



APLICACIÓN DE SENSORES LOW-COST EN EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DISTRITO MINERO DE RIOTINTO

Adrián Zafra Pérez

Trabajo entregado para la obtención del grado de
MÁSTER EN TECNOLOGÍA AMBIENTAL

Modalidad: Investigación

Diciembre / 2021

Directores:

Dr. Jesús Damián de la Rosa Díaz

Dr. Carlos Boente López



D. Jesús Damián de la Rosa Díaz, DNI: 29775115M, Catedrático de Universidad en el Centro de Investigación en Química Sostenible, Universidad de Huelva, y **D. Carlos Boente López**, DNI: 71680710Z, Investigador Postdoctoral en el Área de Explotación de Minas Centro de Investigación en Química Sostenible, Universidad de Huelva.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado “**Aplicación de sensores low-cost en el control de la calidad del aire en el Distrito Minero de Riotinto**” presentado por **D. Adrián Zafra Pérez**, con D.N.I.: 49084590Z, ha sido realizado en el **Centro de Investigación en Química Sostenible, Universidad de Huelva**, bajo mi dirección, y autorizo su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster (Modalidad: Investigación)**, para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 6 de diciembre de 2021.

Fdo.: Jesús Damián de la Rosa Díaz y Carlos Boente López.

RESUMEN.

La calidad del aire en entornos mineros puede verse afectada por diversos factores propios de los procesos mineros a cielo abierto basados en un sistema convencional de exploración, voladuras, tratamiento del mineral y concentrado, y transporte, entre otros.

Desde el año 2015 se reactiva la explotación de las Minas de Riotinto a través del Proyecto Atalaya Mining. En el año 2016 se procesa hasta 9 millones de toneladas anuales de mineral y en la actualidad se encuentra en proyecto el incremento hasta 15.5 millones de toneladas anuales. Dada la baja ley del Cu (hasta 0.7%) es necesario incrementar el movimiento y tratamiento del mineral, lo que promueve la emisión de partículas fugitivas al aire pudiendo impactar en las zonas urbanas próximas como Minas de Riotinto, Nerva y La Dehesa.

En este trabajo se han utilizado sensores de bajo coste (low-cost sensors, LCS) de material particulado atmosférico con objeto de monitorizar los niveles a alta resolución temporal y espacial en las instalaciones mineras con el fin de controlar el impacto de las emisiones fugitivas de partículas en el distrito Minero de Riotinto.

Se han realizado medidas móviles en superficie en el interior de la mina.

Los equipos LCS han sido calibrados con técnicas gravimétricas empleando filtros de fibra de cuarzo de 150 mm en captadores de alto volumen.

Finalmente, se ha valorado las zonas con mayor necesidad de abatimiento en las instalaciones mineras y se ha analizado la calidad del aire en la zona de estudio.

Este TFM se realiza en el marco del proyecto "*Caracterización Físico-Química y Contribución de Fuentes de Aerosoles Atmosféricos Inorgánicos y Orgánicos en la Cuenca Minera del Río Tinto (Huelva)*" PY18-2332, Proyecto de Excelencia de Apoyo al Tejido Empresarial de la Junta de Andalucía.

ABSTRACT.

Air quality in mining environments can be affected by various factors that are inherent to open-pit mining processes such as exploration, blastings, ore and waste loading, concentrate treatment and transport, among others.

In 2015, the Riotinto Mines were reactivated through the Atalaya Mining Project. In 2016, up to 9 million tonnes of ore per year are being processed, and there are currently plans to increase this to 15.5 million tonnes per year. Given the low Cu grade (up to 0.7%) it is necessary to increase the movement and treatment of the ore, which promotes the emission of fugitive particles into the air and can impact nearby urban areas such as Minas de Riotinto, Nerva and La Dehesa.

This work has used low-cost sensors (LCS) of atmospheric particulate matter to monitor levels at high temporal and spatial resolution in mining facilities in order to monitor the impact of fugitive emissions of particulate matter in the Riotinto mining district.

Mobile surface measurements have also been carried out inside the mine.

The LCS equipment has been calibrated with gravimetric techniques using 150 mm quartz fibre filters in high volume collectors.

Finally, the points with the greatest need for abatement in the mining facilities have been evaluated and the air quality in the study area has been analyzed.

This TFM is carried out within the framework of the project "*Physical-Chemical Characterisation and Contribution of Inorganic and Organic Atmospheric Aerosol Sources in the Río Tinto Mining Basin (Huelva)*" PY18-2332, a Project of Excellence for the Support of the Business Fabric of the Andalusian Regional Government (Junta de Andalucía).

AGRADECIMIENTOS.

Es muy difícil para mí expresar en estas pocas líneas mi agradecimiento a todas aquellas personas que me han ayudado y que han formado parte de esta etapa de mi vida.

En primer lugar, tengo palabras de agradecimiento a mis directores del Trabajo Fin de Máster por todos los conocimientos que me han aportado. Al Dr. Jesús Damián de la Rosa Díaz, por haber creído en mí y darme la oportunidad de incorporarme al grupo y demostrarme cada día su confianza. Al Dr. Carlos Boente López, por su entusiasmo, ayuda y calidad como investigador. Ambos son un ejemplo a seguir para mí por su dedicación y su valía dentro del mundo de la investigación. Gracias por el permanente trabajo en equipo, desde el respeto, donde la experiencia profesional y visión de cada uno, ha significado para mí una fuente permanente de inspiración.

Agradezco también el trabajo comprometido y cohesionado de mis compañeros que forman la Unidad Asociada CSIC-UHU “Contaminación Atmosférica” de la Universidad de Huelva.

Dar las gracias especialmente a Atalaya Riotinto Minera, S.L.U. por confiar este proyecto a la Universidad de Huelva, para resolver un problema ambiental, además han realizado los diferentes muestreos con los equipos LCS y han permitido el uso de los mismos en código abierto.

También quería agradecer al personal técnico de Medio Ambiente de los Ayuntamientos de Nerva y Riotinto, por su amabilidad, colaboración y por haber facilitado el uso de sus instalaciones.

Por último, quiero dar las gracias a mi familia, a mis padres que me inculcaron los valores y principios básicos que me han orientado en mi vida personal y profesional, y sus palabras de ánimo para seguir adelante. Y a mi pareja por aguantarme cada día y apoyarme en este trabajo.

Este TFM ha sido desarrollada en el marco de un proyecto de investigación:

Caracterización Físico-Química y Contribución de Fuentes de Aerosoles Atmosféricos Inorgánicos y Orgánicos en la Cuenca Minera del Río Tinto (Huelva) (PY18-2332; Proyecto de Excelencia de Apoyo al Tejido Empresarial de la Junta de Andalucía).

El trabajo se ha desarrollado mayoritariamente en la Unidad Asociada CSIC-UHU “Contaminación Atmosférica” de la Universidad de Huelva. Y otra parte del trabajo fue realizado en el Distrito Minero de Riotinto.

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estado del arte: estudio de la MPA y parámetros de medición y control.....	3
1.1.1. Aerosoles atmosféricos y minería.	3
1.1.2. Proyecto Riotinto Atalaya Mining.	4
1.1.3. Efectos ambientales de la minería.	5
1.1.4. Marco legislativo relativo a la calidad del aire	7
1.1.5. Sensores de bajo coste (LCS) para aerosoles atmosféricos.....	12
1.2. Objetivos.	18
2. MATERIALES Y MÉTODOS.	19
2.1. Estaciones móviles.....	19
2.2. Sensores Low-Cost: AirBeam2.	20
2.3. Análisis de niveles.....	21
2.3.1. Gravimetría.	22
2.3.2. Intercomparación de equipo automático y gravimétricos.	22
2.3.3. Meteorología.	24
2.3.4. Análisis de datos.....	25
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1. Intercomparación de equipos automáticos y equipos de referencia.....	28
3.2. Deriva del AirBeam2.....	39
3.3. Mapas de aerosoles atmosféricos mediante medidas móviles.....	41

3.3.1. Periodo desde julio a diciembre de 2018.	43
3.3.2. Periodo desde enero a diciembre de 2019.....	48
3.3.3. Periodo desde enero a octubre de 2020.	57
3.3.4. Comparativa entre estaciones de todo el periodo.	67
3.3.5. Resumen global de todo el periodo.....	68
3.4. Mejoras realizadas en el AirBeam2.....	72
4. CONCLUSIONES.....	79
5. REFERENCIAS.	81
6. ANEXOS.....	87
Anexo 1. Descripción del hardware.	88
Anexo 2. Recorrido diario del AirBeam2.....	100

1. INTRODUCCIÓN.

En el actual siglo XXI, en la sociedad ha suscitado un especial interés la problemática ambiental y la constante necesidad de establecer leyes que lo protejan. Uno de los principales objetivos de preservar el entorno natural es cuidar de la salud humana y de los ecosistemas que pueden verse afectados por la contaminación.

En la industria minera se generan importantes impactos en la calidad del aire, sobre todo en la dispersión de aerosoles atmosféricos, desencadenados en toda la cadena de producción, desde la exploración, extracción, tratamiento del mineral y transporte. Sin embargo, la tendencia mundial de producción más limpia ha cambiado la industria minera y la extracción de recursos minerales se ha vuelto más respetuosa con el medio ambiente en los últimos años ([Kahraman y Erkayaoglu, 2021](#)).

El avance producido durante los últimos años en la ingeniería microelectrónica, mecánica, comunicaciones sin cable y tratamiento de big-data, ha permitido y promovido la fabricación de sensores de bajo coste (LCS, del inglés low-cost sensor) para control de calidad del aire ([Clements et al., 2017](#); [Karagulian et al., 2019](#); [Kumar et al., 2015](#); [Rai et al., 2017](#)), para la medida tanto de niveles de gases contaminantes (NO₂, O₃, y CO) como aerosoles atmosféricos (PM₁₀ y PM_{2.5}).

La búsqueda bibliográfica se centró en la siguiente base de datos: Web of Science (WOS, <http://www.webofknowledge.com>). Y teniendo en cuenta los descriptores “low-cost sensor” AND “PM_{2.5}” (Figura 1), la literatura científica ha aumentado en los últimos años existiendo un total de 357 artículos científicos como reviews, concentrándose el 69% en la categoría Environmental Sciences. Siendo los años más importantes el 2018, 2019 y 2020, publicándose respectivamente 54, 85 y 132 trabajos, en comparación con los años 2016 (15 trabajos) y 2017 (26 trabajos). El número de trabajos es menor teniendo en cuenta PM₁₀ (73 trabajos) y superior si se tiene en cuenta en la búsqueda “low-cost sensor” AND “air quality” con 626 trabajos (33% en Env. Sciences). Además, haciendo la búsqueda en “mining” AND “low-cost sensor” AND “PM_{2.5}” solamente se encuentra un artículo del 2019, sobre el posible paradigma de la minería en calidad del aire ([Represa et al., 2020](#)), lo que hace aún más novedoso este estudio al no existir evidencias científicas de LCS en minas.

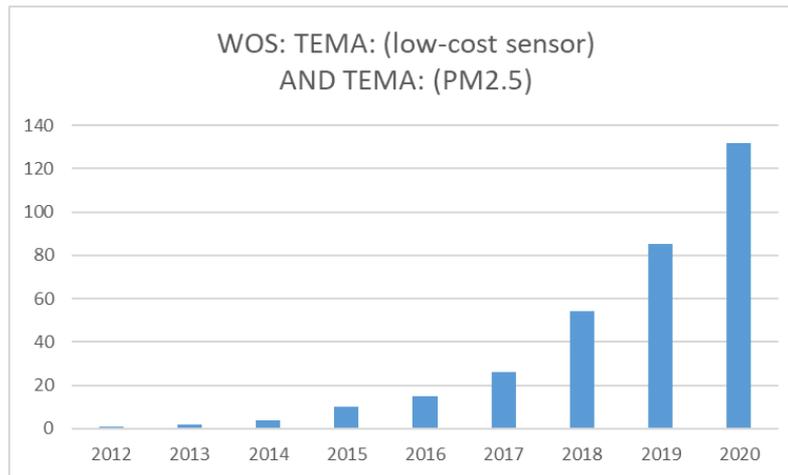


Figura 1. Artículos y revisiones publicados sobre low-cost sensor y PM2.5 en Web of Science (WOS).

En este TFM, se presenta un estudio sobre la aplicación de dispositivos con LCS para la medida de niveles de aerosoles atmosféricos en el Distrito Minero de Riotinto, con objeto de profundizar sobre el control de partículas fugitivas en zonas mineras activas y discutir su origen.

Las empresas susceptibles de emitir partículas fugitivas al aire, tienen que acogerse al Decreto 151/2006 ([Junta de Andalucía, 2006](#)), mediante el cual se establecen los procedimientos de control de emisiones de sus instalaciones. Controlando por un lado, el rango de las Partículas en Suspensión Totales (PST¹), y por otro lado, las partículas sedimentables (PSD²) ([Sistema de Información Del Medio Ambiente, 2010](#)).

Se entiende por polvo fugitivo, finas partículas no controladas que se registran como pérdidas en los procesos de transporte, acopio y manipulación de minerales ("[Polvo Fugitivo](#)", 2021).

En el ámbito del Decreto 151/2006, las empresas mineras, canteras y puertos graneleros no están obligadas a incorporar equipos automáticos de medida de muestreo de forma continuada. Estos equipos son de un coste muy elevado, así como su calibración constante y su mantenimiento, todo ello, hacen inviable su uso en el control de este tipo de actividades potencialmente pulverulentas.

¹ Las Partículas en Suspensión Totales (PST), se expresa como la masa total de partículas para un volumen determinado de aire. Además, están compuestas de partículas sólidas y líquidas, a excepción del agua no contaminada, suspendida y dispersa en el aire, de un rango de tamaño entre 0.005 y 100 micrómetros o micras (μm) de diámetro aerodinámico.

² Las partículas sedimentables (PSD), son aquellas partículas con diámetro superior a 10 micras.

Los dispositivos con LCS para la medida de aerosoles atmosféricos permitirán de esta forma complementar el vacío de registro de información existente según el Decreto 151/2006 en actividades generadoras de emisiones de polvo.

1.1. Estado del arte: estudio de la MPA y parámetros de medición y control.

1.1.1. Aerosoles atmosféricos y minería.

La diversidad geológica de España convierte al país en uno de los principales productores mineros de la Unión Europea, especialmente de mineral de cobre, yeso, magnesita y bentonita ([Fernández, 2021](#)).

Una de las emisiones mineras a la atmósfera más contaminantes son los aerosoles, que mayormente se emiten en las operaciones realizadas en minas a cielo abierto ([Kahraman y Erkayaoglu, 2021](#)), siendo necesario evaluar y establecer un protocolo de actuación sobre la calidad del aire para evitar niveles de exposición perjudiciales en nuestra salud pudiendo así corregirlos cuando sea necesario.

Según su tamaño, las partículas se depositan cerca o a cierta distancia de la fuente de emisión. Si son muy pequeñas, pueden mantenerse suspendidas y ser transportadas a grandes distancias. Dentro de las partículas suspendidas, se denomina "respirables" a las de un diámetro menor o igual a 10 μm (PM10) por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias (Figura 2). Cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es su capacidad de penetración en el árbol respiratorio. Las partículas finas cuyo diámetro aerodinámico es $\leq 2,5 \mu\text{m}$ alcanzan fácilmente los bronquiolos terminales y los alvéolos, desde donde pueden ser fagocitadas por los macrófagos alveolares y atravesar la barrera alvéolo-capilar, para ser transportadas hacia otros órganos por la circulación sanguínea ([Manuel, 2010](#)).

En la industria de la minería, interesa destacar la mayor incidencia del cáncer de pulmón, así como las neumoconiosis, que son las enfermedades causadas por la inhalación del polvo inorgánico, dentro de las que se incluyen ([Marutz, 2014](#)):

- Silicosis.
- Neumoconiosis por metales.
- Neumoconiosis del trabajador del carbón.
- Asbestosis.
- Silicatosis.

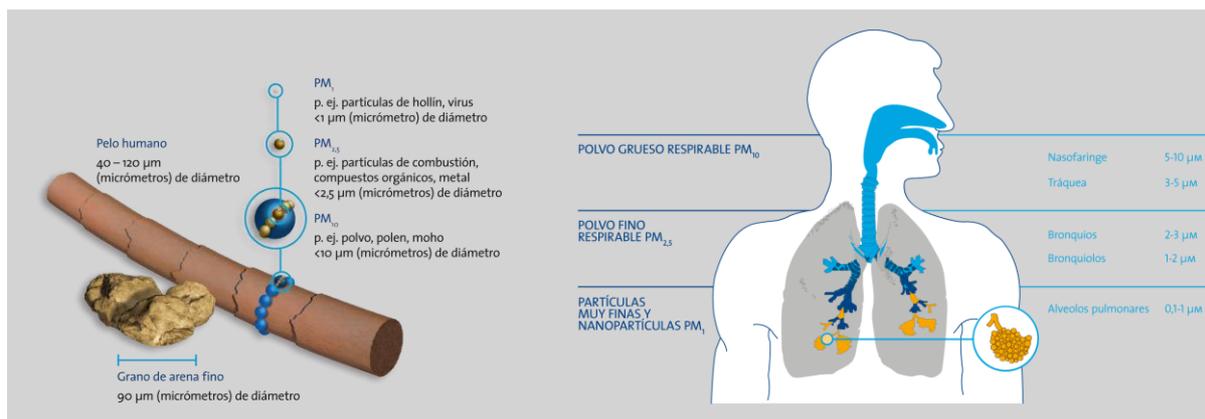


Figura 2. Comparativa de los tamaños de partículas ([Freudenberg Filtration Technologies SE y Co. KG, 2021](#)).

