

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Estudio y modelación de la calidad del aire en la zona metropolitana Tampico-Madero-Altamira en el sur de Tamaulipas.

Karina Galache · Monday, September 13th, 2021

Categorías: Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta

Figura1. Antorchas de la refinería “Francisco I. Madero” de la empresa Pemex, ubicada en Ciudad Madero, Tamaulipas. Dominio propio.

Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de partículas o productos gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a ese ambiente [1]. Esta contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante el monitoreo, caracterización y posterior disminución de los niveles de contaminación del aire, los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma [2].

Fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de contaminación atmosférica engloban a todas aquellas acciones, actividades, procesos u operaciones capaces de producir contaminantes del aire. Se agrupan en:

- Fuentes puntuales, caracterizadas por estar en un punto fijo, como las plantas de energía, industrias químicas, refinерías de petróleo, fábricas, etcétera.
- Fuentes móviles, que abarcan todas las formas de transporte terrestre, acuático y aéreo.
- Fuentes de área, que involucran a todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire, como el uso de madera, imprentas, tintorerías, talleres o actividades agrícolas, por mencionar algunas.
- Fuentes naturales o biogénicas, que resultan de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones producidas por los volcanes, océanos, incendios y la erosión del suelo.

En cuanto al origen del contaminante, se distinguen dos tipos:

- Contaminantes primarios. Proviene directamente de fuentes de emisión, como el plomo, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y material particulado.
- Contaminantes secundarios. Originados en el aire por la interacción entre dos o más contaminantes primarios o por sus reacciones con otros componentes de la atmósfera, como en los casos del ozono, del peroxiacetil nitrato, de los sulfatos, de nitratos, así como del ácido sulfúrico.

Para la medición de la calidad del aire, si el contaminante es perjudicial para la salud y el bienestar de las personas, se les identifica como contaminantes criterio. Si no lo son, se les llama contaminantes no criterio [3].

Efectos de los contaminantes atmosféricos a la salud

Existe evidencia sobre los impactos negativos en la salud a corto y largo plazo de las partículas suspendidas con tamaños menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) en estudios epidemiológicos y toxicológicos en todo el mundo. En 2015 la Organización Mundial de la Salud (OMS), a través del proyecto de la Carga Global de Enfermedad, reportó que en México casi 29 mil muertes pueden ser atribuidas a la contaminación ambiental por partículas suspendidas [4]. La contaminación atmosférica causa seis millones de muertos cada año en todo el mundo y provoca una cuarta parte de los cánceres de pulmón, ataques al corazón e infartos cerebrales. Esto significa el 0.3 del PIB mundial en gastos sanitarios, además de la reducción de la eficiencia laboral.



Figura 2. Efectos de la contaminación del aire sobre la salud (https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution/health-impacts-of-air-pollution-1/image_view_fullscreen)

Como se muestra en la Figura 2, según la European Environmental Agency los efectos más documentados son la mortalidad y la hospitalización de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), exacerbación de los síntomas y aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, mortalidad y hospitalización de pacientes con enfermedades cardiovasculares, de pacientes con diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de los pulmones, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón y, recientemente, efectos adversos en la salud reproductiva de las mujeres embarazadas y de sus hijos.

La exposición a ozono (O_3) en periodos cortos puede causar una variedad de efectos en el sistema respiratorio, así como perturbaciones respiratorias, por ejemplo: tos, sibilancias, dolor o ardor en el pecho, ardor en el pecho y dificultad para respirar. También puede aumentar la susceptibilidad a padecer infecciones respiratorias y reducir la capacidad de realizar ejercicio.

El principal efecto del SO_2 sobre la salud es la afectación a la función pulmonar, además de la irritación ocular. Otro efecto importante es la inflamación del sistema respiratorio que provoca tos, secreción mucosa, agravamiento del asma y bronquitis crónica. Es común que los ingresos

hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumenten en los días en los que los niveles de SO₂ son más elevados. Por otro lado, estudios epidemiológicos revelan que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan con relación con la exposición prolongada; la disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO₂ registradas actualmente en ciudades europeas y estadounidenses.

✘ Un dato interesante es que en la zona sur de Tamaulipas las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas están entre las 10 principales causas de padecimientos de muerte [6]. Esta zona está fuertemente expuesta al paso de frentes fríos en las temporadas de otoño-invierno, así como también ciclones tropicales en verano, y como se describe más adelante, esto influye en la dispersión de los contaminantes generados en la región.

