

## INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Márquez Gutiérrez, Pedro Rafael; Reed Sáenz, Jonatan Nicolás;  
García Mata, Carmen Leticia; Robledo Vega, Isidro  
Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Chihuahua  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Avenida Tecnológico 2909, Chihuahua, Chih.  
Tel. 614-201-2000

{jreed@sigma-alimentos.com, pedro.mg, carmen.gm, isidro.rv@chihuahua.tecnm.mx }

### RESUMEN.

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en la tecnología de vanguardia más recientemente incorporada en la industria alimentaria debido al aumento en la demanda de alimentos en línea, por el incremento de la población mundial y a las restricciones de toda índole que debe cumplir. La capacidad demostrada de los sistemas inteligentes en diversas tareas, como la determinación de la calidad de los alimentos, las herramientas de control, la clasificación de los alimentos y la predicción ha intensificado su demanda. En este artículo se revisan diversas tecnologías con el fin de mostrar sus ventajas, limitaciones y formulaciones. Se menciona en particular la integración de estos sistemas con dispositivos inteligentes como la nariz electrónica, la lengua electrónica, sistemas de visión por computadora y la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), todo lo cual beneficia tanto a los actores de la industria como a los consumidores.

**Palabras Clave:** Inteligencia Artificial, Industria Alimentaria, Lógica Difusa, Redes Neuronales Artificiales, Visión por Computadora.

### ABSTRACT.

Artificial intelligence (AI) has become the most recently incorporated cutting-edge technology in the food industry due to the increase in demand for food online, due to the increase in the world population and the restrictions of all kinds that it must comply with. The proven ability of intelligent systems in various tasks such as food quality determination, control tools, food classification and prediction has intensified their demand. In this article various technologies are reviewed to show their advantages, limitations, and formulations. Mention is made of the integration of these systems with smart devices such as the electronic nose, the electronic tongue, computer vision systems and near-infrared (NIR) spectroscopy, all of which benefit both industry players and consumers.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Food Industry Fuzzy Logic, Artificial Neural Networks, Machine Vision.

### INTRODUCCIÓN

El presente artículo tiene la intención de mostrar un panorama general del potencial que tiene la Inteligencia Artificial en su aprovechamiento en la Industria Alimentaria. Es en este sentido una revisión del área a “ojo de pájaro”, que puede servir como

puerta de entrada a la literatura especializada y detallada, sin mayores pretensiones que la de ilustrar el abanico de posibilidades, que se puede palpar en las referencias.

La industria del entretenimiento, el pronóstico del clima, la industria de manufactura, alimentaria, la médica, la minería de datos, y la representación del conocimiento se encuentran entre las áreas que han estado utilizando métodos de IA [2,3]. La IA tiene una variedad de algoritmos para elegir, como el aprendizaje por refuerzo, los sistemas expertos, la lógica difusa (FL), la inteligencia de enjambre, las redes neuronales artificiales (ANN) y la programación lógica [1]. El rendimiento atractivo de la IA la ha convertido en una herramienta muy favorable para aplicar en industrias, incluida la toma de decisiones y la estimación de procesos con la intención de reducir los costos generales, mejorar la calidad y la rentabilidad [4].

A medida que la población en el mundo ha ido creciendo, se estima que la demanda de alimentos aumente del 59% al 98% para 2050 [5]. Por lo tanto, para satisfacer esta demanda, se ha aplicado IA, en la gestión de la cadena de suministro, la clasificación de alimentos, la realización de la producción, la mejora de la calidad y la higiene industrial [6,7,8]. Por ejemplo, ANN se ha utilizado para ayudar a la resolución de problemas complejos reales en la industria alimentaria [9], así como en la clasificación y predicción de parámetros por resultar más simple, lo que ha conducido a una mayor demanda [10]. Además, FL y ANN se han usado tradicionalmente como controladores para garantizar la seguridad alimentaria, el control de calidad, la reducción de los costos y el aumento del rendimiento de la producción [11,12].

