

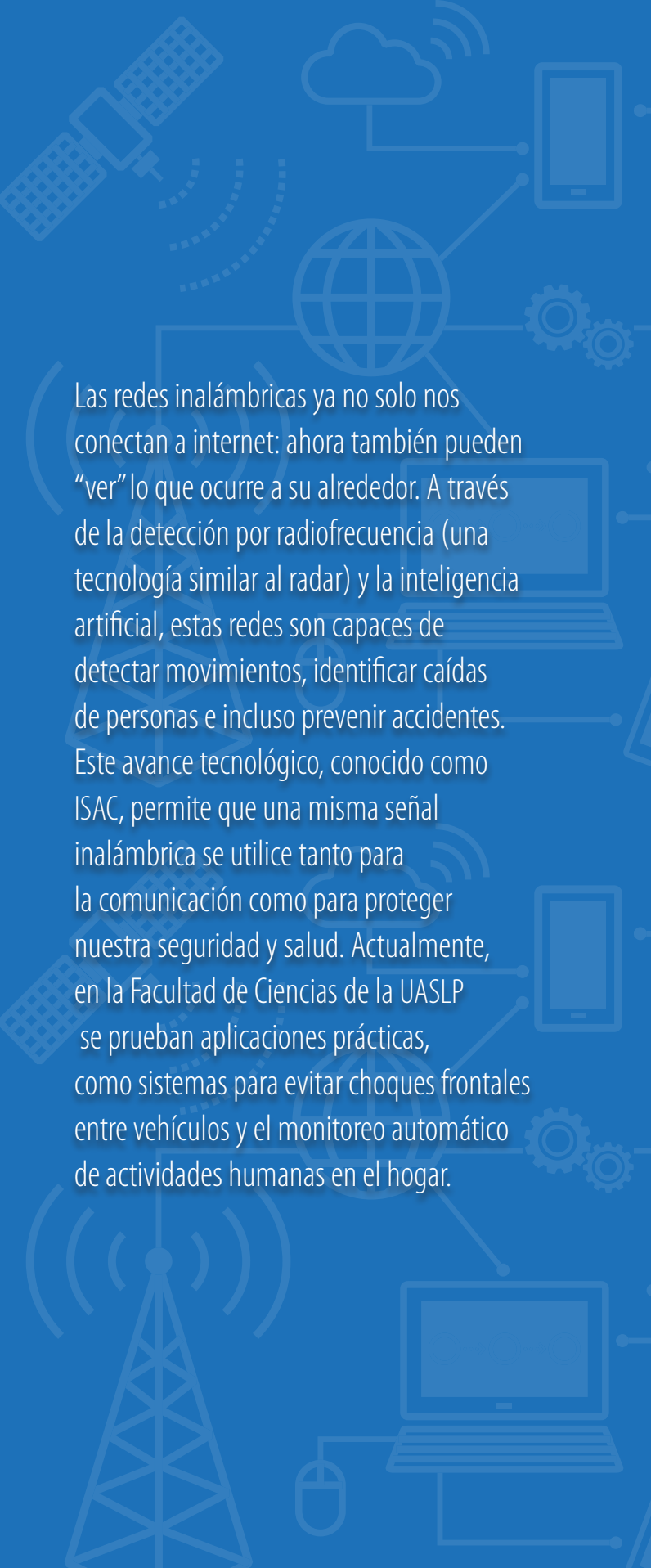
Recibido: 05.08.2024 • Aceptado: 04.06.2025

Palabras clave: Efecto Doppler, Radio detección,
Aprendizaje profundo, Comunicaciones inalámbricas.