El material particulado es el principal problema de contaminación al que se enfrenta cualquier entorno minero. El área de trabajo está expuesta constantemente a multitud de actividades que, de una manera u otra, generan una gran cantidad de polvo y partículas en suspensión. Las voladuras o detonaciones, las excavaciones, la carga y descarga de material, y, sobre todo, el tránsito de los vehículos que transportan el material minado, son las principales fuentes emisoras de partículas en una mina a cielo abierto. Por ello, se hace imprescindible realizar un control exhaustivo de estas actividades, así como aplicar ciertas medidas de mitigación que reduzcan, en la medida de lo posible, la cantidad de material particulado que dichas actividades generan ([Meteosim, 2019](#)).

1.1.2. Proyecto Riotinto Atalaya Mining.

El estudio se centra en el área de Riotinto (Huelva), en una de las minas de cobre a cielo abierto más importantes de Europa.

La mina de Riotinto, se encuentra en la zona Surportuguesa (ZSP) de la Península Ibérica, dentro de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), conocida como una de las mayores concentraciones de sulfuros masivos polimetálicos del mundo, dominando la piritita, calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnS) y galena (PbS).

Esta mina, inició su apertura en 1873, siendo explotada por la compañía “Rio Tinto Company Limited”. A lo largo de los años, su explotación ha estado liderada por diferentes empresas británicas y españolas. En 2001, se produjo su cierre a manos de la compañía “Minas de Riotinto S.A.L.”, debido a la baja rentabilidad provocada por los bajos precios de los minerales.

El proyecto Riotinto Atalaya Mining liderado por la sociedad “Atalaya Riotinto Minera, S.L.U.”, ocasiona su reapertura en 2015, incorporando las últimas innovaciones tecnológicas del sector, así como conceptos de seguridad y sostenibilidad ambiental.

La operación minera comienza con la voladura del área objeto de explotación. Gracias al conocimiento que ya se tiene del área, se pasa a cargar y transportar las pilas de mineral resultantes de la explosión según la cantidad de metal que contienen: por debajo de una riqueza metálica determinada (ley de corte), se considerarán como estéril depositándose en la escombrera y por encima de la ley de corte tienen como destino la planta para su procesado. Para esta operación, se utiliza una flota de palas cargadoras y camiones tipo volquete de gran capacidad ([Atalaya Riotinto Minera, 2021](#)).

Sin embargo, trabajar con leyes más bajas de Cu provoca un mayor movimiento de tierras, mineral y roca, y en consecuencia, una influencia negativa sobre el medio ambiente ([Valenta et al., 2019](#)). Por ello, la actividad minera y las operaciones a cielo abierto son consideradas las principales fuentes de emisión de partículas a la atmósfera ([Nriagu y Pacyna, 1988](#)).

1.1.3. Efectos ambientales de la minería.

Entre los posibles efectos ambientales que puede causar la minería, se encuentran las fuentes de emisiones de MPA (Material atmosférico particulado).

Las partículas atmosféricas gruesas (PM10), son menos móviles, por ello, inciden más en el interior de la mina y en las zonas más próximas a ella, En el caso de la mina de Riotinto, las poblaciones más cercanas son Nerva, Minas de Riotinto y La Dehesa. El MPA derivado de las explotaciones mineras, se considera una fuente antropogénica, al intervenir las personas en su origen.

A continuación, se detallan algunos aspectos clave asociados a las actividades mineras, que alteran la calidad del aire del Distrito de Riotinto, y nos brindan la importancia de este estudio ([Toro et al., 2020](#)):

- Las fuentes de contaminación atmosférica pueden ser lineales (la contaminación producida por el tránsito de un camino), móviles (un vehículo), fijas (una chimenea industrial) y fugitivas (partículas contaminantes que, encontrándose estables, escapan por acción del viento de alguna parte de la mina, por ejemplo, de una escombrera).
- El impacto ocasionado por los agentes contaminantes, está estrechamente ligado a las condiciones atmosféricas (pluviometría, vientos o inversiones térmicas) reinantes en el entorno en donde tiene lugar la actividad minera. Por

ejemplo, una pluviometría intensa abate las partículas en suspensión, mientras que vientos fuertes aumentan el rango de dispersión.

- Las emisiones a la atmósfera más significativas son debidas a las partículas generadas fundamentalmente durante el proceso de extracción de mineral y su posterior tratamiento. A ellas hay que añadir, las procedentes del tráfico rodado (vehículos, maquinaria, etc.) y las que se producen durante las operaciones de manipulación de material acopiado.

En una explotación minera, la polución del aire se debe principalmente a gases y vapores (mayoritariamente, contaminación química), así como partículas sólidas (contaminación física). Por un lado, tenemos los gases y vapores que son el resultado de la detonación de explosivos en la explotación minera y de las emisiones de los motores de combustión interna, procedentes de la maquinaria minera, de las instalaciones fijas, los grupos generadores de gasóleo, los compresores de aire, hornos, etc. Por otra parte, las partículas sólidas en suspensión (PM), se producen por la acción del viento sobre superficies excavadas, por la realización de voladuras, por el tránsito de vehículos o por la acción de cierta maquinaria, tanto en el tajo minero como en el proceso de tratamiento del mineral.

Además, las diferentes operaciones que se realiza en la mina tienen distintos grados de contribución a la contaminación atmosférica. Por ejemplo, la cantidad de polvo generado por las voladuras es mínima en comparación a otras fuentes que tienen lugar en una explotación minera. Tiene un carácter puntual, limitado al momento en que se produce la detonación de los explosivos (Figura 3).



Figura 3. Emisiones de polvo generadas durante una voladura. Fuente: Mina de Riotinto.

Sin embargo, la cantidad de polvo generado en las pistas de circulación es significativa, tanto en la mina como en la planta de procesado, debido al paso de tráfico continuado. Además, depende en gran medida de la época del año, condiciones climatológicas y humedad ambiental.

Desde otro ángulo, la cantidad de polvo generado en las escombreras depende de la granulometría del material acopiado, siendo la cantidad de MPA mucho mayor en las escombreras de rechazos de planta, donde el material ha sufrido un tratamiento de reducción de tamaño, que en las que se acumulan directamente estériles procedentes de la mina. Aquí hay que tener en cuenta otro factor condicionante de las emisiones, que es el régimen de vientos, siendo a velocidades superiores a 15 m/s cuando los efectos de dispersión empiezan a ser muy significativos. Además, en nuestra zona tiene una influencia muy negativa la presencia de masas de aire saharianas.

Otra fuente generadora de partículas en suspensión tiene su origen en las etapas de machaqueo y trituración del mineral, que tienen lugar a su entrada en las plantas de concentración. Los focos de emisión más importantes son las cintas, los equipos de trituración y molienda y las cribas clasificatorias ([Ayala-Carcedo, 1991, 1998](#)).

Por tanto, este TFM cuenta con un gran interés pues tiene por objetivo controlar las emisiones de MPA en los procesos mineros, así como evaluar su impacto en los alrededores. Todo ello, en busca de una minería más limpia y sostenible, como parte de las políticas de la Unión Europea en los últimos tiempos. Además, el trabajo tiene un carácter novedoso, ya que para alcanzar dicho objetivo se utilizarán nuevos avances tecnológicos como son los LCS, los cuales se describen en profundidad en secciones posteriores.

1.1.4. Marco legislativo relativo a la calidad del aire.

La calidad del aire en el territorio español está legislada por las siguientes normas.

Según la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Esta Ley actualiza la base legal para los desarrollos relacionados con la evaluación y la gestión de la calidad del aire en España, y tiene como fin último el de alcanzar unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Mediante la misma se habilita al gobierno a definir y establecer los objetivos de calidad del aire y los requisitos mínimos de los sistemas de evaluación de la calidad del aire, y sirve de marco regulador para la elaboración de los planes nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire. ([BOE, 2007](#)).

En el artículo 10 de la Ley 34/2007 expone literalmente:

- “Las comunidades autónomas y, en su caso, las entidades locales en los términos del artículo 5.3, evaluarán regularmente la calidad del aire en su correspondiente ámbito territorial, con arreglo a lo dispuesto en la normativa vigente que en cada caso sea de aplicación, a los criterios específicos que reglamentariamente se establezcan en relación a los distintos objetivos de calidad del aire, y a los métodos establecidos por la Unión Europea en esta materia. A los efectos de lo previsto en el artículo 8.3, las aglomeraciones deberán disponer, por sí mismas o en colaboración con las comunidades autónomas, de estaciones y redes de evaluación de la calidad del aire.
- Una vez establecidos los objetivos de calidad del aire a los que se refiere el artículo anterior, las comunidades autónomas y, en su caso, las entidades locales en los términos del artículo 5.3, deberán realizar una evaluación preliminar de los niveles de contaminación en relación con los contaminantes a los que se refieran los objetivos de calidad del aire, en aquellas partes de sus territorios donde no existan mediciones representativas de dichos niveles.”

Por otro lado, en el Real Decreto 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire estipula los límites legales anuales de la Calidad del Aire en España en relación a los diferentes agentes contaminantes, destacándose las concentraciones de PM10 y PM2.5. Según la normativa, la media anual del PM10 no debe superar diariamente $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$, el número máximo de superaciones permitidas no puede exceder de 35 días al año. En cuanto al PM2.5, no puede ser superior a $25 \mu\text{gPM}_{2.5}/\text{m}^3$. ([BOE, 2011](#)).

Según la última actualización, del 10 de septiembre de 2020, referente a la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire (Tabla 1). Las bandas se han establecido tomando en consideración los riesgos relativos asociados a la exposición a corto plazo a PM2.5 de acuerdo con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud. ([Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019](#)).

Tabla 1. Niveles según Índice de Calidad del Aire en unidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ([Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019](#)).

PM2.5		PM10		Categoría del índice
Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
0	10	0	20	Buena
11	20	21	40	Razonablemente buena
21	25	41	50	Regular
26	50	51	100	Desfavorable
51	75	101	150	Muy desfavorable
76 - 800		151 - 1200		Extremadamente desfavorable

Si se dan las circunstancias en las que estos límites se vean superados la Directiva 2008/50/CE establece en su artículo 30, lo siguiente:

“Los Estados miembros establecerán el régimen de sanciones correspondientes a la infracción de las disposiciones nacionales adoptadas en aplicación de la presente Directiva y tomarán todas las medidas necesarias para asegurarse de su ejecución. Las sanciones establecidas serán eficaces, proporcionadas y disuasorias.” ([Parlamento Europeo, 2008](#)).

El pasado 22 de septiembre de este mismo año, se dieron a conocer las nuevas Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire. Los valores de exposición límite se han revisado a la baja.

El objetivo sigue siendo el mismo, es decir, preservar la salud humana y proteger los ecosistemas del impacto que ocasionan las emisiones contaminantes. Pero el escenario global ha cambiado. Conforme la ciencia constata los perjudiciales efectos de la contaminación del aire, aumenta la urgencia por articular estrategias efectivas para minimizar el problema. Como se resumen en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Comparativa de límites de contaminación.

Contaminante	Periodo	OMS 2005	OMS 2021	Directiva UE
PM2.5	24 h	25 µg/m ³	15 µg/m ³	-
	Año	10 µg/m ³	5 µg/m ³	15 µg/m ³
PM10	24 h	50 µg/m ³	45 µg/m ³	50 µg/m ³
	Año	20 µg/m ³	15 µg/m ³	40 µg/m ³

La presentación de las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire sirvió para dejar patente la preocupación que genera este problema. Pero también las oportunidades que se abren para las tecnologías verdes y, más concretamente, para los sensores de calidad del aire.

De hecho, las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire hacen referencia en múltiples ocasiones a la conveniencia de monitorizar la calidad del aire para conocer los niveles de exposición a la contaminación. Como muestra, este párrafo extraído del punto 7.2. de *“Evaluación de la exposición de la población a la contaminación ambiental”* ([WHO European Centre for Environment and Health, 2021](#)):

“La medición de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en lugares fijos de vigilancia es el método que se utiliza desde hace tiempo para la gestión de la calidad del aire, la evaluación de las tendencias y la estimación de la exposición para los análisis epidemiológicos.”

Y continúa diciendo, a destacar:

“Sin embargo, en muchos países sigue habiendo una falta de control de la contaminación atmosférica y un número inadecuado de monitores en las zonas rurales y en lugares distintos de las grandes ciudades.”

Evidenciando la falta de control de la contaminación atmosférica en un caso como el que nos atañe.

Y concluye: *“Por lo tanto, las métricas de seguimiento podrían ser el alcance y la aplicación del seguimiento para cubrir las lagunas. También pueden ser útiles los nuevos enfoques de modelización que incorporan datos satelitales y de otro tipo. En las últimas décadas, además de las redes de vigilancia de la contaminación atmosférica existentes, se han puesto a disposición métodos avanzados de evaluación de la exposición con el uso de observaciones por satélite y diversas herramientas de modelización para apoyar los estudios epidemiológicos, así como la*

evaluación del impacto y el riesgo para la salud.” ([WHO European Centre for Environment and Health, 2021](#)).

En el ámbito minero, la calidad del aire está regulada por una serie de reglas específicas relativas a la protección de los trabajadores.

En 1985 por el Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, se publicó el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (RGNBSM), por el cual, se establecen las reglas a las que se deben ajustar las explotaciones e industrias relacionadas con la minería, las cuales se han ido actualizando y ampliando, dando lugar a su última actualización en 2010. ([Gobierno de España, 1985](#)).

Del Real Decreto podemos extraer del artículo 1 del primer capítulo:

“El presente Reglamento Básico establece las reglas generales mínimas de seguridad a que se sujetarán las explotaciones de minas, canteras, salinas marítimas, aguas subterráneas, recursos geotérminos, depósitos subterráneos naturales o artificiales, sondeos, excavaciones a cielo abierto o subterráneas, siempre que en cualquiera de los trabajos citados se requiera la aplicación de técnica minera o el uso de explosivos, y los establecimientos de beneficio de recursos geológicos en general, en los que se apliquen técnicas mineras.”

Referentes a las explotaciones mineras a cielo abierto, podemos extraer del artículo 116 del capítulo séptimo lo siguiente:

“Se tomarán medidas para reducir al mínimo la producción de polvo.”

En el presente año 2021, se publica la Orden TED/723/2021, de 1 de Julio, por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 02.0.02, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos o mutágenos durante el trabajo, incorporando los trabajos que supongan una exposición al polvo respirable de sílice cristalina generado de un proceso de trabajo como agente cancerígeno. ([Minera, 2021](#)).

De esta Orden podemos destacar del capítulo 2, lo referente a las obligaciones del empresario:

- “Evaluación de riesgos. Cuando la evaluación de riesgos ponga de manifiesto que puede originarse exposición a polvo respirable habrá de evaluarse el grado y la duración de la exposición de los trabajadores.

- Determinación del riesgo por exposición a polvo y valores límites ambientales (VLA-ED). Para la determinación del riesgo por exposición a polvo respirable, los parámetros y valores límites para la exposición diaria (VLA-ED) que han de tenerse en cuenta, simultáneamente, es:

a) Polvo (fracción respirable): 3 mg/m³.

b) Polvo respirable de sílice cristalina: 0,05 mg/m³.”

En numerosas ocasiones estos valores se ven superados por las actividades de la industria minera, por ello, es de vital importancia una exhaustiva monitorización y control ambiental, respaldado por un avance tecnológico creciente que permitirá la aplicación de sensores láser de bajo coste, con los cuales, se conocerían las diferentes concentraciones de material particulado y si fuera necesario dando una solución que beneficiaría la salud del ámbito minero y sus trabajadores.

1.1.5. Sensores de bajo coste (LCS) para aerosoles atmosféricos.

Un sensor o transductor, se define como una tecnología de subcomponentes básicos que realizan la medición analítica de un gas de efecto invernadero o un contaminante atmosférico. La presencia de un gas o una partícula se convierte en una señal eléctrica cuya magnitud relativa está relacionada con la concentración atmosférica. Algunos ejemplos son los sensores de temperatura y presión, los sensores capacitivos, sensores electroquímicos, sensores de óxido metálico, sensores ópticos (incluidos los ultravioleta (UV)), células de absorción de sensores infrarrojos no dispersivos (NDIR) y sensores ópticos de dispersión de la luz. Mientras que un sistema de sensores consiste en un dispositivo integrado, que comprende uno o más subcomponentes de sensores y otros componentes de apoyo necesarios para crear un sistema de detección totalmente funcional y autónomo. Los sistemas de sensores también suelen describirse genéricamente como sensores de calidad del aire IOT, sensores ambientales, sensores de bajo coste, sensores de aire, etc. ([Peltier, 2021](#)).

Un sensor de bajo coste se refiere al coste de compra inicial comparado con el coste de adquisición del instrumento de referencia, que mide el mismo parámetro atmosférico, cuyo valor supera mínimo un orden de magnitud.