Zona Metropolitana Tampico-Madero-Altamira




La región de estudio corresponde a la zona sur de Tamaulipas, constituida por tres municipios: Tampico, Ciudad Madero y Altamira que, junto con los municipios del Norte de Veracruz, Pánuco y Pueblo Viejo, agrupan unos 900 mil habitantes. La Zona Metropolitana está rodeada por el Río Pánuco, el Golfo de México y un sistema lagunar muy extendido, que consta entre otras, de la laguna de Champayán, la de las Marismas y la de San Enrique, en Altamira; las lagunas del Carpintero y del Chairel, en Tampico; y las lagunas Nuevo Amanecer, el Chipuz, los Patos e Ilusión, en Ciudad Madero. La zona cuenta con dos puertos importantes, el de Tampico sobre el río Pánuco, y el Puerto Industrial de Altamira, sobre el Golfo de México. Gracias a la presencia de estos dos puertos, de los ríos y las lagunas, la zona sur de Tamaulipas destaca por su vasta actividad pesquera y por su gran flota de mediana altura, principalmente camaronera, así como de pesca ribereña y de laguna. Adicionalmente, la Zona Metropolitana Tampico-Madero-Altamira es un polo regional en servicios de salud, educativos, turísticos y comerciales entre otros. Existen tres hospitales regionales y varios privados de primer y segundo nivel; un Campus de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, tres del Tecnológico Nacional de México (uno en Ciudad Madero y dos en Altamira); uno del Instituto Politécnico Nacional en Altamira, y varias universidades privadas; una gran oferta de hoteles y restaurantes, centros comerciales, servicios a la industria y el comercio, talleres artesanales e industriales, lo que junto con el parque vehicular y varios tiraderos de basura clandestinos en toda la zona, crean una gran cantidad de emisores de gases hacia la atmósfera.

✘ Tampico es uno de los principales puertos en la costa oriental de México y sirve de entrada y salida para productos mineros, petroquímicos, acero, madera y grano, entre otros. En Tampico se encuentra el aeropuerto internacional “Francisco Javier Mina” con vuelos diarios a las ciudades de Monterrey, Ciudad de México, Cancún y Houston. La industria aérea genera distintos contaminantes que se emiten durante esas operaciones, entre los cuales destacan: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos sin quemar y ozono [5]. En Tampico también se encuentran los astilleros de la Marina Armada de México y varias empresas armadoras de plataformas petroleras y de otros servicios sobre ambas márgenes del Pánuco, y las flotas pesqueras del Golfo de México y de pesca en las lagunas.

En el municipio de Altamira se encuentran los polos de la Avenida de la Industria y del ✘

Corredor Industrial, conformados por distintas empresas del ámbito químico productoras de polímeros, entre otros materiales, que producen hasta el 60% de las resinas poliméricas en el país. Además, Altamira posee una central termoeléctrica con 44 años de operación, la cual en 2020 se ubicó como la cuarta mayor central eléctrica generadora de partículas $PM_{2.5}$ del país, la quinta en PM_{10} y la séptima de dióxido de azufre[6], además de las centrales de ciclo combinado del Puerto Industrial y las de cogeneración que se encuentran en varias industrias del Puerto. Existe un relleno sanitario en Altamira que procesa los residuos municipales de toda la Zona Metropolitana conocido como “Zona Conurbada” pero que no cuenta con un sistema de recuperación de gas natural. De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, el sitio se categoriza Tipo A.

 En Ciudad Madero, se ubica la Refinería “Francisco I. Madero”, la más antigua del Sistema Nacional de Refinación de la empresa Petróleos Mexicanos (Pemex), la cual ha destacado por ser la refinería de petróleo que más produjo gasolina, diésel y turbosina en los meses de julio-septiembre de 2020 [7]. En el municipio de Ciudad Madero se encuentra el paseo turístico de Playa Miramar que cuenta con hoteles y restaurantes, así como varias playas de aguas profundas y un sistema de lagunas costeras y semiurbanas con diferente grado de impactación antropogénica.