Este documento está organizado de la siguiente manera. Se presenta una introducción de la IA en la primera sección seguida de la aplicación de diferentes tipos de IA en la industria alimentaria. A continuación, se ilustra la fusión de la IA con lo externo en la industria alimentaria Finalmente, se discute una breve conclusión.

### IA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la industria alimentaria ha ido creciendo durante años en el control de calidad, la clasificación de alimentos, la clasificación y predicción de parámetros, y la seguridad alimentaria. Los

sistemas expertos, la lógica difusa, las ANN, los sistemas de inferencia neuro-difusa adaptativa (ANFIS) y el aprendizaje automático se encuentran entre las tecnologías más utilizadas en la industria alimentaria. Se han obtenido muchos beneficios del uso de IA, y su implementación en la industria alimentaria ha estado ocurriendo desde hace décadas y ha aumentado continuamente [13,14,15,16,17].

### Sistemas Expertos (SE) Basados en el Conocimiento en la Industria Alimentaria.

El esquema general de un sistema basado en el conocimiento se presenta en la Fig. 1.

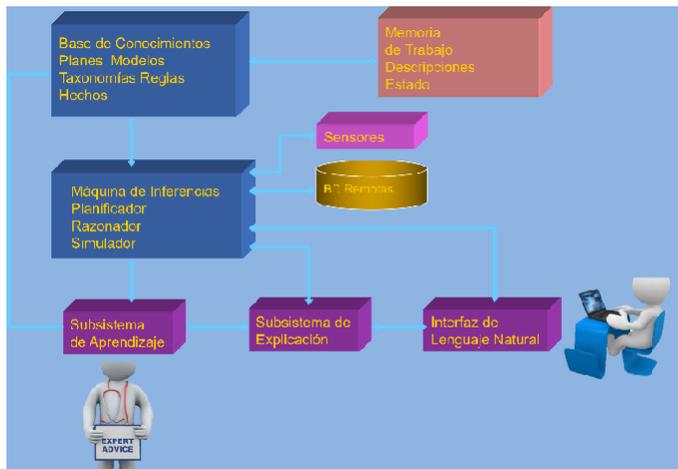


Figura 1. Arquitectura de un Sistema Experto

Los sistemas expertos basado en el conocimiento se han utilizado ampliamente en industria desde su inceptión. Un SE es un sistema informático decisivo y colectivo que es capaz de imitar la toma de decisiones de un experto humano [32]. Los sistemas expertos se reconocen como uno de los primeros modelos de IA exitosos. Este sistema depende de profesionales expertos para resolver problemas complicados en un dominio particular. El conocimiento acerca del mundo se almacena en una base de conocimiento, y el motor de inferencia implementa las reglas y condiciones con respecto al mundo que generalmente se expresan en forma de reglas IF-THEN [33]. Los sistemas expertos basado en el conocimiento se han aplicado en [18,19,20,21,22].

### LÓGICA DIFUSA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

FL se ha empleado en la industria alimentaria en el modelado, control y clasificación de alimentos y en el tratamiento de problemas relacionados con la gestión del razonamiento humano en términos lingüísticos [23]. La evaluación de los alimentos mediante sensores es una de las formas más comunes de aplicación de la FL. Además, se puede lograr una solución más rápida a los problemas mediante el uso de un sistema que

implique reglas difusas [24]. Se ha demostrado que FL mantiene con éxito la calidad de los alimentos, y actúa como una herramienta de predicción y un sistema de control para los procesos de producción. La Fig. 2 muestra un esquema de inferencia con Lógica Difusa.

