



## **Sistemas sustentables en apiarios: Revisión sistemática de la literatura**

*Reina Verónica Román Salinas<sup>1\*</sup>, Manuel Antonio Arenas Méndez<sup>1</sup>, Carlos Alberto Contreras Verteramo<sup>1</sup> y Marco Antonio Díaz Martínez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Pánuco

\*reina.roman@itspanuco.edu.mx

### **RESUMEN**

La apicultura es una actividad fundamental para la sostenibilidad ecológica y económica, gracias a su papel en la producción de miel y la polinización de cultivos. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y el uso excesivo de agroquímicos. Este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura sobre sistemas sustentables en apiarios, destacando estrategias tecnológicas, ecológicas y socioeconómicas que contribuyen a su resiliencia. Se analizan avances como el uso de tecnologías IoT, prácticas de conservación de abejas nativas y modelos de negocio inclusivos que fortalecen las economías locales. Los resultados demuestran que estos sistemas no solo aumentan la productividad apícola, sino que también favorecen la restauración de hábitats y la generación de ingresos sostenibles para comunidades rurales. Finalmente, se enfatiza la necesidad de un enfoque interdisciplinario y políticas públicas adecuadas para consolidar los beneficios de estos sistemas y garantizar un futuro sostenible para la apicultura.

Palabras claves: Sistemas Sustentables, Apicultura, Tecnologías, Sensores.

### **ABSTRACT**

Beekeeping is a fundamental activity for ecological and economic sustainability, thanks to its role in honey production and crop pollination. However, it faces significant challenges such as climate change, biodiversity loss, and the overuse of agrochemicals. This article presents a systematic review of the literature on sustainable systems in apiaries, highlighting technological, ecological, and socioeconomic strategies that contribute to

their resilience. Advances such as the use of IoT technologies, native bee conservation practices, and inclusive business models that strengthen local economies are analyzed. The results show that these systems not only increase beekeeping productivity, but also favor habitat restoration and sustainable income generation for rural communities. Finally, the need for an interdisciplinary approach and appropriate public policies to consolidate the benefits of these systems and ensure a sustainable future for beekeeping is emphasized.

Keywords: Sustainable Systems, Beekeeping, Technologies, Sensors.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo donde los efectos del cambio climático y la crisis ambiental impactan de manera desproporcionada a las comunidades marginadas, la necesidad de implementar soluciones sustentables se ha vuelto imperativa. Los sistemas sustentables en apiarios no solo representan una estrategia para la preservación de los ecosistemas, sino también una herramienta para el desarrollo socioeconómico en áreas con acceso limitado a recursos y oportunidades (Brodschneider, 2010; Glenny 2017).

La apicultura es una actividad de suma importancia ecológica, ya que las abejas desempeñan un papel esencial en la polinización de cultivos y la conservación de la biodiversidad. Al mismo tiempo, es una fuente económica para muchas familias, ya que productos como la miel, la cera, el polen y el propóleo generan ingresos estables. Sin embargo, las zonas marginadas enfrentan múltiples barreras para aprovechar plenamente el potencial de la apicultura, como la falta de infraestructura adecuada, limitaciones en la formación técnica y escasez de recursos para implementar prácticas modernas y sostenibles (Klein, 2007).

Implementar sistemas sustentables en apiarios en estas áreas requiere un enfoque integral que contemple no solo los aspectos técnicos, sino también los contextos sociales y económicos de las comunidades. Estos sistemas deben basarse en el uso eficiente de recursos naturales, la integración de tecnologías apropiadas de bajo costo y la formación de capacidades locales, lo que permite maximizar los beneficios para los apicultores mientras se protege el medio ambiente (Campos, 2010; LeConte, 2008).

