad; señalando que se requiere la regulación de las actividades y el apoyo al desarrollo de las instituciones educativas, lo cual es relevante para el desarrollo de este sector. Por lo tanto, se concluye que los programas analizados contemplan aspectos sociales y ambientales, pero de manera limitada.

En este sentido como señalan Hart y Milstein (2003), la creación de valor sustentable identifica tácticas, acciones y prácticas que contribuyen en la búsqueda de un mundo más sustentable, abordando desafíos globales a través de estrategias y prácticas para generar valor para los accionistas. Con base en lo anterior, ellos proponen un marco de generación de valor sustentable, en el que plantean un constructo multidimensional (Figura 1), que contempla dos dimensiones (Farah, 2018):

- Dimensión horizontal: se exponen las necesidades de la empresa para gestionar y desarrollar las habilidades y capacidades organizacionales internas, mientras se toman en cuenta nuevas perspectivas, conocimiento y retos de las partes interesadas externas (Cuadrantes I y II). Asimismo, refleja la tensión experimentada por la necesidad de seguir operando con las tecnologías existentes, y al mismo tiempo, permanecer abiertos a nuevas perspectivas y nuevas tecnologías
- Dimensión vertical: se plantean y determinan los resultados de corto plazo tales como mejoras financieras mientras se progresa para el crecimiento del negocio en el largo plazo y el éxito en un escenario tecnológico competitivo y disruptivo.

Figura 1. Marco analítico para la generación de valor sustentable



Fuente: elaborado con base en Hart, S., y Milstein, M. (2003). *Creating sustainable value*. *Academy of Management Executive*. 17(2). 57

Hart y Milstein (2003) afirman que las oportunidades para que las empresas creen valor sustentable son enormes; el marco analítico presentado se caracteriza por su sencillez, pero no debe confundirse con el grado de dificultad en su ejecución; es decir, una cosa es comprender sus elementos básicos y sus interrelaciones, y otra muy distinta implementar con éxito la estrategia y la implementación.

Con base en lo anterior, aunque los lineamientos para el desarrollo de la industria aeroespacial comparten una similitud de alcances, no se han establecido los beneficios que la sustentabilidad puede tener en empresas con capital limitado. Por lo que en este trabajo se propone utilizar el procedimiento de operacionalización de variables (López, 2007) para obtener indicadores adecuados para analizar cómo las mipymes pueden integrar la sustentabilidad en sus modelos de negocios (Tabla 3) para la generación de valor sustentable, esto a partir de los indicadores propuestos por Chang y Cheng (2019); con el fin de analizar el desarrollo sostenible de las empresas.

Tabla 3. Operacionalización de las variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
La sustentabilidad en las mipymes mexicanas en la industria aeroespacial	Equilibrio en el impacto que se produce entre el desarrollo económico, social y ambiental para la generación de valor en una mipyme mexicana en la industria aeroespacial	Económica	Precios competitivos Disminución en los costos de logística Disminución en los tiempos de entrega Logro de certificación de calidad Aumento de nivel tecnológico Disminución de tasa de rechazo del cliente Capacidad de investigación y diseño Gobernanza de la empresa Transparencia y responsabilidad de la empresa Número de socios que conforman a la empresa Incremento en la Inversión del negocio Utilidad Financiamientos Posicionamiento en la cadena de valor
		Social	Aumentar las oportunidades de empleo de la comunidad local Imagen de la empresa alineada a la ecología Compromiso de los directivos con la gestión ecológica de la cadena de suministro Formación medioambiental de los empleados Salud y seguridad a los empleados Opinión de la comunidad local Tasa de rotación del personal Disminución significativa de quejas o devoluciones de los clientes
		Ambiental	Reducir el uso de materias primas nocivas Reducir el uso de energía Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero Diseño de productos sustentables Disminuir la generación de contaminantes al ambiente Eficacia en el seguimiento de los proveedores Aumentar el uso de energía verde Uso de edificios ecológicos Reutilización de recursos Certificación ambiental

Elaboración propia basada en López (2007). Investigación educativa: en preguntas y respuestas. Curso de metodología para el postgrado. Universidad de Ciencias Pedagógicas. Héctor Alfredo Pineda Zaldívar. An-

Yuan Chang, Yen-Tse Cheng (2019) Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium- sized enterprises in Taiwan, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, Pages 458-473, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.025>.