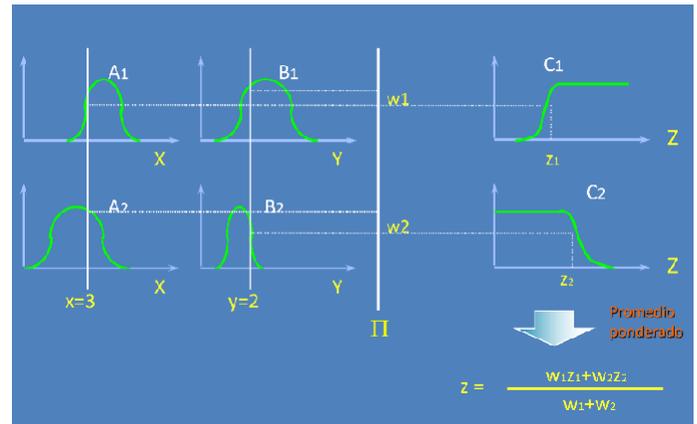


Figura 2. Esquema de Inferencia con FL

### ANN Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (ML) EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La estructura general de una ANN se muestra en la Fig. 3. En [25] han declarado que ANN es adecuado para modelar la mayoría de los sistemas no lineales y es adaptable a nuevas situaciones a pesar de que se necesitan ajustes. Además, las características más destacadas de la ANN es su regresión no lineal [25].

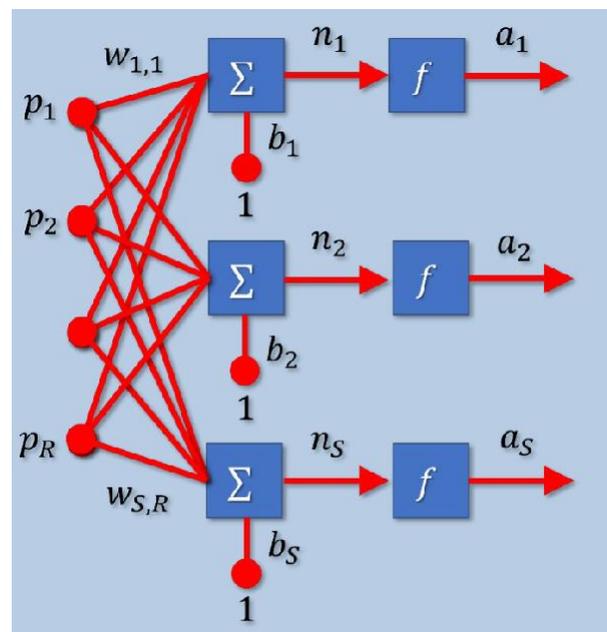


Figura 3. Arquitectura de una ANN

Entre los modelos conocidos del aprendizaje automático se encuentran ANN, árboles de decisión (DT), máquinas de vectores de soporte (SVM), análisis de regresión, redes bayesianas, algoritmos genéticos, máquinas de kernel y aprendizaje federado. ML se ha utilizado comúnmente para manejar tareas complejas y una gran cantidad de datos, así como una diversidad de variables donde no hay fórmula existente disponible para el problema. Aparte de eso, los modelos de ML tienen la capacidad de aprender de ejemplos en lugar de programarse con reglas. Estudios han mostrado que el uso de ML ha ayudado a reducir el costo de la evaluación sensorial, la toma de decisiones y la mejora de las estrategias comerciales para satisfacer las necesidades de los usuarios [26]. ML también ha predicho la tendencia de las ventas en la industria alimentaria [86], el desperdicio de alimentos generado y dar una idea del sistema de producción [27].

### SISTEMAS DE INFERENCIA NEURO-DIFUSA ADAPTATIVA (ANFIS) EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

ANFIS es un tipo de IA donde FL y ANN se combinan de tal manera que integra el estilo de razonamiento humano del sistema FL con las capacidades computacionales y de aprendizaje de ANN [23]. ANFIS se ha aplicado en varios procesos de alimentos que comprende cinco categorías como son la predicción de la propiedad de los alimentos, el secado de los alimentos, el modelado de procesos térmicos, el crecimiento microbiano y el control de calidad, así como la reología de los alimentos [23]. La Fig. 4 muestra el esquema de una ANFIS.