También es importante mencionar la existencia de tres Tiraderos a Cielo Abierto (T.C.A.) donde se han provocado en diferentes ocasiones incendios y la quema incontrolada de residuos que contribuyen de forma importante a la contaminación del aire. El primero, denominado T.C.A. los Presidentes, dejó de operar en el año 2003 y tiene una superficie de 2.5 hectáreas. En Ciudad Madero se encuentra T.C.A. SAHOP en el cual se concentran residuos orgánicos provenientes de área de limpieza de superficies verdes y escombros; tiene una superficie de 40 hectáreas y de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, el sitio no cumple con las condiciones mínimas que indica la norma referente a la clausura de sitios de disposición final al igual que el T.C.A. los Presidentes. En Tampico se ubica el T.C.A. El Zapote en el cual siguen disponiendo residuos orgánicos provenientes de áreas verdes y llantas de desecho; además, es utilizado como una Estación de Transferencia. El sitio se ubica en el Maxi Libramiento Tampico y tiene una superficie de 30 hectáreas. Por otro lado, el Rastro, localizado en la cabecera Municipal de Tampico recibe al año, aproximadamente 20,000 reses y 30,000 cerdos donde utilizan el estiércol para producir gas metano que emplean para calentar las calderas del lugar [8][9].

Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire.

Son instrumentos que establecen acciones para prevenir y revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire y responden a la necesidad de los estados de contar con un instrumento de carácter preventivo y correctivo en materia de calidad del aire y protección a la salud, así como para dar cumplimiento al marco jurídico aplicable en esta materia. A través de estos programas se busca lograr avances como los siguientes:

- Fomentar la participación de los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal), así como de la industria, la academia y la sociedad civil organizada, en la atención a la problemática de contaminación del aire.
- Generar un diagnóstico de las causas que influyen en la calidad del aire en la zona de estudio.
- Identificar las principales fuentes de emisión de contaminantes del aire.
- Definir medidas y acciones enfocadas en la reducción de emisiones, fortalecimiento institucional, protección a la salud, estrategias de comunicación y educación ambiental. [10]

Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Tamaulipas

El programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Tamaulipas (ProAire Tamaulipas) es un instrumento que integra políticas y compromisos a seguir por los tres órdenes de gobierno para reducir las emisiones contaminantes. Dentro de las actividades que asume se encuentra la de integrar y mantener actualizado el inventario de fuentes de contaminación y en el cual se manifiesta lo siguiente:

Ciudad Madero: Municipio en el que es preponderante la industria del petróleo y petroquímica, por generación de SO_2 (dióxido de azufre). Los vehículos automotores destacan por COV (compuestos orgánicos volátiles), CO (monóxido de carbono) y NO_x (Óxidos de nitrógeno). El uso doméstico de solventes, aguas residuales y recubrimiento de superficies también se distinguen por generar COV.

Altamira: Embarcaciones marinas, camionetas y pick up, autos particulares y taxis son las fuentes emisoras principales de SO_2 en este municipio. Para la generación de NO_x es la industria química y la generación de energía eléctrica, mientras que para COV la industria química, la combustión doméstica y la industria del plástico y hule.

Tampico: Municipio en el que se emite principalmente SO_2 por embarcaciones marinas. También destacan los vehículos automotores por la generación de CO y NO_x .

Red Estatal de Monitoreo Atmosférico Manual de Tamaulipas

En el ProAire Tamaulipas 2018-2027 se hace referencia de la existencia de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico del estado de Tamaulipas que inició operaciones en 1993. Se le asignaron equipos manuales de Partículas Suspendidas Totales (PST) y Partículas PM_{10} que se distribuyeron en los municipios de Matamoros, Nuevo Laredo, Reynosa y Tampico. En total este sistema incluye 19 estaciones; sin embargo, la Red de monitoreo no ha operado de manera regular.

En la región existen 4 estaciones que forman parte de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico Manual de Tamaulipas. A continuación, se precisan sus ubicaciones y estado [11]:

Tampico: Policía Metropolitana, la cual se encuentra activa.

Ciudad Madero: Centro Educativo Ecológico Ambiental, el cual se encuentra activo.

Altamira: Oficinas 1 y 2, ambas fuera de operación.

Límites máximos permisibles de contaminantes típicos

Para evaluar el cumplimiento de calidad del aire para la protección de la salud, existen Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales definen límites máximos permisibles (LMP) para diferentes contaminantes del aire. Según ProAire Tamaulipas, en el estado sólo se miden las PM_{10} ; sin embargo, en el Tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas de las Normas Oficiales

Mexicanas de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , SO_2 , NO_x y CO [11].



