



- Simulación de sistema de comunicación óptico interplanetario.
- Contaminación del aire por partículas (PM_{10}) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara, Jalisco.
- Evaluación del Manejo de Inventarios en industrias PYMES
- El uso de drones en ciencias de la tierra.

Editorial

La revista Reacción presenta en esta décimo primera edición reflexiones sobre temas de interés e impacto nacional e internacional. Los artículos son muy interesantes ya que competen a diferentes disciplinas, en las ciencias ambientales se encuentra el artículo "Contaminación del aire por partículas (PM_{10}) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara-Jalisco"; para la línea de investigación en óptica se presenta el artículo llamado "Simulación de sistema de comunicación óptico interplanetario." Asimismo para el área Económico Administrativa se ofrece el artículo "Diagnóstico para evaluar las prácticas de control en el manejo del inventario de materia prima en las MIPYMES de la ciudad de León, Gto", además, el texto informativo de este mes es "El uso de drones en ciencias de la tierra". Cada uno de los artículos y el texto informativo reflejan la capacidad metodológica de los investigadores en diferentes áreas de conocimiento.

Las Ciencias Ambientales se presentan en el artículo llamado "Contaminación del aire por partículas (PM_{10}) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara-Jalisco" que expone la problemática de la zona conocida como el Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) que abarca gran parte de la ciudad de Guadalajara (CG), en el estado de Jalisco. El artículo comenta como esta zona experimenta días frecuentes con niveles altos de partículas (principalmente PM_{10}) y ozono (O_3), situación habitual en otras ciudades como la Ciudad de México y expone los resultados sobre el muestreo de partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$, conocidas como partículas gruesas y finas, respectivamente), y del monitoreo de gases contaminantes en aire ambiente (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , Hidrocarburos Totales-No metano y H_2S) durante días de la temporada seca.

El artículo especializado en óptica titulado "Simulación de sistema de comunicación óptico interplanetario" hace referencia a la factibilidad del uso de sistemas de comunicación láser entre planetas mediante un ejemplo de transmisión láser entre dos satélites ubicados en la Tierra y Marte. Este sistema fue creado a partir del programa de diseño de misiones espaciales y satelitales STK (SystemsToolKit).

En el área de las Ciencias Sociales se presenta el artículo: Diagnóstico para evaluar las prácticas de control en el manejo del inventario de materia prima en las PYMES de la ciudad de León, Gto. Hace un comparativo del modelo de control sugerido por especialistas con las prácticas de las empresas locales. Los resultados obtenidos reflejan que el 78% de las empresas del muestreo utilizan el procedimiento sugerido por autores; asimismo que un 15% emplea un procedimiento similar y un 7% usa otro procedimiento no identificado de acuerdo a la información obtenida.

El texto informativo versa sobre "El uso de drones en ciencias de la tierra" la aportación es interesante dado que presenta una revisión histórica y el beneficio que dan a la sociedad; el autor señala las múltiples tareas como vigilancia, fotografía y ocio entre otras. Es importante este descubrimiento ya que se ha logrado reducir el costo de recolección de grandes cantidades de datos de alta calidad por estos medios; como resultado, más académicos/as en las Ciencias de la Tierra están recolectando información mediante sensores aéreos con mayor frecuencia en aras de generar mayores beneficios a la sociedad.

Agradecemos a todos los participantes la publicación en la revista, es un privilegio conocer sus trabajos y reconocer el tiempo, esfuerzo y proceso que requieren sus artículos y sus investigaciones.

Comité Editorial
Revista Reacción



ÍNDICE

Simulación de sistema de comunicación óptico interplanetario	01
Contaminación del aire por partículas (PM10) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara-Jalisco	12
Evaluación del Manejo de Inventarios en industrias PYMES	28
El uso de drones en ciencias de la tierra	37



Comité Editorial

Liliana González Arredondo
Directora Editorial

Daniel Israel Rodríguez Gante
Diseño de imagen e integración web

Laura Margarita Aguilar Cervantes
Correctora Editorial

Arturo Alejandro Arroyo Benavides
Revisor Editorial

Ma. Angelina Rangel Cervantes
Correctora Editorial en Lengua Extranjera

Adriana López Barberena
Representante de Área Económico Administrativo

Ricardo Miguel Sánchez Durán
Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación

Brett González Cárdenas
Representante de Área Sustentabilidad para el Desarrollo

J. Guadalupe Santos Gómez
Representante de Área Ingenierías



Simulación de sistema de comunicación óptico interplanetario. (Por: Juan Antonio Cabrera Rico, Víctor Omar Zapata Gaitán.)

Resumen

Actualmente, los países líderes en tecnologías espaciales buscan llevar a cabo misiones muy distantes en el espacio exterior y a pesar de que tradicionalmente utilizan sistemas de telecomunicaciones que emplean enlaces por radiofrecuencia, se hace necesario evaluar la posibilidad de utilizar enlaces ópticos basados en láseres para lograr comunicación entre los diferentes participantes en una misión espacial que podrá enfocarse principalmente a la comunicación con los satélites más distantes para obtener y retransmitir datos desde y hacia la tierra, así como instalar instrumentos en algún planeta.

Esta investigación muestra la factibilidad del uso de sistemas de comunicación láser entre planetas mediante un ejemplo de transmisión láser entre dos satélites ubicados en la Tierra y Marte, creado a partir del programa de diseño de misiones espaciales y satelitales STK (SystemsToolKit).

Palabras clave: Comunicación láser, Satélites, SystemsToolKit.

Abstract

Now a day counties that are leaders in space technology are doing longer missions outer space even though traditionally radiofrequency telecommunication systems are used, it has become a need to evaluate the possibility of use optic links based on lasers to stablish communication between users in the space mission, but oriented to communication with the farthest satellites which will acquire and retransmit data from and to earth and also artifacts in other planets.

This investigation tries to show the factibility of using laser communication systems between planets throu laser transmission between two satellites located on earth and mars created from a the program of spacial missions desing and satellites STK (SystemsToolKit).

Key words: Laser communication, Satellites, SystemsToolKit.

Introducción

La exploración espacial y los futuros planes de colonización planetaria requerirán de un alto nivel de logística, para ello, será necesario tener infraestructura de transmisión de la información para que sea confiable, eficiente, con un ancho de banda lo suficientemente considerable para solventar la necesidad de la explotación y exploración de otros planetas¹.

En la actualidad, los enlaces de transmisión entre satélites y estaciones son realizados mediante el uso de ondas radioeléctricas; sin embargo, las ventajas que presentan los transmisores láser sobre los de ondas de radio, permitirán crear un sistema de comunicaciones de mayor calidad en cuanto a la velocidad de transmisión, menor costo energético y un ancho de banda que sobrepasaría a los de los sistemas de comunicación satelital actuales.

Por ello, este estudio analiza un posible escenario de comunicación interplanetaria entre Marte y la Tierra utilizando software para el modelado de sistemas satelitales.



Comunicación por láser

La comunicación por láser utiliza un haz de luz para la transmisión de datos, que es especialmente efectivo para el envío de altas tasas de información en enlaces punto a punto y ubicados a grandes distancias, aunado a que su costo y requerimientos de energía son menores comparados a los de sistemas de transmisión basados en radiofrecuencias. Los medios ópticos pueden producir velocidades de 10-100x más rápidas que las que están basadas en ondas de radiofrecuencia².

La comunicación a través de medios ópticos ya es utilizada en diversos sectores como organizaciones militares, en aviones o naves marinas, pero las ventajas mencionadas requieren el uso ideal en las comunicaciones espaciales.

En el caso de la comunicación espacial, la comunicación por láser representa un concepto nuevo ya que las comunicaciones a través del vacío del espacio se han realizado mediante enlaces de radiofrecuencia, que ha sido un método confiable pero que se ha visto desplazado por los enlaces mediante láser. La principal razón del uso de la comunicación por láser es la mayor capacidad de ancho de banda de estos enlaces sobre los de radiofrecuencia; sin embargo, no es el único beneficio.

El uso de comunicaciones láser permitiría liberar las bandas de frecuencia utilizadas actualmente, por lo que este espacio podría ser utilizado en otras aplicaciones del espectro electromagnético sin preocuparse de las interferencias entre los equipos espaciales. Otra de las ventajas del uso de enlaces láser sobre aquellos de radiofrecuencia, se trata de los costos y tamaño del equipo, ya que el tamaño del área de transmisión de un emisor de radiofrecuencias puede llegar a medir cerca de 160 km, lo que implica que el receptor debe cubrir un área de este tamaño mediante una antena; en cambio, el láser tiene un tamaño de onda cerca de 10,000 veces menor que el de una onda de radiofrecuencia³ lo que implica el uso de receptores de menor tamaño, tanto en las bases terrestres como entre instalaciones y equipo espacial, lo que reduce el espacio ocupado por el equipo y mejora la seguridad de la señal al limitar el tamaño de esta y evitar que otros puedan acceder a ella como ocurre con las ondas de radiofrecuencia.

Cabe agregar que el tamaño reducido de las ondas también reduce el costo energético y monetario de un sistema de comunicación, aspectos importantes a considerar para la optimización de los recursos en el momento de desplegar infraestructura en el vacío espacial.

Arquitectura de sistema de comunicación por láser

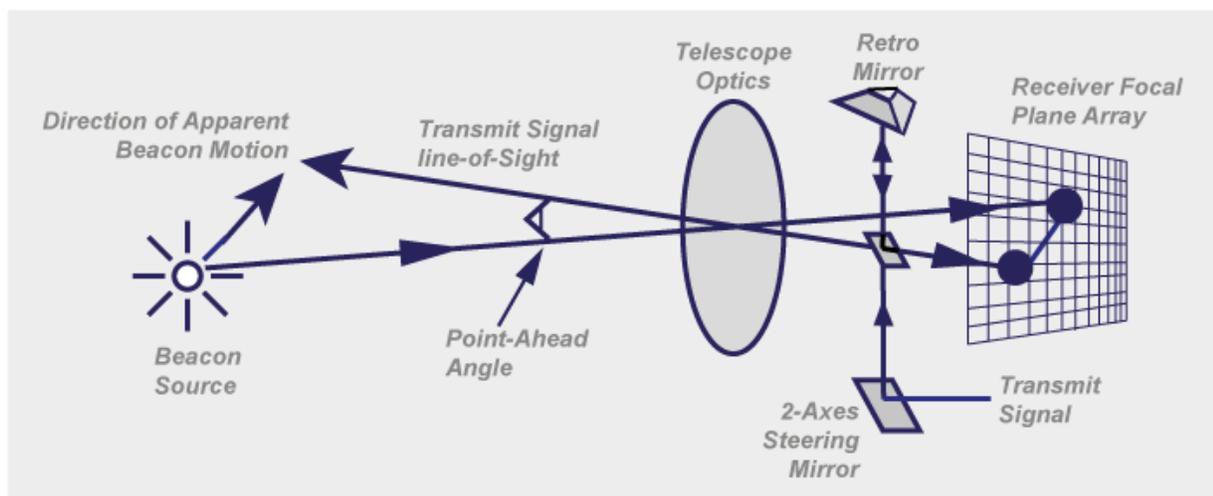


Ilustración 1. Diagrama de los elementos del sistema de comunicación óptica (de izquierda a derecha). Dirección aparente de la señal de luz, línea de vista de la señal transmitida, telescopio, espejo retrovisor, arreglo del plano



receptor, fuente de luz, ángulo de apuntamiento, espejo móvil de dos ejes, señal transmitida.

El uso de un sistema para comunicación utilizando medios ópticos conlleva varios elementos que no son considerados en un sistema que utiliza radiofrecuencia como medio para llevar la información, estos elementos se pueden dividir en los siguientes:

Transmisor

El transmisor láser ubicado en el satélite encargado de recibir y transmitir la información a la Tierra debe cumplir con funciones como codificar y modular la información obtenida al medio óptico para su posterior transmisión; sin embargo, antes de su transmisión es necesario que el transmisor logre adquirir una referencia para el rastreo y apuntamiento del láser hacia la estación de recepción. Una vez que se realiza la adquisición del blanco, el transmisor debe monitorear que la energía proporcionada al medio óptico y a la ganancia de la antena es óptima para llevar a cabo el enlace.

Otro elemento importante a considerar es la longitud de onda utilizada por el enlace que depende de diversos factores tales como su relación con la ganancia de la antena la cual es inversamente proporcional al cuadrado de esta, lo que implica que una longitud de onda más corta permitiría un mejor control de la operación del enlace en una longitud de onda corta; sin embargo, las longitudes de ondas largas facilitan obtener la calidad del medio óptico. También es necesario considerar las restricciones que el transporte del transmisor implica sobre la disponibilidad de energía eléctrica, ya que la longitud de onda a utilizar varía con respecto a su consumo de energía. El sistema óptico a utilizar también es propenso a la atenuación y a las pérdidas por el ruido y está directamente relacionada con la elección de longitud de onda de operación para el láser⁴.

Receptor

La función del receptor es la de demodular y decodificar la señal recibida mediante el correcto uso de la ganancia y sensibilidad de la antena receptora. Al igual que el transmisor es necesario que se encuentre apropiadamente apuntado y en posición de recibir la señal enviada por el transmisor para limitar la cantidad de información recibida por parte de otras fuentes de luz y facilitar la detección de la señal del enlace.

Dependiendo de la distancia del enlace, el receptor puede requerir la alteración de factores que mejoren su desempeño en las comunicaciones con el espacio profundo; para ello, se han propuesto mejoras a los sistemas de recepción terrestres. Una de ellas consiste en incrementar la apertura de la antena recepción, sin embargo, esto también incrementa la cantidad de ruido percibido.

Adquisición, rastreo y apuntamiento

Un elemento fundamental para el sistema de comunicación óptico es el método para la adquisición de blanco para el transmisor que requiere determinar la posición del receptor y de esta manera, posicionar el láser hacia la estación terrestre encargada de recibir la información. Este factor incrementa la dificultad en mayores distancias puesto que el haz de luz al ser muy estrecho requiere de movimientos micrométricos para minimizar la dispersión del haz de luz y el grave degradamiento del desempeño del sistema de comunicación.

Uno de los métodos utilizados para el apuntado del transmisor y receptor consiste en el uso de una señal en una baliza que indica la posición a la cual se necesita ajustar el transmisor, este método es factible en distancias relativamente cortas o cercanas a la Tierra pero para comunicaciones con otros planetas no es suficiente para concretar un enlace estable entre transmisor y receptor. También existe la posibilidad de utilizar un objeto como una estrella o un planeta a manera de referencia para la transmisión, y en muchos sistemas, esto permite generar enlaces que no requieren del uso de una baliza para su posicionamiento en distancias largas. Sin embargo, el uso de este método es más propenso a errores debido a movimientos o cambios en el centro geométrico del punto de referencia.

Para comunicaciones interplanetarias sería recomendable el uso de un sistema que incluyera los métodos ya



mencionados a manera de incrementar la redundancia y de esta forma, asegurar que el sistema se encuentre posicionado de la manera más eficiente posible.

Otro aspecto a considerar es el uso de un mecanismo de rastreo para la estación base encargada de recibir la información. El receptor debe tener la capacidad de detectar al transmisor al igual que este lo hace con la estación receptora; es decir, utilizando un haz de luz a manera de referencia, el receptor puede lograr apuntar hacia el emisor, el uso de varios haces de luz es recomendado de manera que faciliten este procedimiento⁵.

También es necesario considerar el movimiento al cual está expuesto el sistema de comunicaciones en el espacio profundo, por lo que se debe optar por sistemas que permitan mantener fijos los componentes del transmisor dentro del transporte en que se encuentra. Es importante revisar las aceleraciones que sufre el vehículo de transporte del sistema dado que provocan cambios notables; por ello, es necesario ajustarlas mediante sistemas antimovimiento que permitan reducir las variables que pueden afectar el posicionamiento del transmisor.

Detectores de señal de luz

Además de la efectividad del emisor y receptor para reconocer la señal del medio óptico, el enlace también requiere que se analice otro parámetro: la sensibilidad del receptor a la luz, medida en términos de fotones por bit. Este elemento permite mejorar el desempeño del sistema de comunicaciones, y no lo limita a que dependa únicamente de la cantidad de energía y de la apertura del sistema de recepción.

En el libro *Deep Space Optical Communications*, Hemmati presenta un diagrama de bloques para un posible receptor (Ilustración 2) en el cual, la señal entrante es recolectada por un telescopio receptor, la señal es redirigida con la ayuda de un espejo a un filtro de polarización, después a un filtro pasa bandas y finalmente a un lente que permite concentrar el nivel de luz en un solo punto, reduciendo el ruido de fuentes como el Sol, Luna o Estrellas que el sistema pudo haber captado durante el proceso.

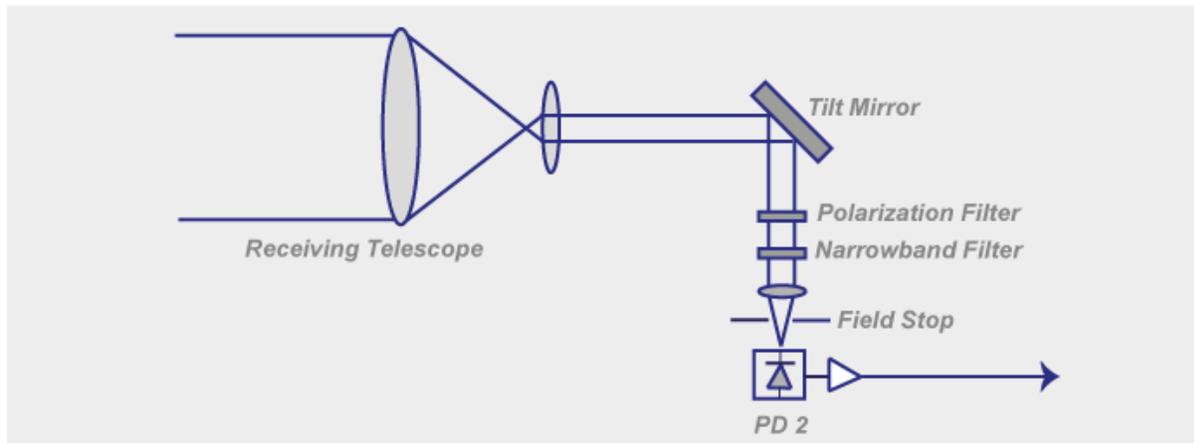


Ilustración 2. Diagrama de bloques de receptor óptico. (De izquierda a derecha): Telescopio receptor, espejo reflector, filtro de polarización, filtro pasa bajas, parada de campo (Hemmati, p. 10).