Al considerar las características propias de la industria aeroespacial y derivado de este análisis, se puede determinar que los indicadores referentes al control y manejo de recursos deben ser considerados dentro de los modelos de negocios de las mipymes, esto por la importancia e impacto que tienen estas actividades en el desarrollo sustentable. También, a partir de este estudio, se describen a continuación, las estrategias propuestas que las mipymes mexicanas pueden implementar en términos de sustentabilidad (Tabla 4).

Tabla 4. Estrategias sustentables para las mipymes mexicanas en el sector aeroespacial

Económica	Social	Ambiental
Restauración de los sistemas dañados Rediseñar el ciclo de vida del producto, proceso o servicio Uso de las 3R Reusar-Reciclar-Reducir Segundo uso de productos que reemplacen a la función principal Escalable y accesible	Inclusión de grupos vulnerables Rediseñar el ciclo de vida del producto, proceso o servicio Responsabilidad social Conocimiento compartido Uso compartido de los productos o servicios entre individuos	Sustitución de materias primas o materiales Energía renovable o alternativa Rediseñar el ciclo de vida del producto, proceso o servicio Uso de las 3R Reusar-Reciclar-Reducir

Elaboración propia con base en Geissdoerfer, Vladimirova y Evans (2018). Sustainable business model innovation: A review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 198, P. 401-416, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240>., Rauter, Globocnik, Perl-Vorbach, Baumgartner (2019). Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance, *Journal of Innovation & Knowledge*, Volume 4, Issue 4, P. 226-233, ISSN 2444-569X, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004> y Borusiak, B.; Szymkowiak, A.; Horska, E.; Raszka, N.; Żelichowska,(2020) E. Towards Building Sustainable Consumption: A Study of Second-Hand Buying Intentions. *Sustainability*, 12, 875. <https://doi.org/10.3390/su12030875>

Con la finalidad de priorizar las estrategias basadas en lineamientos gubernamentales, proponemos los siguientes enfoques: *Eco-design*, Eco-QFD (Puglieri, 2020), y Prospectiva sustentable, los cuales son utilizados para la fabricación de productos sustentables. Estos tres enfoques, parten de modelos utilizados para la toma de decisiones, a través de matrices, los cuales son herramientas de valoración que se utilizan para evaluar las diferentes

alternativas y con base en los resultados se determina la opción más adecuada. Estos arreglos matriciales tienen en la primera columna los factores o criterios de decisión y en la primera fila se encuentran las diferentes alternativas, las cuales reciben una calificación específica por cada uno de los criterios definidos. A continuación, se describe cada uno de ellos:

a. Eco-design

Está basado en los fundamentos del diseño y la ingeniería, el cual consiste en integrar los aspectos ambientales en la concepción y en todas las etapas del desarrollo de un producto, desde la extracción de las materias primas necesarias, fabricación de componentes y ensamble del producto final, hasta su fin de vida útil, contemplando como se realizará su eliminación, su reciclaje o la reutilización de los componentes que lo integran. Es importante mencionar que el objetivo del Ecodiseño es mejorar la calidad del producto y reducir los costos de fabricación, a través de establecer estrategias que permite minimizar las cargas ambientales asociadas al producto (Sanz, 2014; Sierra-Pérez, 2014).

Esta técnica establece ocho directrices que contribuyen a disminuir el impacto ambiental del producto, las cuales son: selección de materiales de bajo impacto, reducción de la cantidad de material, selección de técnicas de producción ecoeficientes, selección de formas de distribución ecoeficientes, optimización de la función, reducción del impacto ambiental durante su uso, optimización de su vida útil y optimización del sistema del fin del ciclo de vida (Sanz, 2014).

b. Prospectiva sustentable

La prospectiva sustentable se basa en los objetivos del desarrollo sostenible, los cuales establecen su fundamento en principios éticos, en el cual se busca definir procesos que permitan regenerar los ciclos naturales, valores políticos y normas de comportamiento (Castillo y Martínez, 2016). Esta visión integra de forma holística tres dimensiones de análisis: la social, la ambiental y la económica, en la que se establecen 17 objetivos a cumplir en el 2030. Entendiendo que, la prospectiva es una herramienta estratégica transdisciplinaria que considera el cambio, la incertidumbre y la complejidad de los sistemas (Jorge y Monedero, 2016), se establecen diferentes acciones a seguir para conseguir el cumplimiento de esta agenda con una visión a largo plazo.

