

Invisible light that reveals molecules: the role of infrared radiation in chemistry

LUZ INVISIBLE QUE REVELA MOLECÚLAS: EL PAPEL DE LA RADIACIÓN INFRARROJA EN LA QUÍMICA

Fernando Ortega Jiménez¹

La radiación infrarroja (IR) es una parte del espectro electromagnético que no es visible para el ojo humano, pero sí muy importante para las ciencias químicas. Con el empleo de la espectroscopía de IR, los químicos pueden identificar compuestos, verificar la calidad de productos o el curso de una reacción química sin destruir las muestras. En el presente artículo se ofrece una exposición didáctica del principio de funcionamiento de la IR, así como también sus aplicaciones en la química actual y sus posibles desarrollos futuros, con ejemplos que van desde la industria alimentaria hasta la ciencia de la exploración espacial.

Palabras clave: radiación infrarroja, espectroscopía IR, análisis químico, caracterización molecular.

Infrared (IR) radiation is a part of the electromagnetic spectrum that is invisible to the human eye but very important for the chemical sciences. Using IR, particularly IR spectroscopy, chemists can identify compounds, verify product quality, or monitor the progress of a chemical reaction without destroying samples. This article provides a clear explanation of the operating principles of IR, as well as its applications in modern chemistry and its potential future developments, with examples ranging from the food industry to space exploration.

Keywords: infrared radiation, IR spectroscopy, chemical analysis, molecular characterization.

Recibido: 22 de mayo de 2026. Aceptado en forma final: 14 de septiembre de 2026

Cómo citar este artículo: Ortega Jiménez, F.: "Luz invisible que revela moléculas: el papel de la radiación infrarroja en la química". *Revista de Química*, 2026, 40 (2) 10-20. DOI: <https://doi.org/10.18800/quimica.202602.002>

¹ Departamento de Ciencias Químicas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, Avenida 1o. de Mayo s/n, Cuautitlán Izcalli, Estado de México 54740, Mexico.

 <https://orcid.org/0000-0003-3416-5092> (fdo.ortega@unam.mx)



INTRODUCCIÓN

La radiación electromagnética es una forma de energía que presenta una naturaleza dual, comportándose tanto como onda, así como partícula. Las partículas denominadas fotones, poseen una cantidad discreta de energía o cuanto, cuya magnitud es directamente proporcional a la frecuencia (ν) e inversamente proporcional a la longitud de onda (λ), de acuerdo con la ecuación $E = h\nu = hc/\lambda$, donde h es la constante de Planck, (6.62×10^{-37} kJ s).¹

El intervalo de energías de todas las frecuencias posible, de cero al infinito se llama espectro electromagnético, el cual es continuo y las posiciones exactas de las líneas divisoras entre las regiones son arbitrarias (**Figura 1**). Hacia la parte superior se encuentran las frecuencias más altas con longitudes de onda más cortas y de mayor energía. Hacia la parte inferior están las frecuencias más bajas con longitudes de onda más largas y de menor energía. Así, por ejemplo, los rayos X (energía muy alta) excitan a los electrones ocasionando ionización, las energías en el intervalo del UV-visible excitan a los electrones a niveles de energía más altos dentro de una molécula, mientras que las energías del infrarrojo (del latín, *infra*, "por debajo" del rojo) excitan las vibraciones moleculares, mientras que las microondas excitan rotaciones.²

Cuando se expone una molécula a un haz de radiación electromagnética, esta absorbe energía, pero también la puede transmitir. Si determinamos cuales absorbe y cuales transmite, podemos medir lo que se conoce como espectro de absorción. Con la radiación infrarroja (IR), la energía absorbida ocasiona que los enlaces se estiren o se flexionen.³

Las diferentes frecuencias de radiación afectan a las moléculas de distintas formas, pero cada una provee información estructural una vez que los resultados son interpretados. Imaginemos que un químico pudiera saber exactamente qué moléculas componen una muestra sin abrir el frasco que la contiene, sin alterar su contenido y sin siquiera verla. Esto puede ser posible gracias a la IR, que, aunque nuestros ojos no puedan detectarla, la química la ha convertido en una de sus herramientas más importantes para explorar el mundo molecular y no solo porque sirve para identificar sustancias, sino porque ayuda a entender cómo están unidos los átomos y cómo interactúan entre sí dentro de una molécula.

El presente trabajo pretende mostrar, de una manera sencilla, el papel de la espectroscopía IR en la química, destacando cómo esta técnica nos permite identificar moléculas y proporcionar información fundamental acerca de su estructura. Al mismo tiempo, se busca equilibrar el contenido para que resulte accesible tanto para quienes se aproximan por primera vez a esta técnica, así como para aquellos que ya cuentan con conocimientos previos sobre la espectroscopía IR, con la finalidad de ofrecer un acercamiento a una de las herramientas analíticas más importantes de la química.

LA RADIACIÓN INFRARROJA

En 1800 el astrónomo William Herschel estaba midiendo las temperaturas de las distintas partes coloreadas de la luz solar. Como se muestra en la **figura 2**, Herschel

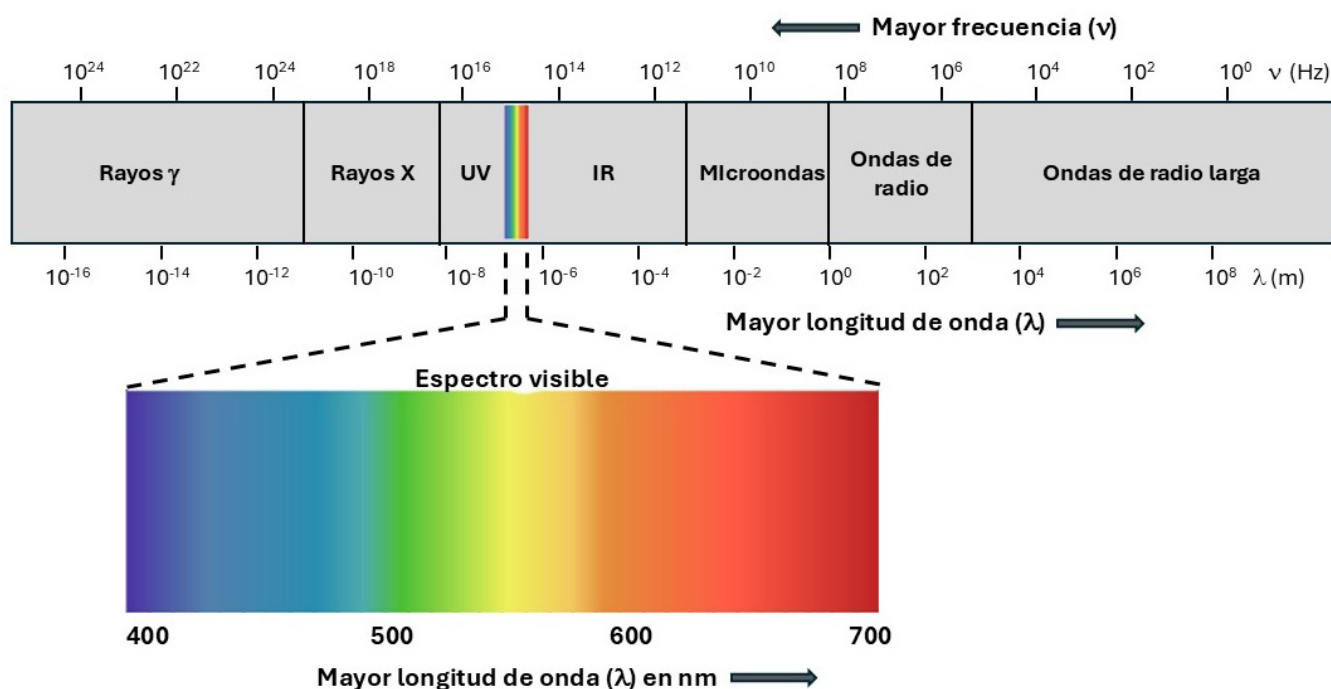


Figura 1. Representación del espectro electromagnético, desde los rayos γ hasta las ondas de radio.