Hemmati menciona que el método de modulación utilizado por el sistema receptor también influye sobre la capacidad del receptor para percibir los fotones de la señal de entrada, y propone que la capacidad del enlace óptico para detectar fotones puede ser mejorada con las siguientes consideraciones: incrementar la eficiencia de detección de fotones para una cantidad de energía ya dada, seleccionando un formato de modulación que mantenga un alto pico de energía y limitando la cantidad de ruido de parte del láser dentro del foto detector.

Filtros

Los filtros implementados en los sistemas de recepción de señales ópticas utilizan anchos de banda limitados

que logran eliminar la luz que el telescopio receptor podría detectar como ruido; es importante, considerar un tamaño adecuado para que la señal del medio óptico logre ser percibida sin una atenuación significativa.

Debido al tamaño de la longitud de onda en los medios ópticos es necesario crear filtros pasa bandas de tamaños nanométricos por lo que requieren demostrar su funcionamiento en transiciones de materiales a nivel atómico.

Durante 1990, se estudiaron dos versiones de esta clase de filtros: Filtro de dispersión óptica anómala de Faraday (FADOF) y el Filtro de dispersión óptica anómala Stark (SADOF).

Ambos filtros funcionan al pasar luz polarizada en una celda atómica y si el material logra resonar con el haz de luz de entrada se producirá una polarización de la luz a través de la celda atómica; en cambio, si una fuente de luz ajena a la deseada pasa por la celda el fenómeno de polarización no se produce y por lo tanto, la celda solo permite que la luz que está en resonancia pase a través de ella, manteniendo su dirección angular. El filtro se puede observar en el diagrama de la Ilustración 3.

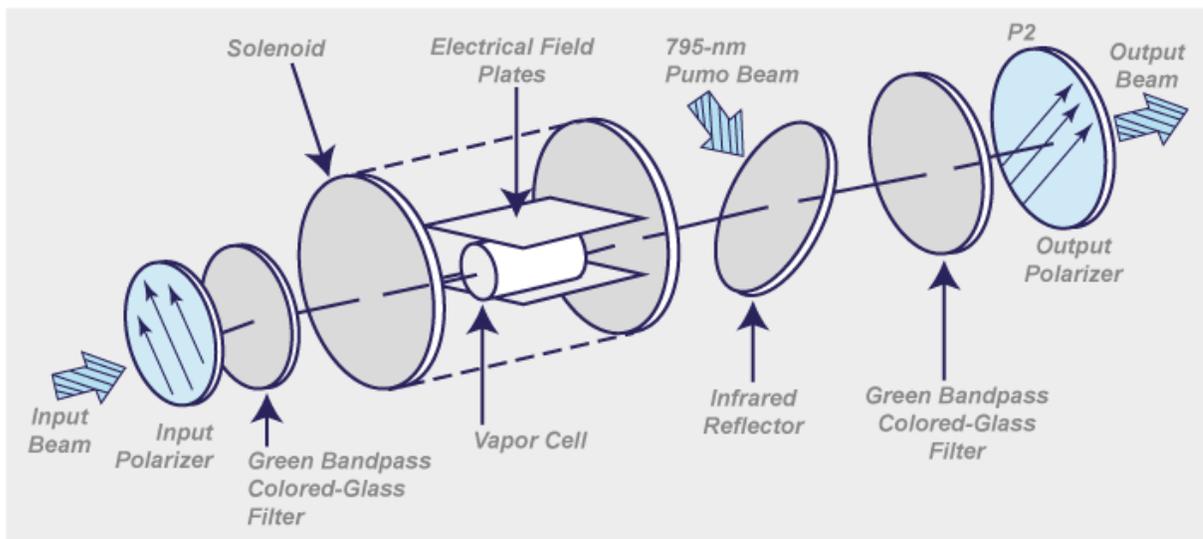


Ilustración 3. Componentes de Filtro SADOF (de izquierda a derecha): haz de luz de entrada, polarizador de entrada, filtro pasa banda de vidrio color verde, solenoide, placas de campo eléctrico, celda de vapor, reflector infrarrojo, filtro pasa banda de vidrio color verde, polarizador de salida, haz de luz de salida (Hemmati 2005, p. 15).

Modulación y Corrección de errores

La modulación utilizada para los enlaces ópticos en comunicaciones espaciales suele inclinarse a favor de la Modulación por posición de pulso (*PPM modulation*), en esta, cada símbolo del canal se divide en un arreglo de M bits, y cada periodo del símbolo del canal se divide en M cantidad de espacios; así, la información es enviada a través del canal cuando se presenta una ventana o apertura en la que el pulso está presente. Es decir, cuando el láser logra obtener una cantidad pico de energía de un arreglo tamaño M , el canal obtiene el mismo tamaño M y por lo tanto, la capacidad del canal se aproxima la capacidad ideal propuesta por Poisson para canales de enlaces ópticos.

Otras de las ventajas de este tipo de modulación es que requiere de una cantidad baja de energía, se obtienen una alta eficiencia en la información obtenida y es resistente a la radiación o ruido.

Para la prevención y corrección de errores en un enlace óptico se debe minimizar la incidencia de ruido externo por parte de otras fuentes de luz, al limitar el ancho del haz transmitido como medio de comunicación se procura la corrección de errores a partir de la señal. Sin embargo, corresponde al demodulador implementar diversos códigos



de corrección de error como por ejemplo, el uso Hamming para detectar y corregir errores en cadenas de bits.

Experimentos con sistemas de comunicación ópticos

En el año 2011, la NASA desarrolló un experimento en el que hizo uso de un medio óptico para la transmisión de información, conocido como LCRD (*Laser Communication Relay Demonstration*) que consistió en el envío de información entre una estación base posicionada en la Tierra y entre un receptor ubicado en la Luna⁶ que logró una tasa de transferencia de 10 a 100 veces más rápidas que las obtenidas con sistemas de comunicación basados en radio frecuencia.

Otros experimentos con este tipo de tecnología han sido desarrollados por la Agencia Espacial Europea, que logró establecer una conexión entre un satélite en órbita geostacionaria y otro ubicado en órbita baja, demostrando la posibilidad de enlaces con un ancho de banda cercano a los 50 Mbps.

Experimentos similares también se han llevado a cabo por parte de la Agencia Espacial Japonesa y por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos⁷. Sin embargo, la demostración más importante para este tipo de tecnología vendría por parte de la NASA con la demostración de comunicación óptica con Marte o MLCD por sus siglas en inglés (*Mars Laser Communications Demonstration*), dicha demostración buscaba hacer uso de terminales ópticos en un vehículo orbitador posicionado en la órbita de Marte y que enviara una señal de regreso a la Tierra con una tasa de transferencia que podría variar de entre 1 a 10 Mbps, e incluso 100 Mbps en circunstancias específicas⁸. Sin embargo, esta misión no fue llevada a cabo debido a que las prioridades de la organización no lo permitieron.

Los parámetros de la simulación presentada en esta investigación se basaron en esta demostración.

Metodología

A partir de la arquitectura antes mencionada, hemos planteado desarrollar un caso de estudio basada en dos escenarios:

- Sonda espacial orbitando Marte con sistemas de comunicaciones en radiofrecuencia y con tres estaciones receptoras en Tierra
- Sonda espacial orbitando Marte con sistemas de comunicaciones ópticas y con tres estaciones receptoras en Tierra

En ambos casos, se plantea la posibilidad de transmitir y recibir información entre un satélite espacial y las tres estaciones receptoras en la Tierra utilizando el sistema de comunicaciones seleccionado.

Se analizarán exclusivamente los resultados obtenidos en el tiempo de acceso (la capacidad en tiempo para poder establecer un enlace de comunicaciones entre transmisor y receptor), y los resultados de la cantidad de información transmitida y recibida durante ese periodo de tiempo de acceso.

El caso de estudio se basa en los modelos utilizados en la Red para el Espacio Profundo (*DSN Deep Space Network*), así como la simulación computarizada del proyecto para el análisis de resultados utilizando la herramienta *Systems Tool Kit (STK)* de la empresa AGI.

Los escenarios de simulación abarcan un periodo del 24 de septiembre de 2014 a 3 de diciembre de 2015, que contemplan el tiempo de acceso que indica la posibilidad de establecer la transmisión y recepción de información entre la sonda y las estaciones base en la tierra.

Desarrollo del caso de estudio

Primer escenario: Sistema de comunicación basado en radiofrecuencia

Este escenario hace uso de comunicaciones mediante radiofrecuencia para establecer contacto con el satélite posicionado en la atmósfera de Marte, utiliza la red para el espacio profundo propuesta por la NASA a manera de

bases receptoras para el canal de comunicación propuesto, estas bases se encuentran en el estado de California (Estados Unidos de América), Madrid (España) y Canberra (Australia).

Las características de las estaciones receptoras que utilizan radiofrecuencia se encuentran en la Tabla 1

Ubicación	Nombre de Antena	Tamaño de Antena	Frecuencia de Recepción	Ganancia
California	DSS 14 Goldstone	70 m	Banda (S,X) 12.0 GHz	76.29 dB
Madrid	DSS 43 Tidbinbilla			
Canberra	DSS 63 Robledo			

Tabla 1. Características de las antenas receptoras en la simulación

La trayectoria de inserción en la atmósfera marciana se basó en la utilizada por la sonda MAVEN (*Mars Atmosphere and Volatile Evolution Mission*) para permitir que el simulador lograra llevar a cabo las maniobras y transiciones necesarias para llegar a la órbita de Marte; sin embargo, los sistemas de comunicaciones del orbitador utilizado en la simulación son similares a los usados en la misión "*Mars Orbiter Mission*". Las características de los elementos que componen el sistema se pueden observar en la Tabla 2.

Frecuencias utilizadas en la simulación y que dependen de la distancia	Potencia del transmisor	Ganancia del transmisor	Potencia del receptor	Tasa de transferencia (bits/seg)	Tamaño de antena transmisora RF
Bandas (S,X)	35 W	49.93 dB	35 W	2 Mb/s	3 m

Tabla 2. Características de los elementos de comunicación del satélite RF

Al inicio del escenario el orbitador comienza su desplazamiento fuera de la Tierra, como se puede observar en la Ilustración 4.



Ilustración 4. Desplazamiento del Orbitador

El orbitador continúa con su trayectoria hasta que logra interceptar al planeta Marte y entrar en su órbita, esto ocurre en la fecha del 24 de septiembre de 2014 (Ilustración 5), es en ese momento, se comienza el análisis del



tiempo de acceso posible entre el orbitador y las estaciones receptoras en la Tierra.

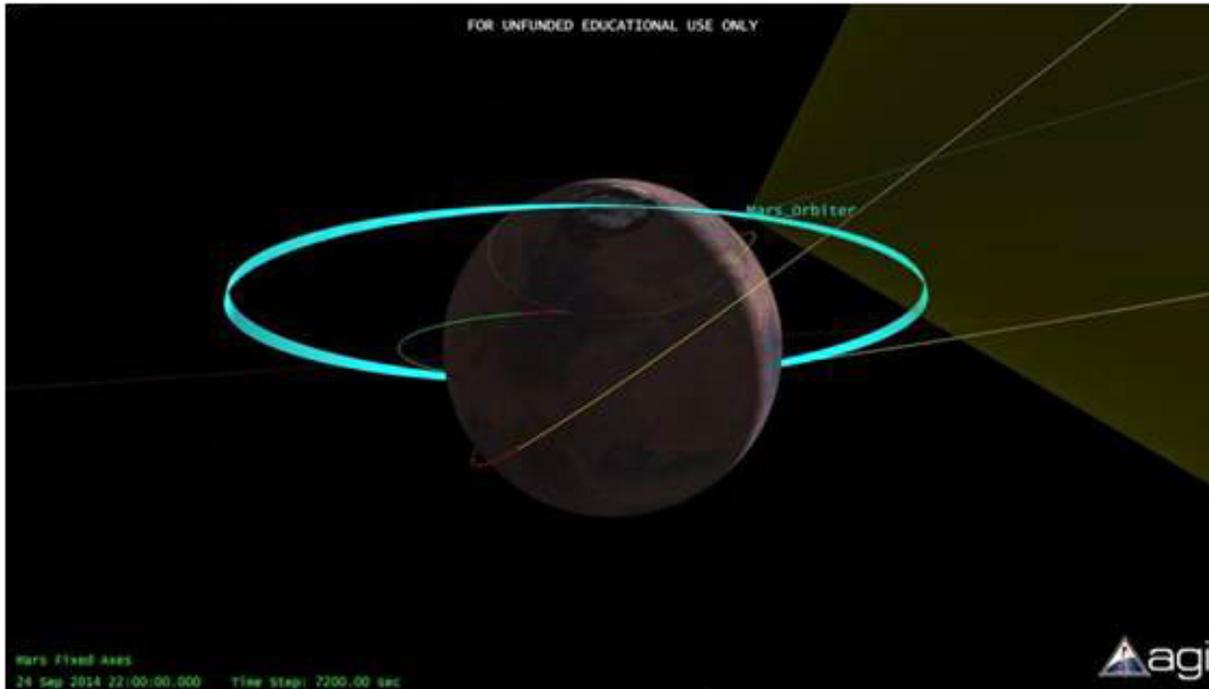


Ilustración 5. Trayectoria del Orbitador

El enlace de comunicación entre el orbitador y la estación terrestre se da cuando el sensor del orbitador logra detectar a la estación receptora; es en ese momento cuando se crea el enlace entre ambos. La simulación dicho enlace es representado mediante una línea que conecta a los elementos del sistema.

Con ayuda del software de simulación se obtiene el promedio de tiempo que cada estación base tiene con el orbitador de Marte cuando se encuentran dentro del rango del sensor.

Elementos del tiempo de acceso (Sonda – Estación terrena)	Tiempo de acceso promedio	Cantidad de información transmitida
Sonda - DSS 14 Goldstone	12.28 Hrs	11.05 GB
Sonda - DSS 43 Tidbinbilla	11.54 Hrs	10.48 GB
Sonda - DSS 63 Robledo	12.36 Hrs	11.13 GB

Tabla 3. Tabla de resultados RF.

Segundo escenario: Sistema de comunicaciones ópticas

Para el segundo escenario se hace uso de los mismos elementos que en el primero, pero se cambian los sistemas de comunicación del orbitador y de las estaciones receptoras, por sistemas de comunicación que utilizan el láser como medio de transmisión. La tasa de transferencia que se utilizó en la simulación se basó en un artículo de investigación elaborado por Biswas y Piazzola donde calculan diferentes parámetros para establecer un enlace entre la Tierra y Marte⁸.

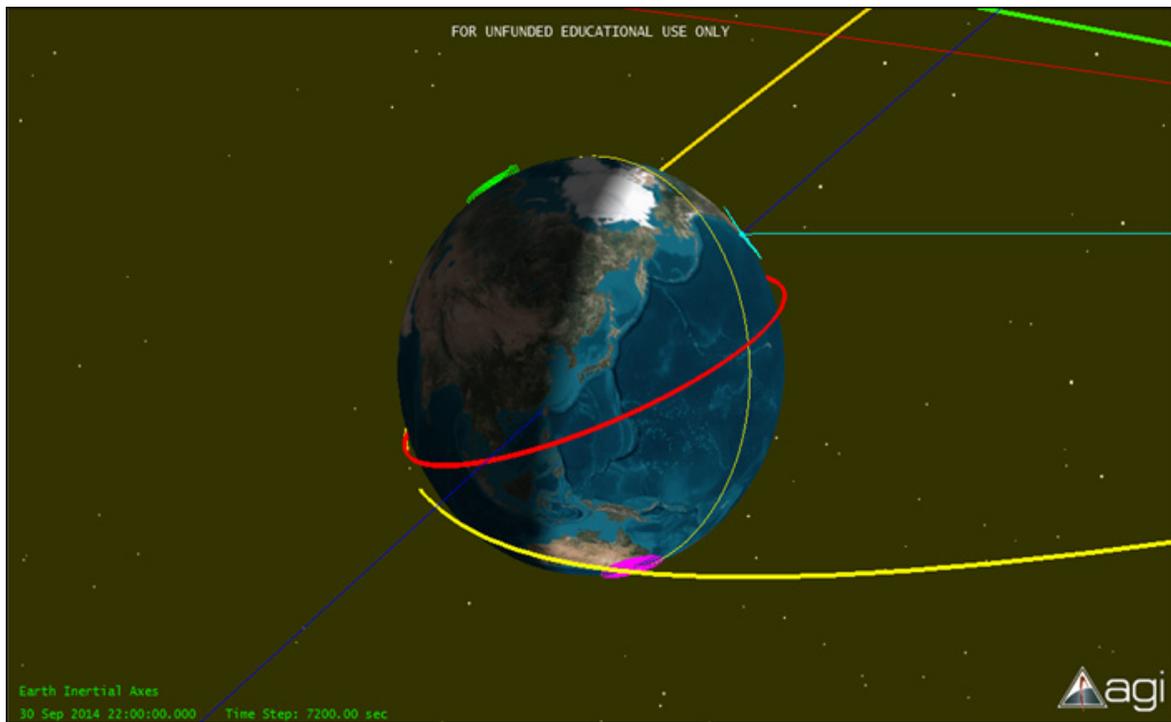


Ilustración 6. Estaciones receptora para sistema láser

Frecuencia del láser	Potencia del transmisor	Ganancia del transmisor	Ganancia del receptor	Tasa de transferencia (bits/seg)	Tamaño de transmisor óptico	Tamaño de receptor óptico
200,000 GHz	5 W	113.73 dB	143.831 dB	16 Mb/s	0.30 m	10 m

Tabla 4. Características de los elementos de comunicación del satélite Láser

Elementos del tiempo de acceso (Sonda – Estación terrena)	Tiempo de acceso promedio	Cantidad de información transmitida
Sonda - DSS 14 Goldstone	12.29 Hrs	76.94 GB
Sonda - DSS 43 Tidbinbilla	11.64 Hrs	95.3 GB
Sonda - DSS 63 Robledo	12.39 Hrs	75.22 GB

Tabla 5. Tabla de resultados utilizando Láser



Resultados

Elementos del tiempo de acceso (Sonda – Estación terrena)	Tiempo de acceso promedio del enlace óptico	Cantidad de información transmitida por el enlace óptico	Tiempo de acceso promedio del enlace de transmisión recepción por radiofrecuencia	Cantidad de información transmitida por el enlace de radiofrecuencia
Sonda - DSS 14 Goldstone	12.29Hrs	76.94 GB	12.28 Hrs	11.05 GB
Sonda - DSS 43 Tidbinbilla	11.64 Hrs	95.3 GB	11.54 Hrs	10.48 GB
Sonda - DSS 63 Robledo	12.39 Hrs	75.22 GB	12.36 Hrs	11.13 GB

Tabla 6. Tabla comparativa

Los resultados obtenidos con ayuda de la simulación brindan una muestra de la tasa de transferencia en relación al tiempo de acceso. Una mayor cantidad de información enviada por el medio óptico sobre el sistema RF (radiofrecuencia), sin contar el tiempo de transmisión donde el medio óptico permanece inactivo debido a la línea de vista en el enlace de radiofrecuencia que tiene la capacidad de obtener 144 GB en un día con una velocidad de 2Mb/s gracias a las ventajas de la radiofrecuencia en la cual no es necesario contar con línea de vista para lograr un enlace de comunicación. Sin embargo, la capacidad de transmisión de información posible en cada uno de los enlaces entre las diferentes bases comprueba que el enlace óptico es un medio viable para la transmisión de información y sobre todo como un medio de apoyo para el sistema RF, aclarando que los valores utilizados para la velocidad de transferencia de datos están basados en el caso de los enlaces ópticos en el rango dado por A. Biswas en su trabajo *“Deep-Space Optical Communications Downlink Budget from Mars: System Parameters”* mientras que la velocidad del transmisor que utiliza radiofrecuencia se basó en la utilizada para la misión Mars Orbiter Mission, dando así una pauta para la mejora tecnológica.