c. Eco-QFD

La herramienta del despliegue de la función de la calidad (Quality Function Deployment, QFD) busca escuchar la voz del cliente, con la finalidad de determinar aquellos aspectos que satisfagan las necesidades de los usuarios que se deben de considerar en el

producto, proceso o proyecto; además de ayudar a traducir los deseos del consumidor en objetivos de diseño, dividiendo en sucesivos niveles de detalle la información referente a las necesidades.

Uno de los enfoques que propone la literatura basada en la aplicación de la QFD y un modelado teórico difuso es el Eco-QFD, el cual permite al equipo de diseño elegir diferentes niveles de objetivos para su caracterización en función de aspectos ambientales, sociales y económicos (Tsai-Chai, 2005). En este modelo no solo se considera la satisfacción general del cliente, sino también se traducen los objetivos de la empresa en criterios de decisión relacionados con los logros sociales ambientales y económicos.

De la misma manera, en este trabajo de investigación se propone un sistema experto como herramienta para ordenar la ponderación de los diferentes factores a través de entidades reguladoras. Por esta razón, Tan (2016) describe un sistema experto como una capacidad de dar respuestas basadas en su razonamiento para explicar las decisiones de respuesta a partir del conocimiento generado por los expertos humanos en un área determinada.

Entre las herramientas para desarrollar sistemas expertos se encuentra la lógica difusa, que se compone de una evaluación lingüística generada por la propia percepción del experto en el área (Casal-Guisande, 2022). Cada experto da un valor a cada criterio basado en la experiencia para obtener una media que representa una aproximación a la realidad. Entre las diferentes herramientas derivadas de la lógica difusa se encuentra la herramienta FUZZY TOPSIS. Este método se basa en el concepto de que la alternativa elegida debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva, cuya solución minimiza el criterio de costo y maximiza el criterio de beneficio, y la mayor distancia a la solución ideal negativa, cuya versión ampliada se basa en el cálculo de la distancia entre dos criterios (Sorin, 2016).

Debido a las características propias de las variables de análisis y de las fuentes de datos obtenidas se propone una metodología inspirada por la herramienta FUZZY TOPSIS —que se explica a detalle en el siguiente apartado—, determinaremos las estrategias seleccionadas a partir de las características de cada una de las metodologías y de los lineamientos establecidos por la ONU, el Plan Órbita 2.0, y el Programa Nacional De Actividades Espaciales 2020-2024.

Metodología

La incertidumbre presentada al momento de tomar decisiones puede generar falta de claridad por la inexactitud en la información, juicios personales y un lenguaje con una carga de subjetividad, ante dicha situación, caracterizada por la vaguedad, se utiliza la teoría de conjuntos difusos (*Fuzzy set theory*), a fin de reducir la incertidumbre (Mardani *et al.*, 2015; Zadeh, 2009). En este sentido Chen (2000) reconoce la problemática descrita dentro de lo que se conoce como toma de decisiones multicriterio (*multiple criteria decision making*, MCDM) que fue inicialmente abordada por la técnica de ejecución de órdenes por similitud ideal (*Technique for order performance by similarity to ideal solution*, TOPSIS), bajo el supuesto de que los datos nítidos no explican correctamente situaciones de la vida real, por lo que su unión con los conjuntos difusos permite convertir la matriz de decisión en una matriz de decisión difusa para una mejor toma de decisiones, es decir, extendiendo TOPSIS a un ambiente difuso lo que se conoce como *Fuzzy TOPSIS*.