Estos sensores se dividen primero por tecnología, como los sensores de gas y los sensores de PM, y luego por aplicación como son el monitoreo estacionario, el monitoreo móvil y la caracterización de fuentes. El campo de los sensores de bajo coste está evolucionando rápidamente: se fabrican nuevos modelos de sensores, los cuales, se mejoran continuamente para aumentar su rendimiento. No obstante, se pueden cuestionar algunos aspectos claves como la necesidad de calibración, la corrección de calibración, la corrección en las interferencias y el control de la deriva a largo plazo.

Caracterización de los sensores de gas.

Los componentes atmosféricos gaseosos que se miden con LCS son el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃), el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y, en menor medida, los compuestos orgánicos volátiles (COV). Las mediciones de los contaminantes gaseosos se miden en proporción de mezcla como partes por millón (ppm) o partes

por billón (ppb), o en unidades de concentración de masa como microgramos/metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En general, los contaminantes atmosféricos y los gases reactivos se detectan mediante sensores electroquímicos (EC), sensores semiconductores de óxido metálico (MOS), detectores de fotoionización (PID) o sensores infrarrojos no dispersivos (NDIR) ([Baron y Saffell, 2017](#); [Khan et al., 2019](#); [Morawska et al., 2018](#)). En la Tabla 3, se muestran las diferentes dificultades a las que se enfrentan estos LCS de gases.

Caracterización de los sensores de PM.

Hay un gran número de sensores de partículas (PM) en el mercado. La mayoría de los sensores informan de los datos en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero algunos siguen informando del recuento de contadores ópticos de partículas (OPC). La conversión entre el número de partículas y la concentración de masa no es sencilla. Los sensores de PM han progresado en los últimos 10 años y los nuevos sensores muestran una mejor linealidad con las mediciones de referencia. Las partículas menores de 0,5 micrómetro (μm), no suelen detectarse porque son demasiado pequeñas para la detección del sensor óptico. La mayoría de los sensores de PM_{2.5} tienen tiempos de respuesta de un minuto o segundos, pero requieren exhaustivas calibraciones para hacer que las concentraciones sean más parecidas a las de referencia ([Feenstra et al., 2019](#); [Jayaratne et al., 2020](#)). Los sensores de MPA pueden alterar el valor de las mediciones por encima o por debajo de las concentraciones reales, además se puede observar efectos de saturación, que se dan cuando los sensores son incapaces de cuantificar elevadas concentraciones; esto varía según el modelo de sensor y la tecnología usada. La mayoría de los sensores de PM₁₀ sobrevaloran las concentraciones deseadas, a menudo como resultado de los escasos flujos de aire y la escasa aspiración, esto dificulta que los sensores de PM tomen muestras de partículas gruesas ([Qin et al., 2020](#); [Tagle et al., 2020](#)). En la siguiente tabla (Tabla 3), se muestran las diferentes dificultades a las que se enfrentan estos LCS de gases contaminantes y PM.

Tabla 3. Limitaciones actuales de los LCS.

Tipos de Sensores		Contaminante	Limitaciones de los sensores	
Sensores de gas	Electroquímicos	Ozono (O ₃)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases oxidantes (NO ₂ , H ₂ S). Estabilidad a largo plazo (envejecimiento o deriva).	
		Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases oxidantes (O ₃ , H ₂ S). Estabilidad a largo plazo (envejecimiento o deriva). Tiempo de inicio relativamente largo hasta la estabilización del sensor.	
		Dióxido de azufre (SO ₂)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases reductores (NO ₂ , H ₂ S). Estabilidad a largo plazo (envejecimiento o deriva).	
		Monóxido de Carbono (CO)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases reductores (H ₂ S, SO ₂ , CH ₄ , Alcoholes, NH ₃ , etc.). Estabilidad a largo plazo (envejecimiento o deriva).	
	Semiconductores de óxido metálico	Ozono (O ₃)	Tiempo de respuesta > 5 min. La respuesta del sensor no es lineal. Humedad relativa. Temperatura. Estabilidad a largo plazo (deriva) Variación de la línea de base después de reiniciar.	
		Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Tiempo de respuesta > 5 min. La respuesta del sensor generalmente no es lineal. Humedad relativa. Temperatura. Estabilidad a corto y largo plazo (deriva). Variaciones después de reiniciar.	
		Dióxido de Azufre (SO ₂)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases reductores (H ₂ S).	
		Monóxido de Carbono (CO)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases reductores (CH ₄ , alcoholes, NH ₃ , etc.).	
		Dióxido de Carbono (CO ₂)	Humedad relativa. Temperatura. Sensibilidad cruzada de gases reductores (CO).	
	NDIR	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Humedad relativa (no interfiere en IR, mientras que la humedad puede alterar el haz óptico). Temperatura. Presión.	
	PID	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Humedad relativa. Temperatura. En todos los COV con potencial de ionización más bajo que la lámpara (10,6eV) se detectan fugas (benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, ésteres, alcoholes, cetonas, etc.).	
	Sensores de partículas (PM)	Sensores Ópticos de dispersión de luz	Material Particulado PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀	Humedad relativa (crea una sobreestimación de PM). Entornos adversos (alta humedad y alta temperatura) disminuyen la precisión de los sensores. Estabilidad del flujo del sensor que altera la cantidad de partículas que se muestrean y modifica la distribución de PM. Por ejemplo, flujo bajo (o velocidad) puede evitar que las partículas pesadas entren en el Sensor. Densidad, color, forma e índice de refracción de PM.

Tras observar la Tabla 3 se comprueba, que uno de los factores más problemáticos está relacionado con la humedad relativa (HR), debido a la absorción de agua por parte de las partículas higroscópicas, lo que provoca un aumento de tamaño, especialmente con humedades relativas superiores al 80-85% ([Crilley et al., 2018](#)). Este efecto de la HR ha sido objeto de estudio en los últimos años, y se han propuesto diferentes métodos para su corrección ([Jayaratne et al., 2018](#)), sin embargo, corregir la absorción de agua requiere tener en cuenta la composición de las partículas en tiempo real, lo que representa un gran desafío para la detección de PM.

Se ha observado que la temperatura no produce ningún efecto sustancial en la precisión de los sensores de bajo coste ([Zou et al., 2021](#)), pero otros estudios demuestran que mejora muy levemente la precisión de las medidas, si se tiene en cuenta en la ecuación de calibración la variable de temperatura ([Barkjohn et al., 2021](#)). Algunos LCS llevan incorporados calentadores resistivos, que pudieran alterar dicha flotabilidad inducida térmicamente, pero tampoco se obtienen evidencias de ello.

Sin embargo, los sistemas de sensores de bajo coste reúnen una serie de ventajas: son más baratos estando su precio situado entre 100 y 300 euros, siendo el precio de un equipo automático de atenuación Beta en torno a 30.000 euros.

Los LCS son más pequeños, pesan menos, sobre unos 200 g, en comparación de los equipos automáticos que rondan los 20 kg de peso. Dado su reducido tamaño y peso hacen que sea fácil su transporte y su instalación ya sea en estaciones fijas o móviles.

Estos dispositivos, tienen un menor consumo de energía, pudiéndose utilizar de forma autónoma debido a que suelen incorporar baterías, lo que los hacen interesantes para instalaciones en zonas remotas sin suministro eléctrico.

Debido a su bajo precio y fácil instalación, hace que sea posible incorporar una red de nodos de LCS, pudiéndose alcanzar una alta resolución espacial. Actualmente en Andalucía existen en torno a cien estaciones de control de la Calidad del Aire (tienen un coste total de 1.4 millones de euros anuales), las cuales, requieren de un mantenimiento y un coste de personal especializado, sin embargo, disponen de una alta precisión y exactitud en sus mediciones.

Estos sensores generan mediciones en un intervalo de tiempo breve pudiendo dar medidas cada segundo, lo que hace que tenga una alta resolución temporal, en comparación con el equipo de medida en continuo que aportan datos cada diez minutos.

Estos equipos incluyen una plataforma online, desde la cual, se pueden visualizar y descargar los datos de forma remota, en algunas plataformas se permite el acceso público o privado, como por ejemplo las que utilizan los siguientes dispositivos:

- PurpleAir Map (sensor PurpleAir) <https://www2.purpleair.com>.
- AirCasting Map (sensor AirBeam2) <http://aircasting.habitatmap.org>.
- IQAir (sensor AirVisual Pro) <https://www.iqair.com>.

En la Tabla 4, se observa algunos de los sensores de material particulado en dispositivos comerciales y otros nuevos que aún no lo incorpora ningún dispositivo.

Las posibles aplicaciones de los sistemas de sensores permiten mejorar los actuales sistemas de vigilancia, crear nuevas aplicaciones atmosféricas, ofrecer servicios innovadores y apoyar potencialmente la inclusión de nuevos usuarios en la vigilancia atmosférica. Los sistemas de sensores han sido aplicados con éxito por los proyectos de ciencia ciudadana, proporcionando un mayor sentido de pertenencia a las cuestiones relacionadas con la calidad del aire local o el cambio climático ([Peltier, 2021](#)).

Actualmente existen diversas instituciones y organismos que trabajan con sensores de bajo coste realizando evaluaciones y regulaciones sobre la calidad del aire. Entre las más reconocidas se encuentran, el Centro Común de Investigación más conocido por JRC en Bruselas, el EuNetAir en Portugal, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), el Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur ([AQ-SPEC, 2016](#)) en los Ángeles, USA. Además, estas organizaciones incentivan su uso realizando concursos internacionales de sensores de calidad del aire, como es el concurso de microsensores 2021 organizado por AirLab en Francia ([AirLAB, 2021](#)).

Tabla 4. Sensores de material particulado en dispositivos comerciales y otros nuevos que aún no lo incorpora ningún dispositivo.

Dispositivo	Sensor de PM					Conectividad	Alimentación / Autonomía	Pantalla integrada	Precio
	Modelo	Fabricante	Precisión (PM2.5: 0 ~100 µg/m³)	Tamaño de partícula Detectadas (µm)	Tiempo medio de uso (años)				
AirVisual Pro	PM2010	Cubic	±15 µg/m³	0.3 µm	2.5	WiFi 2.4GHz	- 4 horas (batería) - Cable	Sí	290 €
PurpleAir PA-II	PMS5003 (2 uds)	Plantower	±10 µg/m³	0.3 µm	3	WiFi 2.4GHz	Cable	No	260 €
Clarity Node-S	PMS6003 (doble láser)	Plantower	±10 µg/m³	0.3 µm	3	4G	- Panel solar (batería) - Cable	No	500 €
Kunak AIR Pro	OPC-N3	Alphasense	±18 µg/m³	0.35 µm	2	- 4G - Ethernet	- Panel solar (batería) - Cable	No	-
AirBeam2	PMS7003	Plantower	±10 µg/m³	0.3 µm	3	Bluetooth	- 10 horas (batería) - Cable	No	260 €
AirBeam3	PMS7003	Plantower	±10 µg/m³	0.3 µm	3	Bluetooth 4G	- 17 horas (batería) - Cable	No	260 €
-	PM3006S	Cubic	±15 µg/m³	~ 0 µm	5	-	-	-	70 €
-	PM2012-B	Cubic	±10 µg/m³	0.3 µm	12.5	-	-	-	40 €
-	HPM Series	Honeywell	±15 µg/m³	~ 0 µm	10	-	-	-	40 €

1.2. Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio sobre la gestión de la calidad del aire en las instalaciones de la mina de Riotinto, estudiando la variabilidad espacial y temporal de los niveles atmosféricos adecuándose a las medidas indicativas detalladas en la Directiva Europea ([Parlamento Europeo, 2008](#)). El periodo de estudio abarca entre julio de 2018 y octubre de 2020.

Para ello, se utilizó un sensor LCS AirBeam2 (EEUU, Ref: 0018961070C7) y se calibró mediante una intercomparación con las medidas de referencia (equipo de atenuación beta y captador de alto volumen). Con esta nueva calibración, se ha adaptado este dispositivo a nuestro entorno, y así es posible utilizarlo en el recinto minero con mayor precisión, con el fin de poder elaborar mapas de niveles de PM2.5 y PM10, que nos indiquen las zonas con mayor concentración de material particulado. Estos mapas permiten jerarquizar el riesgo y advertir a la compañía minera de las zonas donde se produce una mayor suspensión de polvo, con el fin de que ésta tome medidas de abatimiento de partículas atmosféricas, como el riego. Todo ello convierte el sensor LCS en una herramienta muy innovadora y clave para controlar y gestionar la contaminación atmosférica en mina.

Por último, se ofrecen una serie de mejoras en la programación del AirBeam2 para facilitar su uso y mejorar el rendimiento del mismo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este apartado se define el funcionamiento de los sensores móviles de bajo coste, junto con las técnicas usadas para su calibración a través de la gravimetría, que se aplicara para su posterior intercomparación con los equipos automáticos y de alto volumen.

2.1. Estaciones móviles.

La idea de utilizar estaciones móviles en el contexto de la vigilancia de la calidad del aire ha cobrado impulso en la última década, con sistemas de detección que utilizan vectores de movilidad que incluyen a ciudadanos a pie ([Mead et al., 2013](#)), bicicletas, vehículos de transporte público ([Aberer et al., 2010](#); [Castell et al., 2015](#); [Qin et al., 2020](#)), y vehículos aéreos no tripulados (UAV).

En este trabajo, las estaciones que permiten conocer la calidad del aire están instaladas en un vehículo de transporte de uso habitual en el recinto minero (Figura 4). Estas estaciones cuentan con equipamiento para estudiar inmisiones de material particulado grueso (PM10) y fino (PM2.5) y (PM1), además de variables meteorológicas que ayudan al análisis de esos datos como son la temperatura o la humedad.



Figura 4. Pick up en el recinto minero de Riotinto con el AirBeam2 en la ventanilla trasera.

En la Figura 5, se observa la ruta diaria de inspección que realiza el vehículo dentro del ámbito de actuación del Proyecto Riotinto y los diferentes puntos habituales de control establecidos.

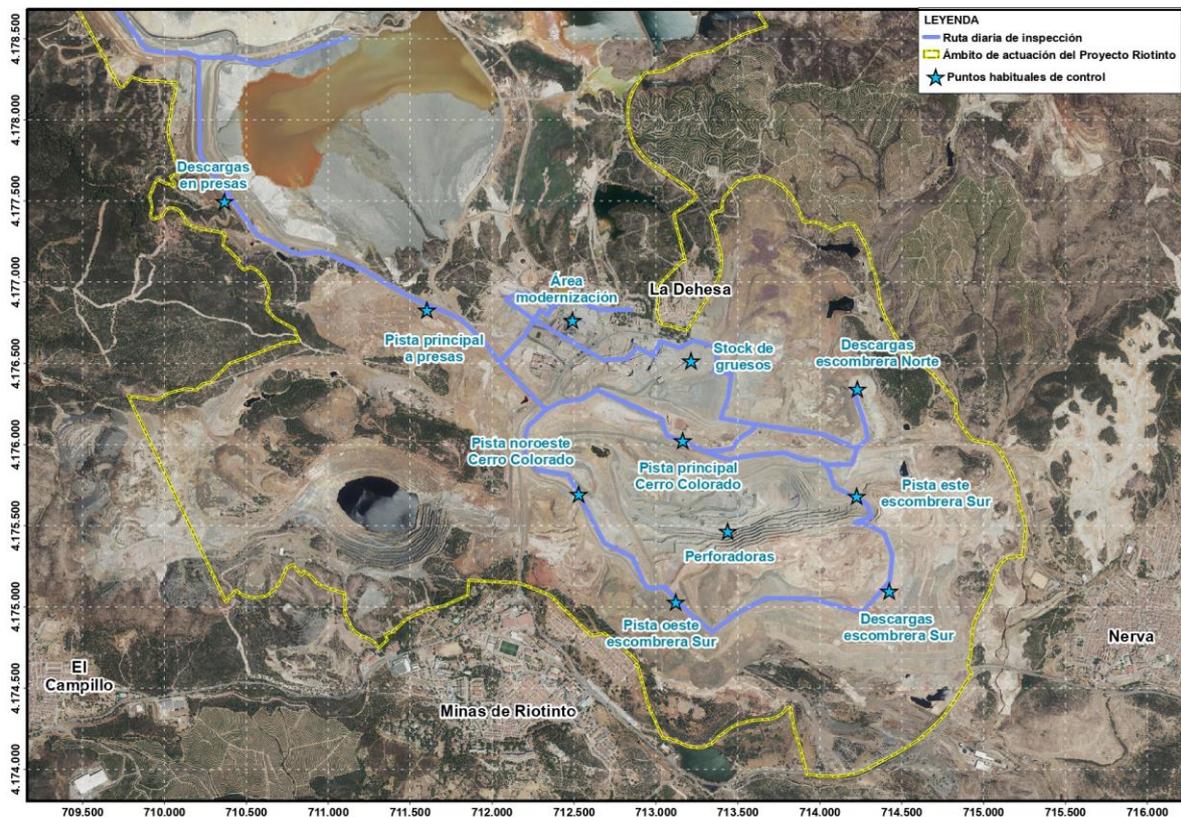


Figura 5. Recorrido del LCS dentro de mina. Fuente: [Atalaya Riotinto Minera, S.L.U.](#)

Uno de los puntos más destacados de las estaciones móviles es que incorporan un sistema de procesamiento de datos, que permite a los usuarios conectarse de forma remota a las estaciones, a través de una interfaz web desde cualquier ordenador conectado a internet, para visualizar los datos en tiempo real, descargar datos históricos geo-referenciados, realizar gráficos e informes y eventualmente calibrar reprogramando el AirBeam2. Esto se detallará más adelante.