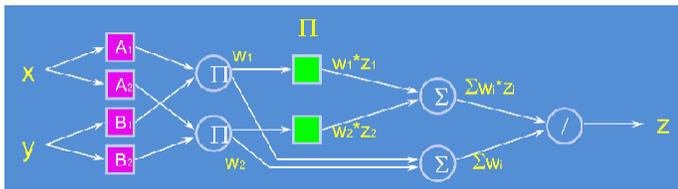


Figura 4. Esquema de una ANFIS

### INTEGRACIÓN DE LA IA CON SENSORES EXTERNOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

FL o ANN a menudo se integran con sensores para la detección en tiempo real de variables de interés, como la nariz electrónica (E-nose), la lengua electrónica (E-tongue), el aprendizaje automático (ML), el sistema de visión por computadora (CVS) y la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para obtener resultados de mayor precisión en un tiempo más corto. Estos detectores también han combinado sus elementos para mejorar su precisión y resultados específicos. La integración de estos sensores con los métodos de inteligencia artificial se ha mostrado bastante en la industria alimentaria en los últimos años. En particular, CVS ha sido una de las tecnologías más socorridas. La Figura 8 muestra el principio de funcionamiento de un CVS. Un ejemplo sobre la utilización de CVS para el control de calidad

se muestra en la Fig. 9 [28]. La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es muy buscada en la industria alimentaria, ya que no emplea productos químicos y los resultados se pueden obtener con precisión en cuestión de minutos o incluso continuamente [29]. La capacidad del sistema NIRS para detectar las propiedades físicas y químicas junto con técnicas de computación blanda como ANN, FL y ML permite que la clasificación y predicción de las muestras se realice de forma rápida y precisa.

### REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 4.0 EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Entre los factores determinantes para la aplicación de la IA en la industria alimentaria se encuentra la introducción de la Revolución Industrial 4.0 (IR 4.0). La fusión de tecnologías o sistemas inteligentes en la industria convencional es lo que se conoce como IR 4.0 y se puede llamar fábrica inteligente [30]. En IR 4.0 la integración con sensores externos presenta un mayor porcentaje en comparación con aquellos sin la integración de los sensores en las industrias alimentarias. El propósito de los sensores externos es obtener datos de las muestras que luego se emplean en los algoritmos de IA para llevar a cabo tareas como clasificación, predicción, control de calidad y otras. En definitiva, a medida la IA se encamina hacia la 2.0 [31], se puede predecir que el aumento del uso de la IA en la industria alimentaria es definitivo e inevitable debido a las ventajas que puede ofrecer, como el ahorro en tiempos, dinero y energía, así como la precisión en la predicción de los principales factores que afectan a la industria. La Fig. 5 muestra tecnologías representativas de las diferentes etapas de desarrollo de la industria.

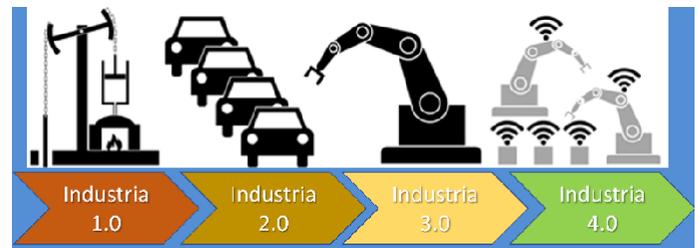


Figura 5. Evolución de la Industria

### CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

La IA ha estado desempeñando un papel cada vez más importante en la industria alimentaria por diversas razones, para el modelado, la predicción, como herramienta de control, la evaluación sensorial, el control de calidad y la resolución de problemas complejos en la producción de alimentos. Aparte de eso, la IA es capaz de mejorar las estrategias comerciales debido a su capacidad de predecir ventas y el incremento del rendimiento. La IA es ampliamente reconocida debido a su simplicidad, precisión y método de ahorro de costos. El artículo resume críticamente las aplicaciones de la IA, sus ventajas y

limitaciones, así como la integración de los algoritmos con diferentes sensores como E-nose y E-tongue en la industria alimentaria. Como trabajo futuro se propone el desarrollo de una guía general para desarrollar un algoritmo apropiado antes de usar el modelo de IA en el campo relacionado con la industria alimentaria, lo cual ayudaría y alentaría a los investigadores y actores industriales a aventurarse en la tecnología que ha demostrado proporcionar muy buenos resultados en numerosas ocasiones.