dispersaba la luz solar a través de un prisma y ponía termómetros de mercurio con bulbos ennegrecidos en los colores individuales de la luz. El ennegrecimiento de los bulbos tenía como función mejorar la absorción de la radiación solar y hacer más evidente el cambio de temperatura.

Herschel identificó que la temperatura más alta podía medirse en una región invisible más allá de la luz roja. Es decir, se dio cuenta de que existía un tipo de luz que no podemos ver, pero sí sentir en forma de calor. Observó que esta radiación se encuentra en el espectro electromagnético justo después de la luz visible, antes de las microondas y debajo del rojo, de ahí su nombre.⁴

La IR es, en consecuencia, un tipo de radiación que forma parte del espectro electromagnético, cuyas longitudes de onda están comprendidas entre los 0,7 y los 1000 micrómetros (μm). Dado que no forma parte del espectro visible, nuestros ojos son incapaces de percibirla, pero sí pueden detectarla como una sensación de calor sobre la piel,

por ejemplo, cuando nos sometemos a la radiación del sol.^{5,6} Desde un punto de vista físico, la IR se divide en tres regiones (**Figura 3**): infrarrojo cercano (NIR, 0,78-3 μm), infrarrojo medio (MIR, 3-50 μm) e infrarrojo lejano (FIR, 50-1000 μm).

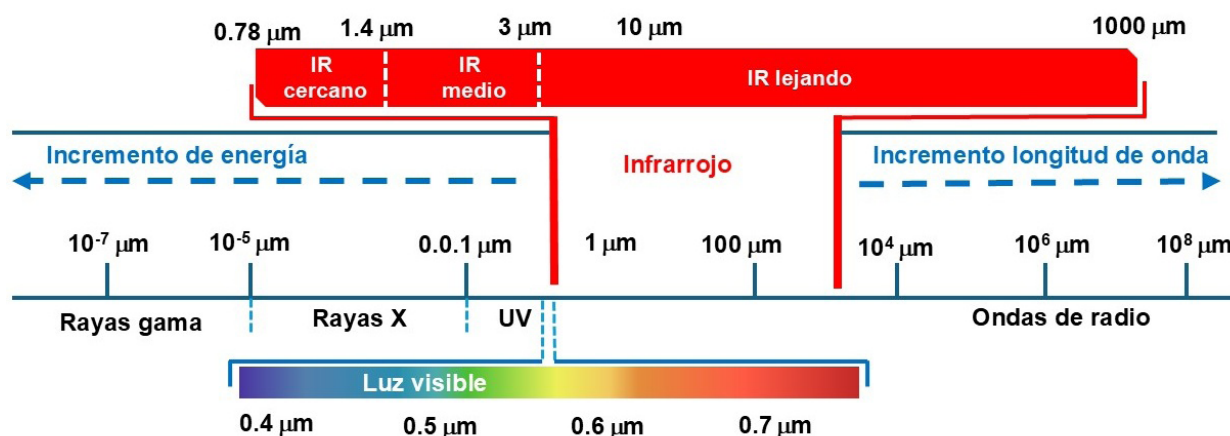
En química, la radiación infrarroja, especialmente la región MIR, es clave porque tiene la energía justa para hacer que las moléculas vibren, sin romper los enlaces que las unen. Gracias a ello, la espectroscopia de IR (que se detallará más adelante) se utiliza ampliamente en laboratorios de química, biología y ciencia de materiales, e incluso en investigaciones forenses, ya que permite identificar sustancias sin alterar la muestra.

No obstante, la IR no es algo que solo exista en los laboratorios, sino que se emplea en otras áreas de la ciencia: en termografía, por ejemplo, permite medir temperaturas a distancia, en astroquímica, ayuda a detectar moléculas orgánicas en nubes interestelares coadyubando a entender cómo se formaron los planetas y hasta el origen de la vida.⁷



Figura 2. (izquierda) Caricatura que muestra a William Herschel analizando la temperatura de las diferentes componentes de la luz después de haber sido descompuesta con la ayuda de un prisma. Al colocar un termómetro más allá de la luz roja, descubrió la luz infrarroja.

Figura 3. (abajo) Imagen parcial del espectro electromagnético (más allá de la luz roja visible está la gama de infrarrojos).



En química ambiental sirve para cuantificar gases de efecto invernadero como el CO_2 y el CH_4 ,^{5,7} que están relacionados con el cambio climático y, finalmente, está muy presente en la vida diaria, aunque no nos demos cuenta: en los controles remotos de los televisores, los sensores de movimiento, las cámaras térmicas y los sistemas de visión nocturna, pues todos funcionan gracias a este tipo de radiación (**Figura 4**).

En resumen, la IR es mucho más que una parte invisible del espectro electromagnético. Es una herramienta clave en la ciencia, la tecnología y el cuidado del medio ambiente. Gracias a ella, podemos estudiar moléculas en un laboratorio, analizar la contaminación del aire y hasta observar el universo. La IR nos permite conocer cosas que, de otra forma, nuestros ojos no podrían percibir.

ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

La espectroscopia de IR es una técnica analítica que permite la identificación de los grupos funcionales de una molécula o compuesto. Esto se debe a que, cuando una molécula absorbe radiación IR a una frecuencia determinada, se producen modos vibracionales característicos, como estiramientos y flexiones de los enlaces químicos. Esto genera señales con frecuencias que corresponden a la vibración de un enlace químico específico.⁵ Consideremos que los átomos de una molécula están unidos como si fueran pelotas conectadas con resortes. Cuando la IR llega, esos “resortes” empiezan a moverse y a vibrar. Lo interesante es que cada tipo de enlace vibra de una manera distinta (se producen estiramientos, flexiones y torsiones), así que cuando una molécula absorbe la IR deja un patrón único. Este patrón se llama espectro de

infrarrojo, y funciona como una huella digital de la molécula.⁸

Cabe mencionar que no todas las vibraciones moleculares absorben radiación IR. La clave para saber cuáles lo hacen y cuáles no, se encuentra en la polaridad del enlace, medida como momento dipolar. Así de sencillo, las vibraciones de los enlaces con momentos dipolares resultan en absorciones IR y se dice que son activas en el IR. Sin embargo, en moléculas cuyos enlaces son simétricos su momento dipolar es nulo, por lo que la vibración del enlace no produce algún cambio en el momento dipolar y, como respuesta, no hay absorción de energía; se dice entonces que esta vibración es inactiva en el IR y su vibración de estiramiento sería débil o ausente en el espectro.