2.2. Sensores Low-Cost: AirBeam2.

El AirBeam2 es un dispositivo diseñado por el estadounidense Michael Heimbinder, fundador de HabitatMap, una empresa dedicada a la tecnología ambiental sin fines de lucro que crea soluciones de visualización de datos y monitoreo ambiental ([Habitatmap, 2021](#)).

El dispositivo AirBeam2 es de código abierto y programable en Arduino, lo que permite mejorar o modificar cualquiera de las sentencias programadas de los diferentes sensores, entre ellos mide partículas finas (PM1, PM2.5 y PM10), temperatura y humedad relativa.

Tiene dos modos de funcionamiento. Si se utiliza el modo móvil, el AirBeam2 se puede usar para monitorear exposiciones y controlar los niveles de contaminación mientras estamos en movimiento. Por otro lado, en el modo fijo, se puede instalar tanto en interiores como en exteriores (es resistente a la intemperie, pero no es acuático).

Al iniciar una sesión móvil, estas medidas se comunican una vez cada segundo a la aplicación AirCasting de Android a través de Bluetooth (Figura 6). Al iniciarse una sesión fija, estas medidas se comunican una vez cada minuto (dando la media de los valores recogidos en los sesenta segundos) a la página web a través de WiFi o de datos móviles. Al final de cada sesión de muestreo, los datos recopilados se envían a la web de AirCasting, donde se combinan con datos de otros sensores para generar mapas de calor que indican las zonas de concentraciones de PM. En el anexo 1, se describen los diferentes componentes del AirBeam2.

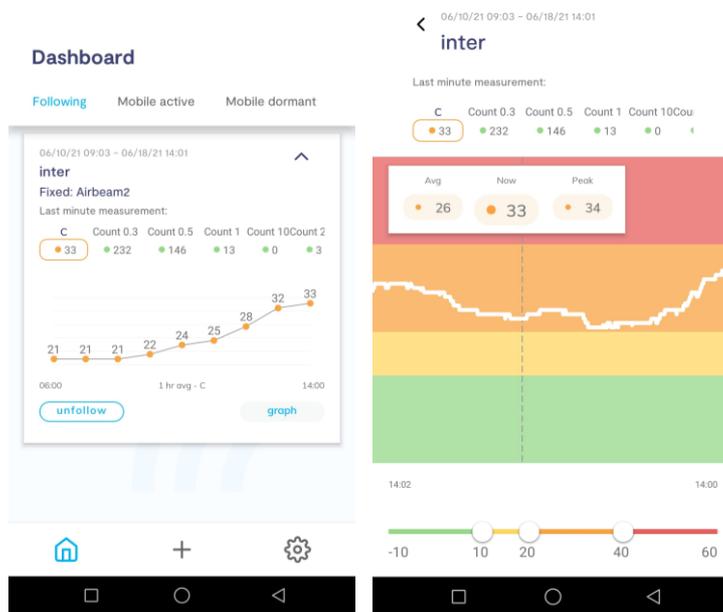


Figura 6. App de AirCasting.

2.3. Análisis de niveles.

En este apartado, se describe los pasos para determinar la gravimetría de PM2.5 y PM10 para su posterior comparación con los equipos automáticos.

2.3.1. Gravimetría.

En los captadores de alto volumen se encuentran los filtros de fibra de cuarzo, en los cuales se retiene el material particulado en cada muestreo de 24 o 12h. Antes de su uso, se realiza un pretratamiento a estos filtros que consiste en introducirlos en una estufa a 205°C durante mínimo 4h para deshacernos de las especies orgánicas semivolátiles que puedan estar presentes en estos filtros. Una vez acabado este proceso, se deseca a temperatura ambiente con una humedad del 25%.

Realizado este tratamiento, se procede a pesar los filtros no antes de las 24h del proceso anterior. Este proceso está regulado mediante la norma ([AENOR, 2015](#)) "Determinación de la fracción PM10 y PM2.5 de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia". Una vez acabado este tratamiento los filtros se encuentran listos para su muestreo.

Tras el muestreo, los filtros se vuelven a desecar manteniendo una temperatura de $20\pm 1^\circ\text{C}$ y con una humedad relativa de $50\pm 5\%$. Después se vuelve a proceder a su pesaje, siendo pesado tres veces con una separación de 24h (Figura 7). Una vez acabado este proceso, se determina la concentración de material particulado por la diferencia de peso entre el filtro tratado y un filtro blanco.



Figura 7. Se muestra la sala de balanzas donde se realiza el acondicionamiento y el pesado de los filtros.

2.3.2. Intercomparación de equipo automático y gravimétricos.

En este trabajo se presenta la intercomparación de los equipos automáticos con los equipos gravimétricos de referencia para comparar las medidas de PM10 y PM2.5, con objeto de calibrar el LCS, teniéndose en cuenta el informe del grupo de trabajo sobre partículas. ([Commission's, 2002](#)) y la guía de instrucciones y herramienta de

macroanálisis: evaluación de sensores de aire de bajo costo mediante la colocación con monitores de referencia federales ([EPA, 2021a](#)) para este proceso.

Los equipos de referencia que se van a utilizar en la intercomparación, se encuentran en la estación del Campus El Carmen, situado en Huelva capital, catalogada como una estación de tipo “urbano industrial”. Su latitud es 37° 16’ 17,4” N y su longitud es 5° 55’ 29,1” W. (Figura 8).



Figura 8. Estación Campus El Carmen.

Para la intercomparación se ha tenido en cuenta:

- **Periodo:** periodo a considerar.
- **N:** Número de datos a utilizar.
- **Automático.**
 - **PM10:** La concentración media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo automático para el periodo considerado de análisis.
 - **PM2.5:** La concentración media de PM2.5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo automático para el periodo considerado de análisis.
 - **NS:** Es el número de días con promedios diarios, obtenidos con el equipo automático, superiores al límite diario establecido por la Directiva ([Parlamento Europeo, 2008](#)) ($\text{PM}_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ($\text{PM}_{2.5} > 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en nuestro caso sírvase como un indicador para la salud laboral de los trabajadores y no como un medio sancionador.
- **Gravimétrico.**
 - **PM10:** La concentración media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo gravimétrico de referencia para el periodo considerado de análisis.

- **PM2.5:** La concentración media de PM2.5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo gravimétrico de referencia para el periodo considerado de análisis.
- **NS:** Es el número de días con promedios diarios, obtenidos con el equipo gravimétrico de referencia, superiores al límite diario establecido por la Directiva ([Parlamento Europeo, 2008](#)) ($\text{PM}_{10}>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ($\text{PM}_{2.5}>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en nuestro caso sírvase como un indicador para la salud laboral de los trabajadores y no como un medio sancionador.
- **Ecuación de regresión:** Es elaborada a partir de las medidas del equipo automático y del equipo gravimétrico de referencia ($y = a \cdot x + b$; donde **y** son los valores obtenidos con el equipo automático y **x** los obtenidos con el equipo gravimétrico de referencia), y el coeficiente de correlación (R^2).
- **Ecuación de regresión en el origen:** Es elaborada a partir de las medidas del equipo automático y el equipo gravimétrico de referencia ($y = a \cdot x$; donde **y** son los valores obtenidos con el equipo automático y **x** los obtenidos con el equipo gravimétrico de referencia), y el coeficiente de correlación (R^2).
- **Factor:** El factor de correlación se obtiene a partir de la ratio entre los valores medios de concentración obtenidos con el equipo de referencia y el automático.
- **Automático corregido:** Las medidas del equipo LCS se han corregido multiplicando por el factor obtenido a partir de la ratio de las medias obtenidas con ambos equipos para el mismo periodo y número de datos analizados.
 - **PM10:** La concentración media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo automático, para el periodo considerado de análisis, aplicando el factor de corrección.
 - **PM2.5:** La concentración media de PM2.5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el equipo automático, para el periodo considerado de análisis, aplicando el factor de corrección.
 - **NS:** Es el número de días con promedios diarios, obtenidos con el equipo automático, superiores al límite diario establecido por la Directiva ([Parlamento Europeo, 2008](#)) ($\text{PM}_{10}>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ($\text{PM}_{2.5}>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aplicando el factor de corrección. En nuestro caso sírvase como un indicador para la salud laboral de los trabajadores y no como un medio sancionador.

En el apartado de resultados y discusión se presentan los resultados y las gráficas de correlación logradas en cada una de las intercomparaciones con los diferentes equipos.

2.3.3. Meteorología.

Los parámetros meteorológicos han sido estudiados a partir de la plataforma METEOBLUE (<https://www.meteoblue.com/>), incluyendo la serie desde el año 1984

hasta hoy a través del paquete de pago *history+*. La estación seleccionada es Nerva (37,696° N 6,550° W, 336 m asl), la más próxima a la mina. Los datos incluidos en el modelo METEOBLUE son temperatura, viento, nubes, precipitación, radiación, altitud geopotencial y valores de agricultura. Estos datos son de pago y se obtienen a través de distintos modelos (NEMSGLOBAL, ERA5, NEMS12 y NEMS4, ICON, entre otros) con una resolución de 30 km (entre 1984-2007) y 4 km desde el año 2008 hasta hoy ([Müller, 2021](#)) (Figura 9).



Figura 9. Parámetros meteorológicos de la plataforma METEOBLUE.

2.3.4. Análisis de datos.

Tras obtener los datos y realizar la intercomparación, se necesita realizar un tratamiento estadístico mediante software Excel, con capacidad para gran cantidad de datos ([Microsoft Office, 2021](#)).

Primero se realiza un estudio con estadísticos discretos de los datos obtenidos, con el objetivo de conocer la capacidad de los equipos automáticos, en este caso del AirBeam2, con respecto a los equipos de referencia. Para ello se han empleado los siguientes parámetros estadísticos:

- Desviación promedio (MB), unidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Ecuación 1).

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{1}^N (\text{Modelo} - \text{Observado})$$

Ecuación 1. MB.

- Desviación normalizada media (NMB), unidades en %. (Ecuación 2).

$$NMB = \frac{\sum_1^N (Modelo - Observado)}{\sum_1^N (Observado)} \times 100\%$$

Ecuación 2. NMB.

- Error cuadrático medio (RMSE), unidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Ecuación 3).

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_1^N (Modelo - Observado)^2 \right)^{0.5}$$

Ecuación 3. RMSE.

- Error normalizado medio (NME), unidades en %. (Ecuación 4).

$$NME = \frac{\sum_1^N |Modelo - Observado|}{\sum_1^N (Observado)} \times 100\%$$

Ecuación 4. NME.

- Error cuadrático medio normalizado (NRMSE), unidades en %. (Ecuación 5).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Observado} \times 100\%$$

Ecuación 5. NRMSE.

En nuestro caso, estos parámetros corresponden con:

Modelo: AirBeam2.

Observado: Equipo de Referencia.

Por otro lado, el tratamiento de datos se ha realizado con el paquete **OpenAir** ([Carslaw, 2021](#)) ([Carslaw y Ropkins, 2012](#)) de **R-project**. Consiste en un conjunto de scripts que permiten realizar gráficos para el estudio de series temporales en calidad del aire, y en otras áreas de las ciencias atmosféricas. Entre los gráficos más relevantes se destacan calendarios de concentración, velocidad y dirección del viento,

diagramas polares mensuales y horarios y diagramas de variación diarios, semanales y mensuales (Figura 10). Los diagramas polares son de especial interés ya que ayudan a conocer el origen de los focos emisores, además de estimaciones de tendencias cuantitativas. En comparación con los programas de hojas de cálculo, se destaca su rapidez y versatilidad.

Las secuencias de comandos utilizados en este trabajo para ver gráficamente las tendencias y las concentraciones son:

- `timeVariation(Global_OpenAir, pollutant="PM10").`
- `pollutionRose(Global_OpenAir, pollutant="PM10").`
- `smoothTrend(Global_OpenAir, pollutant="PM10").`
- `trendLevel(Global_OpenAir, pollutant="PM10").`
- `scatterPlot(Global_OpenAir, pollutant="PM10").`
- `calendarPlot(Global_OpenAir, pollutant = "PM10", annotate = "ws").`

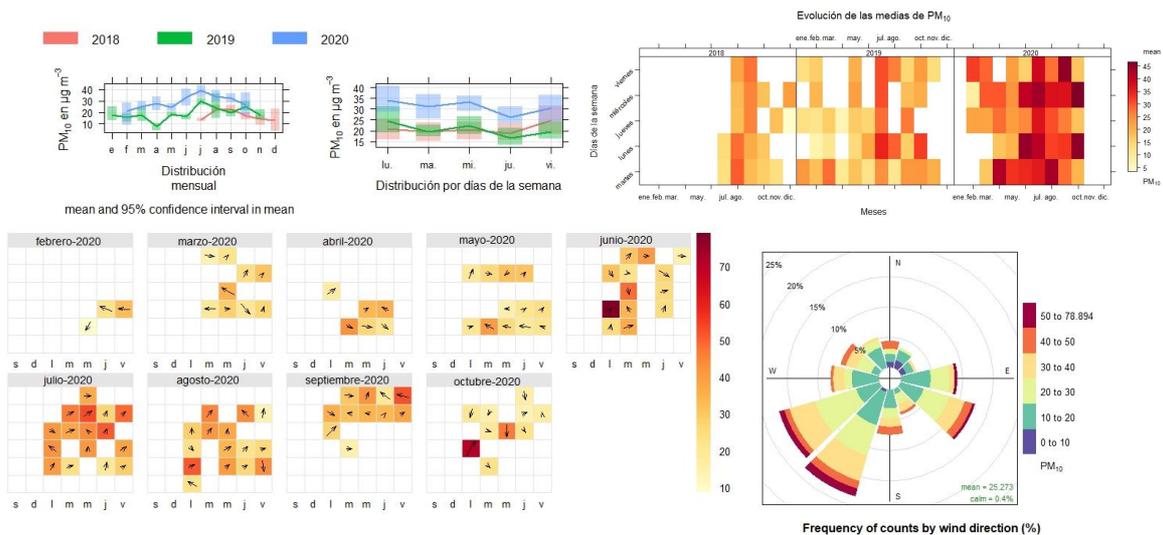


Figura 10. Ejemplo de diagramas OpenAir ([Carslaw, 2021](#)) y METEOBLUE ([Müller, 2021](#)).

Además, se ha usado la siguiente secuencia de comando para ver numéricamente la estadística:

- `modStats (BetaDiario, mod= "AIRBEAM PM10", obs= "PM10 CAMPUS").`

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Intercomparación de equipos automáticos y equipos de referencia.

En este apartado se comprueba el comportamiento del LCS AirBeam2 con respecto a los equipos de referencia, con el objetivo de calibrar nuestro sensor, con los datos recogidos desde el diez de junio de 2021 hasta el cuatro de agosto de 2021, siendo un total de 64 días situado el AirBeam2 en la estación del Campus El Carmen para su calibración (Figura 12).

A continuación, se exponen los resultados de la intercomparación de los niveles diarios y horarios procedentes de los equipos de referencia de la Junta de Andalucía situados en la estación con respecto al LCS AirBeam2 (Figura 11). Todo el procedimiento se ha realiza según se comentó en el apartado anterior.



Figura 11. Equipos de la estación.



Figura 12. Estación completa.

Las intercomparaciones realizadas son las siguientes:

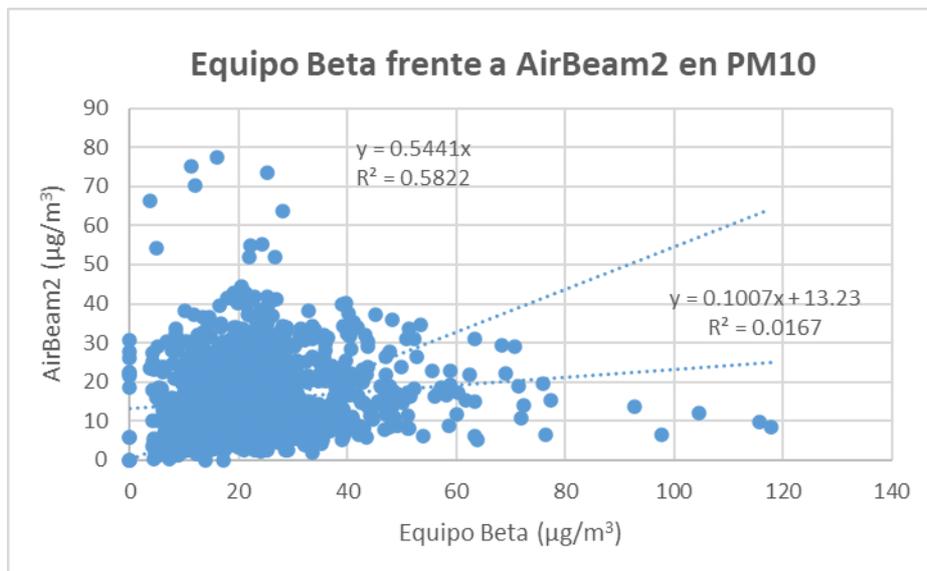
Equipo de atenuación Beta frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de una hora.