Cabe mencionar que en esta simulación no se contemplaron elementos que pueden contribuir a la atenuación de la señal tanto para el medio óptico como para el uso del espectro radioeléctrico, tal como el estado atmosférico, y la pérdida al apuntar el láser. La simulación se limitó a mostrar las características entre los dos métodos para envío de información; en una futura investigación es posible observar la diferencia del comportamiento del canal en un lapso de tiempo que contemple el estado atmosférico así como la posible contaminación por parte de luz de objetos ajenos al transmisor.

Conclusión

La ayuda de los telescopios ópticos como auxiliares al sistema basado en radiofrecuencia, pueden lograr ventajas como la reducción de tiempos en el envío de información y la capacidad de envío de información (tasa de transferencia). Otro aspecto a destacar es que los sistemas ópticos tienen un consumo de energía menor con respecto a los sistemas de comunicación basados en radiofrecuencias, aunque no fue analizado directamente mediante esta investigación puede ser la base para futuros estudios.

A pesar de las desventajas que implican los sistemas ópticos como son la necesidad de línea de vista y la vulnerabilidad del medio al ruido por parte de otras formas de luz; es notable que este sistema en complemento de los sistemas de comunicación actuales brinda posibilidades de optimización de estos sistemas para su uso práctico en misiones espaciales.

Referencias

1. DAVIDOVICH Stevan y LOCKHEED Martin. Concept for continuous inter-planetary communications. Space Settlement Nexus [en línea].1999, ID. SM12.213. [Fecha de consulta: 18 julio 2015]. Disponible en: <http://www.nss.org/settlement/manufacturing/SM12.213.ContinuousInterPlanetaryCommunications.pdf>



2. Hyde Liz y Papadopoulos Periklis. Combining Láser Communications and Power Beaming for use on Planetary Probes. Solar System Exploration [en línea].2013. [fecha de consulta: 9 agosto 2015]. Disponible en: <https://solarsystem.nasa.gov/docs/8A.6%20Hyde%20Combining%20Laser%20Communications%20and%20Power%20Beaming%20for%20use%20on%20Planetary%20Probes.pdf>
3. National Aeronautics and Space Administration. Lunar Láser Communication Demonstration NASA's First Space Láser Communication System Demonstration [en línea].Actualizada: 3 mayo 2013 [fecha de consulta: 9 agosto 2015]. Disponible en: https://www.nasa.gov/sites/default/files/llcdfactsheet.final_web_.pdf
4. HEMMATI Hamid (ed.) Deep Space Optical Communications. 2a ed. California: Jet Propulsion Laboratory, 2006, 736p. ISBN: 978-0-470-04002-7
5. National Aeronautics and Space Administration. Laser Communications Relay Demonstration, The Next Step in Optical Communications [en línea]. Actualizada: 27 junio 2013 [fecha de consulta: 13 agosto 2015]. Disponible en: http://www.nasa.gov/pdf/742122main_LCRDFactSheet3.pdf
6. D. Cornwell, Space-Based Laser Communications Break Threshold [en línea]. Actualizada: 1 mayo 2016 [fecha de consulta: 2 junio 2016].
7. BOROSON, BISWAS. A y EDWARDS. B, Overview of NASA's Mars Laser Communications Demonstration System [en línea]. Actualizada: 2005 [Fecha de consulta: 6 junio 2016].
8. BISWAS A. y PIAZZOLLA S., Space Optical Communications Downlink Budget from Mars: System Parameters [en línea]. Actualizada: 15 agosto 2003. [Fecha de consulta: 17 julio 2016]. Disponible en: http://ipnpr.jpl.nasa.gov/progress_report/42-154/154L.pdf



Contaminación del aire por partículas (PM_{10}) en el Polígono de Fragilidad Ambiental, Guadalajara, Jalisco. (Por: Leonel Hernández Mena, Juan Gallardo Valdez, José de Jesús Díaz Torres, Edgardo Villegas García.)

Resumen

La zona conocida como el Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) abarca una buena parte de la ciudad de Guadalajara, Jalisco (CG) y experimenta días frecuentes con niveles altos de partículas (principalmente PM_{10}) y ozono (O_3), situación habitual en otras ciudades de México. Este trabajo contiene los resultados sobre el muestreo de partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$, conocidas como partículas gruesas y finas, respectivamente), y del monitoreo de gases contaminantes en aire ambiente (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , Hidrocarburos Totales-No metano y H_2S) en esta zona durante días de la temporada seca. Además, fue posible identificar algunas especies de Aniones y Cationes de las PM_{10} (F^- , CH_3COO^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , $C_2O_4^{2-}$, Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) mediante Cromatografía de Iones, como una forma de aportar información sobre el origen de las partículas gruesas, procesos atmosféricos relacionados en su formación y su probable relación con los demás contaminantes gaseosos.

Palabras clave: PM_{10} , POFA, Aniones y Cationes.

Abstract

The Environmental Fragility Polygon (POFA, acronym in spanish) covers a large part of the City of Guadalajara (CG) and experiences frequent days with high levels of particle (mainly PM_{10}) and ozone (O_3), a habitual situation of different cities in Mexico. This paper contains the results on particle sampling (PM_{10} and $PM_{2.5}$, known as coarse and fine particles, respectively), and about the monitoring of pollutant gases in ambient air (CO , NO_2 , SO_2 , O_3 , Total Hydrocarbons-Non-methane and H_2S) during dry season days. In addition, it was possible identify some species of Anions and Cations in the PM_{10} (F^- , CH_3COO^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , $C_2O_4^{2-}$, Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) by Ion Chromatography, as a way of providing information on the origin of coarse particles, related atmospheric processes in their formation and their probable relationship with other gaseous pollutants.

Keywords: PM_{10} , POFA, Anions and Cations.

Introducción

Dentro de la ciudad de Guadalajara (CG) se ubica un área geográfica a la que el gobierno local del estado de Jalisco designó como Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA)¹. En esta zona son recurrentes los problemas de contaminación tanto en suelo, agua y aire, porque ha sufrido cambios de uso de suelo, deterioro ambiental, pérdida de su fauna y flora originales. Esto debido al crecimiento de la población y de áreas con actividades industriales y agrícolas². Dicha situación probablemente tiene repercusiones en la salud de aproximadamente 1.4 millones de personas³, por la exposición a distintas sustancias contaminantes presentes en el ambiente.

Entre los problemas ambientales más severos en el POFA está la baja calidad del aire por partículas, ozono y la presencia de olores molestos. Se destacan episodios frecuentes de niveles altos de partículas menores o iguales a 10 micras (PM_{10})⁴. Las PM_{10} se originan de procesos mecánicos de trituración, por la combustión deficiente de combustibles de origen fósil o por agregación de partículas más pequeñas⁵ en la atmósfera. A las PM_{10} se les asocia con diversos problemas de salud humana como el cáncer de pulmón, agravamiento del asma e irritación de la garganta, esto debido a que su tamaño pequeño les permite ingresar al sistema respiratorio^{6,7}. Incluso existen estudios que establecen incrementos relativos de mortalidad humana por un aumento de $10 \mu g/m^3$ de las PM_{10} en el aire ambiente^{8,9}.

Los efectos negativos a la salud humana son porque las PM_{10} se conforman de numerosos compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, con diversas propiedades físicas, químicas y biológicas^{10,11}. Algunos de estos compuestos en las PM_{10} pertenecen al grupo de los Aniones y Cationes y contribuyen de forma importante a la masa de dichas partículas^{11,12} y están relacionados con dichos efectos negativos a la salud y a otros efectos ambientales^{13,14}.

Entre los principales Aniones y Cationes en las PM_{10} están sulfato, nitrato y amonio, con reconocidos impactos perjudiciales en la salud humana, el ambiente, el balance de radiación, la visibilidad, así como a los sistemas ecológicos y las plantas¹⁵. Asimismo, se sabe que la abundancia de estos iones en las partículas puede sugerir las fuentes de emisión, o bien la existencia de procesos atmosféricos secundarios formadores de compuestos que integran a las partículas, principalmente durante largos periodos de transporte¹⁶. Además, se conoce que las partículas absorben y dispersan la radiación solar, y tienen efectos sobre la formación de nubes y la precipitación pluvial, debido a su concentración, tamaño y composición química¹⁷.

El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de las PM_{10} y de algunos otros contaminantes ($PM_{2.5}$, O_3 , SO_2 , NO_2 , CO , HT-Hidrocarburos Totales No metano- y H_2S -ácido sulfhídrico-) en aire ambiente de diferentes sitios del POFA, así como la determinación de algunos Aniones y Cationes en dichas partículas. Se plantea el problema de establecer las probables fuentes de emisión o de algunos procesos involucrados en la formación de las partículas, esto en base a su caracterización química.

Metodología

La Figura 1 muestra la ciudad de Guadalajara y la extensión del POFA. Se aprecia la ubicación de los sitios de muestreo (S1, S2 y S3) y la coexistencia de áreas habitacionales, sitios de actividad industrial, así como de grandes zonas sin cobertura vegetal y otras dedicadas a prácticas agrícolas y agropecuarias².

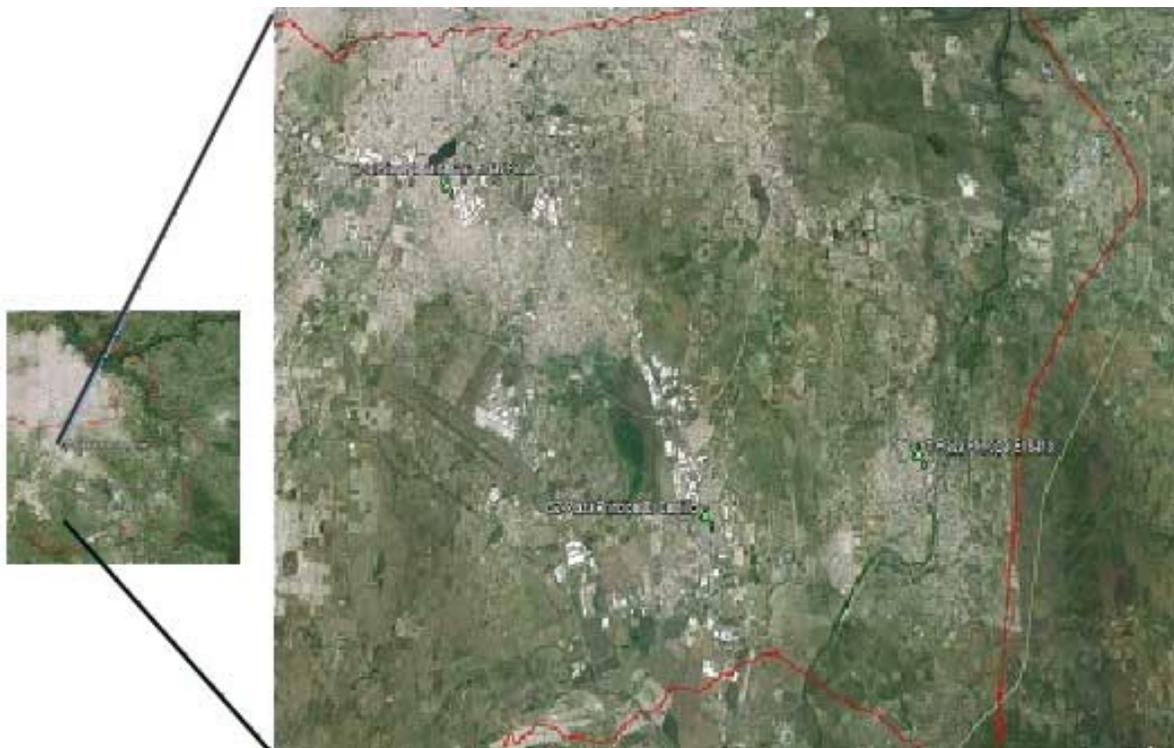


Figura 1. Delimitación de la zona del POFA dentro de la Ciudad de Guadalajara y ubicación de los sitios de muestreo para partículas y monitoreo de gases contaminantes en aire ambiente. La línea roja continua indica la extensión del POFA. Tomado y modificado de Google Maps.

Los muestreos de partículas y el monitoreo de contaminantes gaseosos se realizaron entre el 6 y 18 de abril de 2013, días de la temporada seca cálida, caracterizados por temperaturas elevadas, radiación solar alta y humedad relativa baja^{2,18}. La Figura 2 muestra un diagrama de las distintas actividades relacionadas con este trabajo de investigación, acorde a metodologías estandarizadas^{3,19, 20, 21,22,23, 24, 25}.

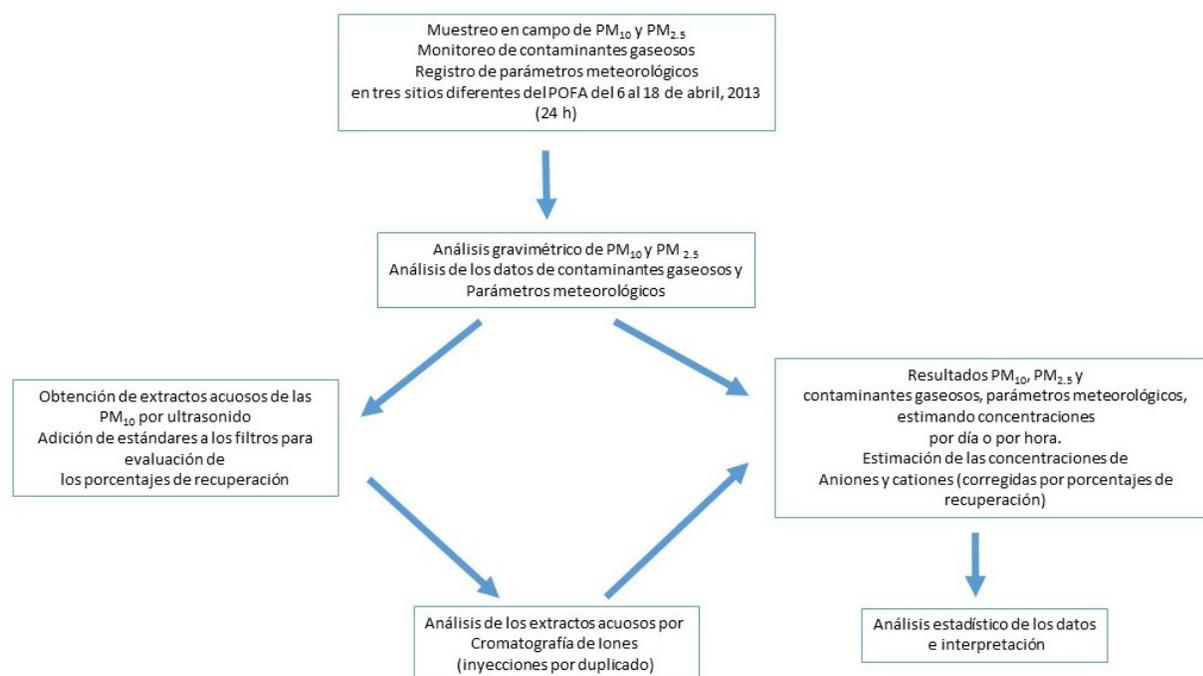


Figura 2. Diagrama de flujo de las diferentes actividades relacionadas con la metodología para la determinación de concentraciones ambientales de contaminantes particulados (PM_{10} -partículas gruesas- y $PM_{2.5}$ -partículas finas-), así como el contenido de Cationes y Aniones asociados a las partículas gruesas, y la determinación de otros contaminantes gaseosos en diferentes sitios del POFA.

A partir de los filtros de las PM_{10} se obtuvieron extractos acuosos con Aniones y Cationes disueltos (F^- , CH_3COO^- (acetato), Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , SO_4^{2-} , $C_2O_4^{2-}$ (oxalato), Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) para su análisis por Cromatografía de Iones (CI), esto para identificar y estimar su cantidad. El principio de la cromatografía es la separación de compuestos en función de su mayor afinidad por una fase móvil o una fase estacionaria que genera distintos tiempos de retención, permitiendo así su separación e identificación. La presencia de los Aniones y Cationes es a través de un detector de conductividad.

Para el análisis de los resultados se emplearon pruebas estadísticas no paramétricas, entre ellas la r de Spearman para correlaciones entre variables, o pruebas como *Mann-Whitney* y *Kruskal-Wallis* para comparación de dos o más grupos de datos, respectivamente. Las pruebas se efectuaron con el software *Statistica 6*.