El espectro de IR de una molécula es una gráfica de la energía absorbida por una molécula como una función de la longitud de onda o de la frecuencia de la luz incidente. Por lo regular, las longitudes de onda en la región del IR se dan en μm y las frecuencias se dan en número de onda, que es el recíproco de la longitud de onda en centímetros (cm) y, por lo tanto, se expresan en unidades de cm^{-1} . La región del IR útil va de 4000 a 400 cm^{-1} , que corresponden a las energías de 48,0 kJ/mol a 4,8 kJ/mol (11,5 a 1,15 kcal/mol).

En la **figura 5** se muestra el ejemplo del espectro de IR del metanol. En el eje horizontal se registran las longitudes de onda y en el eje vertical se registran las intensidades de las diversas absorciones de energía en transmitancia porcentual. La línea base corresponde al 0% de absorción (o 100% de transmitancia) y sigue a lo largo de la parte superior, de tal manera que un pico hacia abajo significa que en ese número de onda (cm^{-1}) ha ocurrido una absorción de energía.⁵



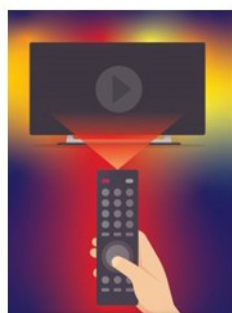
Termografía: permite medir temperaturas a distancia



Astronomía: detecta moléculas en nubes interestelares



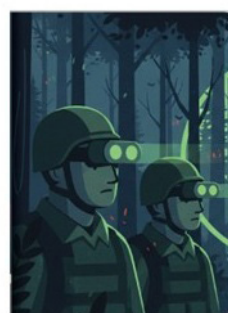
Ciencia ambiental: cuantificar gases de efecto invernadero



Controles remotos



Sensores de movimiento



Visión nocturna

Figura 4. Aplicaciones de la IR en diferentes áreas, incluyendo termografía, astronomía, química ambiental y diversas aplicaciones de uso diario.

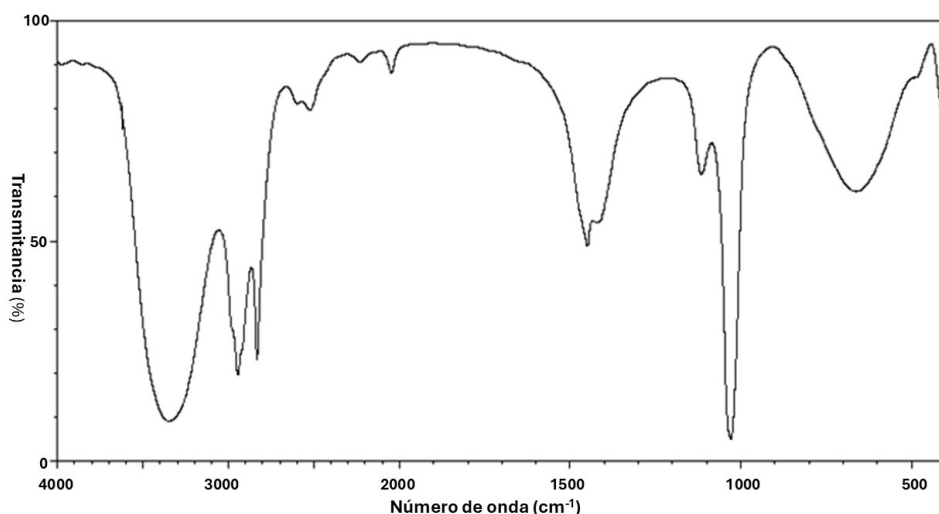


Figura 5. Espectro IR del metanol. Cada pico descendente representa una absorción de energía.

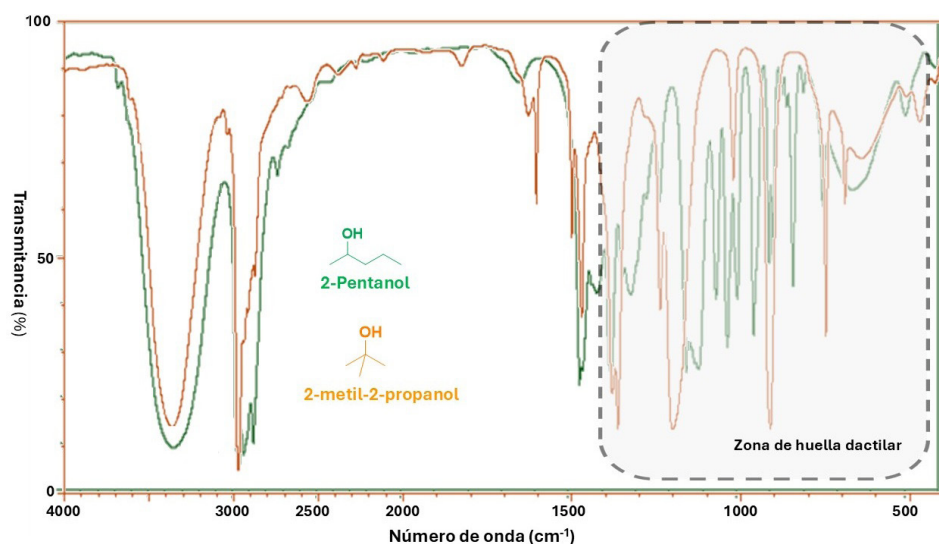


Figura 6. Espectros e IR para el 2-pentanol y del 2-metil-2-pronanol, comparación en la zona de huella dactilar.

Este conjunto de picos llamados también bandas, es como un “código de barras molecular” que identifica a la molécula de manera única. Por eso, los científicos pueden identificar una sustancia tan solo observando su espectro, sin necesidad de verla directamente.⁵

Con respecto al término de código de barras molecular, este se debe a que, al igual que los códigos impresos en productos comerciales, el patrón de absorciones de una molécula es único. Dos compuestos distintos nunca tendrán exactamente el mismo espectro de IR en la región llamada huella digital (de la cual se habla más adelante) aproximadamente entre los 1500-400 cm^{-1} . Esta zona es increíblemente sensible a cómo se acomodan los átomos en el espacio y a cómo interactúan entre sí. Por eso, es perfecta para distinguir moléculas que, a simple vista, parecen casi idénticas.⁹ La **figura 6** muestra los espectros de IR para dos moléculas muy parecidas como son el 2-pentanol y el 2-metil-2-pronanol; los dos alcoholes presentan bandas similares en la región de 4000-1500 cm^{-1} , sin embargo, en la región denominada huella digital (entre 1500-500 cm^{-1}) los espectros son totalmente distintos.