Un vigilante silencioso: las redes inalámbricas

MIGUEL A. DIAZ IBARRA
miguel.diaz@upslp.edu.mx
FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP
JORGE D. CÁRDENAS
j.cardenas@ieee.org
FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP
CARLOS A. GUTIÉRREZ
cagutierrez@ieee.org
FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP





Las redes inalámbricas ya no solo nos conectan a internet: ahora también pueden “ver” lo que ocurre a su alrededor. A través de la detección por radiofrecuencia (una tecnología similar al radar) y la inteligencia artificial, estas redes son capaces de detectar movimientos, identificar caídas de personas e incluso prevenir accidentes. Este avance tecnológico, conocido como ISAC, permite que una misma señal inalámbrica se utilice tanto para la comunicación como para proteger nuestra seguridad y salud. Actualmente, en la Facultad de Ciencias de la UASLP se prueban aplicaciones prácticas, como sistemas para evitar choques frontales entre vehículos y el monitoreo automático de actividades humanas en el hogar.

Los sistemas de comunicaciones inalámbricas, como las redes de área local inalámbrica (wifi) y la telefonía celular (4G y 5G), han pasado a formar parte de muchos aspectos de nuestra vida diaria. El ejemplo más conocido es el teléfono inteligente, que hace uso de las redes inalámbricas. Sin embargo, ahora estas redes también las encontramos en dispositivos vestibles que se utilizan cotidianamente para el cuidado de la salud, como los relojes inteligentes que monitorean la actividad cardíaca y la respiración de un paciente. Además, las tecnologías inalámbricas se usan ampliamente en infraestructuras públicas como centros comerciales, plazas o vías de tránsito para vigilancia a través de cámaras de video.

La evolución de estas tecnologías se ha enfocado, en buena medida, en mejorar la conexión, es decir, en aumentar la velocidad de los datos y la disponibilidad del servicio. Esto ha definido la tendencia y el rumbo tanto del wifi como de la telefonía móvil, así como de otros servicios, como los utilizados para el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Sin embargo, es importante que los servicios se adapten a las nuevas necesidades de la sociedad y permitan cubrir un mayor rango de aplicaciones. Es por ello que los nuevos servicios emergentes de las tecnologías de comunicación han considerado integrar nuevas aplicaciones, como la detección por radiofrecuencia (RF). Esta tecnología se basa en la conectividad entre dispositivos a través de las señales RF, con el fin de detectar un significativo número de cambios en el entorno que nos rodea.

Pero ¿qué significa detectar cambios en el entorno que nos rodea? Puede explicarse con el siguiente ejemplo: imagina que estás cruzando la calle, completamente concentrado en tu celular, mientras el semáforo peatonal está en verde. De pronto, un vehículo se salta el semáforo y se aproxima rápidamente, pero tu atención está tan fija en el celular que no percibes el vehículo que se te aproxima. Afortunadamente, si existe una red de comunicación inalámbrica entre todos los dispositivos que te rodean, es posible detectar cuando uno de estos dispositivos se mueve en dirección hacia ti. Hay diversas técnicas para detectar estos cambios o movimientos a través de las señales de RF. Sin embargo, el objetivo es mandar alertas de seguridad cuando uno de estos eventos ponga en riesgo la vida de las personas, como se muestra en la figura 1. Este tipo de alerta es un ejemplo práctico de cómo la nueva tecnología puede mejorar la seguridad al detectar y comunicar en tiempo real los riesgos del entorno.



Figura 1.
Ejemplo de la tecnología detección por RF

¿Qué otras aplicaciones pueden tener la tecnología de detección por RF? Algunas de las aplicaciones más importantes que se están considerando incluyen: la navegación de coches conectados y autónomos (CAVs, por sus siglas en inglés), las aplicaciones de vigilancia, los hogares inteligentes, la salud electrónica (monitoreización de pacientes), las industrias inteligentes, entre otras. Sin embargo, antes del despliegue comercial de estos servicios, es necesario realizar numerosas pruebas de viabilidad, como se mencionará más adelante.