Resultados y discusión

Variación en aire ambiente de las PM_{10} y $PM_{2.5}$

La estadística descriptiva resume la variación de las concentraciones de las PM_{10} , $PM_{2.5}$ y de las otras variables de estudio (excepto dirección del viento) en aire ambiente en el POFA durante el periodo de muestreo (Tabla 1).

	n	Media	D.E.	Mediana	Mínimo	Máximo
µg/m3						
PM10	12	173.29	33.26	187.83	115.61	217.65
CH3COO-	12	0.38	0.14	0.37	0.19	0.67
Cl-	12	2.67	4.20	1.24	0.16	14.75
NO3-	12	2.02	0.81	1.75	1.07	3.43
PO4-	12	0.36	0.31	0.23	0.16	1.02
SO42-	12	3.62	1.31	3.31	2.42	6.75
C2O42-	12	0.15	0.02	0.16	0.12	0.19
Na+	12	1.15	0.58	1.10	0.36	2.08
NH4+	12	1.23	1.67	0.63	0.25	6.28
K+	12	0.73	0.29	0.56	0.49	1.34
Ca2+	12	1.49	0.51	1.45	0.95	2.57
Mg2+	12	0.18	0.05	0.16	0.14	0.29
Σ Aniones	12	9.21	5.18	7.00	4.65	22.82
Σ Cationes	12	4.79	2.85	3.62	2.65	12.56
PM2.5	12	28.81	7.25	29.33	17.96	44.69
ppm						
SO2	12	0.03	0.02	0.03	0.01	0.05
O3	12	0.05	0.02	0.04	0.01	0.08
NO2	12	0.03	0.01	0.03	0.005	0.05
HT-No metano	12	0.01	0.002	0.01	0.004	0.01
H2S	12	0.001	0.0004	0.002	0.001	0.002
CO	12	0.77	0.38	0.64	0.28	1.45
Temperatura (o C)	12	23.03	1.85	22.64	20.14	26.02
HR (%)	12	30.27	2.19	30.73	26.83	33.83
MVV (m/s)	12	2.55	--	---	1.30	4.00

D.E.-Desviación Estándar; HT No metano- Hidrocarburos Totales distintos al metano; HR-Humedad relativa; MVV-Máxima Velocidad del Viento.

Tabla 1.

Una comparación considerando el total de datos indica niveles más altos de las PM_{10} respecto a $PM_{2.5}$ ($p < 0.000001$, figura 3a). Esto sugiere una contribución mayor de las fuentes de emisión de las PM_{10} en el POFA. Para dimensionar estas diferencias se estimó la relación $PM_{10-2.5}/PM_{2.5}$, resultando en casi 4 y 10 veces más partículas gruesas en los días de muestreo (Figura 3b). Esta relación fue homogénea entre sitios ($p=0.33$). Dichos resultados sugieren el predominio de fuentes de emisión de partículas gruesas. Además, un valor bajo de $r=0.27$ ($p>0.05$) entre ambas partículas sugiere que no derivan de las mismas fuentes de emisión. Las PM_{10} tampoco mostraron correlaciones altas con SO_2 , NO_2 y CO , todos ellos gases primarios provenientes de procesos de combustión²⁶. En tanto las $PM_{2.5}$ con SO_2 y CO ($r=0.76$ con $p < 0.5$, en ambos casos) parecen compartir un origen común, los procesos de combustión; es decir, partículas finas y gruesas derivan de fuentes distintas. Los resultados de los análisis de correlación entre las variables pueden consultarse en la Tabla 2.

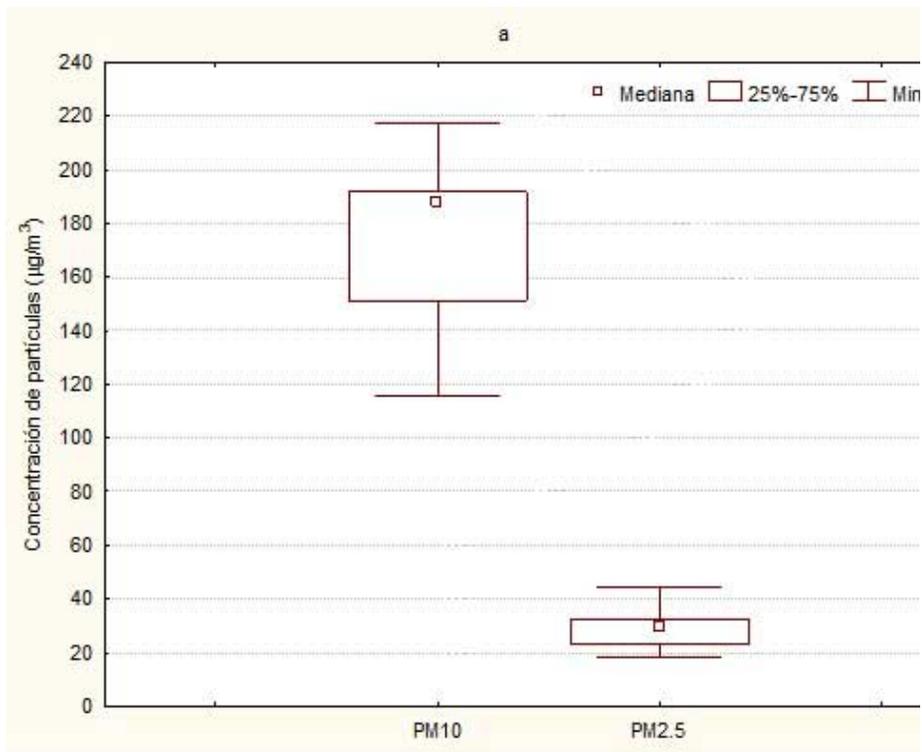


Figura 3a. Comparación de las concentraciones más altas de las partículas gruesas respecto de las partículas finas considerando el conjunto total de datos del periodo de muestreo.

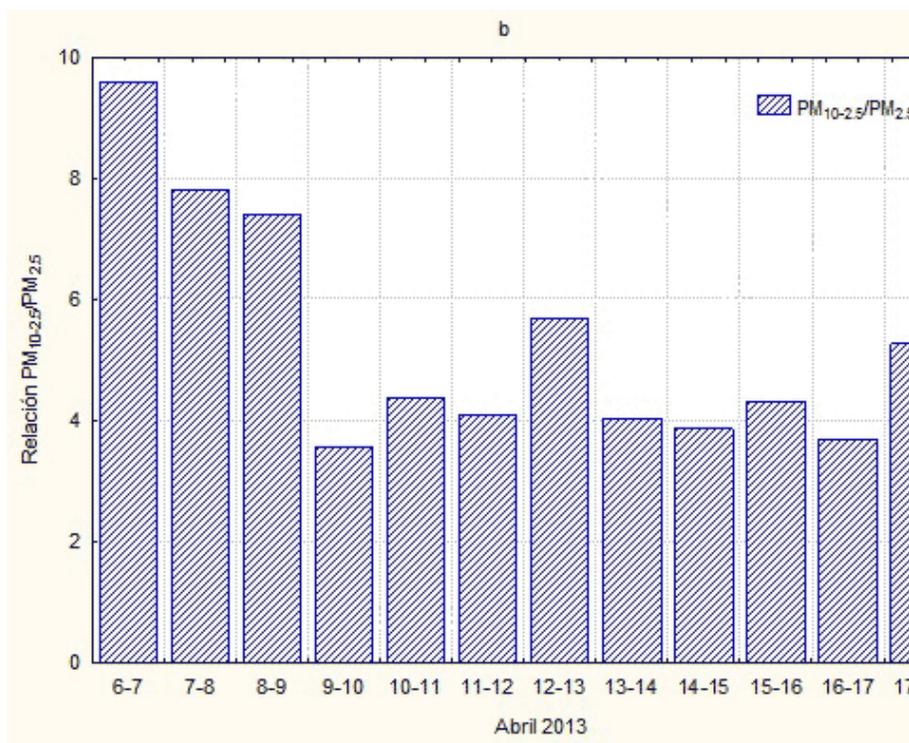


Figura 3b. Relación diaria entre el contenido de partículas gruesas (PM_{10-2.5}) y partículas finas (PM_{2.5}), donde se

estimaron casi de 4 a 10 veces más concentración de partículas gruesas. Para ello a las $PM_{10-2.5}$ se restó las concentraciones de las partículas finas por día y enseguida se estableció el cociente.

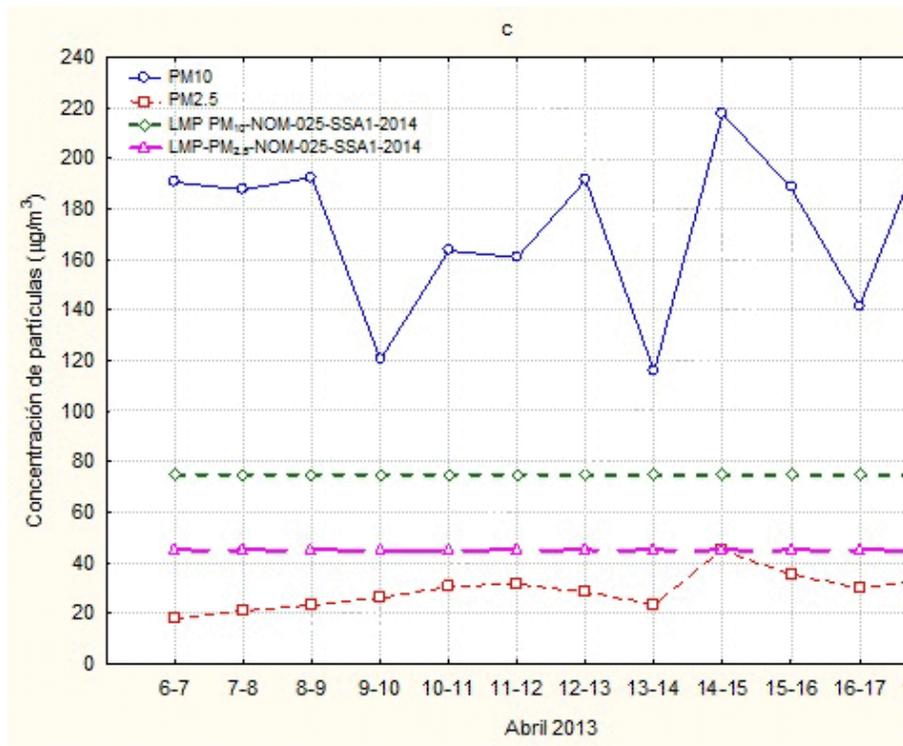


Figura 3c. Variación de las concentraciones diarias de las PM_{10} y las $PM_{2.5}$ respecto al Límite Máximo Permissible (LMP) establecido por la norma vigente en la materia.



	PM ₁₀	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CH ₃ COO ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	ΣAniones	ΣCationes	PM _{2.5}	SO ₂	O ₃	NO ₂	HT-No metano	H ₂ S	CO	Temperatura	HR (%)	MVV
PM ₁₀	1.00																							
Na ⁺	0.20	1.00																						
NH ₄ ⁺	0.69	0.58	1.00																					
K ⁺	0.68	0.67	0.78	1.00																				
Ca ²⁺	0.70	0.54	0.81	0.57	1.00																			
Mg ²⁺	0.60	0.75	0.72	0.90	0.67	1.00																		
CH ₃ COO ⁻	0.28	0.86	0.43	0.62	0.46	0.63	1.00																	
Cl ⁻	0.30	0.77	0.59	0.67	0.50	0.78	0.43	1.00																
NO ₂ ⁻	0.17	0.81	0.59	0.47	0.72	0.66	0.61	0.62	1.00															
PO ₄ ⁻	0.22	0.49	0.35	0.63	0.11	0.66	0.34	0.55	0.29	1.00														
SO ₄ ²⁻	0.66	0.34	0.81	0.76	0.55	0.62	0.27	0.31	0.28	0.41	1.00													
C ₂ O ₄ ²⁻	-0.11	0.45	0.19	0.42	-0.22	0.18	0.48	0.15	0.03	0.49	0.39	1.00												
ΣAniones	0.46	0.86	0.82	0.82	0.71	0.88	0.60	0.87	0.83	0.55	0.60	0.27	1.00											
ΣCationes	0.45	0.87	0.79	0.83	0.74	0.91	0.65	0.85	0.85	0.51	0.59	0.22	0.99	1.00										
PM _{2.5}	0.27	0.64	0.56	0.59	0.50	0.69	0.27	0.94	0.59	0.32	0.31	0.01	0.81	0.80	1.00									
SO ₂	-0.08	0.43	0.21	0.21	0.23	0.38	0.02	0.64	0.45	0.14	0.22	0.03	0.55	0.54	0.76	1.00								
O ₃	0.38	-0.15	0.34	-0.13	0.45	-0.11	-0.27	-0.04	0.07	-0.45	0.28	-0.35	0.09	0.63	0.11	0.28	1.00							
NO ₂	0.19	0.33	0.39	0.22	0.44	0.24	0.12	0.36	0.62	-0.13	0.15	-0.16	0.55	0.51	0.48	0.45	0.46	1.00						
HT-No metano ^a	0.51	0.16	0.65	0.26	0.76	0.29	0.06	0.19	0.57	-0.24	0.39	-0.40	0.47	0.47	0.32	0.16	0.64	0.77	1.00					
H ₂ S	0.53	-0.41	0.20	0.08	0.38	-0.03	-0.28	-0.18	-0.15	-0.43	0.21	-0.55	-0.08	-0.06	-0.01	-0.14	0.46	0.27	0.58	1.00				
CO	0.53	0.23	0.59	0.41	0.66	0.50	-0.03	0.69	0.43	0.11	0.25	-0.45	0.60	0.57	0.79	0.43	0.43	0.53	0.64	0.48	1.00			
Temperatura	0.28	-0.26	0.29	-0.10	0.45	-0.12	-0.27	-0.13	0.18	-0.52	0.01	-0.05	0.00	0.62	0.04	-0.20	0.43	0.45	0.79	0.69	0.48	1.00		
HR %	-0.22	-0.47	-0.62	-0.61	-0.27	-0.60	-0.13	-0.74	-0.30	-0.42	-0.52	-0.27	-0.65	-0.63	-0.77	-0.50	0.03	-0.13	-0.12	0.20	-0.45	0.05	1.00	
MVV	-0.36	>0.25	-0.52	-0.12	-0.19	0.08	0.40	-0.05	0.24	0.13	-0.46	0.02	-0.06	0.62	-0.14	0.05	-0.53	-0.05	-0.35	-0.39	-0.41	-0.42	0.44	1.00

HT-No metano- Hidrocarburos Totales distintos al metano; HR-Humedad relativa; MVV-Máxima Velocidad del Viento.
En negritas valores con $p < 0.05$.

Tabla 2. Matriz de coeficientes de correlación de Spearman entre partículas gruesas, partículas finas, contaminantes gaseosos, especies de Aniones y Cationes, y parámetros meteorológicos considerando los datos totales del periodo de muestreo en el POFA.

Las partículas gruesas podrían derivar de la trituración mecánica, la resuspensión de partículas del suelo por los vientos y el flujo vehicular intenso²⁷. Los sitios S1 y S2 se ubican rodeados de áreas de tierra sin cobertura vegetal durante la temporada seca cálida, de cultivo de temporal y de sitios de extracción de materiales para la construcción (arena, grava y rocas)². Es probable que la intensidad de estas actividades y su extensión, así como la ausencia de humedad en el aire, vientos de baja velocidad y la falta de lluvia durante abril, hayan contribuido a las concentraciones altas de las partículas gruesas en el área de estudio.

En el caso de las PM_{2.5}, estas pueden provenir de fuentes de combustión. Las concentraciones de las PM_{2.5} en el S3 solo fueron mayores respecto al S1 ($p < 0.01$). La posición del S3 en el área del POFA la ubica a menos de 1.2 Km. de una importante avenida vehicular y a 0.6 Km. de un parque industrial, así como en los alrededores de una zona con un número elevado de fuentes de emisión dedicadas a la fabricación artesanal de ladrillos².

Niveles de contaminantes en el aire y límites en normas de calidad del aire

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) en aire ambiente establecidos en la actual norma nacional para periodos de 24 hrs. son 75 y 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente²⁸. En el caso de las partículas gruesas el LMP fue superado el 100 % de los días de muestreo, mientras que el LMP para PM_{2.5} no fue rebasado en ningún día. En concentración las PM₁₀ fueron 2.1-2.5 veces más altas que lo establecido por la norma vigente en un periodo de 24 hrs. Estos resultados indican que la exposición de la población humana en el POFA pudiera ocasionar probables efectos negativos a la salud, los cuales han sido documentados²⁹. Lo anterior da evidencia de un problema serio de contaminación por partículas gruesas en el aire ambiente del POFA. La Figura 3c muestra la variación diaria de las partículas, respecto de los estándares normados de

calidad del aire ya mencionados.

Sobre los demás contaminantes y su relación con los actuales LMP en aire ambiente^{21,22,23,24}, las concentraciones de SO_2 , O_3 , NO_2 y CO no superaron dichos límites en ninguno de los días. Para H_2S y HT- No metano, actualmente no existe una norma nacional que regule sus niveles en el aire ambiente.

Concentraciones de Aniones y Cationes asociados a las PM_{10}

Las concentraciones estimadas para Aniones y Cationes, así como su estadística descriptiva se muestran en la Tabla 1. Se observó que la Σ Aniones fue mayor que la Σ Cationes, siendo 1.94 veces más abundantes en las partículas ($p < 0.001$). Especies como SO_4^{2-} , NO_3^- y Cl^- fueron los Aniones con concentraciones más altas, mientras que entre los Cationes Ca^{2+} , Na^+ y NH_4^+ destacaron. CH_3COO^- , PO_4^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, K^+ y Mg^{2+} mostraron concentraciones menores, en tanto que Br^- , NO_2^- y Li^+ estuvieron debajo de los límites de detección del equipo.

Individualmente, todas las especies de Aniones y Cationes no tuvieron diferencias estadísticas entre sitios ($p > 0.05$ en todos los casos, excepto Cl^-). Estos últimos resultados sugieren concentraciones homogéneas de casi todas las especies individuales de Aniones y Cationes en el área del POFA (Figuras 4 a y b).

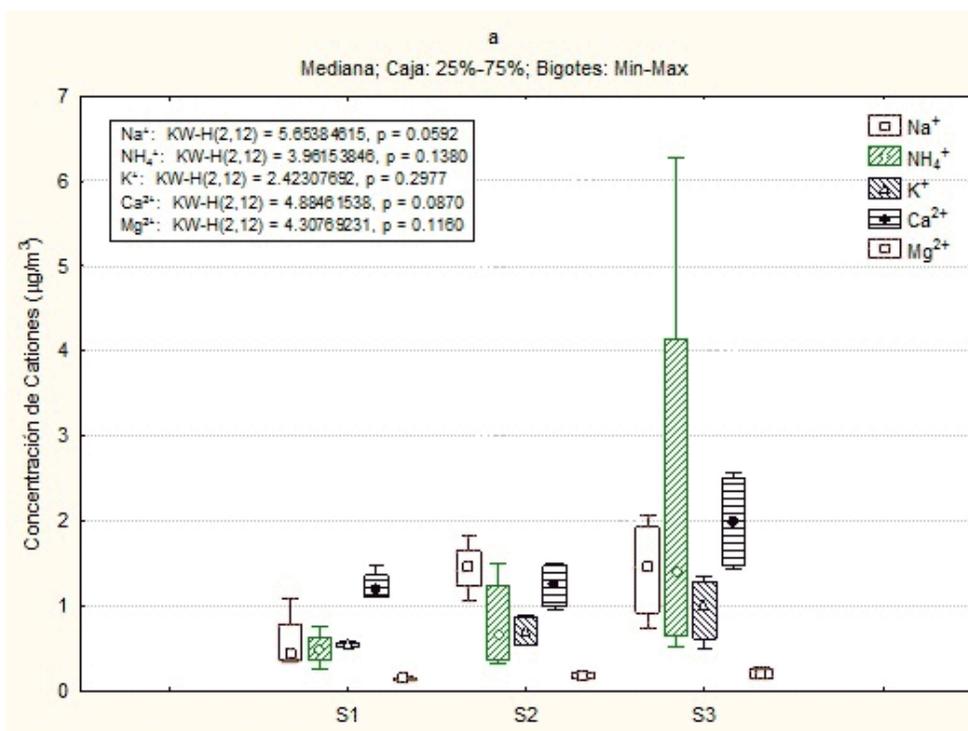


Figura 4a. Comparación de la variación entre sitios de los Cationes sin diferencias significativas entre ellos.