Lo anterior sucede, como explica Chen (2000), al utilizar el método de vértice que permite calcular la distancia entre dos calificaciones difusas triangulares, el cual permite determinar el orden de clasificación de todas las alternativas, donde el mayor valor de cercanía indica que está cerca de la solución ideal positiva difusa (*fuzzy positive ideal solution*, FPIS) y el más lejano indica la solución ideal negativa difusa (*fuzzy negative ideal solution*, FNIS); proceso similar al utilizado en Wang (2011) donde se encuentran soluciones ideales positivas y negativas en un entorno difuso a través de máximos y mínimos, propuesta que requiere los siguientes pasos (Chen, 2000; Wang, 2011; Khemiri *et al.*, 2017; Maldonado-Romo y Aldape-Pérez, 2021):

1. Definir la matriz de decisión difusa a través de valores lingüísticos para cada uno de los factores de sustentabilidad y su relación con un número difuso (ecuación 1), atendiendo a los enfoques seleccionados (ver tabla 5). Donde x corresponde a cada una de las estrategias; a , b y c representa el valor lingüístico obtenido por cada uno de los factores; i corresponde al número de estrategias, y j describe el número total de factores.

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (\text{ecuación 1})$$

Tabla 5. Términos lingüísticos y de números difusos para cada criterio

Valor lingüístico	Número difuso
Muy Bajo (MB)	(0,0,3)
Bajo (B)	(0,3,5)
Medio (M)	(3,5,7)
Alto (A)	(5,7,10)
Muy Alto (MA)	(7,10,10)

Fuente: Chen, 2000; Wang, 2011; Khemiri *et al.*, 2017; Maldonado-Romo y Aldape-Pérez, 2021.

2. Para cada factor, a partir de la ponderación de cada uno de los enfoques seleccionados, se le determina un rango y media difusa (ecuación 2). Donde cada uno de los factores ED, PS y EQ son descritos como a , b y c correspondientemente. Además, k representa el número de factores utilizados.

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}, b_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ij}^k, c_{ij} = \max_k \{c_{ij}^k\} \quad (\text{ecuación 2})$$

3. La matriz difusa se normaliza representada por r y se identifica el criterio para maximizar el beneficio (ecuación 3).

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \text{ y } c_j^+ = \max_i \{c_{ij}\} \text{ (beneficio)} \quad (\text{ecuación 3})$$

4. Se detectan las soluciones más similares representada por A^- , se toma el vector que tenga los valores menos significativos representado por v^- , es decir, la solución ideal negativa difusa (*fuzzy negative ideal solution*, FNIS) (ecuación 4).

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-), \text{ donde } v_j^- = \max_i \{v_{ij1}\} \quad (\text{ecuación 4})$$

5. Finalmente, para ordenar los factores se calcula la distancia (d) de cada alternativa en relación al FNIS (ecuación 5), posteriormente, las distancias son ordenadas de forma descendente donde 1 es el máximo valor y 0 es la alternativa que tiene menor relevancia, esto permite determinar las estrategias con mayor impacto. Donde a , b y c corresponde a los valores correspondientes que componen al vector A^- con cada una de las estrategias

$$d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (\text{ecuación 5})$$

A modo de ejemplificación, se realizan los pasos anteriores para la estrategia “Rediseñar el ciclo de vida del producto, proceso o servicio”, que obtuvo ponderación de “Alto” en los tres enfoques analizados; por lo que, utilizando la ecuación 2, su peso, en número difuso, es de (5,7,10); el siguiente paso en la ecuación 3, es normalizar la matriz difusa, para la alternativa ejemplificada el resultado es (0.5,0.7,1.0); finalmente se utiliza la ecuación 5 para determina la distancia en relación al FNIS, su resultado es 0.496655481; a continuación se muestran el resultado de las estrategias evaluadas (ver Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de la evaluación de las estrategias

Estrategia	Eco-design (ED)	Prospectiva sustentable (PS)	Eco-QFD (EQ)	Peso definitivo	Normalizado	A-	Distancia	Ranking
Rediseñar el ciclo de vida del producto, proceso o servicio	A	A	A	(5,7,10)	(0.5,0.7,1.0)	-	0.4966	1
Segundo uso de productos que reemplacen a la función principal	A	A	A	(5,7,10)	(0.5,0.7,1.0)	-	0.4966	2
Restauración de los sistemas dañados	A	M	MA	(3,7.3,10)	(0.3,.73,1.0)	-	0.4556	3
Sustitución de materias primas o materiales	A	M	A	(3,6.3,10)	(0.3,0.63,1.0)	-	0.4028	4
Uso de las 3R Reusar-Reciclar-Reducir	M	A	M	(3,5.6,10)	(0.3,0.56,1.0)	-	0.3667	5
Energía renovable o alternativa	B	M	B	(0,3.6,7)	(0,0.51,1.0)	-	0.2944	6
Conocimiento compartido	B	M	B	(0,3.6,7)	(0,0.51,1.0)	-	0.2944	7
Uso compartido de los productos o servicios	M	A	B	(0,5,10)	(0,0.5,1.0)	-	0.2886	8
Escalable y accesible	B	MB	B	(0,1,5)	(0,0.2,1.0)	-	0.2581	9
Responsabilidad social	MB	MB	MB	(0,0,3)	(0,0,1.0)	-	0	10
Inclusión de grupos vulnerables	MB	MB	MB	(0,0,3)	(0,0,1)	(0,0,1)	0	11