A grandes rasgos, la detección por RF (también conocida como percepción inalámbrica en el contexto de 5G) es una tecnología similar a la utilizada en los radares, como los que se emplean en los aeropuertos para rastrear la trayectoria de los aviones. El radar funciona transmitiendo señales RF; cuando estas señales impactan con un objeto, como un avión, se reflejan y regresan al radar. Esta señal de retorno permite detectar la presencia de aviones incluso cuando no están a la vista.

Las futuras redes de comunicación inalámbrica integrarán un nuevo sistema de detección por RF, lo que les permitirá ser conscientes del entorno. Sin embargo, los sistemas de comunicación y radiodetección han sido desarrollados como sistemas independientes, a pesar de compartir algunas características en cuanto hardware, software y las señales usadas para su operación. Esta situación ha motivado el desarrollo de enfoques que buscan aprovechar los recursos ya implementados en sistemas de comunicación para realizar tareas de detección por RF.

Esta clase de enfoque se le conoce como comunicaciones y detección integradas (ISAC, por sus siglas en inglés) (Zhang *et al.*, 2021). En ISAC, se pueden aprovechar los recursos ya disponibles en los sistemas de comunicación para realizar ambas tareas sin comprometer la calidad del servicio. Esto es posible porque en dichos sistemas se utilizan señales de control que, aunque no transportan información, pueden emplearse para percibir el

entorno. Esta característica reduce los costos de implementación y consumo energético de los dispositivos. Por tanto, ISAC representa una alternativa para mejorar la eficiencia de los sistemas de comunicación.

De hecho, la tecnología ISAC aplicada a los sistemas de comunicación vehicular y las redes wifi, tiene el potencial de detectar eventos relacionados con el cuidado de la salud y la seguridad de las personas. Por ejemplo, en aplicaciones de vehículos inteligentes, puede emplearse para la detección de objetos que representen riesgos de colisión y, así, prevenir accidentes. En el hogar, permite la detección de caídas en adultos mayores, lo que contribuiría significativamente al bienestar de las personas. En la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) se han desarrollado diversos proyectos de investigación que buscan evaluar la factibilidad de estas dos aplicaciones.

Prevención de colisiones frontales en entornos vehiculares

Las colisiones frontales son serios eventos de seguridad vial que causan numerosas muertes cada año. Generalmente, estas se deben a distracciones del conductor o a factores externos que dificultan la visibilidad de otros vehículos, como la niebla o la lluvia (Zhang *et al.*, 2021).

Para prevenir estos accidentes, se han desarrollado sistemas de advertencia que ayudan tanto a los conductores como a los vehículos autónomos mediante sensores como radares y videocámaras. No obstante, esta tecnología tiene limitaciones en cuanto a distancia de cobertura, los cambios de iluminación y las obstrucciones.

Para complementar las capacidades de estos sistemas de advertencia, la Facultad de Ciencias está desarrollando sistemas alternativos basados en detección por RF. Por ejemplo, en la figura 2 se muestra un vehículo receptor (color café) que utiliza las reflexiones (ecos) de la misma señal de comunicación que transmite a un tráiler que circula delante (color blanco) para detectar la presencia de un vehículo que se aproxima (color rojo) y advertir al conductor, tal como se muestra en dicha figura.

En el campo de la inteligencia artificial una de las formas que existen para caracterizar los cambios en las señales provocadas por los vehículos que se aproximan son las técnicas de aprendizaje profundo (DL, por sus siglas en inglés), las cuales ya han demostrado su eficiencia en estudios como el presentado por J. D. Cardenas *et al.*, (2024). Estos y otros resultados prometedores han impulsado la investigación en el ámbito de la seguridad vial y en áreas relacionadas.



Figura 2
Ejemplo de rebase con alerta al conductor para evitar un accidente.