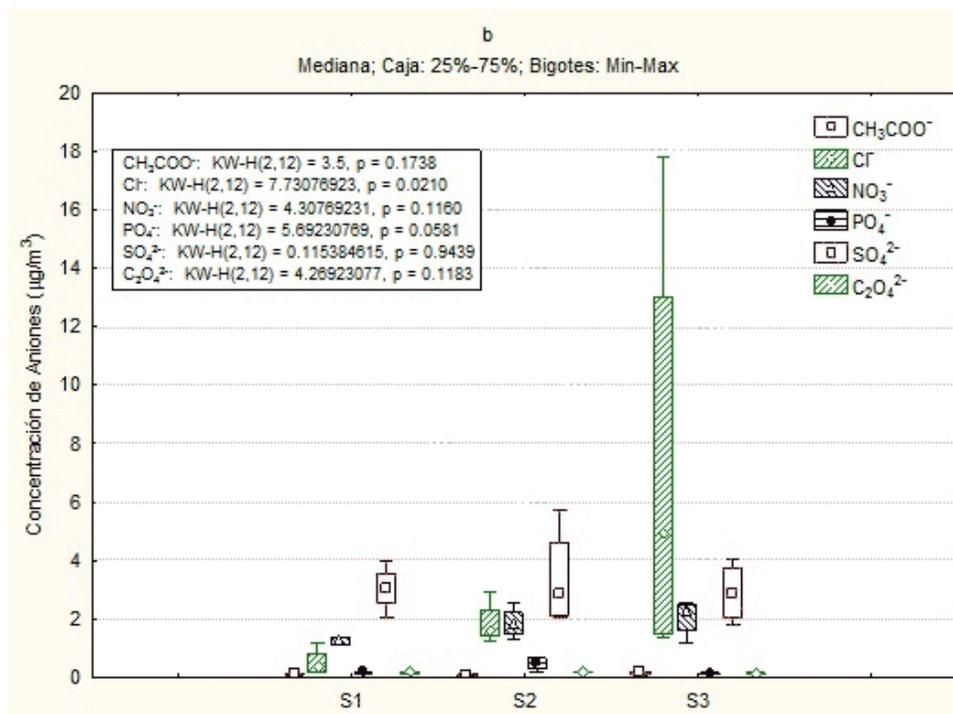


Figura 4b. Comparación de la variación entre sitios de los Aniones sólo con diferencias para el Cl⁻. En general estos resultados sugieren homogeneidad en las concentraciones de estas especies químicas en la zona de estudio. Las concentraciones de Cationes y Aniones en el aire ambiente fueron corregidas por los porcentajes de recobro determinados para el tratamiento de muestra y análisis. Estos valores oscilaron entre 90 y 122% para magnesio y potasio, y entre 95 y 139% para cloruro y oxalato.

Al ser sulfato y nitrato dos de las especies químicas más relevantes que componen a las partículas, nos centraremos en una sencilla descripción de la variación de sus concentraciones. Las concentraciones homogéneas de SO₄²⁻ pueden explicarse parcialmente por derivar predominantemente del precursor SO₂ cuya oxidación es lenta, por tanto, los gradientes de sus concentraciones entre sitios a una escala de grandes distancias se espera que sean muy pequeñas³⁰. En el caso del NO₃⁻ se esperaban concentraciones no uniformes entre los distintos sitios de muestreo, esto en base a la oxidación más rápida del precursor NO₂ y debido a la sensibilidad de las concentraciones del nitrato de amonio (uno de los compuestos más abundantes en las partículas) frente a la presencia de los niveles ambientales de amonio, los cuales favorecen su disociación³¹. De esta manera, es probable que en los sitios de muestreo la presencia de nitrato de amonio, mantuviera un equilibrio en la atmósfera con sus precursores como el gas amonio y vapores de ácido nítrico³².

Por otra parte, es importante destacar que las concentraciones de Aniones y Cationes (iones totales) determinadas en todo el estudio contribuyeron entre un 7 y 8 % a las PM₁₀. Este resultado sugiere que la proporción restante de las partículas se integra por otros componentes como la materia orgánica, carbón elemental, material mineral como sílice y otros^{10,12}.

Asimismo, la contribución promedio de SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻ y Ca²⁺ a las concentraciones de iones totales osciló entre un 12 y 29%, siendo las más altas. En el caso de especies orgánicas como CH₃COO⁻ y C₂O₄²⁻ sus contribuciones resultaron inferiores al 3%. La variación de la contribución porcentual de las especies individuales a los iones totales por día de muestreo puede apreciarse en la Figura 5a. Resalta la contribución elevada del Cl⁻ en los días 14-15 y 17-18 de abril, con un 42 y 32 %, respectivamente. El nivel alto de Cl⁻ los días 14-15 coincide con contribuciones elevadas de Aniones y Cationes totales a las PM₁₀ (16 %).

La abundancia de las especies ya mencionadas en el POFA coincide con trabajos reportados en otras partes del mundo, donde compuestos como sulfato, nitrato, amonio, Na⁺ y Ca²⁺ son los más abundantes³³.

Fuentes de las partículas gruesas en el POFA

Esta sección considera algunas de las especies que contribuyeron en proporción mayor a la composición de las PM_{10} . Sólo Ca^{2+} y SO_4^{2-} mostraron correlaciones positivas con las partículas ($r=0.70$ y $r=0.64$, ambos con $p < 0.05$), lo que sugiere que la variación de las PM_{10} está relacionada con el contenido de estas especies (y en menor medida con NH_4^+ , K^+ y Mg^{2+}). Se sabe que el Ca^{2+} posee un origen geológico³³, mientras que el sulfato y el nitrato forman parte de los aerosoles secundarios que involucran reacciones gas-partícula³⁴. La mayor abundancia de sulfato se explica en parte por el inicio del periodo de radiación solar alta en la CG entre marzo y abril 18, esta condición favorece las reacciones fotoquímicas y pueden influenciar la oxidación de SO_2 a SO_4^{2-} vía la producción de H_2O_2 ²⁷. Otro fenómeno que ha sido reportado con la abundancia de sulfatos en los aerosoles es la presencia de concentraciones altas de PM_{10} , contenido elevado de Ca^{2+} y pH alto de los aerosoles³⁵; las dos primeras condiciones se observaron en los muestreos en el POFA lo que puede explicar parcialmente su origen.

En el caso del NO_3^- tuvo una correlación baja con las PM_{10} ($r=0.11$, $p > 0.05$) y una correlación moderada con las concentraciones de NH_4^+ ($r=0.59$, $p < 0.05$). Se sabe que la baja estabilidad térmica del NH_4NO_3 (nitrato de amonio) en condiciones de calor favorece la formación del HNO_3 gaseoso (ácido nítrico), propiciando que durante días o periodos de calor las concentraciones de NO_3^- sean menores¹², esta situación probablemente explica su contribución a la masa de las partículas gruesas. El Cl^- fue otra de las especies más abundantes en las PM_{10} y puede derivar de emisiones de la industria local, de la quema de biomasa (específicamente de carbón), así como de la quema de desechos de agricultura³⁶. Algunos trabajos³¹ indican que el Cl^- se encuentra presente en las partículas por la neutralización entre el amonio y vapores de HCl , el cual es emitido a partir de fuentes como incineradores y estaciones de energía. La correlación positiva entre K^+ , marcador de la quema de biomasa³⁷, y Cl^- ($r=0.67$, $p < 0.05$) sugiere que probablemente este componente de las partículas deriva principalmente de la combustión de materia orgánica en la zona (desechos de la agricultura). Existen estudios³⁸ que señalan la presencia del K^+ y el Cl^- en las emisiones por la quema de biomasa, atribuida al uso de fertilizantes y herbicidas en los campos de cultivo. La relación entre las PM_{10} y el Mg^{2+} sugieren que una parte puede tener un origen geológico³⁹.

Asimismo, el NH_4^+ correlacionó con las PM_{10} y dicho compuesto puede derivar de procesos químicos atmosféricos donde intervienen especies como HNO_3 y NH_3 (amoníaco); la especie ácida deriva de precursores como los NO_x (originado por fuentes industriales o emisiones vehiculares) e interacciones con compuestos orgánicos volátiles, H_2O y radicales OH , entre otros²⁷. En el caso del NH_3 , este puede provenir de desechos del ganado y fertilizantes, y se cree que una pequeña porción es generada por la actividad industrial y por fuentes naturales⁴⁰. Ciertos autores³⁷ señalan que el NH_4^+ también deriva de la agricultura y contribuye de manera importante a la masa de las partículas. El POFA posee grandes áreas de cultivo de temporal, así como las áreas dedicadas a la crianza de ganado como fuentes probables de esta especie. De esta manera sugerimos que las PM_{10} colectadas en los distintos sitios de muestreo del POFA comparten simultáneamente orígenes distintos, esto en base a la abundancia de algunas de las especies principales de iones que las integran.

Además de las anteriores asociaciones descritas, la Tabla 2 también destaca las correlaciones entre sulfato con amonio, potasio y magnesio, así como entre nitrato con Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . El Cl^- , otra especie abundante, correlacionó con Na^+ , NH_4^+ , y Mg^{2+} . Algunas correlaciones significativas entre las especies menos abundantes se presentaron con Mg^{2+} y K^+ . Estos resultados de correlaciones significativas y positivas entre algunos de los componentes de las PM_{10} pueden indicar o bien un origen común, o incluso la existencia de procesos químicos atmosféricos, tal es el caso de las reacciones de neutralización entre algunas de las especies de estudio. Estas reacciones de neutralización permiten sugerir la presencia de distintos compuestos que probablemente forman parte de la muy diversa composición química de las partículas. Los resultados de estos análisis serán mostrados en la sección siguiente.

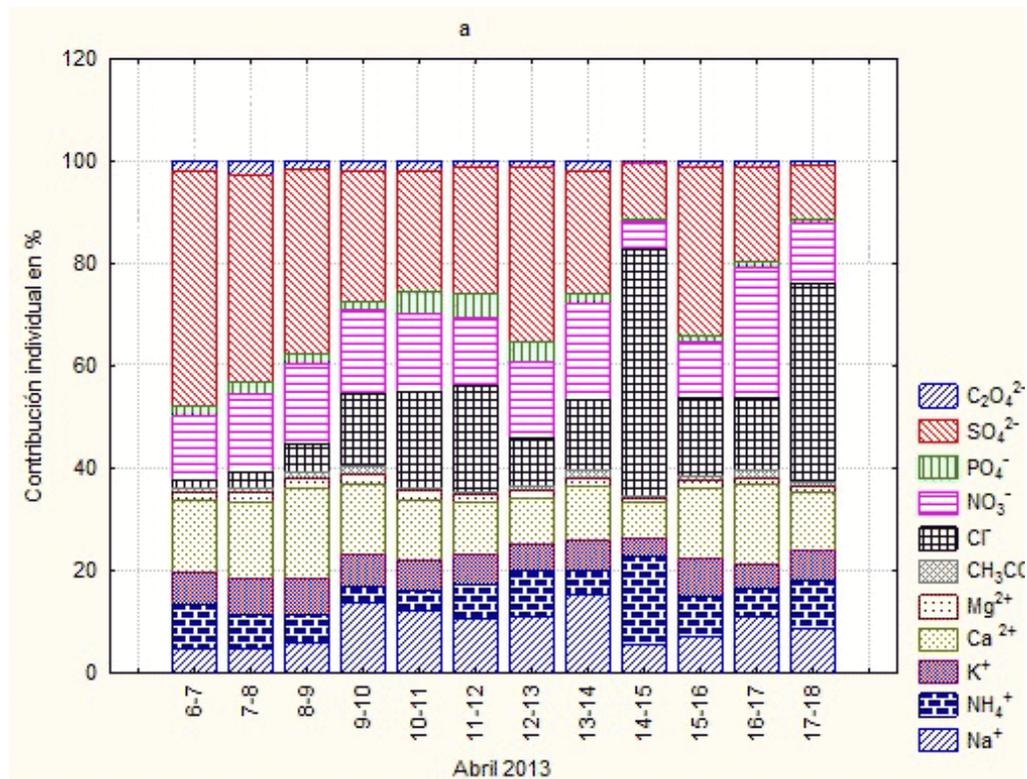


Figura 5a. Contribución porcentual individual y diaria que hacen las especies de Aniones y Cationes a los iones totales.

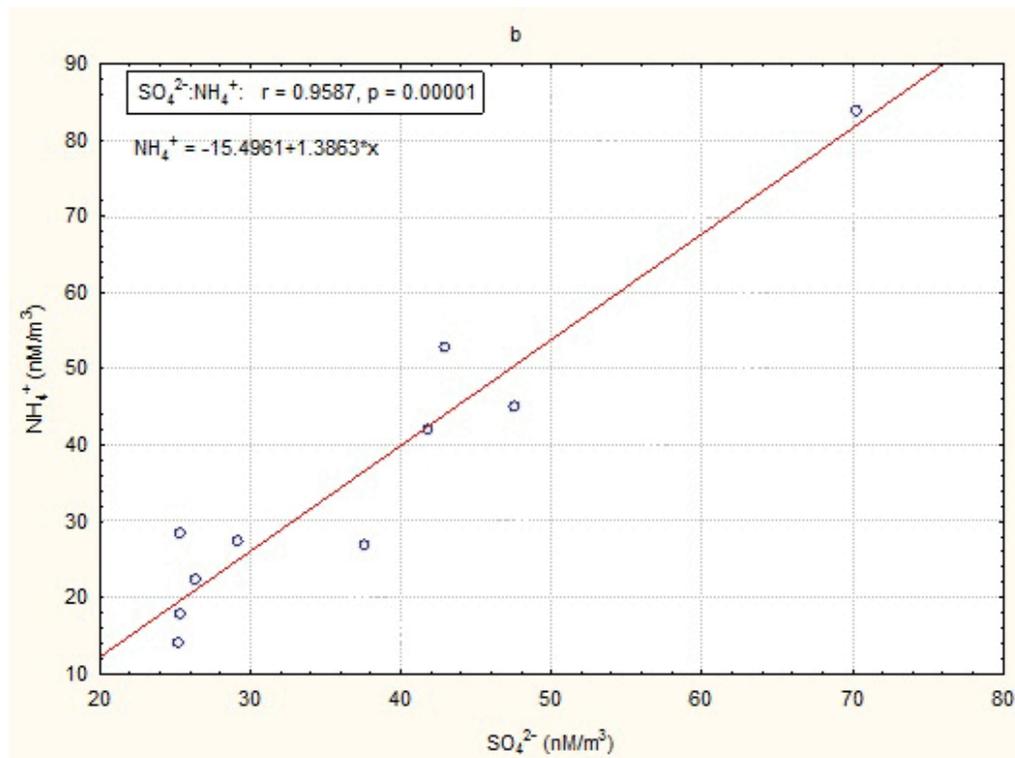


Figura 5b. Regresión lineal entre concentraciones de sulfato y amonio considerando todos los datos de estudio, equivalente a la relación AT/ST. La relación lineal significativa sugiere la existencia de procesos de neutralización entre especies relacionados con la formación de compuestos en las partículas, en este caso $(NH_4)_2SO_4$. La pendiente

de la recta ($m=1.38$) indica que las partículas son pobres en amonio y por tanto ligeramente ácidas.

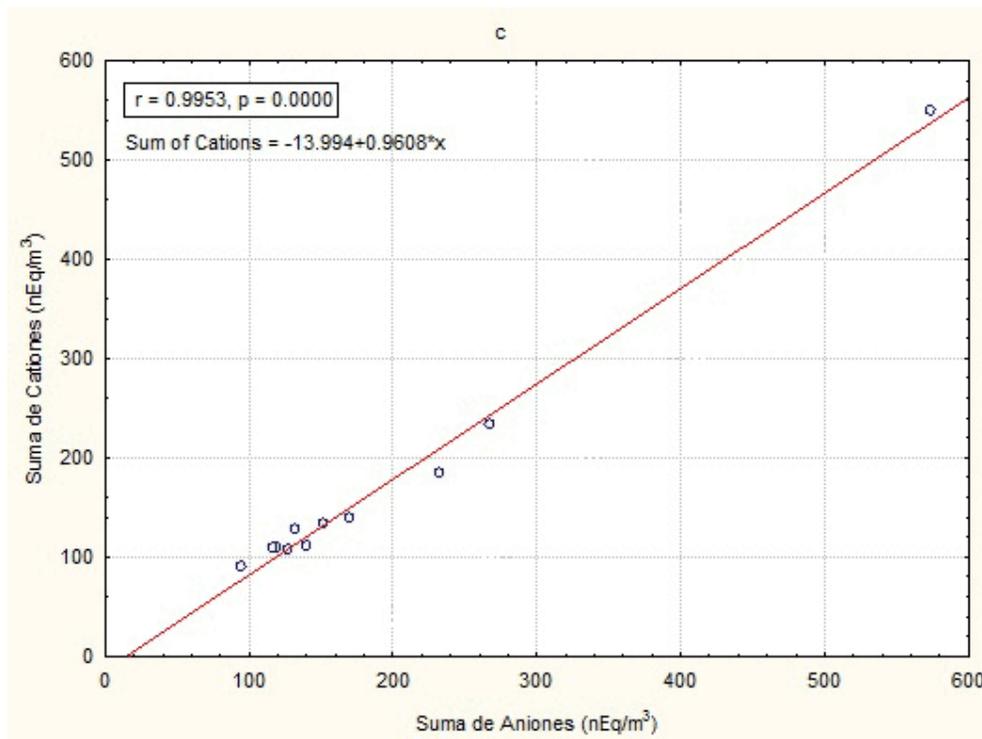


Figura 5c. Regresión lineal entre las concentraciones de aniones y cationes totales, el valor de la pendiente ($m=0.96$) apoya la naturaleza ligeramente ácida de las partículas gruesas.