Se puede observar que los resultados de ponderación de cada una de las estrategias se repiten según la importancia de cada uno de los enfoques. Por lo tanto, se coloca mayor ponderación a la estrategia por orden de aparición, pero no altera la importancia de la ponderación y se considera otro criterio para ordenar estrategias con mismo valor.

Por otro lado, el modelo de Hart y Milst (2003) se compone de dos dimensiones, la primera se describe como las necesidades internas de la

empresa para gestionar sus capacidades internas, y la segunda representa las perspectivas esperadas por las partes interesadas externas que se beneficiarán de los cambios internos de la empresa; en nuestro caso de estudio son los lineamientos generados por el Plan de Órbita 2.0 y el Programa Nacional de Actividades Espaciales 2020-2024.

Ambas dimensiones son descritas en un corto y largo plazo, de esta manera, el modelo de Hart y Milst se describe mediante cuatro cuadrantes. Del lado izquierdo son las estrategias implementadas en la empresa y del lado derecho son las estrategias por las partes interesadas externas, como se describe en la figura 2.

Figura 2. Marco de generación de valor sustentable en las mipymes mexicanas de la industria aeroespacial en México



Fuente: Elaboración propia basada en los lineamientos descritos en el Plan Órbita 2.0 (ProMéxico, 2017). AEM (2020). Programa Nacional de Actividades Espaciales 2020-2024. Recuperado el 30 de mayo de 2021, de <https://www.gob.mx/aem/documentos/programa-nacional-de-actividades-espaciales-2020-2024>. y del modelo de valor sustentable basado en Hart, S., y Milstein, M. (2003). *Creating sustainable value. Academy of Management Executive*. 17(2). pp. 56-67.

Debido a las necesidades de las mipymes mexicanas en el sector aeroespacial, así como a los lineamientos que se esperan en dicho sector económico, con base en el Plan de Órbita 2.0 y el Programa Nacional de

Actividades Espaciales se determinaron las estrategias sustentables con la finalidad de aumentar la participación de las mipymes en este sector económico.

Para iniciar se ordenaron considerando las prioridades generadas para la construcción un plan de acción con valor sustentable. Cabe destacar que las estrategias en el nivel externo son ponderadas por las organizaciones y normativas. Por tal motivo, para las mipymes de la industria aeroespacial, solamente son importantes las estrategias para implementarse de manera interna.

Conclusion

Conseguir satisfacer las expectativas de los clientes en una empresa industrial se fundamenta en: calidad del producto, productividad, efectividad del sistema organizacional, satisfacción del cliente y calidad en el servicio postventa. La ausencia de cualquiera de estos factores pone en riesgo las condiciones básicas de rentabilidad.

Aunque las estrategias sustentables pueden utilizarse en cualquier momento, se detecta que es de vital importancia priorizar su implementación según las necesidades de cada empresa, a fin de alcanzar una transición hacia la sustentabilidad. Por lo tanto, a través de un estudio cualitativo y utilizando una metodología basada en el Fuzzy-TOPSIS, así como un marco de generación sustentable, se determina un plan de acción que permita implementar estrategias sustentables a las mipymes manufactureras mexicanas con la finalidad de adaptar sus modelos de negocio en la industria aeroespacial basada en los lineamientos de la situación actual para que, en un corto y largo plazo, puedan mantenerse en el mercado de manera competitiva.