## REFERENCIAS

- [1] Borana J, Jodhpur NU (2016) Applications of artificial intelligence & associated technologies. Proceeding of International Conference on Emerging Technologies in Engineering, Biomedical, Management and Science [ETEBMS-2016], March, 5–6.
- [2] Iqbal J, Khan ZH, Khalid A (2017) Prospects of robotics in food industry. *Food Science and Technology* 37(2):159–165. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14616>
- [3] Ge Z, Song Z, Ding SX, Huang B (2017) Data mining and analytics in the process industry: the role of machine learning. *IEEE Access* 5:20590–20616. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2756872>
- [4] Mahadevappa J, Groß F, Delgado A (2017) Fuzzy logic based process control strategy for effective sheeting of wheat dough in small and medium-sized enterprises. *J Food Eng* 199:93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.013>
- [5] Elferink M, Schierhorn F (2016) Global demand for food is rising. Can we meet it? *Harvard Business Review* 7(4):1–7. <https://www.researchgate.net/publication/302466629%0A>
- [6] Garver K (2018) 6 examples of artificial intelligence in the food industry. Retrieved from <https://foodindustryexecutive.com/6-examples-of-artificial-intelligence-in-the-food-industry/>.
- [7] Sharma Sagar (2019) How artificial intelligence is revolutionizing food processing business? Retrieved from: <https://towardsdatascience.com/how-artificial-intelligence-is-revolutionizing-food-processing-business-d2a6440c03> Citeference.60
- [8] Utermohlen K (2019) 4 Applications of artificial intelligence in the food industry, Retrieved from <https://heartbeat.fritz.ai/4-applications-of-artificial-intelligence-ai-in-the-food-industry742d7c02948>
- [9] Funes E, Allouche Y, Beltrán G, Jiménez A (2015) A review: artificial neural networks as tool for control food industry process. *Journal of Sensor Technology* 05(01):28–43. <https://doi.org/10.4236/jst.2015.51004>
- [10] Correa DA, Montero Castillo PM, Martelo RJ (2018) Neural networks in food industry. *Contemp Eng Sci* 11(37):1807–1826. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.84141>
- [11] Kondakci T, Zhou W (2017) Recent applications of advanced control techniques in food industry. *Food Bioprocess Technol* 10(3):522–542. <https://doi.org/10.007/s11947-016-1831-x>
- [12] Wang J, Yue H, Zhou Z (2017) An improved traceability system for food quality assurance and evaluation based on fuzzy classification and neural network. *Food Control* 79:363–370. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.013>
- [13] Rahman MS, Rashid MM, Hussain MA (2012) Thermal conductivity prediction of foods by Neural Network and Fuzzy (ANFIS) modeling techniques. *Food Bioprod Process* 90(2):333–340. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.07.001>
- [14] Rahman NA, Hussain MA, Jahim MJ (2012) Production of fructose using recycle fixed-bed reactor and batch bioreactor. *J Food Agric Environ* 10(2):268–273
- [15] Corney D (2002) Food bytes: intelligent systems in the food industry. *British Food Journal* 104(10):787–805. <https://doi.org/10.1108/00070700210448890>
- [16] Perrot N, Ioannou I, Allais I, Curt C, Hossenlopp J, Trystram G (2006) Fuzzy concepts applied to food product quality control: a review. *Fuzzy Sets Syst* 157(9):1145–1154. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.12.013>
- [17] Doganis P, Alexandridis A, Patrinos P, Sarimveis H (2006) Time series sales forecasting for short shelf-life food products based on artificial neural networks and evolutionary computing. *J Food Eng* 75(2):196–204. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.056>
- [18] Sipos A (2020) A knowledge-based system as a sustainable software application for the supervision and intelligent control of an alcoholic fermentation process. *Sustainability* 12(23):10205. <https://doi.org/10.3390/su122310205>
- [19] Ardiansah I, Efatmi F, Mardawati E, Putri SH, Padjadjaran U, Info A, Testing F, Product F, Chaining F, Industries M (2020) Feasibility testing of a household industry food production certificate using an expert system with forward chaining method. *J Inform Frequency* 5(2):137–144. <https://doi.org/10.15575/join.v5i2.579>
- [20] Filter M, Appel B, Buschulte A (2015) Expert systems for food safety. *Curr Opin Food Sci* 6:61–65. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.01.004>
- [21] Skjerdal T, Tessema GT, Fagereng T, Moen LH, Lyshaug L, Gefferth A, Spajic M, Estanga EG, De Cesare A, Vitali S, Pasquali F, Bovo F, Manfreda G, Mancusi R, Trevisiani M, Koidis A, Delgado-Pando G, Stratakos AC, Boeri M, Halbert C (2018) The STARTEC decision support tool for better tradeoffs between food safety, quality, nutrition, and costs in production of advanced ready-to-eat foods. *Biomed Res Int* 2018:1–13
- [22] Suciu I, Ndiaye A, Baudrit C, Fernandez C, Kondjoyan A, Mirade PS, Sicard J, Tournayre P, Bohuon P, Buche P, Courtois F, Guillard V, Athes V, Flick D, Plana-Fattori A, Trelea C, Trystram G, Delaplace G, Curet S, Della Valle G (2021) A digital learning tool based on models and