Percepción inalámbrica para monitorear actividades humanas

Las caídas representan un problema de salud a nivel global, especialmente en los adultos mayores, debido a sus implicaciones físicas y psicológicas. Una de las principales preocupaciones es que, si las personas mayores que viven de manera independiente sufren algún percance, podría no haber nadie que pudiera alertar a los sistemas de emergencia. Estos sistemas requieren cumplir con ciertos requerimientos como monitorización continua, accesibles de costo, no invasiva y conservación de la privacidad, entre otros, como se muestra en la figura 3. Sin embargo, esto es algo que los métodos convencionales, como el video, el sonido y los sensores, no logran garantizar.

En este sentido, se han desarrollado numerosas investigaciones basadas principalmente en wifi, por ser una señal de comunicación ubicua. Por ello, nuestro grupo de investigación de la Facultad de Ciencias de la UASLP desarrolló una prueba de concepto orientada a la detección de caídas. Se implementó un sistema que transmite señales de RF similares a las del wifi para monitorear los movimientos de las personas. Además, el sistema se basó en la caracterización de los eventos de caída a

través de algoritmos de DL. Esta tecnología logró detectar caídas de manera efectiva, demostrando la viabilidad del sistema propuesto (Cárdenas *et al.*, 2023).

Avances globales y el futuro de la tecnología ISAC

Los estudios realizados en la UASLP sobre la tecnología ISAC se suman a los desarrollados por otros grupos de investigación alrededor del mundo. Por ejemplo, el 3GPP (consorcio de empresas y organizaciones gubernamentales encargado de estandarizar las tecnologías móviles) está elaborando especificaciones para el desarrollo de esta tecnología. Además de las aplicaciones de vehículos inteligentes y detección de caídas de personas, el 3GPP está impulsando otras aplicaciones importantes, como el posicionamiento y localización de dispositivos y objetos, el mapeo 3D en alta resolución, la conducción autónoma, la automatización industrial, el reconocimiento de actividades humanas (por ejemplo, gestos) y la monitorización del entorno, entre otras (Recommendation, ITUR., 2024).

El futuro de la tecnología ISAC luce prometedor y abre la puerta a la concreción de ciudades inteligentes, donde las tecnologías de información y comunicaciones, no solo impulsen la productividad y el cuidado del medio ambiente, sino también el bienestar de sus habitantes.