El marco de generación de valor sustentable establecido en este trabajo proporciona una visión de la situación de las mipymes mexicanas en el sector aeroespacial a corto y largo plazo para lograr las estimaciones descritas por los lineamientos generados por las instituciones gubernamentales. Dadas las limitaciones de las mipymes mexicanas en el sector, las estrategias de corto plazo se enfocan en cambios para reducir costos e identificar oportunidades de valor que incrementen su competitividad en el mercado.

Finalmente, abre una oportunidad para generar un plan de acción para que las mipymes puedan encaminar el desarrollo sostenible y adoptar rápidamente un modelo de economía circular. De este modo, este trabajo ofrece una apertura para abordar una importante necesidad a la que se enfrentan las entidades económicas con recursos limitados.

References:

1. Agencia Espacial Mexicana [AEM] (2020). *Programa nacional de actividades espaciales 2020-2024*. Recuperado el 30 de mayo de 2021 de <https://www.gob.mx/aem/documentos/programa-nacional-de-actividades-espaciales-2020-2024>
2. Borusiak, B.; Szymkowiak, A.; Horska, E.; Raszka, N.; Żelichowska, E. (2020). Towards Building Sustainable Consumption: A Study of Second-Hand Buying Intentions. *Sustainability* 2020, 12, 875. <https://doi.org/10.3390/su12030875>
3. Casal-Guisande, Manuel & Comesaña-Campos, Alberto & Pereira, A. & Bouza-Rodríguez, José & Cerqueiro, Jorge. (2022). A Decision-Making Methodology Based on Expert Systems Applied to Machining Tools Condition Monitoring. *Mathematics*. 10. 520. [10.3390/math10030520](https://doi.org/10.3390/math10030520).
4. Castillo, R. y Martínez, D. (2016). Perspectivas de la sustentabilidad: teoría y campos de análisis. *Pensamiento Actual*. Junio-noviembre, 2016. Vol. 16(26). DOI 10.15517/PA.V16I26.25188
5. Chang & Cheng (2019). Analysis model of the sustainability development of manufacturing small and medium- sized enterprises in Taiwan, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207, Pages 458-473, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.025>.
6. Chen, C. (2000). *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.
7. DOF (2009), Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresas, Secretaría de Gobernación, México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5096849&fecha=30/06/2009
8. DOF (2010). Ley que crea la Agencia Espacial Mexicana. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAEM.pdf>
9. DOF (2011). Acuerdo mediante el cual se dan a conocer las Líneas Generales de la Política Espacial de México. Recuperado el 30 de mayo de 2021, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php%3Fcodigo%3D5200730%26fecha%3D13/07/2011
10. Farah, S. L. (2018). *Administración y sustentabilidad. Retos y oportunidades para la industria espacial*. Publicaciones Empresariales UNAM, FCA Publishing.
11. Geissdoerfer, Vladimirova y Evans (2018). “Sustainable business model innovation: A review”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 198, 2018, Pages 401-416, ISSN 0959-6526,

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240>.
12. GOB-MX (2016). Plan Nacional Estratégico de la Industria Aeroespacial, Secretaría de Gobernación, recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58802/Plan_Estrat_gico_de_la_Industria_Aeroespacial_junio.pdf
 13. Gómez (2013). El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación, UNESCO, recuperado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
 14. Hart, S., y Milstein, M. (2003). *Creating sustainable value*. Academy of Management Executive. 17(2). Pp. 56-67.
 15. Jorge, A. y Monedero, C. (2016). La prospectiva estratégica como herramienta para impulsar la gestión local hacia el desarrollo sustentable. Municipio Caroní, estado Bolívar. Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. Vol. XXXII, núm. 51, Pp. 41-68. <https://www.redalyc.org/journal/721/72146268003/html/>
 16. Khemiri, R., Elbedoui-Maktouf, K., Grabot, B., y Zouari, B. (2017). “A fuzzy multi-criteria decision-making approach for managing performance and risk in integrated procurement–production planning”. *International Journal of Production Research*, 55(18), 5305-5329.
 17. López González, J. A. (2007). Investigación educativa: en preguntas y respuestas. Curso de metodología para el postgrado. La Habana: Universidad de Ciencias Pedagógicas Héctor Alfredo Pineda Zaldívar.
 18. Maldonado-Romo, J.; Aldape-Pérez, M. (2021) “Sustainable Circular Micro Index for Evaluating Virtual Substitution Using Machine Learning with the Path Planning Problem as a Case Study”. *Sustainability* 2021, 13, 13436. <https://doi.org/10.3390/su132313436>
 19. Mardani, A., Jusoh, A., y Kazimieras, E. (2015). “Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014”. *Expert Systems with Applications*, 42, 4126-4148.
 20. ProMéxico (2017). Plan de Órbita 2.0. Mapa de Ruta del Sector Espacial en México. Ciudad de México. Recuperado el 1 de junio de 2021, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414932/Plan_Orbita_2.0.pdf
 21. Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2017). Metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ONU. Recuperado de: https://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/170713_ODS-metas-digital.pdf