Procesos atmosféricos relacionados con la formación de compuestos secundarios asociados a las PM_{10}

Uno de los procesos químicos atmosféricos son las reacciones de neutralización entre las principales especies de Aniones y Cationes. Estas reacciones fueron inferidas a través de análisis de regresión lineal (sin outliers) de las concentraciones de los analitos en nanoMoles/ m^3 . Dichos resultados explican el papel que juegan estas especies químicas en la formación de aerosoles secundarios. Algunos de los probables compuestos químicos presentes en las PM_{10} podrían ser el sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$) (Figura 5 b), nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$) y cloruro de magnesio ($MgCl_2$). También es probable que estuviesen presentes compuestos como nitrato de amonio (NH_4NO_3), cloruro de sodio ($NaCl$), cloruro de amonio (NH_4Cl) y cloruro de potasio (KCl). En el caso de algunas de las reacciones involucradas el NH_3 al neutralizar HNO_3 forma al nitrato de amonio, mientras que si el amoniaco neutraliza al H_2SO_4 se puede formar sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$), bisulfato de amonio (NH_4HSO_4) o hidrogenosulfato de triamonio (letovocita) ($(NH_4)_3H(SO_4)_2$), lo cual dependerá de condiciones ambientales como la humedad relativa y la abundancia de los precursores, entre otras²⁷. Cabe mencionar que la participación de algunas de estas especies en los procesos de neutralización en la atmósfera, pueden estar sujetos a factores ambientales o a la disponibilidad de sus precursores químicos. Por ejemplo, a temperaturas altas el nitrato de amonio experimenta una descomposición térmica transformando el nitrato a ácido nítrico²⁷. Asimismo, fenómenos como la altura de la capa de mezcla se relacionan con cambios en la temperatura y esta condición contribuye a variaciones de las especies químicas analizadas⁴¹. Es probable que estas últimas condiciones puedan afectar la composición química de los iones asociados a las PM_{10} del área del POFA.

Determinación del grado de acidez o alcalinidad de las PM_{10} mediante balance de iones

Para determinar el grado de acidez o alcalinidad de las PM_{10} colectados en el POFA, se realizó un balance de iones con los datos de composición química de las especies de estudio. Para ello se hizo un análisis de regresión lineal entre la Σ Aniones y la Σ Cationes en nanoequivalentes por m^3 . Los resultados de dicho análisis arrojaron



una pendiente inferior a la unidad ($m=0.96$, $p < 0.05$) lo que sugiere la presencia de H^+ (no medido), indicio de la naturaleza ligeramente ácida de las partículas (Figura 5 c).

El resultado antes descrito se complementa con la relación molar entre Amonio Total y Sulfato Total (AT/ST). En base a esta relación podemos sugerir si las partículas son ricas en amonio (ambiente básico) o pobres en amonio (ambiente ácido). Para dicho análisis se recurre a los siguientes supuestos⁴², si la proporción molar de AT/ST es < 2 entonces las condiciones son definidas como pobres en amonio; en contraparte, si la proporción molar de AT/ST es > 2 las condiciones son definidas como abundantes en amonio. En el presente trabajo el valor de la proporción molar AT/ST fue equivalente a la pendiente de la regresión lineal entre SO_4^{2-} y NH_4^+ de la figura 5b ($m=1.38$), lo que sugiere que las partículas son pobres en amonio, es decir que presentan un ambiente ligeramente ácido. No debe olvidarse que para este estudio las concentraciones en fase gas del NH_3 no fueron medidas y estamos suponiendo que todo el NH_3 fue convertido a NH_4^+ en la fase particulada.

Parámetros meteorológicos y su relación con las variables de estudio

Los parámetros meteorológicos registrados durante la campaña de estudio fueron la temperatura ($^{\circ}C$), la humedad relativa (HR, %), así como la máxima velocidad del viento (MVV, m/s) y su dirección. La Tabla 1 contiene un resumen de la variación de estos parámetros considerando en conjunto de datos para periodos de 24 h (excepto dirección del viento). Estas fueron las condiciones ambientales que caracterizaron a los días con elevadas concentraciones de PM_{10} , principalmente. Dadas las bajas velocidades del viento es probable que este parámetro ambiental contribuyera en poca medida al transporte de contaminantes de sitios distantes. Esta última afirmación es en base a la nula cantidad de correlaciones significativas entre MVV y las variables de estudio (tabla 2). En este sentido,⁴³ señalan para la ciudad de Beijing el dominio de condiciones de baja velocidad del viento y una HR entre un 30-50 % (en el día) durante los episodios de mayor contaminación; también afirman que la pobre velocidad de los vientos, la baja altura de la capa de mezcla y una estructura atmosférica estable contribuyen a incrementar las concentraciones de las PM_{10} en la atmósfera, así como su contenido de especies como los SO_4^{2-} , NO_3^- , y NH_4^+ .

Conclusiones

Los niveles de las PM_{10} en el aire ambiente en los tres sitios del POFA son elevados más allá de establecido por las normas vigentes nacionales (en 24 h son 75 y 45 $\mu g/m^3$ para PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente) y es probable que la población esté expuesta a concentraciones que pongan en riesgo su salud durante la temporada seca. Las especies de iones más abundantes asociadas a las partículas gruesas fueron SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ y NH_4^+ , y la presencia de estas y otras especies permitió establecer la naturaleza ácida de las PM_{10} . La acidez de las partículas tuvo su origen por una concentración mayor de especies de Aniones que de Cationes, soportando este resultado con la relación molar estimada entre AT/ST.

El estudio sugiere que las PM_{10} son originadas en parte por contaminantes secundarios como los sulfato, nitrato y el amonio, derivados de precursores gaseosos directos de procesos de combustión; también las PM_{10} tuvieron una buena relación con el K^+ , indicador de la quema de biomasa. Otras fuentes de emisión son la resuspensión del suelo y los procesos mecánicos de trituración, esto debido a la asociación principalmente con el contenido de Ca^{2+} (y en menor grado con el Mg^{2+}).

Se destaca que son los primeros datos que se publican para el área del POFA sobre la caracterización química de las PM_{10} en una zona con frecuentes episodios de calidad del aire mala. Esta información podrá ser de utilidad como un punto de partida para estudios más extensos que lleven a proponer posibles acciones para el control de los niveles actuales contaminantes particulados en el aire ambiente.

Agradecimientos

Al COECYTJAL por el financiamiento de los muestreos a través del proyecto No. 2011-04-167010. Al Fondo de Ciencia Básica del CONACYT y al proyecto No.183444 por los recursos para realizar los análisis por Cromatografía de Iones. A la MC. Valero Ojeda Castillo y a los Drs. Mario Alfonso Murillo Tovar y Jorge del Real Olvera por sus comentarios y recomendaciones durante el estudio y la realización de este escrito.

Referencias

1. Se emiten los criterios ambientales que deberán observarse para la protección ambiental del polígono con influencia en la zona de la cuenca El Ahogado. Periódico Oficial de Jalisco: Jalisco, México. Septiembre de 2010. 16 p.
2. CIATEJ (ed.) Diagnóstico Integral del Polígono de Fragilidad Ambiental (POFA) y su entorno 2012. Jalisco. 230 p. ISBN: 978-607-95885-2-6
3. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informativa, INEGI. Censo Nacional de Población, 2010 [en línea]. [Mayo 25, 2015] Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>.
4. SEMADET. Informe Anual de Monitoreo de la Calidad del Aire-Área Metropolitana de Guadalajara [en línea]. Jalisco, México, Gobierno del Estado de Jalisco, 2013 [Octubre 20, 2014]. Disponible en: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire/reportes/ReporteAire2013.pdf>.
5. DIDYK, Borys M., Simoneit, R.T.B., Alvaro, P.L., Riveros, M.L. y FLORES, A.A. Urban aerosol particles of Santiago, Chile: organic content and molecular characterization. *Atmospheric Environment* [en línea]. 34, 2000: 1167-1179. [Julio 5, 2013]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231099004033>. ISSN: 1352-23510.
6. SALDIVA, P.H.N., Lichtenfels, A.J.F.C., Paiva, P.S.O., Barone, I.A., Martins, M.A., Massad, E., Pereira, J.C.R., Xavier, V.P., Singer, J.M. y BOHM, G.M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environment Research* [en línea]. 65, 1994: 218-225. [Julio 7, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935184710334>. ISSN: 0013-9351.
7. OSTRO, B. y CHESTNUT, L. Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution in the United States. *Environment Research Section A* [en línea]. 76, 1998: 94-106. [Julio 22, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935197937993>. ISSN: 0013-9351
8. GOUVEIA, N. y FLETCHER, T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *Journal of Epidemiology & Community Health* [en línea]. 54, 2000: 750-755. [Agosto 11, 2015]. Disponible en: doi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1731551/>. ISSN: 1470-2738.
9. CIFUENTES, L., Borja, A.V.H., Gouveia, N., Thurston, G. y DAVIS, D.L. Assessing the Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000-2020): Santiago, São Paulo, México City, and New York City. *Environment Health Perspectives* [en línea]. 109, 2001: 419-425. [Octubre 3, 2015]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240560/>. ISSN: 0091-6765.
10. PATAUD, J.P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J. et al. A European aerosol phenomenology-3: physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment* [en línea]. 44, 2010: 1308-1320. [Octubre 3, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009010358>. ISSN: 1352-2310.
11. TITOS, G., Lyamani, H., Pandolfi, M., Alastuey, A. y ALADOS, A.L. Identification of fine (PM1) and coarse (PM10-1) sources of particulate matter in an urban environment. *Atmospheric Environment* [en línea]. 89, 2014: 593-602. [Enero 13, 2016]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014001629>. ISSN: 1352-2310.
12. ALDABE, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X. y SANTAMARIA, J.M. Chemical characterization and source apportionment of PM2.5 and PM10 at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research* [en línea]. 102, 2011: 191-205. [Marzo 7, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809511002171>. ISSN: 0169-8095.
13. MAYNARD, D., Coull, B.A., Gryparis, A. y SCHWARTZ, J. Mortality Risk Associated with Short-Term Exposure to Traffic Particles and Sulfates. *Environment Health Perspectives* [en línea]. 115, 2007: 751-755. [Octubre 15, 2015]. Disponible en: doi: http://www.jstor.org/stable/4489023?seq=1#page_scan_tab_contents. ISSN: 0091-6765.
14. PIRANI, M., Best, N., Blangiardo, M., Liverani, S., Atkinson, R.W. y FULLER, G.W. Analysing the health effects of simultaneous exposure to physical and chemical properties of airborne particles. *Environment International* [en línea]. 79, 2015: 56-64. [Enero 21, 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000379>. ISSN: 0160-4120.
15. MALM, W.C., Sisler, J.F., Huffman, D., Eldred, R.A. y CAHILL, T.A. Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States. *Journal of Geophysical Research* [en línea]. 99, 1994: 1347-1370. [Septiembre 8, 2015]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/93JD02916/full>. ISSN: 2169-8996.
16. EATOUGH, D.J., Long, R.W., Modey, W.K. y EATOUGH, N.L. Semi-volatile secondary organic aerosol in urban atmospheres: meeting a measurement challenge. *Atmospheric Environment* [en línea]. 37, 2003: 1277-1292. [Enero 11, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231002010208>. ISSN: 1352-2310.
17. KALLOS, G., Solomos, S., Kushta, J., Mitsakou, C., Spyrou, C., Bartsotas, N. y KALOGERI, C. Natural and anthropogenic aerosols in the Eastern Mediterranean and Middle East: Possible impacts. *Science of Total Environment* [en línea]. 488 (1), 2014: 389-397. [Septiembre 2, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714001971>. ISSN: 0048-9697.
18. ULLOA, H., García, M., Pérez, A., Meulenert, A. y AVILA, D. Clima y radiación solar en las grandes ciudades: Zona Metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco, México). *Investigaciones Geográficas* [en línea]. 56, 2011: 165-175. [Noviembre 9, 2015]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/176/17624330009.pdf>. ISSN: 1989-9890.
19. USEPA 40 CFR Ch. I Pt. 50, App. J-Reference Method for the Determination of Particle Matter as PM10 in the Atmosphere. United States Environmental Protection Agency - Code of Federal Regulations. 2001. [en línea]. Wash-ington, DC. [Mayo 11, 2013]. Disponible en: http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a129f1355a4eac6fb3d2f1d358e1b3b0&mc=true&node=ap40.2.50_119.j&rgn=div9
20. USEPA 40 CFR Ch. I Pt. 50, App. L-Reference Method for the Determination of Fine Particle Matter as PM2.5 in the Atmosphere. United States Environmental Protection Agency - Code of Federal Regulations. 2001. [en línea]. Wash-ington, DC. [Mayo 11, 2013]. Disponible en: http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a129f1355a4eac6fb3d2f1d358e1b3b0&mc=true&node=ap40.2.50_119.l&rgn=div9
21. SSA1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-020 Valor limite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambien-



- te y criterios para su evaluación. 2014. [en línea]. [Junio 13, 2015]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m020ssa13.html>.
- 22. SSA1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022 Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. 2010. [en línea]. [Junio 11, 2015]. Disponible en: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4149/salud1/salud1.htm>.
 - 23. SSA1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-023 Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. 1993. [en línea]. [Junio 11, 2015]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/023ssa13.html>.
 - 24. SSA1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021 Criterio para evaluar la calidad del aire, monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. 1993. [en línea]. [Junio 11, 2015]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/021ssa13.html>.
 - 25. USEPA Manual for coordination of VOC emissions testing using USEPA methods 18, 21, 25 and 25A. United States Environmental Protection Agency. Office of Air and Radiation Stationary Source Compliance Division. 1991. [en línea]. Whashington D.C. [Junio 10, 2015]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=900C0S00.TXT>.
 - 26. HENSCHEL, S., Querol, X., Atkinson, R., Pandolfi, M., Zeka, A., Le, Tertre, et al. Ambient air SO₂ patterns in 6 European cities. *Atmospheric Environment* [en línea]. 79, 2013: 236-247. [Febrero 19, 2016]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/254864015_Ambient_air_SO2_patterns_in_6_European_cities. ISSN: 1352-2310.
 - 27. FINLAYSON, P.B.J y PITTS, J.J.N. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. San Diego, USA: Academic Press. 1a ed. 969 p. ISBN: 9780122570605.
 - 28. SSA1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025 Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación. 2014. [en línea]. [Junio 13, 2015]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014.
 - 29. PÉREZ L., Grize, L., Infanger, D., Künzli, N., Sommer, H., Alt, G.M. y SCHINDLER, C. Associations of daily levels of PM₁₀ and NO₂ with emergency hospital admissions and mortality in Switzerland: Trends and missed prevention potential over the last decade. *Environmental Research* [en línea]. 140, 2015: 554–561. [Marzo 22, 2016]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935115001516>. ISSN: 0013-9351.
 - 30. BURTON, R.M., Suh, H.H. y KOUTRAKIS, P. Spatial variation in particulate concentrations within metropolitan Philadelphia. *Environment Science and Technology* [en línea]. 30, 1996: 400-407. [Febrero 10, 2015]. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es950030f>. ISSN: 1520-5851.
 - 31. HARRISON, R.M. y YIN, J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Science of the Total Environment*. [en línea]. 249, 2000: 85-101. [Abril 11, 2015]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969799005136>. ISSN: 0048-9697.
 - 32. HARRISON, R.M. y MSIBI, I.M. Validation of techniques for fast response measurement of HNO₃ and NH₃ and determination of the [NH₃] [HNO₃] concentration product. *Atmospheric Environment* [en línea]. 28, 1994: 247-255. [Junio 23, 2015]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223109490099X>. ISSN: 1352-2310.
 - 33. CHENG, Y., Lee, S., Gu, Z., Ho, K., Zhang, Y., Huang, Y., Chow, J.C., Watson, J.G., Cao, J. y ZHANG, R. PM_{2.5} and PM_{10-2.5} chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. *Particulology* [en línea]. 18, 2015: 96–104. [Junio 7, 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223109490099X>. ISSN: 1674-2001.
 - 34. SHARMA, S.K., Mandal, T.K., Saxena, M., Rohtash, R., Sharma, A. y GAUTAM, R. Source apportionment of PM₁₀ by using positive matrix factorization at an urban site of Delhi, India. *Urban Climate* [en línea]. 10, 2014: 656–670. [Junio 7, 2016]. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095513000588>. ISSN: 2212-0955.
 - 35. SHARMA, M., Kiran, Y.N.V.M. y SHANDILYA, K.K. Investigations into formation of atmospheric sulfate under high PM₁₀ concentration. *Atmospheric Environment* [en línea]. 37, 2003: 2005–2013. [Junio 18, 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231003000050>. ISSN: 1352-2310.
 - 36. WANG, Y., Zhuang, G., Chen, S., An, Z. y ZHENG, A. Characteristics and sources of formic, acetic and oxalic acids in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Beijing, China. *Atmospheric Research* [en línea]. 84, 2007: 169–181. [Marzo 3, 2015]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809506001906>. ISSN: 0169-8095.
 - 37. TSAI Y.I., Sopajaree, K., Chotruksa, A., Wu, H.C. y KUO, S.C. Source indicators of biomass burning associated with inorganic salts and carboxylates in dry season ambient aerosol in Chiang Mai Basin, Thailand. *Atmospheric Environment* [en línea]. 78, 2013: 93-104. [Agosto 7, 2016]. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AtmEn..78...93T>. ISSN: 1352-2310.
 - 38. SILLAPAPIROMSUK, S., Chantara, S., Tengjaroenkul, U., Prasitwattanaseree, S. y PRAPAMONTOL, T. Determination of PM₁₀ and its ion composition emitted from biomass burning in the chamber for estimation of open burning emissions. *Chemosphere* [en línea]. 93, 2013: 1912–1919. [Marzo 13, 2015]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513009284>. ISSN: 0045-6535.
 - 39. CHENG, S., Yang, L., Zhou, X., Xue, L., Gao, X., Zhou, Y. y WANG, W. Size-fractionated water-soluble ions, situ pH and water content in aerosol on hazy days and the influences on visibility impairment in Jinan, China. *Atmospheric Environment* [en línea]. 45, 2011: 463-4640. [Junio 15, 2016]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011005632>. ISSN: 1352-2310.
 - 40. LANGFORD A.O., Fehsenfeld, F.C., Zachariassen, J. y SCHIMMEL, D.S. Gaseous Ammonia Fluxes and Background Concentrations in Terrestrial Ecosystems of the United States. *Global Biogeochemical Cycles* [en línea]. 6, 1992: 459-483. [Marzo 7, 2015]. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/92GB02123/full>. ISSN: 1944-9224.
 - 41. RATTIGAN, V.O., Hogrefeb, O., Feltona, D.H., Schwabb, J.J., Roychowdhuryb, K.U., Husainc, L., Dutkiewicz, V.A. y DEMERJIAN, K.L. Multi-year urban and rural semi-continuous PM_{2.5} sulfate and nitrate measurements in New York State: Evaluation and comparison with filter based measurements. *Atmospheric Environment* [en línea]. 40, 2006: 192–205. [Marzo 13, 2015]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006005711>. ISSN: 1352-2310.
 - 42. SEINFELD, J.H. y PANDIS, S.N. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. New York, USA: Wiley. 2a ed. 1232 p. ISBN: 978-0-471-72018-8.
 - 43. Kai, Z., Yuesi, W., Tianxue, W., Yousef, M. y Frank, M. Properties of nitrate, sulfate and ammonium in typical polluted atmospheric



aerosols (PM10) in Beijing. Atmospheric Research [en línea]. 84, 2007: 67–77. [Abril 19, 2015]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809506001785>. ISSN: 1352-2310.