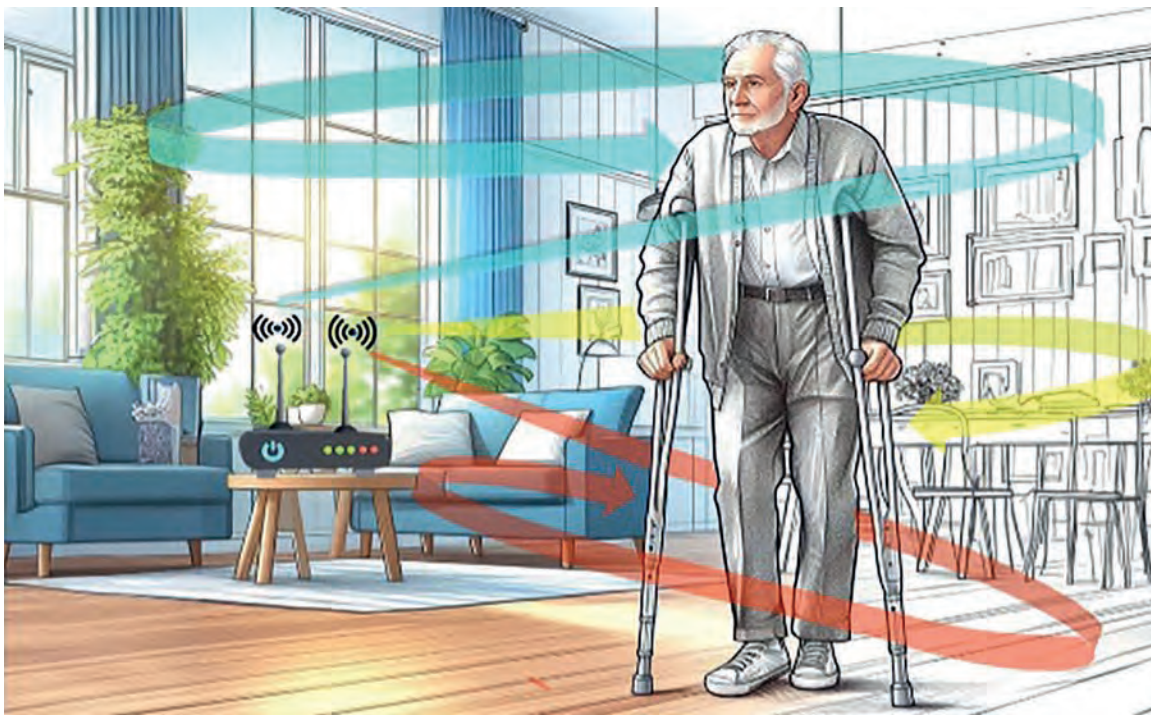


Figura 3
Sistema de detección de caídas basado en señales wifi.



MIGUEL ÁNGEL DÍAZ IBARRA

Es Doctor en Ingeniería Electrónica por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Actualmente se desempeña como profesor en la Universidad Politécnica de San Luis Potosí (UPSLP) y realiza una estancia posdoctoral en la Facultad de Ciencias de la UASLP, donde desarrolla el proyecto "Percepción inalámbrica para prevenir colisiones vehiculares mediante inteligencia artificial".

Puntos importantes del artículo

1. ¿Qué es ISAC?

Es una tecnología que integra la comunicación inalámbrica y la detección del entorno en un solo sistema, utilizando señales de radiofrecuencia (RF), como las empleadas en WiFi o redes móviles 4G/5G.

2. Prevención de accidentes vehiculares

ISAC permite detectar vehículos en movimiento y prevenir colisiones, incluso en condiciones de baja visibilidad.

3. Detección de caídas en el hogar

A través de señales como WiFi, es posible detectar caídas de personas mayores sin necesidad de cámaras ni sensores invasivos, lo que protege la privacidad y mejora la respuesta ante emergencias.

4. Uso de inteligencia artificial

La detección se basa en algoritmos de aprendizaje profundo, capaces de identificar patrones en las señales de RF y reaccionar ante situaciones críticas.

5. Tecnología del futuro: ciudades inteligentes

ISAC será fundamental en el desarrollo de las redes 6G, con aplicaciones en vehículos autónomos, salud, seguridad, automatización industrial y más, contribuyendo a la construcción de ciudades más seguras e inteligentes.

Referencias bibliográficas:

- Zhang, A., Rahman, M. L., Huang, X., Guo, Y. J., Chen, S., & Heath, R. W. (2021). Perceptive Mobile Networks: Cellular Networks With Radio Vision via Joint Communication and Radar Sensing. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 16(2), 20-30. doi: 10.1109/mvt.2020.3037430
- Cárdenas, J. D., Díaz-Ibarra, M. A., Contreras-Ponce, O., Gutiérrez, C. A., Aguilar-Ponce, R., Castillo-Soria, F. R., & Azurdia-Meza, C. A. (2024). Experimental Evaluation of a Head-On Collision Warning System Fusing Machine Learning and Decentralized Radio Sensing. *IEEE Journals & Magazine*, 24(13), 21520-21532. doi: 10.1109/JSEN.2024.3403492
- Cárdenas, J. D., Gutiérrez, C. A., & Aguilar-Ponce, R. M. (2023). Fall Detection Using WiFi Signals with Doppler Frequency Diversity. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 13(5), 75-82. doi: 10.1109/MCE.2023.3330302
- Recommendation, ITU-R., (2024) "Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2030 and Beyond," tech. rep., International Telecommunication Union (ITU) Recommendation (ITU-R).