22. Puglieri FN, Ometto AR, Salvador R, Barros MV, Piekarski CM, Rodrigues IM, Diegoli Netto O.(2020) “An Environmental and Operational Analysis of Quality Function Deployment-Based Methods”. *Sustainability*. 2020; 12(8):3486. <https://doi.org/10.3390/su12083486>.
23. Rauter, Globocnik, Perl-Vorbach, Baumgartner (2019). “Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance”, *Journal of Innovation & Knowledge*, Volume 4, Issue 4, 2019, Pages 226-233, ISSN 2444-569X, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004>.
24. Rihab, K.; Khaoula, E.-M.; Bernard, G.; Belhassen.(2017), Z. *A fuzzy multi-criteria decision making approach for managing performance and risk in integrated procurement-production planning*. Int. J. Prod. Res. 2017, 55, 5305–5329.
25. Rivera Parga, J. R. (2017). “La exploración espacial: una oportunidad para incrementar el poder del estado mexicano”. *Revista del Centro de Estudios Superiores Navales*, 33-62.
26. Secretaría de Economía (2012). *Plan de órbita 2.0 mapa de ruta del sector espacial mexicano*, Recuperado el 10 de agosto de 2022 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414932/Plan_Orbita_2.0.pdf
27. Tan, Chee Fai & Wahidin, L.S. & Khalil, Siti Nurhaida & Tamaldin, Noreffendy & Hu, Jun & Rauterberg, Matthias. (2016). The application of expert system: A review of research and applications. 11. 2448-2453.
28. Tsai-Chi Kuo and Wu Hsin-Hung (2005), "Fuzzy Eco-Design Product Development by Using Quality Function Deployment," 2005 4th International Symposium on Environmentally Conscious *Design and Inverse Manufacturing*, 2005, pp. 422-429, doi: 10.1109/ECODIM.2005.1619260.
29. Thonemann N, Schulte A, Maga D. (2020) “How to Conduct Prospective Life Cycle Assessment for Emerging Technologies? A Systematic Review and Methodological Guidance”. *Sustainability*. 2020; 12(3):1192. <https://doi.org/10.3390/su12031192>
30. SAE (2004). Sistema de gestión de la calidad - Aeroespacial - Requisitos. Recuperado de <http://integra.cimav.edu.mx/intranet/data/files/calidad/documentos/SAE%20AS%209100%20B.pdf>
31. Sanz Adán, Félix (2014). *Ecodiseño un nuevo concepto en el desarrollo de producto*. Universidad de La Rioja. <https://fundacion.unirioja.es/productos/view/172/ecodiseno-un-nuevo-concepto-en-el-desarrollo-de-productos-leccion>

32. Sierra-Pérez, Jorge. (2014). El ecodiseño en el ámbito de la ingeniería del diseño (Ecodesign in design engineering). Técnica industrial. 308. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/334814.pdf>
33. Sorin, Nadaban & Dzitac, Simona & Dzitac, Ioan. (2016). Fuzzy TOPSIS: A General View. Procedia Computer Science. 91. 823-831. 10.1016/j.procs.2016.07.088.
34. W. Yongming, L. Baixiang and L. (2009) Muzhi, "Quality Function Deployment for Environment in Product Eco-design," 2009 International Conference on Energy and Environment Technology, pp. 476-479, doi: 10.1109/ICEET.2009.581.
35. Wang, Y.-J. (2011). *Fuzzy multi-criteria decision-making based on positive and negative extreme solutions*. *Applied Mathematical Modelling*. 2011, 35, 1994–2004.
36. Zadeh, L. (2009). *Toward extended fuzzy logic-A first step*. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 3175-3181.