Evaluación del Manejo de Inventarios en industrias PYMES.

(Por: Luciano Torres Martínez)

Resumen

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) emplean frecuentemente procesos administrativos para el control de las materias primas diseñados con base en su experiencia y recursos. Puede ocurrir que tales procesos presenten deficiencias que provoquen pérdidas y malos funcionamientos en su operación. El objetivo de esta investigación es evaluar las prácticas empresariales para el manejo de inventarios en industrias PYMES de la ciudad de León, Guanajuato, para confrontarlas con un procedimiento sugerido por autores especialistas en la materia, que permite el eficiente control de los materiales. Para conocer los procedimientos empleados por las organizaciones se les aplicó una encuesta. Este trabajo consiste en el diseño de un proceso para el control y registro de materias primas construido a partir de planteamientos teóricos de diversos autores que sirva como referente para evaluar el funcionamiento real de los almacenes de las empresas estudiadas. Las áreas consideradas en el estudio son: Compras, Almacén y Contabilidad.

Palabras clave: Control, Inventario, Materias primas.

Abstract

Small and medium business frequently use administrative process to control raw material storage based in experience and resources. Can occur that those process show flaws, leading to losses and operational malfunctions. The reason of this research is to evaluate business praxis on inventory management in the city of León, Guanajuato, in order to confront them against a process suggested by specialists. This work consist on the design of a control process and raw material registry, built from theoretic principals to evaluate the real function of storages in the studied business. The considered areas are purchases, storage and accounting.

Keywords: Control, Inventory, Raw Materials.

Introducción

A través de las estadías del estudiantado de la Universidad Tecnológica de León (UTL) en empresas regionales, se ha identificado la demanda de orientación para mejorar los sistemas de control de inventarios. En empresas manufactureras, el inventario de materias primas es el de mayor importancia tanto por el proceso productivo como por su impacto en los costos generales.

Toda empresa industrial utiliza materias primas y requiere para manejarlas eficientemente, una serie de procedimientos de registro y control; la adecuada sistematización de dichas actividades es esencial para la permanencia y el crecimiento de la organización con el consiguiente beneficio al personal.

Objetivo general

Evaluar las prácticas empresariales para el manejo de inventarios en industrias PYMES de la ciudad de León, Guanajuato, con base en el diagnóstico de los sistemas de control empleados y la recurrencia de problemáticas y fallos en las áreas de almacén de materias primas.

Planteamiento del problema

Uno de los procesos críticos de las empresas manufactureras es el abasto adecuado y oportuno de materias primas, insumos indispensables que deben estar disponibles en el tiempo, la cantidad y la calidad apropiados para el proceso productivo. Las pequeñas y medianas empresas emplean frecuentemente procesos administrativos diseñados con base en su experiencia y recursos. Puede ocurrir que tales procesos presenten deficiencias que provoquen pérdidas y malos funcionamientos en la operación.

Las inercias producto de la rutina, la falta de tiempo o el desconocimiento de las consecuencias que tiene el empleo de métodos deficientes pueden llegar a poner en riesgo la supervivencia de las empresas, particularmente de las más pequeñas. A pesar de que existen diversos métodos para el manejo de inventarios elaborados por especialistas y probados en condiciones reales, muchas empresas no los utilizan sea por desconocimiento, negligencia o por suponer, equivocadamente, que hacerlo sería costoso. Es necesario difundir los procesos formulados por especialistas para un manejo preciso, confiable y oportuno de los recursos para que las organizaciones resulten beneficiadas.

A continuación se presentan de manera detallada la propuesta para el control y registro de las materias primas que se construye a partir de los planteamientos de Ernesto Reyes Pérez¹, Cristóbal del Río González² y Armando Ortega Pérez de León³, que consideramos cumple los objetivos de eficiencia sin incurrir en costos elevados de implementación.

El procedimiento consiste en utilizar los procesos y formatos siguientes: Solicitud de compras, pedido, recepción de materiales, almacenaje, valorización de entradas, suministros, valorización de salidas, inventarios físicos.

Metodología y resultados

Los procedimientos mencionados anteriormente, sirvieron de guía para la evaluación de los procesos aplicados efectivamente por las empresas estudiadas.

Para conocer los procedimientos empleados por las organizaciones de la muestra seleccionada se les aplicó una encuesta sugerida por el autor Enrique Benjamín Franklin⁴, la cual se muestra en el anexo 1.

La encuesta fue aplicada por los estudiantes en pasantía durante el periodo del 07 de enero al 26 de abril del 2015. La responsabilidad de los estudiantes consistió en entrevistar a los responsables de las áreas involucradas o, en su defecto, a su asesor organizacional y recabar directamente la información de la encuesta o dejarla para que fuera contestada por los administradores y recuperarla posteriormente.

Tamaño de la muestra

La muestra general fue de 54 empresas de las cuales participaron un total de 26, clasificadas de acuerdo con el número de empleados. Fueron: 9 empresas grandes, 12 medianas y 5 pequeñas.

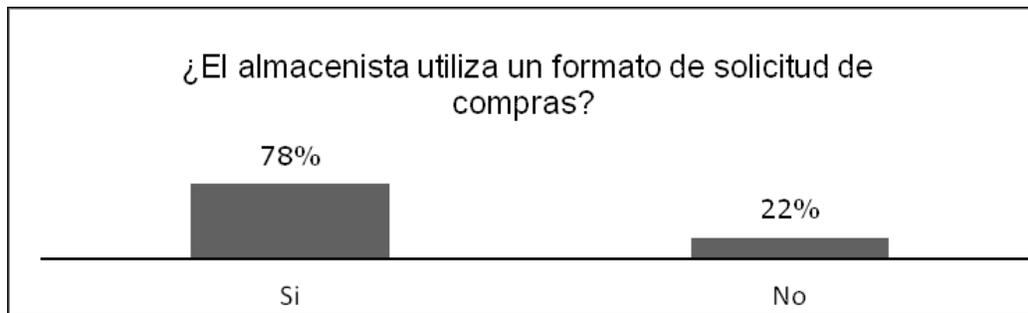
Conforme se fueron recibiendo las encuestas, se procedió a la captura y procesamiento de la información.

La contrastación de las formas de trabajo reales con el procedimiento sugerido por especialistas en referencia al uso de formatos para registro y control de materias primas, dio los resultados que a se explican a continuación:

Almacén De Materias Primas

Paso 1. Elaboración de una "solicitud de compras".

De acuerdo a las necesidades de materiales para producción, indicando con precisión sus requerimientos en cantidad, calidad y plazo. Este formato se entrega al departamento de compras y se informa al departamento de contabilidad. Las respuestas obtenidas en la encuesta fueron:



Gráfica 1. Uso del formato de solicitud de compra.

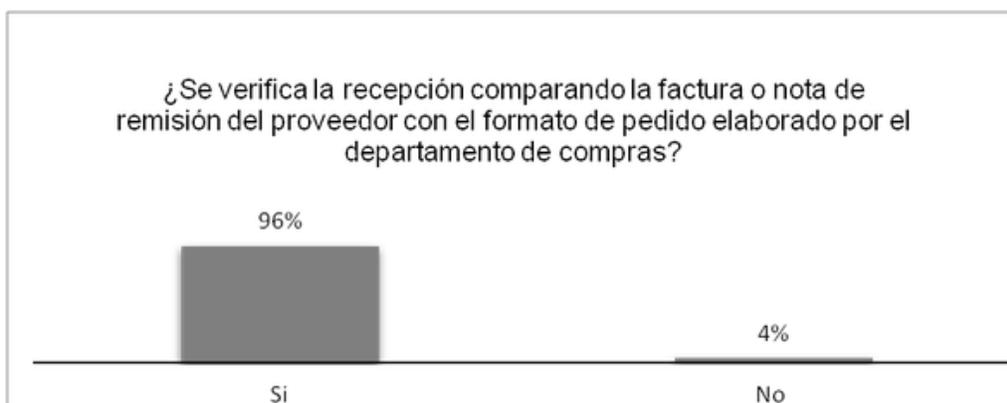
Del 78% de las empresas que sí utilizan el formato, corresponde 40% a grandes 35% a medianas y 25% a pequeñas. Del 22% las empresas que no utilizan el formato, corresponden a 17% grandes y 83% a medianas.

Los motivos por los cuales las empresas no utilizan la solicitud de compra son: el 8% utiliza medios electrónicos (lo que es adecuado si se informa a los departamentos correspondientes para no entorpecer el surtido de los materiales), el 14% busca reducir costos o aún no considera necesario su uso.

Omitir la solicitud de compra pone en riesgo el surtido de las materias primas, lo que puede ser más costoso al demorar la producción.

Paso 2. Recepción y revisión física de materias primas.

Para asegurar que cumplan los requisitos solicitados en el formato de "pedido" y verificar la documentación entregada por el proveedor comprobando la corrección de los datos.



Gráfica 2. se verifica la recepción.

De acuerdo a esta operación los resultados fueron:

Del 96% de las empresas que sí verifica, corresponde 36% a grandes, 44% a medianas y 20% a pequeñas. El 4% de las empresas que no verifica, corresponde a medianas.

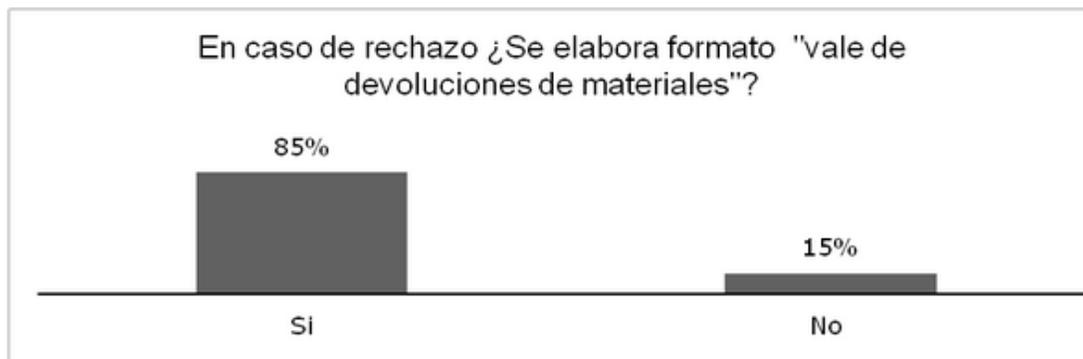
El no verificar la recepción de los materiales de acuerdo con el procedimiento sugerido representa el riesgo de que no cumplan con los requisitos para su transformación.

Paso 3. Realizar devoluciones de las materias primas que no reúnan los requisitos solicitados.

Esta devolución podrá hacerse de forma inmediata o con posterioridad, pero siempre deberá estar amparada

con el formato de “nota de devolución”.

El cumplimiento de esta operación se muestra en la gráfica siguiente:



Gráfica 3. Uso del formato “vale de devolución de materiales”.

Del 85% de las empresas que sí utilizan el formato, corresponde 32% a grandes, 45% a medianas y 23% a pequeñas.

Del 15% las empresas que no utilizan el formato, corresponden 50% a grandes y 50% a medianas.

Las razones de la no utilización del formato de “vale de devoluciones de materiales” son las siguientes:

9% no permite la entrada del material que no reúna los requisitos solicitados, separándolo o haciendo la devolución inmediata. Este control es eficiente siempre y cuando se cuente con la supervisión de su cumplimiento.

3% lo hace por medios electrónicos para cumplir con esta operación, razón válida siempre y cuando se entere a los departamentos correspondientes.

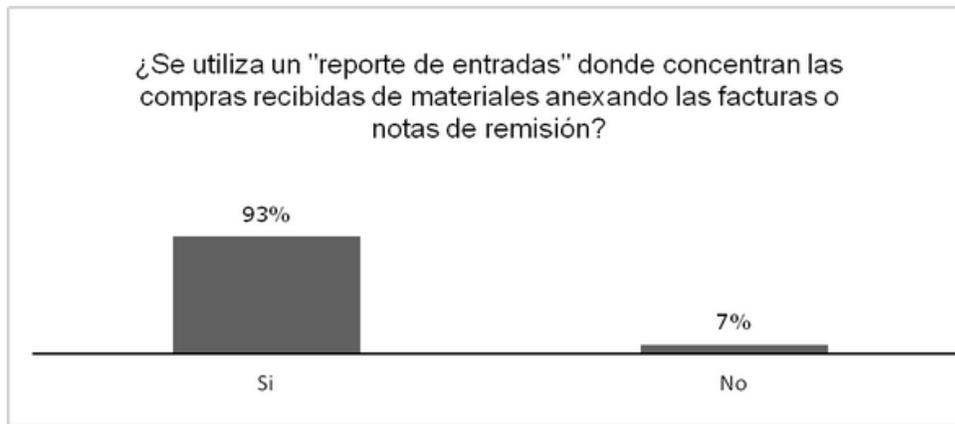
3% no ha recibido materiales que no reúnan los requisitos solicitados.

El no utilizar el formato de “vale de devoluciones de materiales” representa el riesgo de permitir la entrada a materiales que no reúnan los requisitos solicitados e incluso de realizar pagos indebidos.

Paso 4. Reporte de entradas de materias primas.

Concentran las compras efectuadas, anexando al mismo la documentación que ampare las adquisiciones. Este formato se entregará al departamento de contabilidad.

Los resultados para esta operación fueron:



Gráfica 4. Uso de Reporte de Entradas.

Del 93% de las empresas que sí utilizan el formato, corresponde 33% a grandes, 46% a medianas y 21% a pequeñas.

Del 7% las empresas que no utilizan el formato, corresponden 50% a grandes y 50% a medianas.

La razón del porqué no utilizan el formato de "reporte de entradas": el 60% informa al departamento de contabilidad por medio electrónico y un 40% solamente entregan la documentación de las adquisiciones de materiales.

El no utilizar el formato del "reporte de entradas" representa el riesgo de que no queden debidamente registradas las entradas de los materiales y existan diferencias en los inventarios.

Departamento de compras

Es el responsable del abastecimiento de las materias primas mediante la selección de proveedores a fin de obtener la mejor calidad, los mejores precios y las mejores condiciones de entrega y pago.

Elabora formato de "pedido".

Se entrega al proveedor, informando a los departamentos de almacén y contabilidad.

El uso de este formato coincide con los resultados de la pregunta 1 planteada a los almacenes de materias primas: el 78% de las empresas de la muestra emplean el formato de "pedido" y un 22% no lo utilizan. También coinciden en relación al tamaño.

Del 22%, también el 17% a grandes y el 83% a medianas.

Las razones mencionadas para no utilizar el formato de pedido fueron:

El 8% utiliza medios electrónicos, lo cual resulta adecuado siempre y cuando se entere a los departamentos correspondientes para no entorpecer el surtido de los materiales.

Un 16% no lo utiliza esperando así reducir costos o porque aún no lo consideran necesario.

La no utilización del formato pone en riesgo la disponibilidad de las materias primas, lo que pudiera ser más costoso si demora la producción.

Departamento de producción

Encargado de la transformación de las materias primas, cuidando el manejo y consumo de los mismos dentro

de los estándares establecidos.

Elabora formato de "requisición de materias primas".

Para surtirse de los materiales del almacén. Para esta operación los resultados fueron:



Gráfica 5. Uso del formato Requisición de material por el área de producción.

Del 93% de las empresas que sí utilizan el formato, corresponde 33% a grandes, 46% a medianas y 21% a pequeñas.

Del 7% las empresas que no utilizan el formato, corresponden 50% a grandes y 50% a medianas.

La importancia de la requisición de materiales radica en que facilita el control de salida de materiales del almacén y de las existencias de los mismos, las empresas que no utilizan este formato ignoran los movimientos de los materiales y sus existencias.

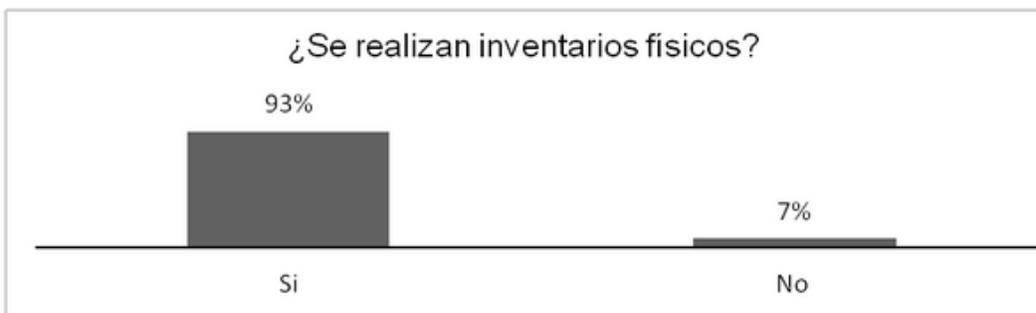
Departamento de contabilidad

Es responsable del control contable y da seguimiento al movimiento de las materias primas en las diferentes etapas del proceso productivo mediante los registros oportunos que permitan su localización.

Operación:

El inventario físico.

Se lleva a cabo para supervisar que las existencias en el almacén coincidan con los registros contables. Para esta operación los resultados fueron:



Gráfica 6. Prevalencia de la realización de inventarios físicos.

Del 93% de las empresas que sí realizan inventarios físicos, corresponden 33% a grandes, 46% a medianas y 21%



a pequeñas.

Del 7% las empresas que no realizan inventarios físicos, corresponden 50% a grandes y 50% a medianas.