Para obtener estos espectros, existen técnicas modernas, como la espectroscopía de IR con transformada de Fourier (FT-IR), que hacen los análisis más rápidos y precisos, y otras, como la espectroscopía de IR con Reflectancia Total Atenuada (ATR-IR, por sus siglas en inglés), que permiten estudiar superficies o muestras biológicas sin dañarlas.⁵ Con estas técnicas, los científicos pueden analizar muestras en estado sólido, líquido y gaseoso para determinar su composición química y, en muchos casos, sin destruir la muestra. Sin embargo, hay que señalar que antes del desarrollo de estas técnicas, los espectros de IR se realizaban usando espectrómetros dispersivos, los cuales constituyeron la base de la espectroscopía de IR moderna.

Bajo este contexto, la espectroscopia de IR, especialmente la FT-IR es una técnica muy empleada en los laboratorios de química orgánica, química inorgánica, bioquímica, ciencias de los materiales, entre otros. Esta técnica, no solo permite la identificación de compuestos puros, sino también seguir el transcurso de una reacción química en tiempo real, analizar mezclas, así como la caracterización de ciertos contaminantes dispersos en el medio ambiente.

Otras técnicas como la ATR-IR han logrado simplificar el análisis tanto de muestras sólidas como líquidas, ya que no requieren una preparación previa, ampliando así el campo de su aplicación.⁵

No obstante, fuera del laboratorio, la espectroscopia FT-IR ha trascendido en otras áreas tales como la astronomía, para identificar moléculas en el espacio haciéndose uso de telescopios con tecnología IR, o bien en las ciencias forenses, donde el uso de la IR ha permitido el análisis de sustancias ilícitas o identificar restos de materiales en una escena del crimen,⁴ por mencionar algunas.

DEL EQUIPO AL ESPECTRO

En la actualidad, el equipo más utilizado en espectroscopia de IR es el espectrómetro FT-IR. Su principal ventaja es la capacidad de adquirir espectros de alta resolución en cuestión de segundos. Aunque aún existen espectrómetros dispersivos antiguos, el espectrómetro FT-IR es el más empleado debido a su velocidad, sensibilidad y alta relación señal/ruido.

Espectrómetros dispersivos

Los instrumentos dispersivos o espectrómetros dispersivos son equipos que utilizan un monocromador, como un prisma o una rejilla de difracción, lo que permite seleccionar longitudes de onda de la luz infrarroja en sus frecuencias. Después, el equipo selecciona una longitud de onda a la vez, mide la radiación absorbida por la muestra y repite este

proceso de manera secuencial con el fin de generar el espectro final observado. La absorción de la IR suele corregirse usando dióxido de carbono atmosférico y/o vapor de agua. La **figura 7** muestra un esquema de los componentes de un espectrómetro dispersivo para espectroscopia de IR.¹⁰

La principal desventaja de estos equipos, que ya son muy poco comunes, se debe a que el proceso mencionado es un proceso de medición secuencial, lo que la vuelve generalmente lenta y con una menor sensibilidad. En consecuencia, han sido reemplazados en los laboratorios por equipos de FT-IR, debido a su mayor velocidad y sensibilidad.

Equipos de FT-IR

El espectrómetro de FT-IR es el tipo más moderno y se prefiere a otros espectrómetros dispersivos debido a su alta precisión, exactitud, velocidad, sensibilidad mejorada, facilidad de operación y la no destrucción de la muestra. Los principales componentes de un espectrómetro de FT-IR se muestran en la **figura 8**.

Como se puede ver, el sistema requiere una fuente de IR, que puede ser como un láser o una lámpara de halógeno, que emite radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético. También necesita un interferómetro, que divide el haz en un camino de referencia y otro que atraviesa la muestra para, posteriormente, recombinarlos y generar un patrón de interferencia con información de la muestra. Los otros componentes del sistema son una celda que contenga la muestra, ya sea sólida, líquida o gaseosa, y un detector que convierte la IR transmitida en señales eléctricas

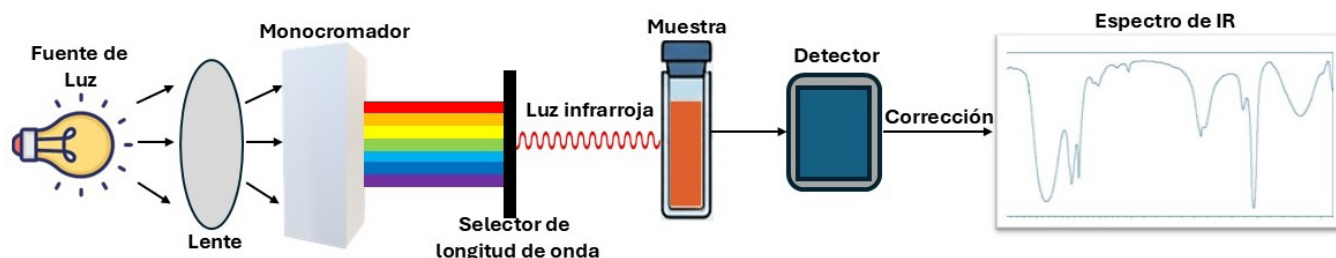


Figura 7. Esquema de un espectrómetro de IR dispersivo y la obtención del espectro de absorción.

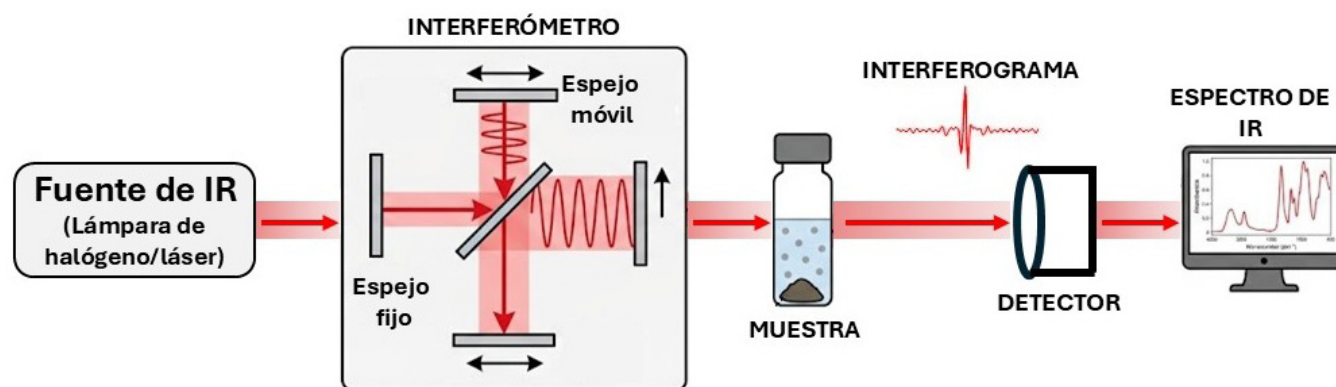


Figura 8. Componentes y funcionamiento de un espectrómetro FT-IR.

susceptibles de ser medidas y registradas. El resultado es un interferograma que se transmite a través de la superficie de la muestra o rebota en ella, donde se absorben longitudes de onda de energías específicas. El haz, finalmente, pasa a través del detector y luego se envía a una computadora de procesamiento donde se decodifica por medio de una transformada de Fourier y da como resultado un espectro de IR convencional de la muestra.¹¹

Es importante mencionar que estos componentes pueden variar de acuerdo con el equipo dependiendo de si es para medir espectros en el NIR, MIR o FIR, siendo el MIR el más común en la identificación de moléculas orgánicas.⁷

ESPECTROS DE IR

Es posible obtener espectros de IR independientemente del estado de físico de la muestra. La **figura 9** muestra las regiones del espectro donde es posible encontrar absorciones IR para un compuesto orgánico.