1. Equipo automático (A): Equipo AirBeam2.
2. Equipo Junta de Andalucía (G): Equipo de atenuación Beta (monitor continuo de partículas, reconocido como equipo de referencia) modelo 5014i y fabricante Thermo Scientific.
3. Periodo: 10 de junio al 04 de agosto de 2021.
4. Resultados de la intercomparación (Tabla 5 y Gráfico 1 y 2).

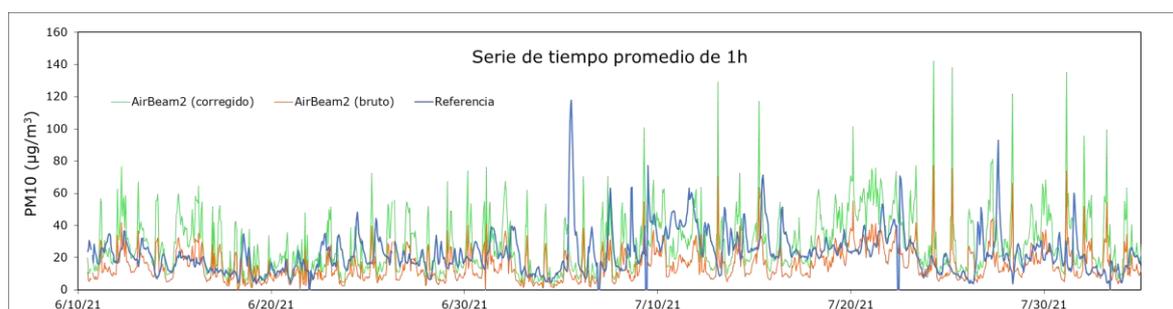
Tabla 5. Factor de corrección del equipo de Atenuación Beta frente a AirBeam2 con medias de una hora.

N	(A)	(G)	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido	
	PM10 NS	PM10 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10	NS
1315	15 11	22 43	$y =0.1x + 13.23$ $R^2 = 0.017$	$y = 0.544x$ $R^2 = 0.582$	1.84	28	174

Gráfica 1. Equipo de Atenuación Beta frente a AirBeam2 con medias de una hora.



Gráfica 2. Serie de tiempo promedio de 1h.



Para demostrar la importancia y el desempeño de los datos brutos y calibrados, se realizan unas métricas estadísticas específicas, que demuestran si mejora el rendimiento tras el estudio realizado en este periodo superior a los sesenta días como recomienda la EPA ([EPA, 2021b](#)) y el Grupo de trabajo de la Comisión Europea ([EC Working Group, 2010](#)).

En el apartado anterior, se habla de las ecuaciones estadísticas, de las cuales se tiene en la Tabla 6, con los datos en bruto y con la estadística aplicada a los valores corregidos.

Tabla 6. Análisis estadístico en bruto y corregido.

N	BETA (µg/m³)	AirBeam2 bruto (µg/m³)	MB (µg/m³)	NMB (%)	RMSE (µg/m³)	NME (%)
1315	22.464	15.492	-6.972	-31.037	16.784	54.051
N	BETA (µg/m³)	AirBeam2 corregido (µg/m³)	MB (µg/m³)	NMB (%)	RMSE (µg/m³)	NME (%)
1315	22.464	28.472	6.008	26.747	21.933	67.862

Estos parámetros se han obtenido de las ecuaciones que vimos en el apartado anterior, y han sido comprobadas con el programa informático OpenAir, a través del comando “modStats”, para verificar que los datos obtenidos son fiables y no se ha cometido errores humanos en su cálculo.

El coeficiente de determinación (R^2) indica la proporción de variabilidad en la variable dependiente que se predice a partir de la variable independiente. El r solo describe el grado de correlación lineal. Una limitación importante del uso de R^2 es que un instrumento puede medir bien esta medida (cerca de 1, lo que indica una concordancia perfecta), pero aun así ser muy inexacta. Por ello, complementaremos estos cálculos con otras métricas estadísticas.

El sesgo medio o desviación media (MB), mide la diferencia media entre el AirBeam2 y el equipo de atenuación Beta, cuanto más cercano a cero, mejor sería nuestro modelo. Se observa que, con los valores en bruto, el sistema de medición mide por

debajo del valor real (referencia), y con los valores corregidos ocurre, al contrario, el sesgo medio al ser positivo ($6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nos indica que los valores miden por encima del valor real (Gráfico 2).

El NMB al ser la diferencia media relativa, es ilimitado en el extremo positivo ($+\infty$) pero limitada en el negativo a -100% . Es decir, $-100\% \leq \text{NMB} \leq +\infty$. Cuyo valor 0% , sería lo ideal (misma precisión del equipo de referencia). Siguiendo en concordancia con el MB en bruto, nos sale -31% , también negativo porque en término medio, mide por debajo del valor observado. Y con el valor corregido guarda también la misma armonía que con el MB.

El NME al ser la diferencia media relativa absoluta, tiene el rango de $0\% \leq \text{NME} \leq +\infty$, siendo el valor ideal el 0% en el cual se alcanzaría la misma afinidad que con el equipo de referencia. Por ello, ambos valores nos dan en dicho rango entorno al $50 - 70\%$.

El error cuadrático medio (RMSE) mide cómo de bien coinciden los datos reales con los predichos por el equipo de referencia, por ello cuanto más pequeño sea mejor, lo ideal sería que fuera cero ya que esto significaría que el AirBeam2 mide igual que el equipo de referencia. Cabe señalar que a este parámetro le penalizan las grandes desviaciones, es decir, los valores atípicos hacen que incrementen el error. El RMSE en ambos casos da positivo porque al ser el cuadrado de la diferencia si es negativo siempre será un valor positivo. El error en bruto es del $16.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y tras la corrección pasa a ser $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el error se incrementa.

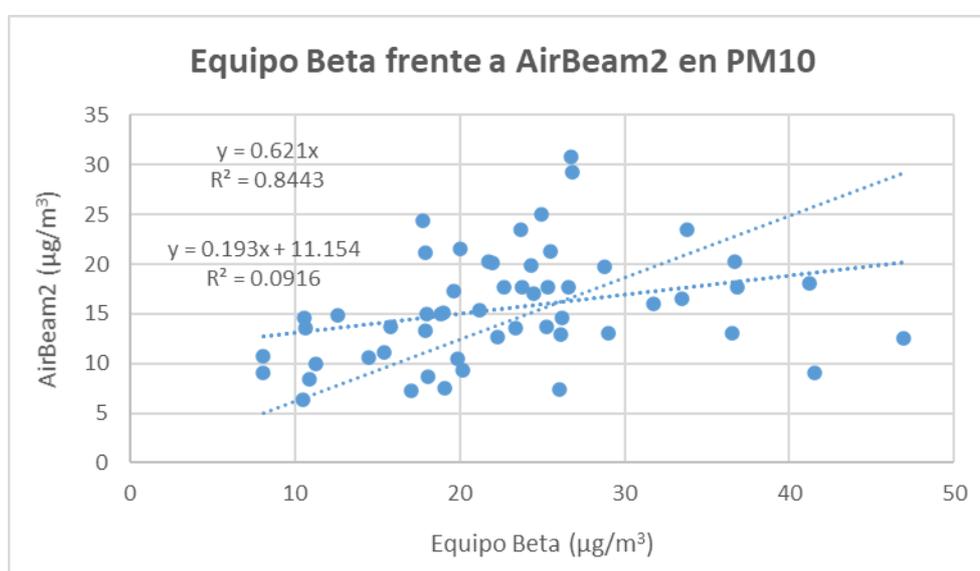
Equipo de atenuación Beta frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

1. Equipo automático (A): Equipo AirBeam2.
2. Equipo Junta de Andalucía (G): Equipo de atenuación Beta (monitor continuo de partículas, reconocido como equipo de referencia) modelo 5014i y fabricante Thermo Scientific.
3. Periodo: 10 de junio al 04 de agosto de 2021.
4. Resultados de la intercomparación (Tabla 7 y Gráfico 3 y 4).

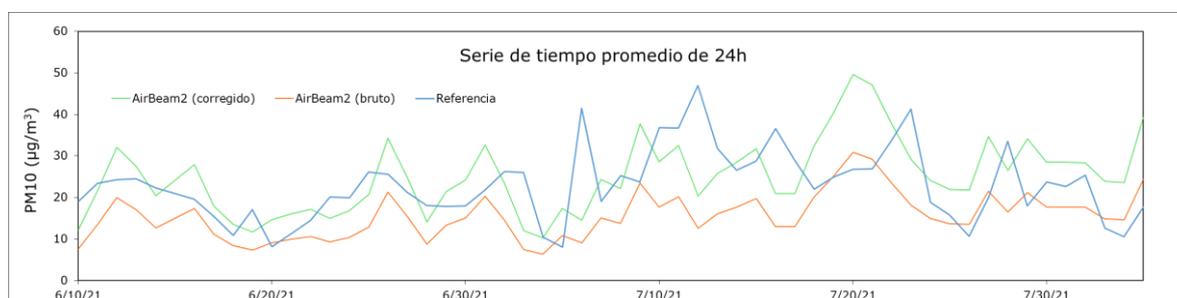
Tabla 7. Factor de corrección del equipo de atenuación Beta frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

N	(A)	(G)	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido	
	PM10 NS	PM10 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10	NS
55	16 0	23 0	$y = 0.193x + 11.154$ $R^2 = 0.092$	$y = 0.621x$ $R^2 = 0.844$	1.61	25	0

Gráfica 3. Equipo de atenuación Beta frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.



Gráfica 4. Serie de tiempo promedio de 24h.



En la Tabla 8, se observa la estadística aplicada a los datos en bruto y a los valores corregidos.

Tabla 8. Análisis estadístico en bruto y corregido.

N	BETA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AirBeam2 bruto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
55	22.857	15.566	-7.291	-31.898	11.310	36.824
N	BETA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AirBeam2 corregido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
55	22.857	25.066	2.209	9.665	10.482	36.504

De las 55 observaciones analizadas resumidas en la Tabla 8, se destaca que su comportamiento es mejor con las medias de veinticuatro horas debido a que todas las métricas estadísticas aplicadas son más cercanas a cero tras la corrección. Pasando el NMB de 26.75% a 9.67% de error, y en el resto de parámetros ocurre lo mismo, se ha disminuido más del doble el error.

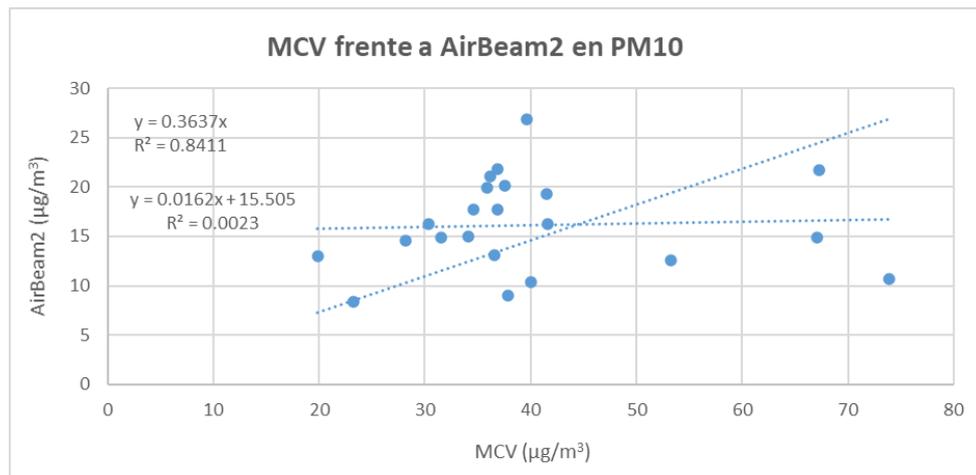
Equipo captador de alto volumen (MCV) frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

1. Equipo automático (A): Equipo AirBeam2.
2. Equipo gravimétrico (G): Equipo captador de alto volumen (MCV) (equipo de referencia empleándose filtros para la medida de niveles gravimétricos).
3. Periodo: 10 de junio al 04 de agosto de 2021.
4. Resultados de la intercomparación (Tabla 9 y Gráfico 5 y 6).

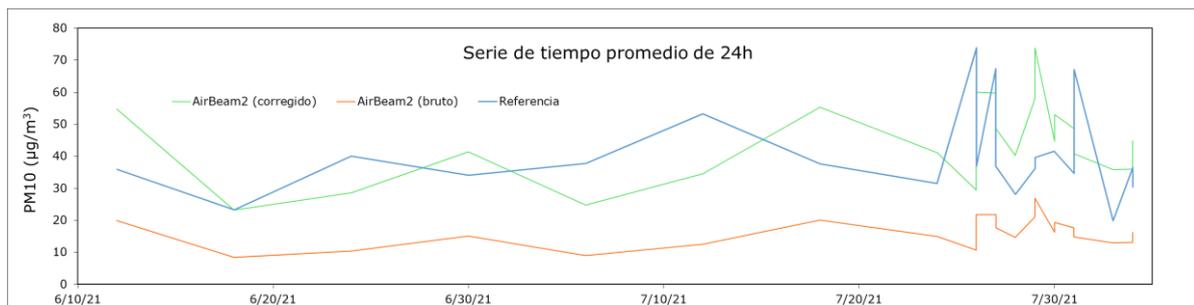
Tabla 9. Factor de corrección del MCV frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

N	(A)	(G)	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido	
	PM10 NS	PM10 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10	NS
22	16 0	40 4	$y =0.016x + 15.505$ $R^2 = 0.0023$	$y = 0.364x$ $R^2 = 0.841$	2.75	44	7

Gráfica 5. MCV frente a AirBeam2 midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.



Gráfica 6. Serie de tiempo promedio de 24h.



Del día 26 de julio al 4 de agosto de 2021, se usaron filtros de doce horas, por ello se observa en la Gráfica 6 una variación, dado que tiene el doble de valores.

En la Tabla 10, se observa la estadística aplicada a los datos en bruto y a los valores corregidos.

Tabla 10. Análisis estadístico en bruto y corregido.

N	MCV (µg/m³)	AirBeam2 bruto (µg/m³)	MB (µg/m³)	NMB (%)	RMSE (µg/m³)	NME (%)
22	40.171	16.158	-24.014	-59.778	27.762	59.778
N	MCV (µg/m³)	AirBeam2 corregido (µg/m³)	MB (µg/m³)	NMB (%)	RMSE (µg/m³)	NME (%)
22	40.171	44.425	4.254	10.591	18.405	38.175

En esta ocasión se han analizado 22 observaciones detalladas en la Tabla 10, de las que se destaca en las métricas una mejora de los valores corregidos como el RMSE que pasa del 27.76 al 18.40 µg/m3, ya que es más próximo a cero.

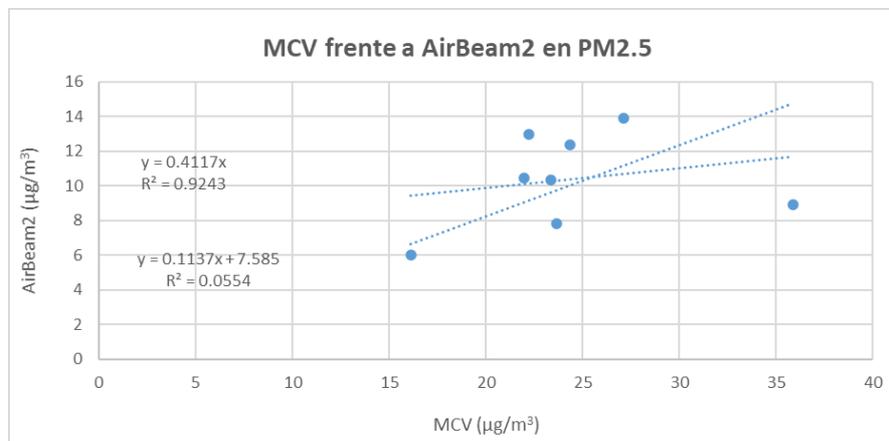
Equipo captador de alto volumen (MCV) frente a AirBeam2 midiendo PM2.5 con medias de veinticuatro horas.

1. Equipo automático (A): Equipo AirBeam2.
2. Equipo gravimétrico (G): Equipo captador de alto volumen (MCV) (equipo de referencia empleándose filtros para la medida de niveles gravimétricos).
3. Periodo: 10 de junio al 04 de agosto de 2021.
4. Resultados de la intercomparación (Tabla 11 y Gráfico 7 y 8).