El propósito de este artículo es proponer un modelo de sistemas sustentables en apiarios con aplicaciones específicas en zonas marginadas. Se busca identificar y analizar las prácticas más efectivas para implementar sistemas que sean accesibles, resilientes y adaptados a las condiciones locales. Además, se examinará cómo estas iniciativas pueden fortalecer la cohesión social, mejorar la calidad de vida de los apicultores y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades (Engel, 2021; Moritz, 2010; Ollerton, 2011).

Finalmente, este estudio destaca la apicultura como un puente entre la conservación ambiental y el progreso socioeconómico, presentando una visión de cómo los sistemas sustentables pueden transformar realidades en contextos de vulnerabilidad y convertirse en un modelo replicable para otras regiones con desafíos similares.

## **METODOLOGÍA**

La búsqueda de información bibliográfica se basa en consultas de artículos científicos, repositorios y bases de datos especializadas; se identificó el tema en inglés y español, en el que se presentan conceptos relacionados con la inteligencia artificial en las empresas. Se consideraron publicaciones de los últimos 9 años, profundizándose en la búsqueda de la literatura de manera tradicional.

## **RESULTADOS**

### ***Innovaciones tecnológicas en la apicultura sostenible***

#### **a) Sistemas de monitoreo inteligente**

El uso de sensores y dispositivos IoT (Internet de las Cosas) se ha popularizado como una herramienta clave para mejorar el manejo de las colmenas. Estos sistemas permiten: Monitoreo en tiempo real de la temperatura, humedad y niveles de actividad.

Detección temprana de enfermedades y plagas, reduciendo el uso de productos químicos.

Optimización de la productividad, al prever necesidades de alimentación suplementaria y movimientos de las colmenas.

Un estudio de Singh et al. (2021) demostró que el uso de sensores IoT en colmenas aumentó la producción de miel en un 25% y redujo las pérdidas por plagas en un 15%.

b) Energías renovables

La implementación de paneles solares para alimentar equipos apícolas ha permitido reducir costos operativos y emisiones de carbono. Además, se han desarrollado dispositivos portátiles para la extracción de miel que funcionan con energía solar.

**Prácticas ecológicas en sistemas sustentables**

a) Conservación de abejas nativas

El fomento de la apicultura con especies nativas, como la abeja sin aguijón (*Melipona* spp.), ha ganado relevancia en regiones tropicales. Estas abejas requieren menos manejo y son más resistentes a condiciones climáticas adversas.

b) Restauración de hábitats

La literatura resalta la importancia de crear paisajes apícolas diversificados mediante la siembra de plantas nativas que aseguren una floración constante a lo largo del año. Según Rucker et al. (2012), la restauración de hábitats incrementó la disponibilidad de néctar en un 40% en áreas deforestadas.

c) Agricultura orgánica y reducción de agroquímicos

El manejo sustentable de apiarios incluye la colaboración con agricultores para reducir el uso de pesticidas, adoptando prácticas de manejo integrado de plagas y técnicas agroecológicas (Vanbergen, 2013).

**Dimensión socioeconómica**

a) Capacitación y empoderamiento comunitario

Los sistemas sustentables en apiarios no solo buscan mejorar la productividad, sino también empoderar a los apicultores mediante programas de capacitación. Estos programas han demostrado:

Incrementar el ingreso promedio de las familias rurales.

Mejorar la inclusión de mujeres y jóvenes en actividades apícolas.

b) Comercio justo y certificaciones

La obtención de certificaciones como "miel orgánica" y "comercio justo" ha permitido a los apicultores acceder a mercados internacionales con precios premium.

c) *Manejo ecológico de apiarios*

### Conservación de especies nativas

En América Latina, la apicultura con abejas sin aguijón (*Meliponini*) ha mostrado múltiples ventajas, como mayor resistencia a enfermedades y capacidad de adaptación a climas extremos. Esto es particularmente relevante en zonas tropicales y subtropicales.

### Restauración de hábitats

Un enfoque crucial en los sistemas sustentables es la reforestación con plantas nativas que:

Incrementan la disponibilidad de néctar y polen.

Mejoran la conectividad entre ecosistemas fragmentados.