- simulators for food engineering (MESTRAL). *J Food Eng* 293(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodng.2020.110375>
- [23] Al-Mahasneh M, Aljarrah M, Rababah T, Alu'datt, M. (2016) Application of Hybrid Neural Fuzzy System (ANFIS) in food processing and technology. *Food Eng Rev* 8(3):351–366. <https://doi.org/10.1007/s12393-016-9141-7>
- [24] Cebi N, Sagdic O, Basahel AM, Balubaid MA, Taylan O, Yaman M, Yilmaz MT (2019) Modeling and optimization of ultrasound-assisted cinnamon extraction process using fuzzy and response surface models. *J Food Process Eng* 42(2):1–15. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12978>
- [25] Gonzalez-Fernandez I, Iglesias-Otero MA, Esteki M, Moldes OA, Mejuto JC, Simal-Gandara J (2019) A critical review on the use of artificial neural networks in olive oil production, characterization and authentication. *Crit Rev Food Sci Nutr* 59(12):1913–1926. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1433628>
- [26] 82. Lu NV, Vuong TN, Dinh DT (2020) Combining correlation-based feature and machine learning for sensory evaluation of saigon beer. *International Journal of Knowledge and Systems Science* 11(2):71–85. <https://doi.org/10.4018/IJKSS.2020040104>
- [27] Garre A, Ruiz MC, Hontoria E (2020) Application of machine learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives* 7(January):100147. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100147>
- [28] Columbus L (2020) 10 ways AI is improving manufacturing in 2020. Retrieved from 10 Ways AI Is Improving Manufacturing In 2020 (forbes.com).
- [29] Qu JH, Liu D, Cheng JH, Sun DW, Ma J, Pu H, Zeng XA (2015) Applications of near-infrared spectroscopy in food safety evaluation and control: a review of recent research advances. *Crit Rev Food Sci Nutr* 55(13):1939–1954. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.871693>
- [30] Morrar R, Arman H, Mousa S (2017) The fourth industrial revolution (Industry 4.0): a social innovation perspective. *Technol Innov Manag Rev* 7(11):12–20. <https://doi.org/10.22215/timreview/1323>
- [31] Pan Y (2016) Heading toward artificial intelligence 2.0. *Engineering* 2(4):409–413. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.018>
- [32] Szturo K, Szczypinski PM (2017) Ontology based expert system for barley grain classification. *Signal Processing - Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings, SPA, 2017-Septe:360–364.* <https://doi.org/10.23919/SPA.2017.8166893>
- [33] Leo Kumar SP (2019) Knowledge-based expert system in manufacturing planning: state-of-the-art review. *Int J Prod Res* 57(15–16):4766–4790. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424372>