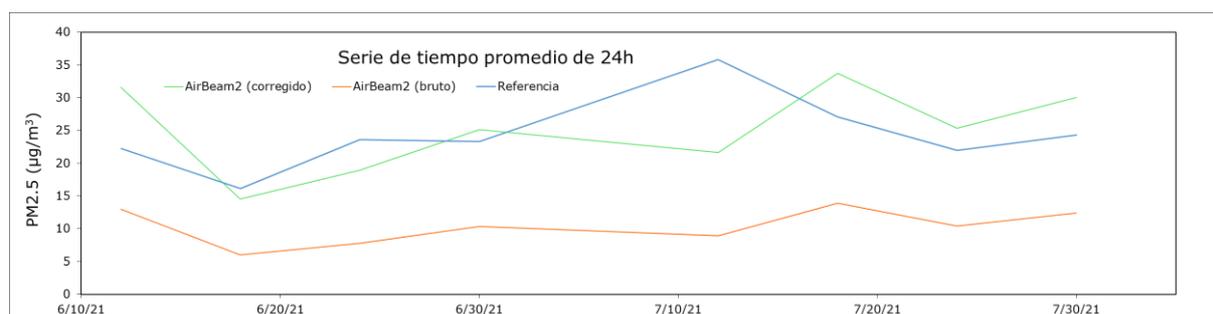
Tabla 11. Factor de corrección del MCV frente a AirBeam2 midiendo PM2.5 con medias de veinticuatro horas.

N	(A)	(G)	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido	
	PM2.5 NS	PM2.5 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM2.5	NS
8	10 0	24 2	$y =0.114x + 7.585$ $R^2 = 0.055$	$y = 0.412x$ $R^2 = 0.924$	2.429	25	5

Gráfica 7. Equipo captador de alto volumen (MCV) frente a AirBeam2 midiendo PM2.5 con medias de veinticuatro horas.



Gráfica 8. Serie de tiempo promedio de 24h.



En la Tabla 12, se observa la estadística aplicada a los datos en bruto y a los valores corregidos.

Tabla 12. Análisis estadístico en bruto y corregido.

N	MCV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AirBeam2 bruto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
8	24.324	10.351	-13.974	-57.447	14.928	57.447
N	MCV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AirBeam2 corregido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
8	24.324	25.141	0.817	3.358	7.119	24.346

De las 8 observaciones analizadas resumidas en la Tabla 12, se destaca que el MB se acerca a cero (el valor ideal), pasando de -13.97 a $0.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Y en el resto de parámetros ocurre lo mismo, se ha disminuido más del doble el error. Lo que implica una buena calibración del equipo y una alta fiabilidad respecto a los valores que otorgan los equipos de referencia.

Las organizaciones de Europa ([EU Working Group, 2018](#)), Reino Unido ([Breathe London, 2019](#)) y de Estados Unidos ([EPA, 2021a](#)) han establecido como recomendación, unos objetivos de rendimiento de datos de la calidad del aire de los LCS en relación a las concentraciones de PM2.5, quedando referenciadas y comparadas con nuestros valores en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis estadístico en bruto y corregido según las recomendaciones del método USEPA.

	Recomendaciones	AirBeam2 bruto	AirBeam2 corregido
Pendiente (m) de $y = mx + b$	1.0 ± 0.35	0.41	1
Intersección (b) de $y = mx + b$	$-5 \leq b \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0
R^2	≥ 0.70	0.92	0.92
RMSE	$\leq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	14.93	7.12
NRMSE	$\leq 30\%$	61.37	29.27

De la Tabla 13, se observa que los datos corregidos se asemejan a los objetivos establecidos en las recomendaciones del método USEPA. El único dato que sale ligeramente por encima es el RMSE, superándolo por $0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

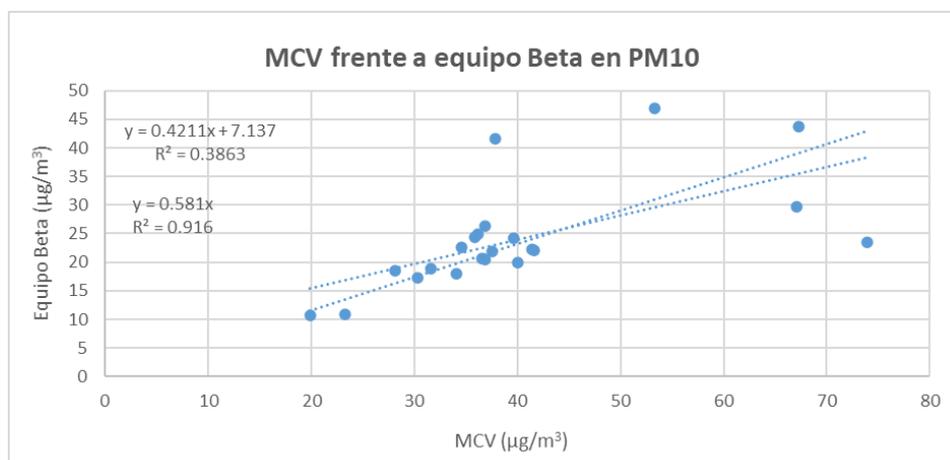
Equipo captador de alto volumen (MCV) frente al equipo de atenuación Beta midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

1. Equipo Junta de Andalucía (A): Equipo de atenuación Beta (monitor continuo de partículas, reconocido como equipo de referencia) modelo 5014i y fabricante Thermo Scientific.
2. Equipo gravimétrico (G): Equipo captador de alto volumen (MCV) (equipo de referencia empleándose filtros para la medida de niveles gravimétricos).
3. Periodo: 10 de junio al 04 de agosto de 2021.
4. Resultados de la intercomparación (Tabla 14 y Gráfico 9 y 10).

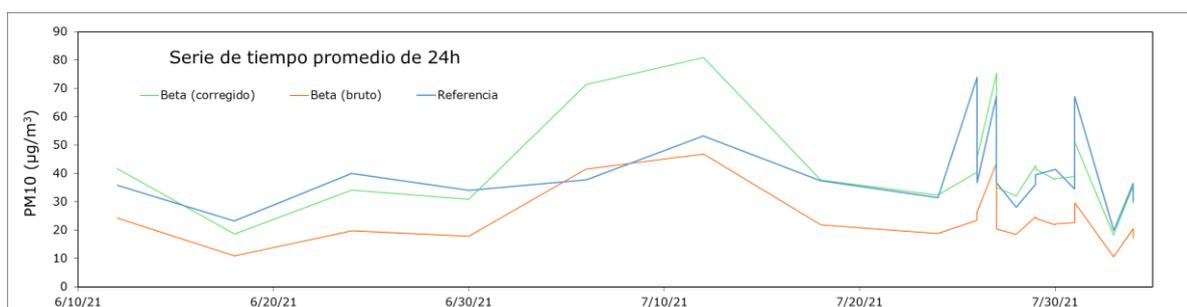
Tabla 14. Factor de corrección del equipo captador de alto volumen (MCV) frente al equipo de atenuación Beta midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.

N	(A)	(G)	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido	
	PM10 NS	PM10 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10	NS
22	24 0	40 4	$y =0.421x + 7.137$ $R^2 = 0.386$	$y = 0.581x$ $R^2 = 0.916$	1.72	41	4

Gráfica 9. Equipo captador de alto volumen (MCV) frente al equipo de atenuación Beta midiendo PM10 con medias de veinticuatro horas.



Gráfica 10. Serie de tiempo promedio de 24h.



Del día 26 de julio al 4 de agosto de 2021, se usaron filtros de doce horas, por ello se observa en la Gráfica 10 una variación, dado que se tiene el doble de valores.

En la Tabla 15, se observa la estadística aplicada a los datos en bruto y a los valores corregidos.

Tabla 15. Análisis estadístico en bruto y corregido.

N	MCV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beta bruto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
22	40.171	24.052	-16.119	-40.127	19.242	40.961
N	MCV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beta corregido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMB (%)	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NME (%)
22	40.171	41.397	1.226	3.052	12.823	19.971

De las 22 observaciones analizadas resumidas en la Tabla 15, se destaca que el MB se acerca a cero (el valor ideal), pasando de -16.12 a 1.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Y en el resto de parámetros ocurre lo mismo, también se observa que el porcentaje de error disminuye como ocurre con el NMB pasando de -40.13 a 3.05%.

Estos resultados obtenidos se pueden ver influenciados por el efecto de la humedad relativa, la temperatura, la deriva y las altas concentraciones de PM.

La humedad relativa puede influenciar las mediciones obtenidas, ya que si el sensor está expuesto a una elevada humedad puede cambiar los índices de refracción de material particulado en el flujo de muestra del sensor y también puede conducir al crecimiento higroscópico de partículas.

La temperatura es importante para entender el comportamiento del sensor, dado que puede provocar desviaciones en la respuesta lineal o cierta sensibilidad. Sobre todo, en temperaturas muy altas como bajas.

La medición de la deriva, que se va a ver en el siguiente apartado, ayuda a entender cómo puede variar con el tiempo. Dando lugar a lecturas erróneas, desviaciones e inexactas. Algo a tener en cuenta en un plan de verificación para su calibrado o recalibración para compensar los cambios del sensor en el tiempo.

Las altas concentraciones pueden causar distorsión en la precisión, incluso llegar a saturar la medición durante un tiempo determinado.

Entender estos efectos ayuda a comprender las condiciones a las que puede estar sometido el sensor y obtener una mayor precisión.

En la Tabla 16, se muestra una comparativa de estudios estadísticos realizados con el sensor AirBeam2, en el que se muestran algunos de las diferentes métricas obtenidas.

Tabla 16. Comparativa de errores de AirBeam2 con otros estudios estadísticos.

Fuente	Sensor	Pendiente	Intersección	R ²
(Badura et al., 2018)	AirBeam2	3.57	-11.82	0.91
(AQ-SPEC, 2016)	AirBeam2	1.35	-7.21	0.84
(Equipo Unal-Palmira, 2019)	AirBeam2	0.56	-8.48	0.44
(Frederick et al., 2020)	AirBeam2	-	-	0.47

Tras las intercomparaciones realizadas, aunque los errores que se observan son altos, estas comparativas sirven para conocer el alcance de las medidas, que al ser puntuales y no superior a una o dos horas de muestreo, sirven para delimitar las zonas con mayor o menor capacidad de dispersión de partículas fugitivas.

3.2. Deriva del AirBeam2.

A pesar de que algunos autores como Anondo Mukherjee afirman que los AirBeam2 tienen una gran precisión y confiabilidad de los datos ([Mukherjee et al., 2017](#)), en este estudio se decide realizar un análisis de la deriva del equipo AirBeam2. Se define *deriva* como un cambio en la respuesta o concentración de un sensor a lo largo del tiempo, pudiendo ser por deterioro del equipo, falta de limpieza, operación inadecuada, temperatura, humedad, entre otras opciones.

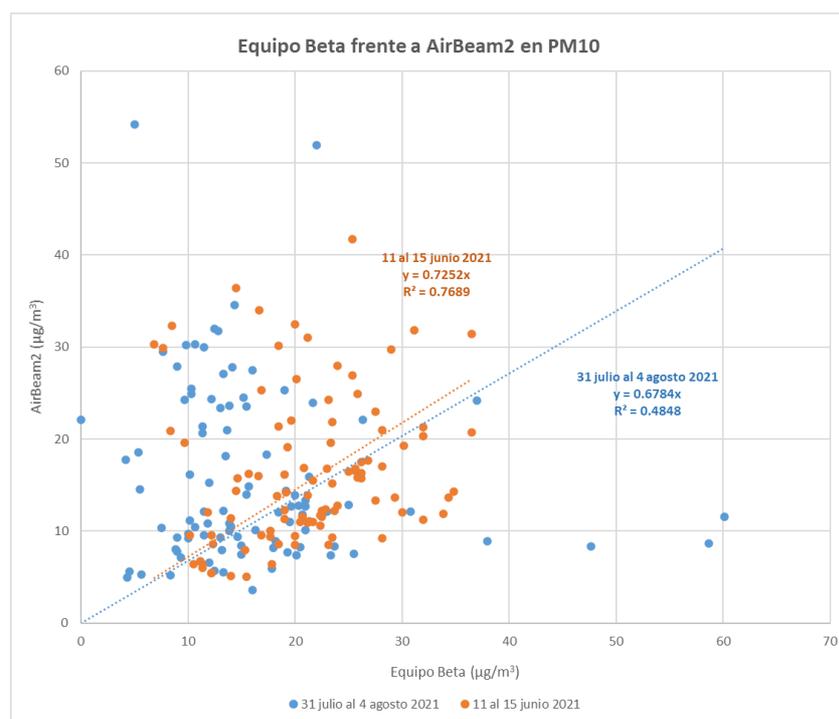
Se ha cuantificado la deriva estudiando el periodo de intercomparación en el Campus El Carmen, con el equipo de atenuación Beta frente a AirBeam2. Dicho análisis se ha realizado con promedios horarios de PM10. Dicha deriva comprende la primera y última semana de la investigación, es decir, se selecciona los días del 11 al 15 de junio de 2021 y los días 31 de julio al 4 de agosto de 2021.

Así, para la primera semana comenzamos el día 11 de junio a las 8.00h y acabamos a las 8.00h del día 15 de junio. Dando un total de 97 datos.

Y de igual modo, para la última semana, empezamos el día 31 de julio a las 8.00h y concluimos a las 8.00h del día 4 de agosto. Dando igualmente un total de 97 datos.

En el estudio de 64 días, tras analizar estos cinco días del comienzo, y los cinco días del final, se tiene evidencias de una deriva gradual entre esta primera semana y la última de funcionamiento, lo que deriva a unas leves mediciones más bajas en el transcurso del estudio. En el siguiente gráfico (Gráfico 11) se muestra la relación entre el AirBeam2 y el equipo de atenuación Beta, que presenta una reducción en la medición de las concentraciones iniciales del 6.5%, reportando el 93.5% de los niveles iniciales hacia el final de la investigación.

Gráfica 11. Correlación y regresión lineal forzada a cero de la primera (naranja) y última (azul) semana de la investigación.



Las posibles causas de esta leve deriva pueden ser debidas a la acumulación de polvo dentro del AirBeam2, que pueda alterar el caudal en el sensor, reduciendo su eficiencia. Este breve análisis podría confirmar la necesidad de estos equipos en mantenimiento, calibración y análisis.

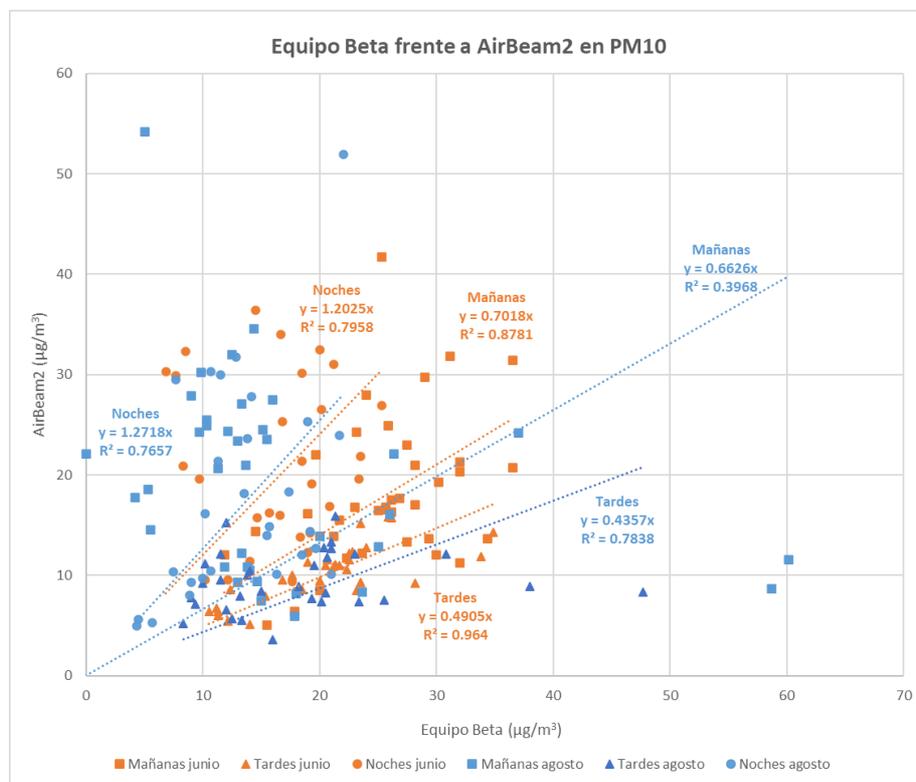
Además, se comprueba la deriva en franjas horarias de mañana (6 a 14h), de tarde (14 a 22h) y de noche (22 a 6h). Para ver la deriva producida en la estación Campus El Carmen de tipo urbano industrial (Gráfico 12).

En la franja horaria de mañana se presenta una reducción en la medición de las concentraciones iniciales del 5.6%, reportando el 94.4% de los niveles iniciales hacia el final de la investigación.

En la franja horaria de tarde se presenta una reducción en la medición de las concentraciones iniciales del 11.2%, reportando el 88.8% de los niveles iniciales hacia el final de la investigación.

En la franja horaria de noche se presenta un aumento en la medición de las concentraciones iniciales del 5.8%, reportando el 94.2% de los niveles iniciales hacia el final de la investigación.

Gráfico 12. Correlación y regresión lineal forzada a cero de la primera (naranja) y última (azul) semana de la investigación, por franjas horarias.



3.3. Mapas de aerosoles atmosféricos mediante medidas móviles.

El AirBeam2 en el modo de funcionamiento móvil, realiza una medición cada segundo, lo que permite crear mapas de concentración de aerosoles atmosféricos que sirven para el estudio del ámbito de actuación del Proyecto Riotinto, en la Figura 13, junto con la figura que se vio en el apartado 2.1 "Estaciones móviles" (Figura 5) se observa el recorrido del LCS dentro de mina y las diferentes zonas en los recorridos. De este

modo, se delimita las zonas y conocer así los puntos de mayor concentración de material particulado para su posterior control (Figura 14).