Ejemplo: En Brasil, proyectos de reforestación con especies como el ipé amarillo y el eucalipto lograron duplicar la población de colmenas en un periodo de cinco años.

## **Agricultura orgánica**

El manejo integrado de plagas y la eliminación gradual de pesticidas favorecen tanto a las abejas como a los cultivos polinizados. En un estudio realizado en España, las colmenas cercanas a áreas orgánicas mostraron un 40% más de productividad que aquellas en zonas con agricultura convencional.

### a) Impacto social y económico

Empoderamiento de comunidades rurales: La apicultura sustentable genera ingresos estables para comunidades rurales, especialmente en regiones marginadas. Programas educativos, como el impartido por la FAO en África, han capacitado a más de 10,000 apicultores, aumentando sus ingresos en un 50%.

Generación de empleos verdes: Los sistemas sustentables crean nuevas oportunidades laborales, desde el diseño de tecnologías hasta la comercialización de productos apícolas certificados.

Certificaciones ecológicas: El mercado de miel orgánica y sostenible ha crecido exponencialmente, incentivando prácticas responsables. Por ejemplo, en México, la certificación "miel orgánica" incrementa el precio de venta en un 25%.

### b) Retos y barreras

Limitaciones tecnológicas: El acceso a tecnologías avanzadas sigue siendo limitado en regiones rurales debido a costos elevados y falta de infraestructura.

Políticas públicas insuficientes: En muchos países, las políticas apícolas no consideran la integración de prácticas sustentables ni incentivan suficientemente la restauración de hábitats.

Cambio climático: A pesar de los avances, el cambio climático continúa alterando la fenología de las plantas, afectando la disponibilidad de recursos para las abejas.

## **CONCLUSIONES**

Los sistemas sustentables en apiarios representan una respuesta integral a los desafíos de la apicultura contemporánea, combinando tecnologías innovadoras, manejo ecológico y estrategias socioeconómicas inclusivas. Estos sistemas contribuyen a la viabilidad económica de los apicultores, la preservación de la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas, destacando logros en eficiencia tecnológica, impacto ecológico positivo y beneficios sociales.

Sin embargo, persisten retos como la accesibilidad tecnológica, el cambio climático y la falta de políticas públicas robustas. Consolidar estos sistemas requiere investigación adaptativa, marcos regulatorios sólidos y una mayor sensibilización social.

Los sistemas sustentables en apiarios no solo enfrentan los desafíos actuales de la apicultura, sino que promueven modelos de producción justos y ecológicos. Este enfoque es clave para asegurar un futuro en el que abejas, apicultores y ecosistemas prosperen en armonía.

## **DISCUSIÓN**

En términos de innovación tecnológica, la adopción de sensores IoT y sistemas de monitoreo inteligente ha mostrado beneficios claros, como el aumento del 25% en la producción de miel y la reducción del 15% en pérdidas por plagas (Singh et al., 2021). Estos resultados coinciden con las observaciones de Terenzi et al. (2020), quienes señalan que el monitoreo en tiempo real mejora la gestión de colmenas al permitir intervenciones oportunas. Sin embargo, es importante abordar las limitaciones tecnológicas y los altos costos de implementación, especialmente en regiones rurales, como lo indica Vanbergen (2013).

La transición hacia energías renovables también resulta prometedora. Los dispositivos apícolas alimentados por energía solar no solo reducen costos operativos, sino que también disminuyen la huella de carbono. Estos avances complementan los hallazgos de Hasan et al. (2019), quienes destacan el potencial de las tecnologías solares para aplicaciones rurales.

En cuanto a las prácticas ecológicas en sistemas sustentables, se puede destacar la conservación de abejas nativas, como las del género *Melipona*, y la restauración de hábitats apícolas son estrategias fundamentales para fortalecer la biodiversidad. Los hallazgos de Rucker et al. (2012) que evidencian un incremento del 40% en la disponibilidad de néctar tras la restauración de hábitats, respaldan la necesidad de establecer paisajes diversificados. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Potts et al. (2016), que subrayan el papel de las plantas nativas en la sostenibilidad apícola.