La toma de un inventario físico es importante para verificar que las unidades que existen en el almacén coincidan con los registros contables y, en caso de haber diferencias, se realicen las aclaraciones correspondientes. Las empresas que no realizan un inventario físico desconocen las unidades en existencia, con el riesgo de que las diferencias incrementen el costo del producto elaborado.

Conclusiones

Del 78% de las empresas que emplean el procedimiento sugerido por los autores, un 40% son grandes, el 35% medianas y el 25% pequeñas.

El 15% de las empresas no utilizan dicho procedimiento, de las cuales corresponden 17% a grandes y 83% a medianas respectivamente, sin embargo estas empresas manejan otro procedimiento similar al de los autores, manejando sólo las operaciones siguientes:

Elaboran el "Reporte de entrada de materias primas" en el cual concentran las compras efectuadas, anexando al mismo la documentación que ampare las adquisiciones.

Elaboran la "Requisición de materias primas" para controlar las salidas de los materiales del almacén.

Realizan inventarios físicos para supervisar que las existencias en el almacén coincidan con los registros contables.

Este procedimiento sólo permite el control de las entradas, las salidas y las unidades de materias primas que existen en el almacén, a diferencia del sugerido por los autores, este procedimiento no emplea un control de la adquisición de los materiales desde la solicitud de la compra, el pedido y la recepción, procesos de suma importancia. En la práctica algunas empresas pequeñas y medianas, debido a su limitada capacidad administrativa y económica, no cuentan con los departamentos correspondientes, razón por la cual omiten estas operaciones de control.

El 7% restante utilizan otro procedimiento no identificado en la información obtenida.

Recomendaciones

Es importante que las empresas consideren que la falta de un sistema de control de las materias primas desde el proceso de la solicitud de compras, el pedido, la recepción, el almacenamiento, el suministro y la toma de inventarios físicos puede tener consecuencias como el incremento en el costo del producto elaborado mermando el margen de utilidad.

Referencias

1. Pérez, Ernesto Reyes. Contabilidad de costos Primer Curso. México: Limusa, 2013. 978-968-18-3651-1.
2. González, Cristóbal de Río. Costos. México: ECAFSA, 1989. 968-7681-07-01.
3. León, Armando Ortega Pérez de. Contabilidad de costos. México: Limusa, 2006. 13-978-968-18-5352-5.
4. Franklin, Enrique Benjamín. Auditoría Administrativa. México: Pearson, 2007. 138-978-970-26-0784-7.
5. Padilla, David Noel Ramírez. Contabilidad administrativa. México: McGrawhill, 2013. 978-607-15-0845-4.

Anexo

Cuestionario para el almacén de materias primas

¿El almacenista cuenta o utiliza un formato de "solicitud de compras"? Sí () No ()

1.1. ¿A qué departamentos se entrega? Compras () contabilidad () otro ()

1.2. Se observó el formato Sí () No ()

1.3. ¿Por qué no se usa?

¿Almacén recibe del departamento de compras un formato del "pedido" realizado a los proveedores? Sí () No ()



()

2.2. Se observó el formato Sí () No ()

2.3. ¿Por qué no se usa? _____

¿Se verifica la recepción comparando la factura o nota de remisión del proveedor con el formato de "pedido" elaborado por el departamento de compras? Sí () No () 3.1. Si la respuesta fue NO, entonces ¿cómo realiza la recepción de los materiales?

¿Cómo se evalúa la calidad de la mercancía que entra al almacén para ver si se acepta o se rechaza?

4.1. Hay indicadores ya establecidos para evaluar toda la mercancía que entra ()

4.2. Sólo algunas mercancías deben ser evaluadas ()

4.3. No se necesita evaluar la calidad de las mercancías o no se hace () Comentarios: _____

En caso de rechazo, ¿se elabora formato de "vale de devolución de materiales"? Sí () No ()

5.1. ¿A quién se entrega? Proveedor () Contabilidad () Otro _____

5.2. Si la respuesta fue NO, entonces ¿qué procedimiento se sigue?

¿La empresa cuenta con espacios adecuados para el almacenamiento y la fácil localización de los materiales?

a) Sí, muy adecuados. b) Sí, pero con limitaciones. c) No son adecuados. Comentarios: _____

¿Se utiliza un formato de "reporte de entradas" donde se concentren todas las compras recibidas de materiales anexando las facturas o notas de remisión?

Sí () No ()

7.1. ¿A qué departamentos se entrega? Contabilidad () Otro _____

7.2. Si la respuesta fue NO, entonces ¿qué procedimiento se sigue?

¿Se utiliza un formato de "requisición de materiales" que controle las salidas de materiales? Sí () No ()

8.1. ¿A qué departamentos se entrega? Producción () Contabilidad () Otro _____

8.2. Si la respuesta fue NO, entonces ¿de qué manera se controlan las salidas de los materiales?

¿Se realizan inventarios físicos? Sí () No ()

9.1. Si la respuesta fue NO, entonces ¿cómo se verifican las existencias?

9.2. ¿Son coincidentes los registros con las existencias? Sí () No ()

9.3. ¿Cómo se manejan las diferencias cuando las hay?



- 8.1. ¿A qué departamentos se entrega? Producción () Contabilidad () Otro _____
- 8.2. Si la respuesta fue NO, entonces ¿de qué manera se controlan las salidas de los materiales?
¿Se realizan inventarios físicos? Sí () No ()
- 9.1. Si la respuesta fue NO, entonces ¿cómo se verifican las existencias?
- 9.2. ¿Son coincidentes los registros con las existencias? Sí () No ()
- 9.3. ¿Cómo se manejan las diferencias cuando las hay?

El uso de drones en ciencias de la tierra.

(Por: Rigoberto Guardado France, Miguel Agustín Téllez Duarte, Angel Raúl Herrera Gutiérrez)

Resumen

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado (VANT) controlado a distancia. En sus inicios, los VANT se utilizaban con fines de reconocimiento y ataque militar. A partir de la caída del muro de Berlín en 1989, a las tecnologías desarrolladas por la industria bélica se les ha buscado aplicaciones civiles que redunden en beneficio de la sociedad. Este fue el caso de los VANT, que actualmente se utilizan para llevar a cabo múltiples tareas como vigilancia, fotografía y ocio entre otras. La ciencia no ha desaprovechado la oportunidad y ha incursionado con bastante éxito en el uso de estas plataformas colocando diversos instrumentos de medición en los VANT lo que ha permitido reducir el costo de recolección de grandes cantidades de datos de alta calidad. Como resultado, más académicos/as en diversas disciplinas como lo son las Ciencias de la Tierra están recolectando información mediante sensores aéreos con mayor frecuencia en aras de generar mayores beneficios a la sociedad.

Palabras clave: Drones, ciencias de la tierra, teledetección.

Abstract

A dron is an unmanned aerial vehicle (UAV) controlled by distance. In the beginning the UAVs's were used with military attacks and recognition purposes. From the fall of the Berlin Wall in 1989 all of those technologies developed by the defense industry were starting to get civil applications that could offer a benefit to society. This was the case of UAVs that are currently used to fulfill different tasks, just as surveillance, photography, entertainment and others. Science has not missed the opportunity and has dabbled with success in using these platforms by placing various measurement devices in UAVs, which has allowed to reduce the cost of collection of large amounts of high quality data. As a result, more scholars in various fields of science, as in the case of earth sciences, are collecting information by air sensors with higher frequency in order to generate greater benefits to society.

Key words: Drone, earth sciences, teledetection.

Introducción

La teledetección o percepción remota es una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías empleadas en la observación, análisis e interpretación de fenómenos terrestres y planetarios. La etimología de la palabra refiere a la adquisición de información sobre un objeto o fenómeno sin hacer contacto físico con el mismo, por tanto, contrasta la observación directa o in-situ. Actualmente, el término se refiere a la utilización de tecnologías de sensores montados en plataformas espaciales o aéreas que detectan y/o clasifican fenómenos en la tierra por medio de ondas electromagnéticas propagadas (ej. luz visible, infrarrojo, etc.); por lo que los orígenes de esta disciplina se hallan íntimamente vinculados al desarrollo de la tecnología fotográfica, la aviación y la industria aeroespacial¹.

Hasta hace unos años, el alto costo de las plataformas y la instrumentación para obtener información, hacía que esta tecnología fuese de uso exclusivo del gobierno; sin embargo, los avances tecnológicos en este campo han permitido que a partir de la primera década del siglo XXI, el sector civil empiece a incursionar en este campo debido principalmente al desarrollo de las plataformas aéreas conocidas como drones lo que está revolucionando la industria del arte, educación, comunicación y la ciencia.

Desarrollo del tema

Un dron, del inglés «*drone*» es una aeronave no tripulada que realiza vuelos controlados a través de un control remoto o bien de una manera totalmente autónoma programando un plan de vuelo en su memoria² (Fig. 1).



Figura 1. Drone modelo DJI Phantom². (Fuente: Foto propia).

Los drones hicieron su aparición durante la Primera Guerra Mundial, el ingeniero *Charles Kettering* de *General Motors*, desarrolló en 1917 un biplano militar que basaba su funcionamiento en un mecanismo de relojería programado para plegar las alas del biplano después de una cierta distancia de vuelo y caer como una bomba sobre el enemigo³.

Después de las guerras mundiales, los drones quedaron relegados ya que la investigación se centró en el desarrollo de armas nucleares y no fue sino hasta la aparición de la electrónica en estado sólido, la miniaturización y las comunicaciones por satélite que el diseño de los drones se fue haciendo más complejo hasta que aparecieron los Predator a principios de los años 90's, un dron con sistema de posicionamiento GPS (*Global Positioning System* por sus siglas en inglés) que era utilizado en campos como la geolocalización y/o vigilancia.

El continuo desarrollo tecnológico ha hecho que los drones se hagan cada vez más complejos. Uno de los drones más modernos y sofisticados actualmente es el Fury 1500 que es utilizado para realizar misiones civiles y militares. Este dron es capaz de despegar desde casi cualquier lugar y volar hasta 5,000 m. de altura a una velocidad máxima de 214 km/h con una carga máxima de 56 kilos pudiendo ser controlado de forma remota o autónoma y está equipado entre otras cosas con radar, sensores electro-ópticos, infrarrojos y un sistema de adquisición de información por medios electrónicos.

El marcado avance en la tecnología y la disminución en los costos de adquisición ha permitido el uso de drones en el ámbito civil lo que se espera tenga grandes beneficios a la sociedad. Algunas de las aplicaciones del uso de drones son: movilidad y tráfico, exploración de lugares de difícil acceso y zonas de desastre, control y análisis de multitudes, investigación de una escena de crimen, agricultura, construcción e inspecciones de obra y estudios sobre medio ambiente entre otras.

Integrar el uso de drones como herramienta de estudio presenta ventajas respecto a las técnicas tradicionales como: reducción de costos, simplificación y automatización de procesos, mayor calidad de imágenes sin renunciar al dinamismo, posibilidad de vuelos a bajas velocidades y cerca del suelo u obstáculos, reducción en el tiempo de trabajo de campo, acceso a zonas de alto riesgo, reducción en el personal necesario para realizar el estudio, obtención de modelos digitales de elevación entre otros.

Se destaca la utilidad del uso de drones en estudios relacionados con las Ciencias de la Tierra, ya que el enorme valor de esta tecnología en este campo radica en la posibilidad de equipar al dron con accesorios y sensores como cámara de imágenes ópticas o infrarrojas, equipo de geolocalización, sonar, sensor láser, etc. que permitan adquirir información de gran calidad, además del uso de computadoras y programas de cómputo capaces de manejar y procesar gran cantidad de información mediante algoritmos matemáticos.

Las aplicaciones son variadas destacando la realización de mapas geológicos, topográficos, sedimentológicos, mineralógicos, de riesgo geológico y naturales, geofísicos, estructurales, así como control y monitoreo de explotaciones mineras, estudios costeros, evaluación de yacimientos petroleros, estudios estratigráficos, movimientos de masa, producción de áridos y estudio de volcanes entre otros.

Un ejemplo del uso de drones en la vulcanología fue el estudio realizado en el volcán Monte Yasur en la isla de Tanna (2014), en Vanuatu, cuyo objetivo principal fue estudiar las fumarolas. Una expedición pudo llegar al cráter desde el cual se tomaron una serie de fotografías revelando la existencia de tres fumarolas. A partir de un vuelo con dron se identificó la existencia no de tres sino de seis fumarolas y se tomaron muestras del gas emanado lo que hubiese sido imposible de realizar utilizando técnicas tradicionales por los riesgos que implicaban⁴.

En California, USA, la tecnología se ha utilizado para visualizar las deformaciones del terreno y estimar la velocidad de desplazamiento de la falla de San Andrés.

En México, los drones se usan principalmente en estudios de monitoreo de especies silvestres, clima, mapeo y exploración de terrenos y/o vestigios arqueológicos como es el caso de la zona arqueológica de La Labrada en el estado de Sinaloa, donde con ayuda de los drones se están georreferenciando los hallazgos arqueológicos y se está diseñando un mapa del sitio.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ha hecho uso de la tecnología de drones en tareas geoespaciales, principalmente en levantamientos aerofotogramétricos para generar ortofotos y modelos digitales de elevación (Fig. 2) que sirven de insumos básicos para la producción cartográfica, levantamientos catastrales, monitoreo de la producción agrícola, cálculo de movimiento de tierras, monitoreo de variación de temperaturas, inventario de suelos, entre otros⁵.

Otro campo en el que se está incursionando con el uso de drones son los estudios costeros, en cabo Pulmo (Baja California Sur) se analizaron las amenazas antropogénicas y naturales que enfrenta una de las principales reservas marinas de nuestro país. En el estudio se documentaron los cambios en la línea de costa resultado del impacto del huracán Odile que azotó la península de Baja California en el 2014 así como la variación en la línea de costa en dos playas de la misma zona conocidas como Tinajas y Barracas. En la primera se presentó un retroceso del cantil y en la segunda, el huracán erosionó la playa perdiéndose una importante área para el anidamiento de tortugas⁶.

En la ciudad de Ensenada, B.C. se están utilizando drones para evaluar los cambios en el volumen de sedimento y cobertura vegetal de un campo de dunas ubicado en una playa urbana donde se realizan un sinnúmero de actividades antropogénicas con el fin de definir zonas y grado de impacto de las mismas.

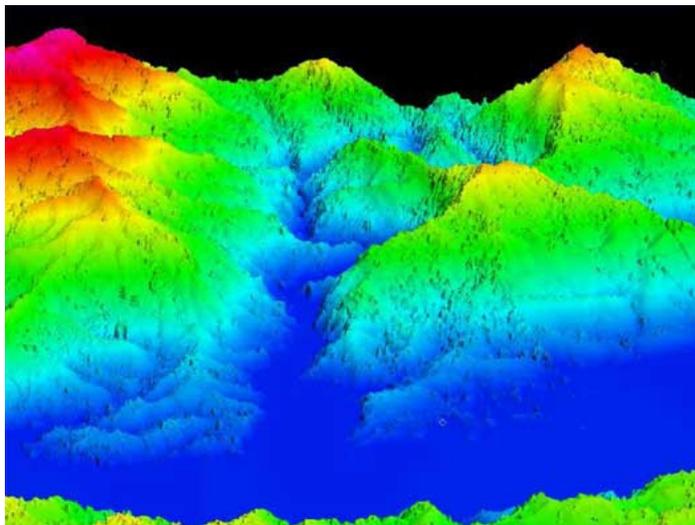


Figura 2. Ejemplo de modelo digital de elevación del Estado de Chiapas, México. (Fuente: INEGI en <http://www.inegi>).



org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesMDE.aspx)

Nuestro país está incursionado en la integración de esta tecnología como herramienta para la investigación en las Ciencias de la Tierra, lo que permitirá en un corto plazo, un mejor entendimiento del objeto de estudio; sin embargo, existen algunos retos a superar como es el desarrollo de nuevos equipos de almacenamiento y procesamiento de datos capaces de manejar gran cantidad de información además del tema de regulación de uso. Con relación a este último punto existe una preocupación sobre el uso indebido de estas tecnologías, por ejemplo: actividades ilícitas, invasión de propiedad privada, y/o invasión del espacio aéreo. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) lanzó la regulación respectiva mediante la circular CO AV-23/10 R2 en la que se presenta una clasificación de los drones dependiendo de su peso, y uso con el objetivo de que cada uso de estos tenga ciertas libertades, o en caso contrario limitantes⁷.

Para las tres clasificaciones de drones contenidas en la circular emitida por la SCT se han interpuesto algunas normativas, por ejemplo, solo podrán operar durante el día, a menos 9.2 kilómetros de aeropuertos, 3.7 kilómetros de aeródromos y 900 metros de los helipuertos. Además, tendrán que asegurar que en su vuelo no dejarán caer algún tipo de objeto que cause daño a terceros⁷.

La incorporación de esta nueva tecnología en las investigaciones realizadas en el campo de las Ciencias de la Tierra puede traer consigo grandes beneficios a nuestra sociedad; sin embargo, para lograrlo es importante que se cuente con un entendimiento integral de los alcances del uso de esta tecnología y de las responsabilidades que conlleva para sus operadores.

Referencias

1. DI LEO, Néstor C. Drones: nueva dimensión de la teledetección agroambiental y nuevo paradigma para la agricultura de precisión. Revista Agromensajes [en línea]. Mayo 2015. [fecha de consulta: 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2015/05/2AM41.pdf>
2. MONCADA, Arturo. Drones en beneficio de la ciencia. Revista Vértigo Político [en línea]. Noviembre 2015. [fecha de consulta: 15 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.vertigopolitico.com/articulo/36123/Drones-en-beneficio-de-la-ciencia>
3. STAMP, Jimmy. Unmanned Drones Have Been Around Since World War I. Revista Smithsonian [en línea]. Febrero 2013. [fecha de consulta: 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.smithsonianmag.com/arts-culture/unmanned-drones-have-been-around-since-world-war-i-16055939/>
4. JORDAN, R. Benjamin. A bird's-eye view of geology: The use of micro drones/UAVs in geologic fieldwork and education [en línea]. Julio 2015. [fecha de consulta: 6 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.geosociety.org/gsatoday/archive/25/7/article/i1052-5173-25-7-50.htm>
5. Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). Modelos Digitales de Elevación (MDE) [en línea]. [fecha de consulta: 6 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>
6. AVILÉS Claudia. En menos de un año, oleaje y lluvia ha erosionado las playas en Cabo Pulmo: CICESE. Nota Periodística [en línea]. Febrero 2016.
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (México). Regulación sobre uso de aeronaves no tripuladas (drones), para su operación segura [en línea]. Enero de 2016. [fecha de consulta: 2 mayo 2016].