Figura 13. Mapa de concentración PM10 en el ámbito de actuación del Proyecto Riotinto. AirCasting.

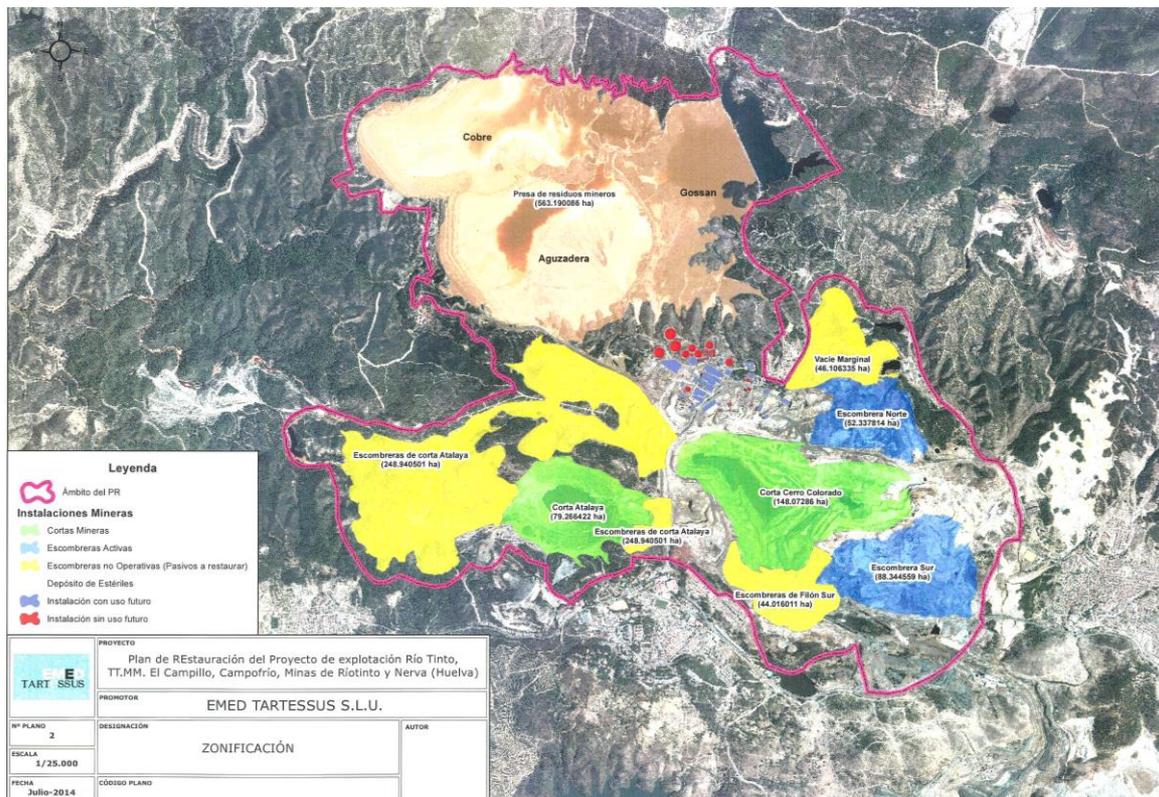


Figura 14. Zonificación en el ámbito de actuación del Proyecto Riotinto. EMD.

El AirBeam2, ha estado tomando datos en el recinto minero, en el periodo comprendido entre el veinticuatro de julio de 2018 hasta el veintisiete de octubre de

2020, es por ello que, se procede a analizar este periodo, en primer lugar, por estaciones (por ejemplo, verano, del 21 de junio al 20 de septiembre), también se analiza los periodos anuales y el periodo total desde el veinticuatro de julio de 2018 al veintisiete de octubre de 2020. En el anexo 2, se muestran los diferentes recorridos realizados en el periodo completo.

Todos los mapas de concentración de aerosoles atmosféricos de la aplicación AirCasting aparecen con los valores en bruto. Sin embargo, el estudio de la evolución del material particulado se va a realizar tanto con valores en bruto, como aplicando la calibración que se calcula en el apartado anterior, teniendo como referencia el equipo captador de alto volumen, con el factor de corrección para PM10 de 2.75 y para PM2.5 de 2.43.

3.3.1. Periodo desde el veinticuatro de julio al treinta y uno de diciembre de 2018.

Verano de 2018.

Se empieza analizando la estación del verano, dado que el primer recorrido que se tiene comienza el veinticuatro de julio de 2018. En la Figura 15, se observa el mapa de concentración de PM10 en promedio para dicha estación, esta media se realiza con los valores en bruto, es decir, sin aplicar la corrección del factor de intercomparación.

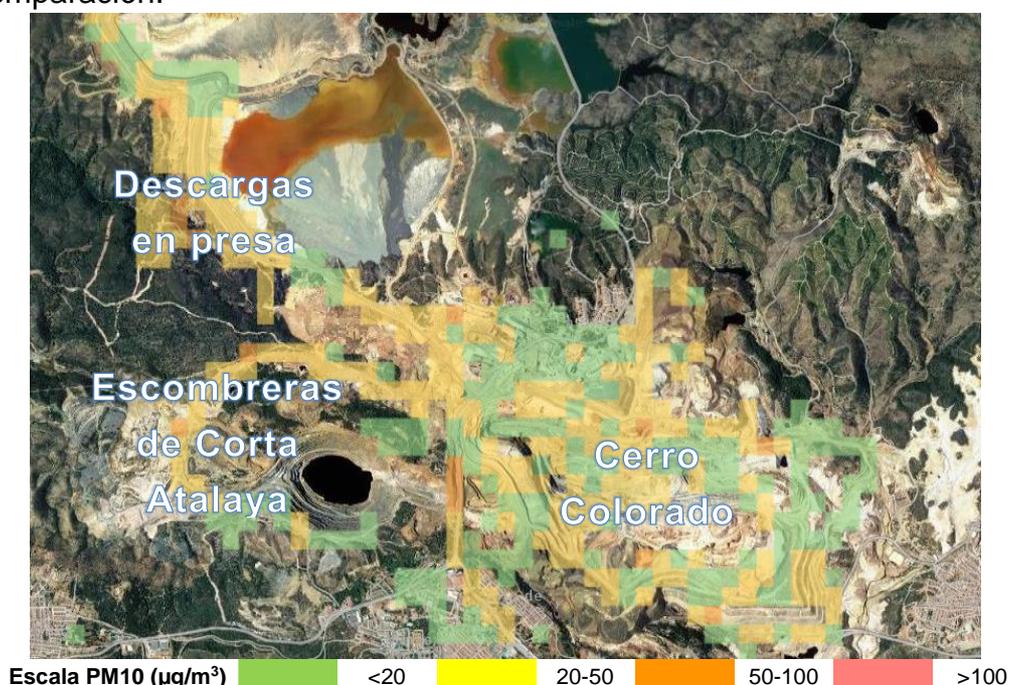


Figura 15. Mapa de concentración de PM10 en la estación de verano de 2018. AirCasting.

Del mapa anterior correspondiente con el verano de 2018, se destaca una mayor concentración de media, en las zonas de descargas de la presa, en el Cerro Colorado, en la pista principal y en las escombreras de Corta Atalaya.

Los datos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 17).

Tabla 17. Resumen niveles promedio del verano 2018.

Verano 2018		Muestra		Horario	Promedio	Inicio	Final
		36			1:04	12:24	13:29
Temperatura (°C)	Promedio	Mínimo	Máximo	Humedad relativa (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
	31	27	34		53	47	62
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	13	4	92	PM2.5 (µg/m³)	31	11	222
PM10 (µg/m³)	21	6	295	PM10 (µg/m³)	58	15	812
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3DTpGWK							

En la tabla anterior, se aprecia la media de todas las variables muestreadas, pero, además es muy interesante complementarlo con la dirección del viento (Figura 16). Donde se observa con los valores en bruto de PM10 y PM2.5, que las mayores concentraciones se producen en la dirección suroeste.

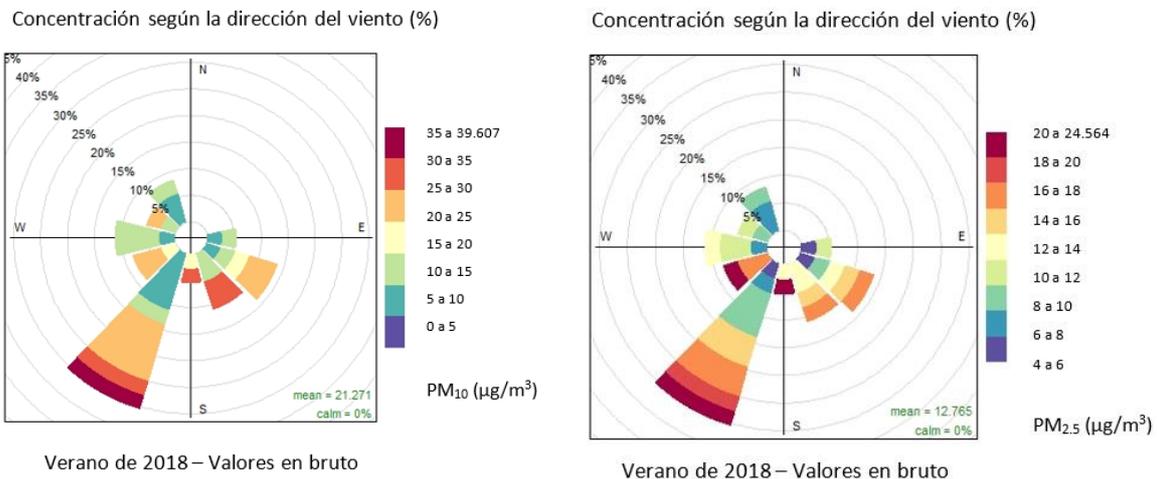


Figura 16. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de verano de 2018.

Otoño de 2018.

Analizando la estación de otoño de 2018, en la Figura 17, se observa en el mapa de concentración de PM10 el promedio de la estación en valores brutos, las diferentes zonas recorridas.

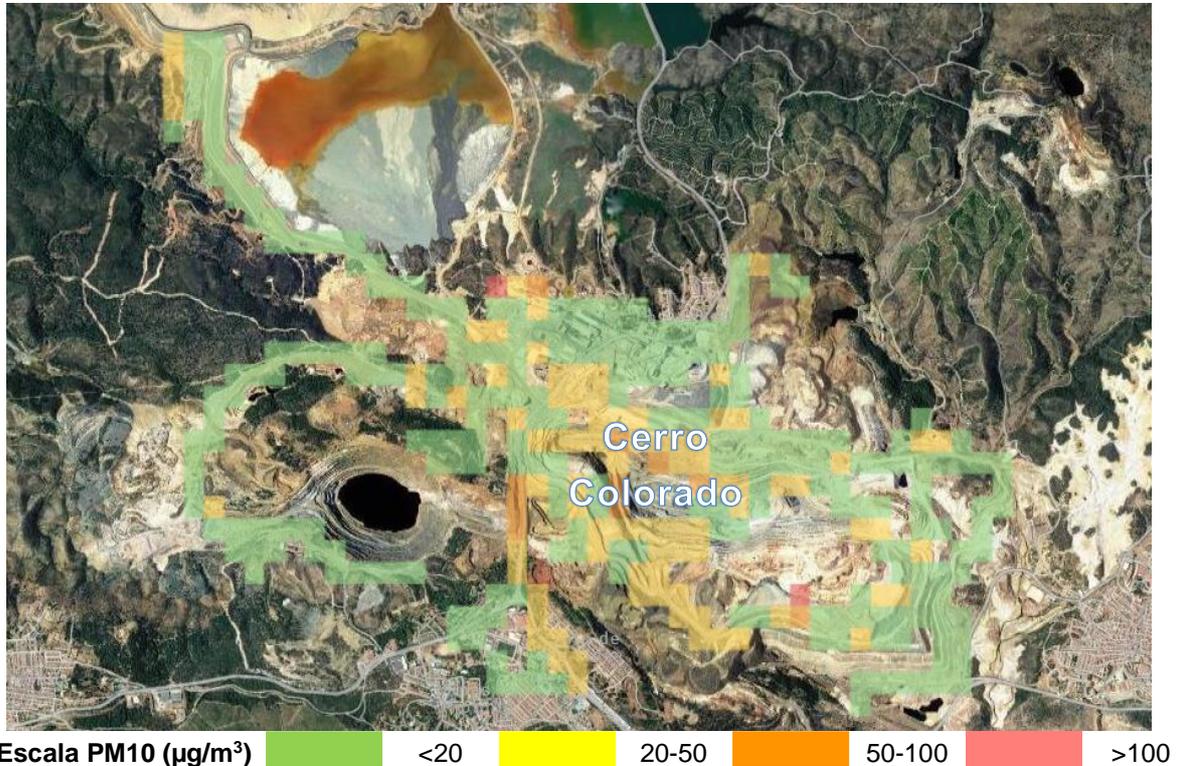


Figura 17. Mapa de concentración PM10 en la estación de otoño de 2018. AirCasting.

En dicho mapa se destaca una mayor concentración de media en esta estación en las zonas del Cerro Colorado, en la pista principal y en la pista oeste de la escombrera sur.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 18).

Tabla 18. Resumen niveles promedio del otoño 2018.

Otoño 2018		Muestra 16		Horario	Promedio 1:26	Inicio 12:08	Final 13:34
Temperatura (°C)	Promedio 24	Mínimo 20	Máximo 27	Humedad relativa (%)	Promedio 61	Mínimo 54	Máximo 71
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	10	3	110	PM2.5 (µg/m³)	25	6	268
PM10 (µg/m³)	18	3	394	PM10 (µg/m³)	51	8	1082
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3xkNsIK							

Dicha tabla (Tabla 18), se complementa con la dirección del viento (Figura 18). Donde se observa con los valores corregidos de PM10 y PM2.5, que el foco principal de concentraciones se produce en la dirección sureste, y también se tiene focos secundarios importantes en la dirección sur y noreste alcanzando valores de PM10 de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

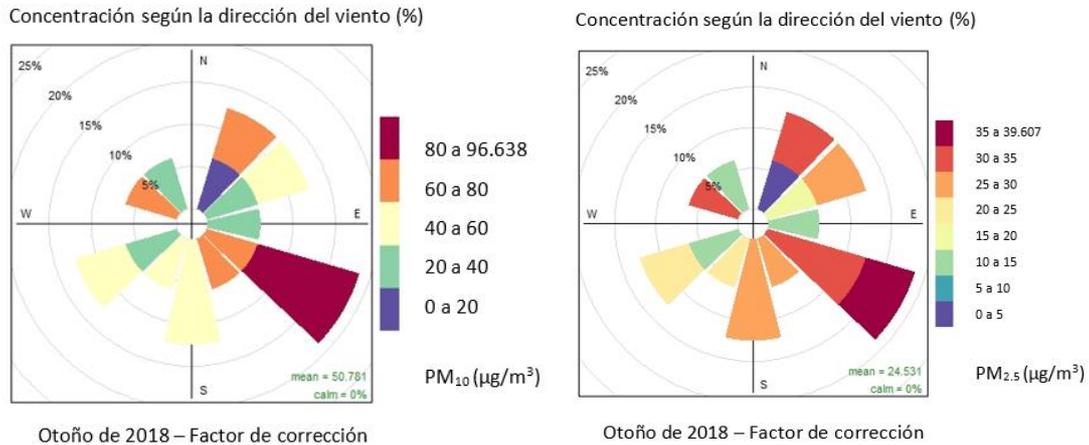


Figura 18. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de otoño de 2018.

Resumen anual de 2018.

Tras el análisis de la concentración por estaciones se procede a analizar el periodo completo del 2018, en la Figura 19, se observa el mapa de la concentración de PM10 en promedio con valores en brutos de las diferentes zonas recorridas.