Se pone énfasis en las señales en el intervalo de 4000-1600 cm^{-1} ya que esta región se localiza las vibraciones asociadas a los grupos funcionales característicos en química orgánica. Mientras que la región entre 1500-500 cm^{-1} , como ya se ha mencionado previamente, se conoce como la región de huellas digitales, y es en esta región donde el patrón de bandas varía entre compuesto y compuesto.

Región de frecuencia de grupos funcionales (4000–1600 cm^{-1})

Un espectro de IR usualmente contiene más bandas de las que se pueden asignar con certeza. Para

hacer la interpretación del espectro, se observan las bandas y se relacionan con grupos funcionales específicos. Si bien podemos reconocer aquellas que deberían aparecer si un determinado grupo funcional estuviera presente, cuando estas bandas no se observan eso nos permite descartar su existencia en la molécula. Así, la presencia o ausencia de determinadas bandas aportan información valiosa para la identificación de un compuesto.

Aunque a primera vista un espectro de IR puede parecer un poco complejo, no es necesario asignar todas sus bandas para obtener información sobre la estructura de la molécula. La mayoría de los grupos funcionales presenta bandas características que se conservan de un compuesto a otro. La región de mayor número de onda (cm^{-1}) entre 4000-1600 cm^{-1} , proporciona evidencia de la presencia de grupos funcionales específicos dentro de una molécula, basándose en sus frecuencias de absorción características. Como se aprecia en la **figura 10**, es de mucha ayuda recordar la posición de las absorciones de IR específicas si dividimos esta región en cuatro partes.

En la región de 4000 a 2500 cm^{-1} se observan absorciones debidas a los movimientos de estiramiento de enlaces sencillos N-H, C-H y O-H. En particular, los enlaces N-H y O-H absorben en el intervalo 3300-3600 cm^{-1} ; mientras que el estiramiento del enlace C-H se aprecia, aproximadamente, a 2850-3000 cm^{-1} , dependiendo principalmente de la hibridación de átomo de carbono.

En el rango 2500-2000 cm^{-1} ocurren estiramientos correspondientes a los enlaces triples, ya sea $\text{C}\equiv\text{C}$ y/o $\text{C}\equiv\text{N}$, característicos de alquinos y nitrilos. La región comprendida entre 2000-1500 cm^{-1} aparecen las bandas asociadas a las vibraciones de enlaces dobles, tales como el grupo carbonilo

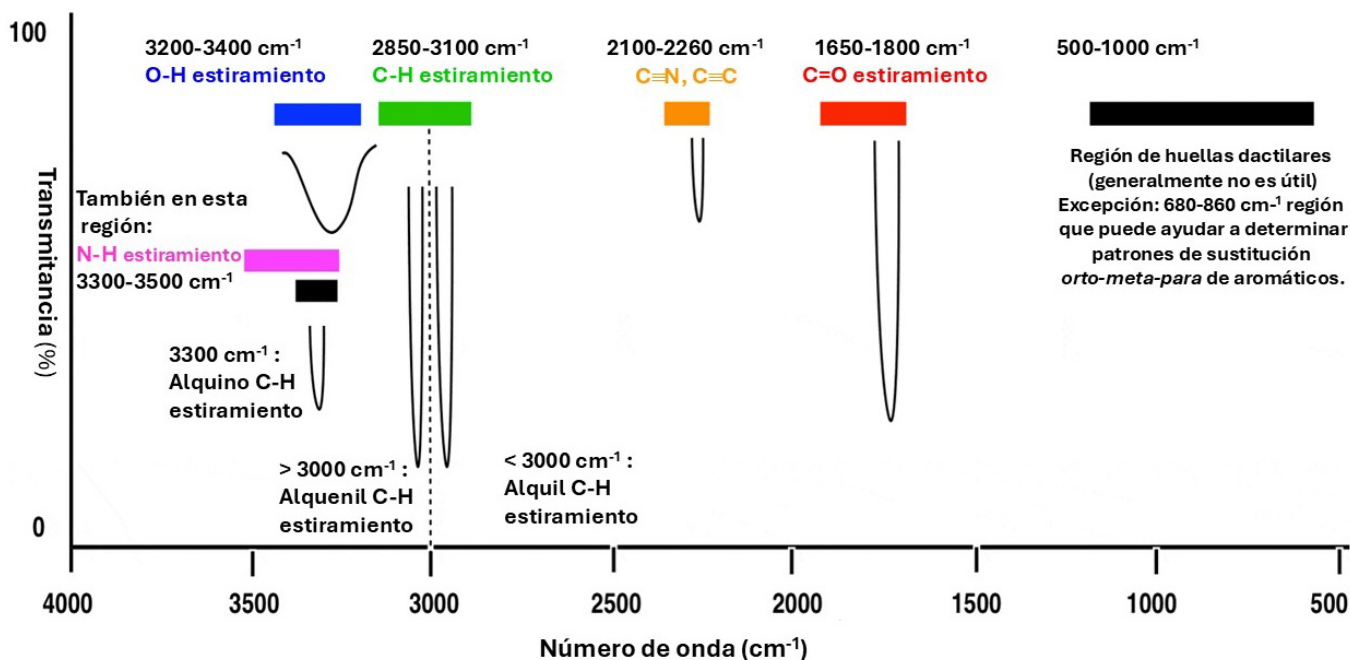


Figura 9. Regiones características del espectro de IR y principales bandas de absorción asociadas a grupos funcionales, incluyendo la región de huella dactilar.

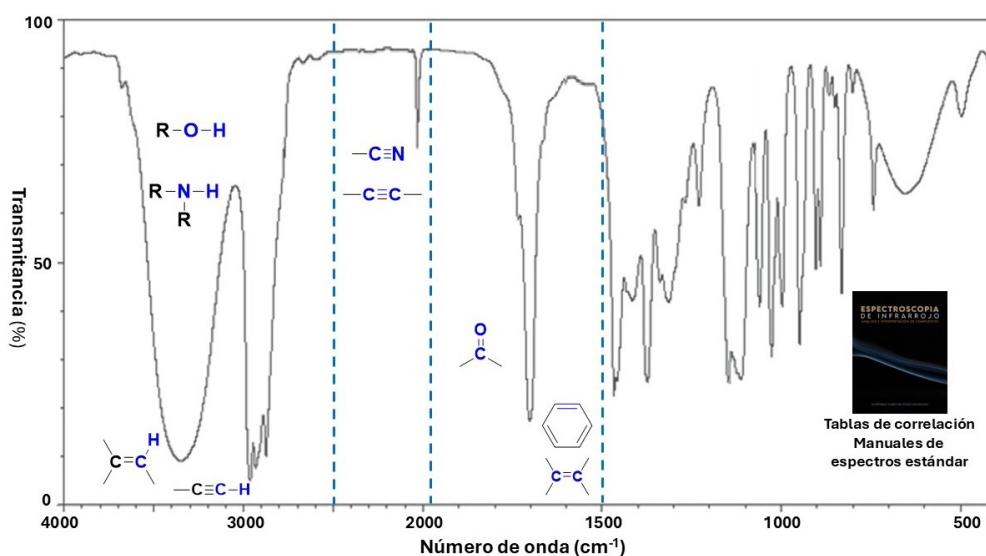


Figura 10. Espectro de IR, región de frecuencia de grupos funcionales (4000–1600 cm^{-1}). Las bandas son ilustrativas y pueden variar en intensidad, forma y posición dependiendo del compuesto analizado.