Tabla 1. Especificaciones técnicas de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del documento de ProAire Tamaulipas[11].

Cumplimiento de las normas

De acuerdo con los datos que se presentan en la Tabla 2, en la estación de Tampico (POL) se cumplió con ambos límites y por tanto con la NOM en 2012; en los siguientes dos años en esta estación no se cumplió con la norma debido a que se rebasó el límite vigente de 24 horas ($75 \mu g/m^3$). En 2015 no se contó con la información suficiente. Otro punto muy importante para tratar es que no existen muchas estaciones y de las que hay solo opera una y el monitoreo no es constante. La estación CEEA ubicada en el municipio de Ciudad Madero, no contó con medición para los años 2011 al 2014, y para 2015 los datos son insuficientes para estimar el indicador del límite máximo permisible (LMP) de 24 h y el promedio anual establecido en la NOM-025-SSA1-2014.




Tabla 2. Cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 de partículas en Tampico.

(DI = Datos insuficientes; SM = Sin medición; FO = Fuera de operación; NA = No se aplica)

Fuente: recuperada del documento ProAire Tamaulipas [11].

En general, durante el periodo de evaluación del cumplimiento de la norma de PM_{10} en Tamaulipas, la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico registró problemas operativos que provocaron que los equipos estuvieran fuera de operación, o bien, que generaran poca información, por esto no se obtuvieron datos suficientes que permitieran evaluar el cumplimiento de los límites normados en la estación de Ciudad Madero [11].

Identificación de los contaminantes

Para identificar los contaminantes atmosféricos como las PM, los VOC, O_3 , NO_x , SO_x y CO_x ,  las estaciones de control cuentan con sensores específicos, por dispersión láser las PM o electroquímicos los de CO_x o SO_x por ejemplo, que miden la concentración de los contaminantes en un rango establecido. Comercialmente existe una gran variedad de estos sensores para el montaje de estaciones de monitoreo propias para redes de monitoreo académicas o ciudadanas, o de estaciones de monitoreo con sensores ya integrados como las oficiales del sistema ProAire. Sin embargo, los sensores de calidad del aire no identifican las partículas suspendidas sino solo las cuentan. No obstante, dependiendo de la fuente de emisión es posible que las PM puedan contener cenizas, hollín, arena, cemento, metales pesados, entre otros, por lo que el impacto sobre la salud puede potenciarse. De este modo, existen varios reportes en los que se han estudiado las partículas en suspensión, así como el polvo en interiores por diferentes métodos analíticos como la espectroscopía Raman, la microscopía electrónica de transmisión y la espectroscopía de infrarrojo. Por ejemplo, en [12] se realizó una investigación espectroscópica de las partículas de polvo del aire de varias muestras en diversos lugares del estado de Tamil Nadu, India. En este estudio se obtuvo como resultado la identificación de distintos minerales como el cuarzo, el amianto, la caolinita, la calcita, la hematita, la montmorillonita nacrita y varios otros minerales en las partículas de polvo del aire, usando espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR). En otro trabajo, se

reportó el uso de espectroscopia Raman para comparar la estructura química, el tamaño y la morfología de las partículas de hollín emitidas por los motores con las producidas por los generadores de hollín de laboratorio [13]. Por microscopia electrónica de transmisión es posible observar la morfología y la estructura de las partículas si éstas son cristalinas, y si el equipo cuenta con un detector de rayos X, la composición química. Para realizar estos estudios es necesario contar con una estrategia de muestreo adecuada.

Modelación de la calidad del aire en las ciudades



La generación y dispersión de los contaminantes en las zonas urbanas es un tema de creciente interés, ya que la identificación de los generadores y la medición puntual de los contaminantes típicos no siempre es indicativa de los potenciales efectos sobre la salud, sino que es influida por los factores meteorológicos como la velocidad y dirección del viento, la humedad relativa, la temperatura ambiente y la presión atmosférica.

Adicionalmente, el relieve urbano afecta directamente la dispersión y concentración puntual de los contaminantes, creando en ocasiones “bolsas” de alta contaminación, por ejemplo, en callejones o en zonas a sotavento o momentos de muy elevada concentración de contaminantes, como en el caso de las inversiones térmicas en la Ciudad de México. De este modo, se han propuesto diferentes aproximaciones que toman en cuenta el relieve urbano, la topografía de la ciudad y su entorno próximo, los emisores, las condiciones meteorológicas, los emisores y el tiempo. Con estos datos ha sido posible modelar la distribución de PM10 diaria y anual en la ciudad de Londres, en el Reino Unido, o de las partículas PM2.5 y el NO₂ en la ciudad de Bergen, en Noruega [4].