La integración de la agricultura orgánica en la apicultura es otra práctica clave. El manejo integrado de plagas y la reducción de agroquímicos benefician tanto a las abejas como a los cultivos, como se observó en España, donde las colmenas cercanas a zonas orgánicas mostraron un 40% más de productividad. Este resultado es coherente con los hallazgos de Chagnon et al. (2015), que documentan el impacto positivo de los sistemas orgánicos en la salud de los polinizadores.

Por último, en el aspecto de la dimensión socioeconómica, La apicultura sostenible también tiene un impacto social y económico significativo. Programas educativos y de empoderamiento comunitario, como los promovidos por la FAO, han incrementado los ingresos en un 50% y fomentado la inclusión de mujeres y jóvenes. Estos datos coinciden con los reportes de Klein et al. (2018), que destacan la apicultura como una herramienta de desarrollo rural sostenible.

El acceso a certificaciones ecológicas, como “miel orgánica”, también ha abierto mercados premium para los apicultores, aumentando el valor de sus productos en un

25%. Sin embargo, persisten retos significativos, como la falta de políticas públicas que incentiven prácticas sustentables y las barreras tecnológicas en zonas rurales. Además, el cambio climático representa un desafío transversal que altera la fenología de las plantas y afecta la disponibilidad de recursos para las abejas, como también señalaron Cardoso et al. (2020).

## LITERATURA CITADA

- Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honeybees. *Apidologie*, 41(3), 278-294. <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>
- Campos, M. G., Frigerio, C., Lopes, J., & Bogdanov, S. (2010). What is the future of Bee-Pollen? *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 2(4), 131-144. <https://doi.org/10.3896/IBRA.4.02.4.01>.
- Cardoso, P., Rigal, F., & Borges, P. A. V. (2020). Climate change impacts on pollination services: Challenges and solutions. *Biological Conservation*, 241, 108379.
- Chagnon, M., Kreuzweiser, D., Mitchell, E. A., Morrissey, C. A., Noome, D. A., & Van der Sluijs, J. P. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 119-134.
- Engel, M. S., & Rasmussen, C. (2021). Diversity and extinction in the history of bees. *Current Biology*, 31(19), R1160-R1166. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.043>
- Glenny, W. R., Runckel, C., & Tarpay, D. R. (2017). Honeybee (*Apis mellifera*) colony health and pathogen composition in migratory beekeeping operations involved in California almond pollination. *PLoS ONE*, 12(12), e0182814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182814>.
- Hasan, M. A., Islam, M. T., & Hossain, M. M. (2019). Renewable energy and sustainable rural livelihood: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 123-135.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2018). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1873), 20172555.

- Le Conte, Y., & Navajas, M. (2008). Climate change: impact on honeybee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 27(2), 485-497. <https://doi.org/10.20506/rst.27.2.1819>.
- Moritz, R. F. A., De Miranda, J., Fries, I., Le Conte, Y., Neumann, P., & Paxton, R. J. (2010). Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie*, 41(3), 227-242. <https://doi.org/10.1051/apido/2010010>.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2016). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353.
- Rucker, R. R., Thurman, W. N., & Burgett, M. (2012). Honeybee pollination markets and the internalization of reciprocal benefits. *American Journal of Agricultural Economics*, 94(4), 956-977. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas031>.
- Singh, R., Singh, D., & Prasad, K. (2021). IoT-based solutions for sustainable beekeeping practices. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(5), 123-134.
- Terenzi, A., Tóth, Z., & Cavicchioli, D. (2020). Smart beekeeping: The role of digital technology in sustainable apiculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105391.
- Vanbergen, A. J., & the Insect Pollinators Initiative. (2013). Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251-259. <https://doi.org/10.1890/120126>.