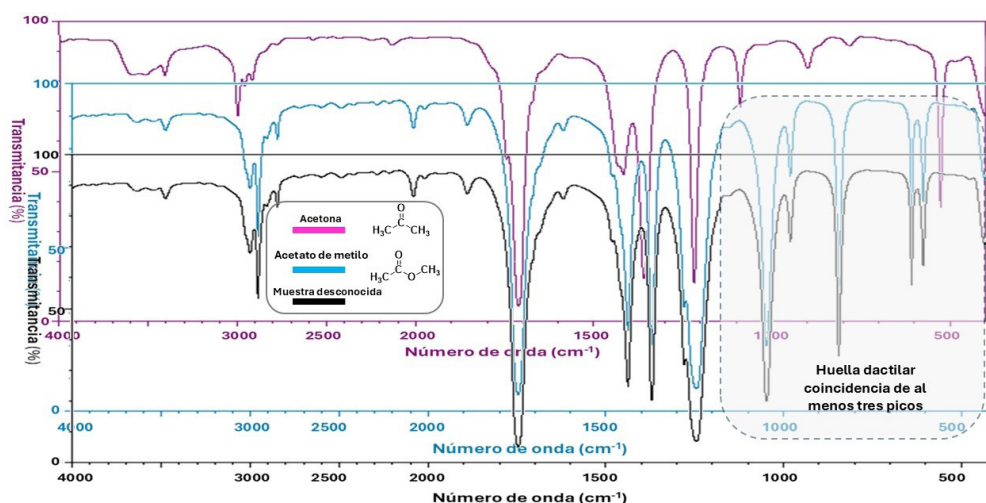


Figura 11. Comparación de espectros de IR utilizado para identificar una muestra mediante la coincidencia de bandas de absorción y de la región de huella dactilar.

($\text{C}=\text{O}$), el cual está presente en aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos carboxílicos. Típicamente, el carbonilo absorbe en el rango de 1700–1750 cm^{-1} . Un doble enlace carbono-carbono ($\text{C}=\text{C}$) en un alqueno absorbe alrededor de 1680–1640 cm^{-1} .¹² Gracias a estas diferencias, existen tablas de correlación que permiten la identificación rápida de estos grupos.

La región de huella dactilar (1500–500 cm^{-1})

Esta región, de menor número de onda, es a menudo única para cada molécula, de manera similar a una huella dactilar humana.^{5,12} En esta zona se puede apreciar una gran cantidad de absorciones debido a una variedad de vibraciones características de enlaces sencillos C-C, C-O, C-N y C-X (X=halógeno).¹² Incluso pequeñas diferencias estructurales entre moléculas pueden generar variaciones significativas en los patrones de absorción dentro de esta área. La mayoría de los enlaces simples absorben en esta región, y las diferencias en la estructura de las moléculas se reflejan en patrones distintivos de frecuencia e intensidad. Esta región se utiliza, principalmente, para la identificación positiva de compuestos mediante la comparación del espectro de una muestra desconocida con espectros conocidos existentes en manuales

de espectros estándar. Los sistemas de búsqueda actuales, basados en computadora, permiten una comparación rápida y eficiente.

Para confirmar la identidad de un compuesto, se requiere la presencia de, al menos, tres absorbancias específicas, y todas las absorbancias presentes en el espectro de referencia deben estar en el espectro de la muestra, centrándose en la presencia relativa de las absorbancias, más que en una coincidencia exacta de frecuencia o intensidad (**Figura 11**).¹³

La división entre las regiones de los grupos funcionales y la región de las huellas dactilares en un espectro IR no es algo arbitrario. Estas dos áreas se complementan para dar una identificación molecular completa. La región de los grupos funcionales da una primera clasificación e indica que tipo de grupo funcional está presente en la molécula, como, por ejemplo, un grupo hidroxilo proveniente de un alcohol. Por otro lado, la región de huellas dactilares tiene un patrón único y complejo que actúa como una firma molecular. Esto distingue un compuesto de otro, incluso si son isómeros.¹⁴

La llegada de la tecnología a la FT-IR ha mejorado mucho la capacidad de analizar estas regiones de manera más eficiente y fiable. Esto se debe a que permite obtener espectros de alta calidad y resolución de forma rápida. Gracias a esta tecnología, se puede aprovechar toda la información contenida en ambas regiones del espectro. La combinación de la información de los grupos funcionales y la singularidad de la huella dactilar hace que sea un método robusto para la identificación molecular. Esto va desde la clasificación química general hasta la identificación precisa del compuesto.¹⁴

APLICACIONES DE LA ESPECTROSCOPIA DE IR

Como se mencionó anteriormente, la espectroscopía de IR es un método no destructivo, rápido y altamente sensible y que nos permite la identificación de compuestos desconocidos, la cuantificación de componentes en mezclas complejas y la caracterización de materiales en diferentes estados físicos. Su versatilidad y aplicaciones en una amplia gama de campos la hacen que sea una técnica de análisis esencial, altamente valorada y confiable en el mundo de la ciencia, la industria y la investigación.

Así, por ejemplo, la espectroscopía de IR se ha aplicado en la industria farmacéutica para la solución de diversos problemas específicos: identificación de fármacos, pureza de las pruebas, estructuras cristalinas de fármacos, interacciones entre principios activos y excipientes,

patentes de antibióticos, etc. La indiscutible importancia de la espectroscopía IR en el campo de la farmacia (ciencias, análisis e industria) ha quedado demostrada por sus recientes aplicaciones exitosas como método analítico obligatorio/orientativo, así como en combinación con otros métodos.¹⁵⁻¹⁷

Por su parte, las aplicaciones de la espectroscopía de IR en la alimentación y bebidas son bastante amplias. Su principal aplicación se centra en control de calidad de los productos alimentarios, determinando el porcentaje de agua, grasa, proteínas y carbohidratos presentes en un alimento. De igual forma, es un gran apoyo en la detección de adulteraciones y en el seguimiento del proceso del deterioro de los alimentos.¹⁸

En la ciencia forense,¹⁹ la espectroscopía de IR juega un papel muy importante, permitiendo el análisis de muestras que pueden ser pruebas jurídicas en la resolución de un crimen. Esta permite analizar todo tipo de muestras: fibras, recubrimientos, drogas, huellas dactilares, explosivos, etc. y presenta la ventaja de ser una técnica que puede ser aplicada in situ.