Perspectiva

Debido a que la red de monitoreo de la calidad del aire en la Zona Metropolitana Tampico-Madero-Altamira está parcialmente fuera de servicio, pese a la gran cantidad de emisores identificados, el grupo conformado por investigadores del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, del CICESE de Ensenada y del CICATA-IPN Unidad Altamira, está interesado en el desarrollo de una red de monitoreo atmosférico para así relacionar los datos de contaminantes con la meteorología de la zona (viento, radiación solar, temperatura, etcétera) y describir su distribución espacio-temporal. Por otro lado, ante la variedad de emisores en la región y el posible impacto en la salud de la ciudadanía, es del interés del grupo de investigación estudiar la identidad de las partículas suspendidas y el polvo que se acumula en los hogares, por lo que se diseñará una estrategia para muestrear y analizar los materiales por métodos instrumentales como espectroscopia Raman e Infrarrojo. Finalmente, con los datos de la red de monitoreo se modelará la distribución de los contaminantes a lo largo del año en la Zona Metropolitana. El interés es construir una red de monitoreo ciudadana de acceso libre para poner al alcance de la población y de los gobiernos municipales una herramienta complementaria a las estaciones oficiales, para fomentar el interés en la mejora de la calidad del aire en la población de la Zona Metropolitana.

Literatura citada

1. IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s. f.). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA – IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
2. (2018, 2 mayo). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20representa,agudas%2C%20entre%20Oellas%20el%20asma.](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20representa,agudas%2C%20entre%20Oellas%20el%20asma.)
3. Naturales, R. A. M. D. S. Y. (2018, junio 16). Fuentes de Contaminación Atmosférica. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
4. Tobias Wolf, Lasse H. Pettersson, and Igor Esau, A very high-resolution assessment and modelling of urban air quality, Chem. Phys., 20, 625–647, 2020. <https://doi.org/10.5194/acp-20-625-2020>
5. Guzmán, S. M. (2019, 24 mayo). La contaminación que producen los aviones, en 12 datos. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/destinos/la-contaminacion-que-producen-los-aviones-en-12-datos#:~:text=Entre%20los%20contaminantes%20que%20se, hidrocarburos%20sin%20quemar%20y%20ozono.>
6. Badillo, D. (2020, 5 julio). Termoeléctrica de Altamira: la vieja vecina incómoda del sur de Tamaulipas. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/politica/Termoelectrica-de-Altamira-la-vieja-vecina-incomoda-del-sur-de-Tamaulipas-20200705-0005.html>
7. Nacional, O. (2020, 2 noviembre). Refinería Madero en Tamaulipas la que más produce gasolina del país: Pemex. Recuperado de https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/REFINERIA-MADERO-EN-TAMAULIPAS-LA-QUE-MAS-PRODUCE-_P6SdR/#:~:text=La%20refiner%C3%ADa%20Francisco%20I.,la%20empresa%20productiva%20del%20Estado
8. Tamaulipas Gobierno del Estado Periodico Oficial (2016) Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en Tamaulipas. <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2016/09/cxli-112-200916F-ANEXO.pdf>
9. Tamaulipas Gobierno del Estado (2009). Atlas de Riesgos de los Municipios de Tampico, Madero y Altamira del Estado de Tamaulipas. <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2011/12/ATLAS-D E-RIESGOS-MPIOS-TAMPICO-MADERO-Y-ALTAMIRA.pdf>
10. Naturales, R. A. M. D. S. Y. (2021, 7 abril). Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire ProAire. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire>
11. Secretaria de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente – Tamaulipas (2018) Programa de Gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Tamaulipas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399257/28_ProAire_Tamaulipas.pdf
12. EPA. (2015). Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (Ben-MAP). User Manual. North Carolina, US: EPA. Recuperado a partir de <http://www.epa.gov/air/benmap/>
13. Senthil Kumar, R., & Rajkumar, P. (2014). Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through FTIR, XRD and SEM analyses. Infrared Physics &

Technology, 67, 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.002>

This entry was posted on Monday, September 13th, 2021 at 8:53 am and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud, Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.