Adicionalmente, esta técnica tiene aplicaciones importantes en la agricultura,²⁰ la conservación del arte²¹ y la investigación biomédica; en esta última, ayuda a estudiar materiales, tejidos y biomarcadores.

En resumen, como se ilustra en la **figura 12**, la espectroscopía de IR es una tecnología muy versátil que puede proporcionar información clave sobre las moléculas.

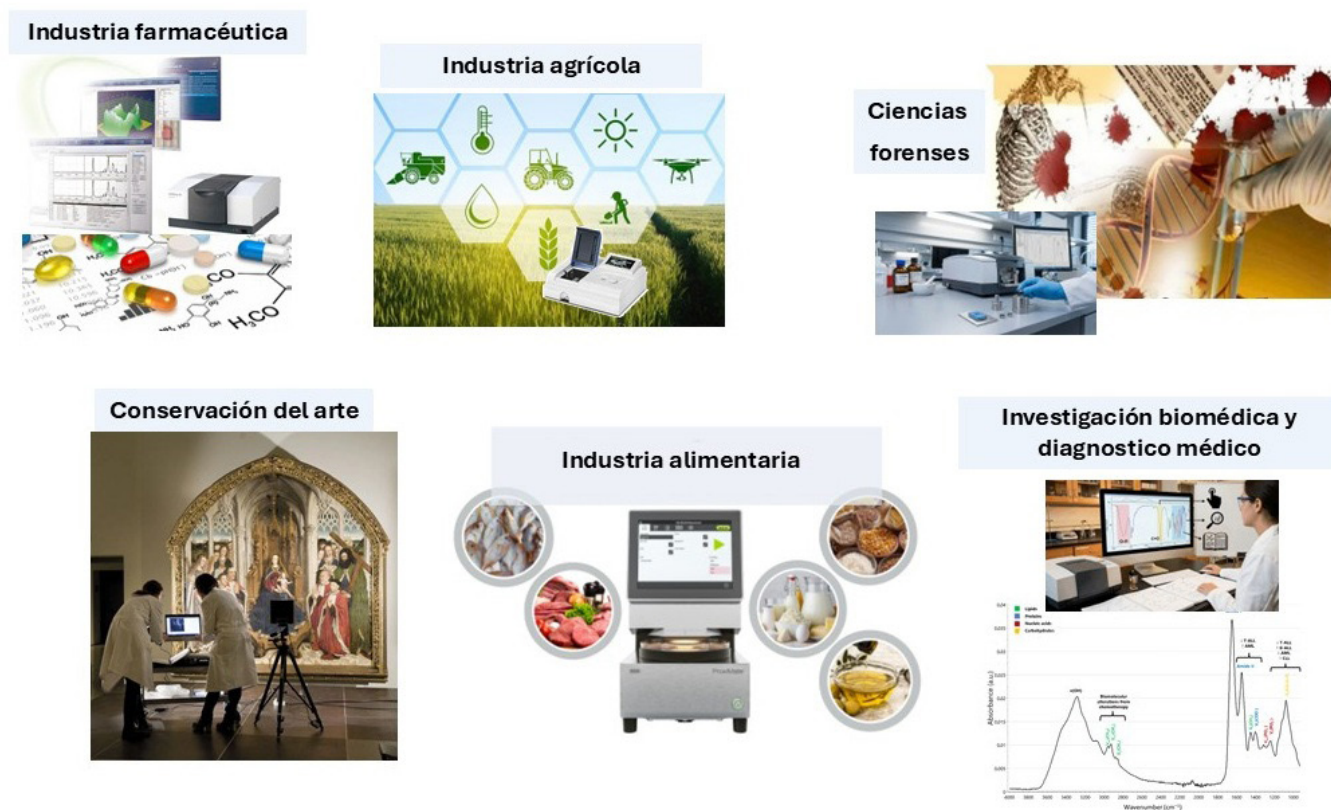


Figura 12. Aplicaciones de la espectroscopía de IR en diferentes áreas.

Esto es útil para tomar decisiones, innovar tecnológicamente y proteger la salud, el medio ambiente y el patrimonio cultural.

TENDENCIAS DE LA ESPECTROSCOPIA DE FT-IR

Ya hemos hablado de cómo la espectroscopia de IR es una herramienta básica en la química, la cual se ha empleado por muchos años, principalmente en la identificación de moléculas. Sin embargo, a lo largo del tiempo esta técnica ha vivido una transformación enorme junto con el avance de la tecnología.

En este contexto, el desarrollo reciente de la espectroscopia FT-IR se caracteriza por la incorporación de sistemas más avanzados, portátiles y automatizados. La necesidad de un análisis en tiempo real y la expansión de muchas áreas científicas están impulsando con mucha fuerza hacia tecnologías de frontera. De igual forma, la transformación digital está haciendo que estos instrumentos sean más inteligentes y accesibles.

Comprender estos cambios es fundamental y, a medida que las empresas químicas continúan digitalizando y automatizando sus operaciones, los espectrómetros FT-IR están evolucionando más allá de los instrumentos de laboratorio tradicionales.

Una de las principales tendencias de la espectroscopia de FT-IR es el uso de dispositivos portátiles que están cambiando la forma y el lugar donde se realizan los análisis. En lugar de depender exclusivamente de laboratorios centralizados, muchas industrias, universidades e instituciones científicas están empleando instrumentos portátiles en el campo, lo que ha permitido la toma de decisiones en tiempo real.²²

De igual forma, la integración de la inteligencia artificial a la espectroscopia FT-IR está revolucionando el análisis de datos. Tradicionalmente, la interpretación de estos datos requiere de profesionales calificados, pero actualmente los algoritmos de aprendizaje automático pueden identificar rápidamente patrones, anomalías y composiciones de materiales con gran precisión, acelerando el análisis. Sin embargo, es importante mencionar que la inteligencia artificial no sustituye al especialista, sino que actúa como una herramienta de apoyo para el análisis e interpretación de los datos.²³

Una técnica que también ha avanzado últimamente es la microespectroscopia de IR, la cual permite realizar mediciones a nivel microscópico o incluso a nivel de una sola célula. Esto ha llevado a avances significativos en la caracterización de materiales y tejidos, así como en la detección y el análisis de moléculas en muestras biológicas.²⁴

Además, se han realizado esfuerzos continuos para mejorar la resolución y la sensibilidad de los equipos. Esto incluye avances en la óptica, la tecnología de detectores y

el diseño de interferómetros, lo que ha permitido mediciones más precisas y la detección de cantidades más pequeñas de sustancias en las muestras. Asimismo, la combinación de FT-IR con otras técnicas analíticas, como la microscopía Raman y la espectrometría de masas, permite un análisis más completo y una mayor comprensión la composición en muestras complejas.

Finalmente, es de esperarse que el uso de la espectroscopia de IR tenga un papel creciente en campos emergentes como la nanotecnología, la ciencia de alimentos, la investigación de frontera y la medicina personalizada.²⁵

CONCLUSIÓN

La radiación IR es ese tipo de luz que no es visible para el ojo humano, pero es de suma importancia en las ciencias químicas. Con el uso la IR, particularmente la espectroscopia de IR, los químicos pueden llevar a cabo la identificación de moléculas orgánicas e inorgánicas, verificar la calidad de productos o seguir el curso de una reacción química. Su aplicación en diversas áreas la vuelven una herramienta fundamental, accesible y sencilla para su uso tanto a nivel industrial como académico.

Lo que hace grande a la espectroscopia de IR es lo bien que se adapta a todo: es segura, rápida y, sobre todo, no daña a la muestra bajo estudio. Por eso la vemos en todos lados, desde laboratorios que crean medicinas hasta en museos que protegen nuestro patrimonio cultural. Es esa aliada silenciosa que siempre está ahí. Y lo mejor está por venir: con la llegada de sensores más pequeños y la inteligencia artificial, la espectroscopia IR podrá evolucionar hacia sistemas de análisis más autónomos y precisos. Más que una simple técnica, es nuestra ventana al universo invisible de las moléculas: una herramienta que seguirá revelando los secretos de nuestro mundo.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo brindado por los proyectos UNAM PAPIIT **IN204724** y FES Cuautitlán-UNAM **CI2633**.

Nota: Todas las figuras presentadas en este artículo son de elaboración propia basadas en referencias bibliográficas y se realizaron utilizando Microsoft PowerPoint. Los recursos y elementos gráficos usados en su elaboración son materiales de acceso libre sin ninguna restricción de licencia para fines educativos y de publicación científica.

REFERENCIAS

1. Atkins, P.; de Paula, J.; Keeler, J. *Atkins' Physical Chemistry*, 12th ed.; Oxford University Press: Oxford, 2023.
2. Hollas, J. M. *Modern Spectroscopy*, 4th ed.; John Wiley & Sons: Chichester, 2004.
3. Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kriz, G. S.; Vyvyan, J. A. *Introduction to Spectroscopy*, 5th ed.; Cengage Learning, 2015.

4. Herschel, W. Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun. *Philos. Trans. R. Soc. London* **1800**, 90, 284–292.
5. Smith, B. C. *Infrared Spectral Interpretation: A Systematic Approach*; CRC Press: Boca Raton, FL, 2011.
6. Siegel, R.; Howell, J. R. *Thermal Radiation Heat Transfer*, 4th ed.; Taylor & Francis: New York, 2002.
7. Gibb, E. L.; Whittet, D. C. B.; Boogert, A. C. A.; Tielens, A. G. G. M. *Interstellar Ice: The Infrared Space Observatory Legacy. Astrophys. J. Suppl. Ser.* **2004**, 151 (1), 35–73.
8. Nakamoto, K. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, 6th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, 2009.
9. Harris, D. C.; Bertolucci, M. D. *Symmetry and Spectroscopy: An Introduction to Vibrational and Electronic Spectroscopy*; Dover Publications: New York, 1978.
10. Skoog, D. A.; Holler, F. J.; Crouch, S. R. *Principles of Instrumental Analysis*, 7th ed.; Cengage Learning: Boston, 2018.
11. Lilo, T.; Morais, C. L. M.; Shenton, C.; Ray, A., & Gurusinghe, N. (2022). Revising Fourier-transform infrared (FT-IR) and Raman spectroscopy towards brain cancer detection. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 38, 102785.
12. OpenStax. Interpreting Infrared Spectra. In *Organic Chemistry*; OpenStax: Houston, TX, 2021 (accessed 2026-02-16).
13. Silverstein, R. M.; Webster, F. X.; Kiemle, D. J. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 7th ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2005.
14. Griffiths, P. R.; de Haseth, J. A. *Fourier Transform Infrared Spectrometry*, 2nd ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2007.
15. (a) Zhang, C.; Liu, Y.; Tang, Z.; Chen, X.; Zhang, H.; Liu, N.; Huo, C.; Wang, Z. Recent Applications of Near Infrared to Pharmaceutical Process Monitoring and Quality Control. *Anal. Sci.* **2025**, 41 (7), 923–944. (b) Kalinkova, G. N. Infrared spectroscopy in pharmacy. *Vibrational Spectroscopy*, **1999**, 19(2), 307–320.
16. D'Arco, A.; Mancini, T.; Paolozzi, M. C.; Macis, S.; Mosesso, L.; Marcelli, A.; Della Ventura, G. High Sensitivity Monitoring of VOCs in Air through FTIR Spectroscopy Using a Multipass Gas Cell Setup. *Sensors* **2022**, 22 (15), 5624.
17. Mayorova, V.; Morozov, A.; Golyak, I.; Lazarev, N.; Melnikova, V.; Rachkin, D.; Svirin, V.; Tenenbaum, S.; Vintaykin, I.; Anfimov, D.; Fufurin, I. Determination of Greenhouse Gas Concentrations from the 16U CubeSat Spacecraft Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Sensors* **2023**, 23 (15), 6794.
18. Beć, K. B.; Grabska, J.; Huck, C. W. Miniaturized NIR Spectroscopy in Food Analysis and Quality Control: Promises, Challenges, and Perspectives. *Foods* **2022**, 11 (10), 1465.
19. Ewing, A. V.; Kazarian, S. G. Infrared Spectroscopy and Spectroscopic Imaging in Forensic Science. *Analyst* **2017**, 142 (2), 257–272.
20. Comino, F.; Delgado, J. A.; Madrid, F.; Villalobos, F. J. Infrared Spectroscopy as a Tool for the Assessment of Soil Biological Quality in Agricultural Soils under Contrasting Management Practices. *Ecol. Indic.* **2018**, 87, 117–126.
21. Samperi, F.; Conforti, P. Recent Advances and Applications to Cultural Heritage Using ATR-FTIR Spectroscopy and ATR-FTIR Spectroscopic Imaging. *Analyst* **2022**, 147 (8), 2450–2469.
22. Smith, B. C. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 2020.
23. Manzhos S, Ihara M and Carrington T 2023 Machine learning for vibrational spectroscopy *Quantum Chemistry in the Age of Machine Learning* (Elsevier) pp 355–90.
24. Müller, E. A.; Pollard, B.; Raschke, M. B. Infrared Chemical Nano-Imaging: Accessing Structure, Coupling, and Dynamics on Molecular Length Scales. *J. Phys. Chem. Lett.* **2015**, 6 (7), 1275–1284.
25. Al-Kelani, M.; Buthelezi, N. Advancements in Medical Research: Exploring Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy for Tissue, Cell, and Hair Sample Analysis. *Skin Res. Technol.* **2024**, 30 (6), e13733.

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

- Smith, B. C. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 2011.
- Stuart, B. H. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2004.
- Hasegawa, T. *Quantitative Infrared Spectroscopy for Understanding of a Condensed Matter*; Springer: Tokyo, 2017.
- Beć, K. B.; Grabska, J.; Huck, C. W. *Biomolecular and Bioanalytical Applications of Infrared Spectroscopy—A Review. Anal. Chim. Acta* **2020**, 1133, 150–177.
- Johnson, J. B.; Walsh, K. B.; Naiker, M.; Ameer, K. *The Use of Infrared Spectroscopy for the Quantification of Bioactive Compounds in Food: A Review. Molecules* **2023**, 28 (7), 3215.