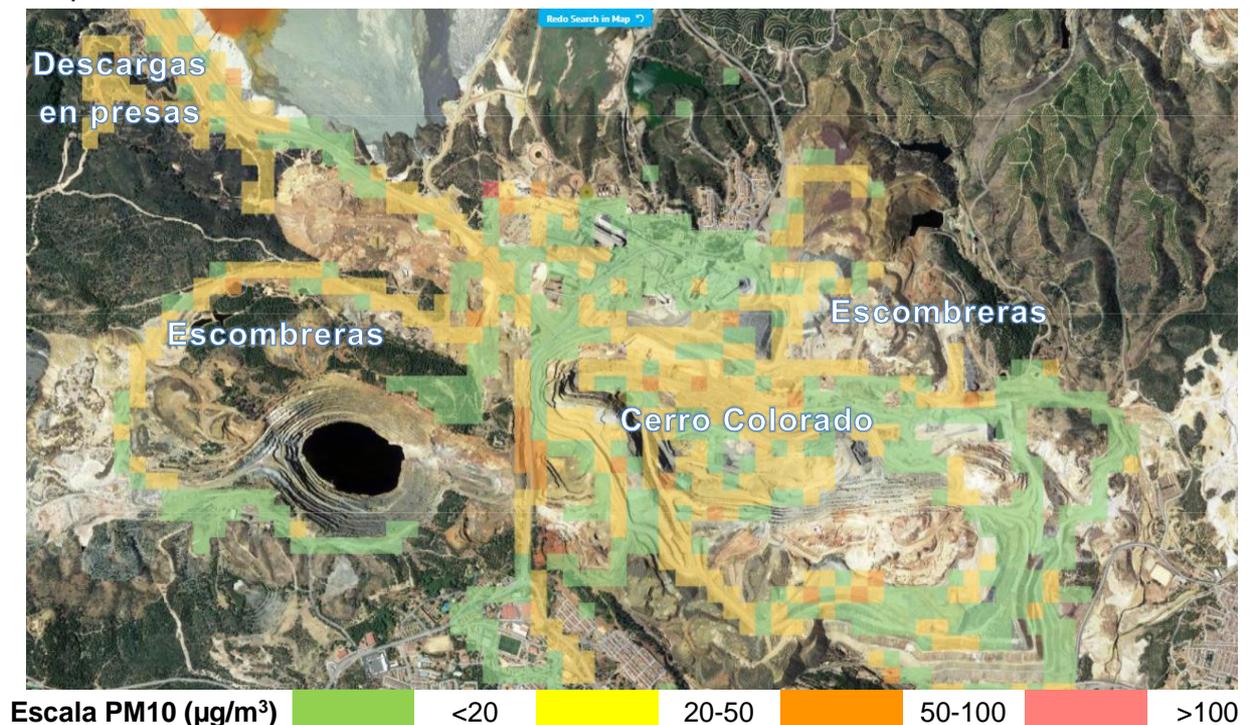


Figura 19. Mapa de concentración PM10 anual de 2018. AirCasting.

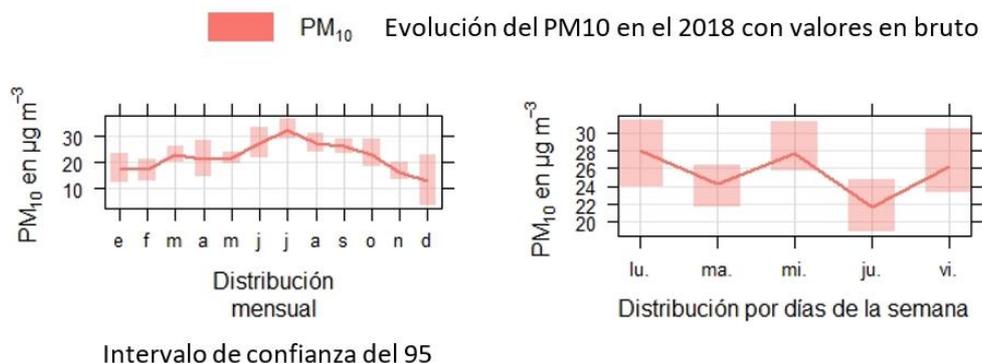
En este mapa anual de 2018, se destaca una mayor concentración de media en las zonas de la pista principal de Cerro Colorado, en la escombrera norte, en la pista noroeste del Cerro Colorado, en la pista principal a presas y en descargas en presas. La media de concentración de PM10, para el periodo analizado de 2018, en la pista noroeste del Cerro Colorado fue de 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en bruto).

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 19).

Tabla 19. Resumen niveles promedio del año 2018.

Año 2018	Muestra			Horario	Promedio	Inicio	Final
	52						
Temperatura (°C)	Promedio	Mínimo	Máximo	Humedad relativa (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
	29	25	32	55	49	65	
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12	4	97	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	29	9	236
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20	5	325	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	56	13	895
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3CQq07i							

Además de la tabla resumen y del mapa de concentración en la Figura 20 se puede observar los diagramas de evolución semanal y mensual de PM10 y PM2.5 en bruto. Donde se puede apreciar un incremento de las concentraciones en los meses de verano y en cuanto a los días, los lunes, los miércoles y los viernes son los que presentan una media mayor de hasta 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso del PM10 con valores en bruto, y con el valor corregido sería en torno a los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



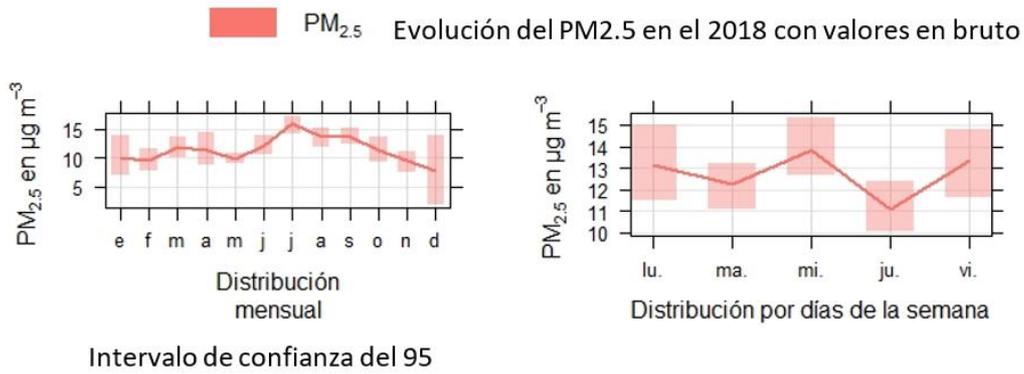


Figura 20. Diagrama de evolución semanal y mensual de PM10 y PM2.5 anual de 2018.

Para complementar la distribución y evolución del material particulado junto con la dirección del viento, se ha realizado un calendario de niveles de PM10 y PM2.5, en este caso se realiza con los valores corregidos (Figura 21), se aprecia también que los días de más concentración son en verano.

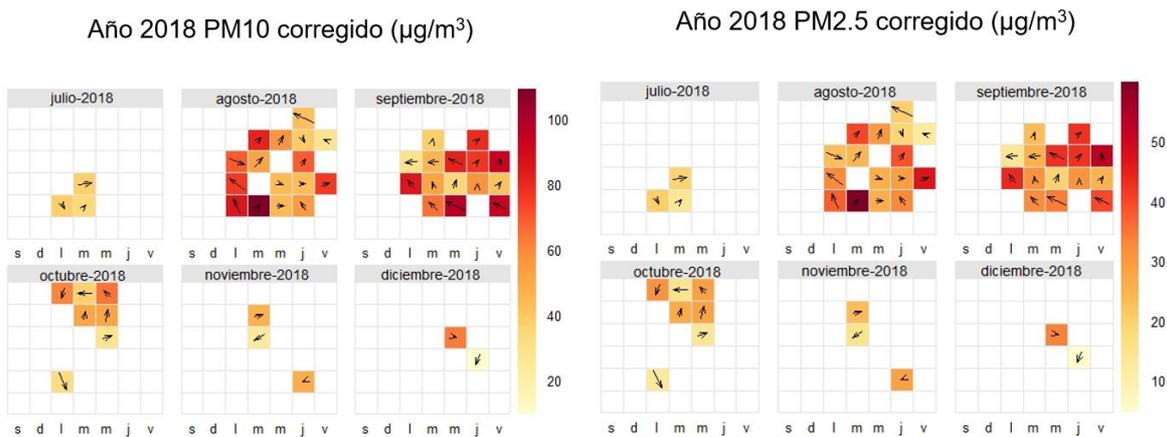


Figura 21. Calendario de evolución de PM10 y PM2.5 anual de 2018.

3.3.2. Periodo desde el uno de enero al treintaiuno de diciembre de 2019.

Invierno de 2018-2019.

Analizando la estación del invierno del 2018-2019 en la Figura 22, se observa en el mapa de concentración de PM10 promedio en valores brutos las diferentes zonas recorridas.

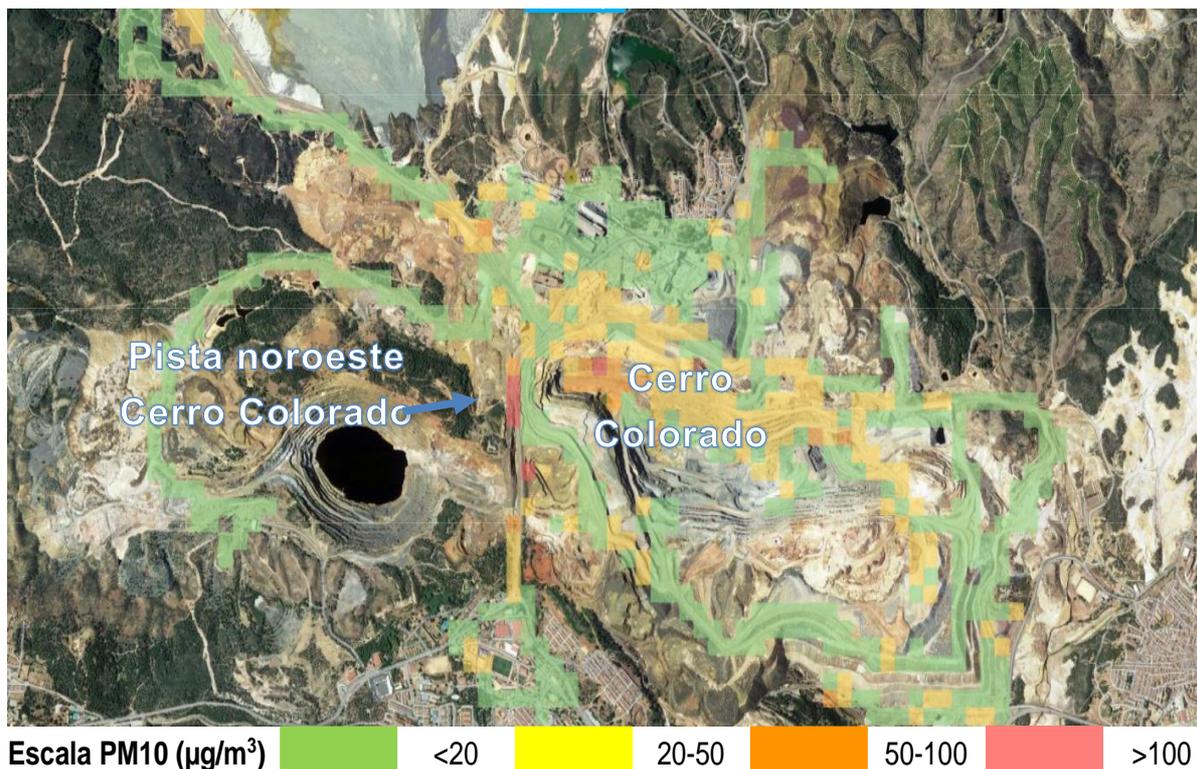


Figura 22. Mapa de concentración de PM10 en la estación de invierno de 2018. AirCasting.

En dicho mapa se destaca una mayor concentración de media en las zonas de la pista principal de Cerro Colorado y en la pista noroeste del Cerro Colorado.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 20).

Tabla 20. Resumen niveles promedio del invierno 2019.

Invierno 2019		Muestra 16		Horario	Promedio 1:22	Inicio 12:25	Final 13:48
Temperatura (°C)	Promedio 19	Mínimo 15	Máximo 22	Humedad relativa (%)	Promedio 59	Mínimo 52	Máximo 67
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	9	2	84	PM2.5 (µg/m³)	22	6	204
PM10 (µg/m³)	16	3	249	PM10 (µg/m³)	44	9	684
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/30XCAEC							

Se aprecia en la Figura 23, la rosa de contaminación con el factor de corrección aplicado de PM10 y de PM2.5 según la dirección del viento. Se observa que la dirección predominante y con mayor concentración procede del sureste, tanto en Corta como en larga distancia con foco máximo de concentración.

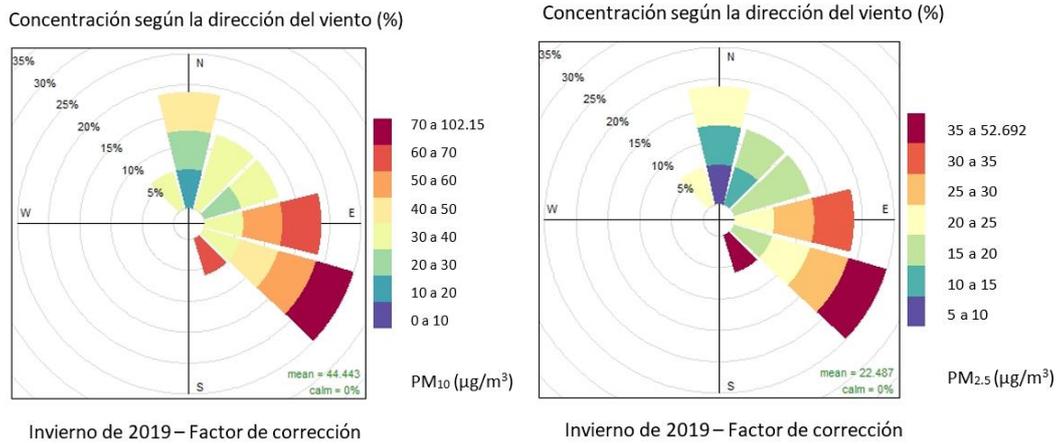


Figura 23. Rosa de contaminación de PM₁₀ y PM_{2.5} de invierno de 2019.

Primavera de 2019.

Analizando la estación de primavera de 2019 en la Figura 24, se observa en el mapa de concentración de PM₁₀, el promedio en valores brutos de las diferentes zonas recorridas.

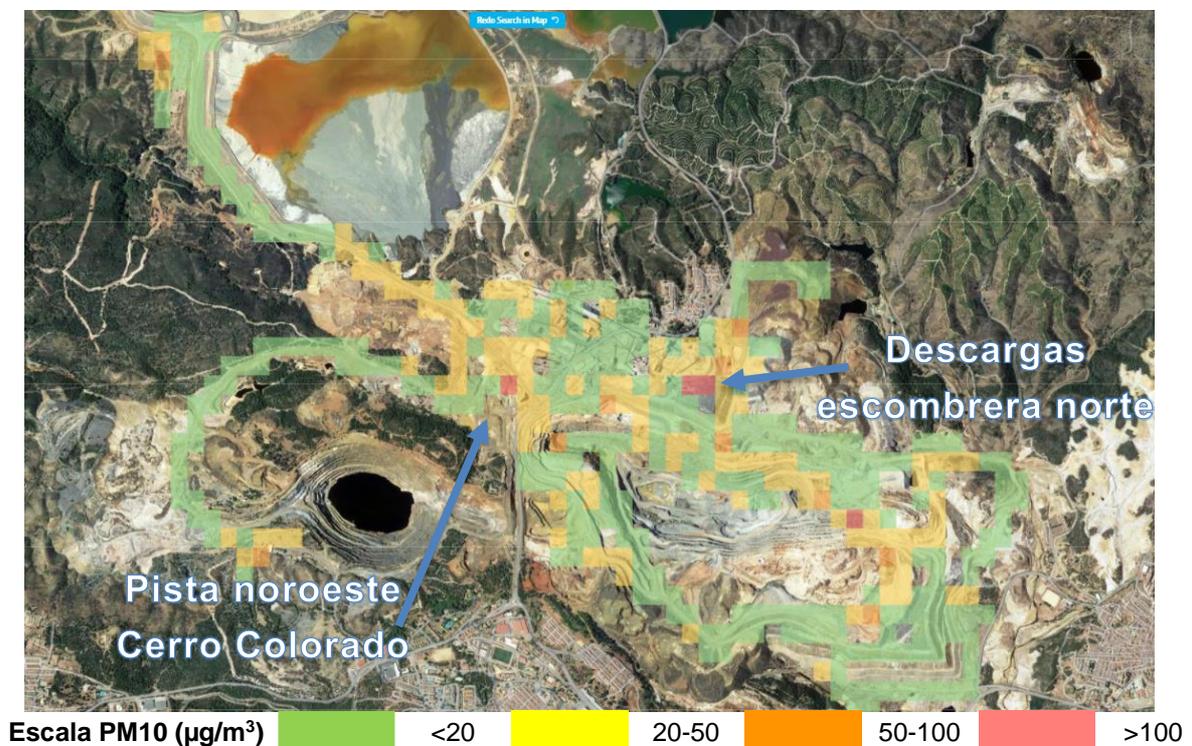


Figura 24. Mapa de concentración PM₁₀ en la estación de primavera de 2019. AirCasting.

En dicho mapa se destaca, varios focos que presentan una mayor concentración media de PM10, como en las zonas de descargas de la escombrera norte, en la pista de la escombrera sur y en la pista noroeste del Cerro Colorado.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 21).

Tabla 21. Resumen niveles promedio de la primavera de 2019.

Primavera 2019			Muestra	Horario	Promedio	Inicio	Final
			21		1:31	12:26	13:58
Temperatura (°C)	Promedio	Mínimo	Máximo	Humedad relativa (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
	26	22	30		48	43	58
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	8	1	111	PM2.5 (µg/m³)	19	1	270
PM10 (µg/m³)	17	1	432	PM10 (µg/m³)	46	2	1187
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3nNHUU7							

Se aprecia en la Figura 25, la rosa de contaminación con los valores en bruto de PM10 y de PM2.5 según la dirección del viento. Se observa que el principal foco en primavera de 2019 es el la dirección este y un segundo foco en el suroeste.

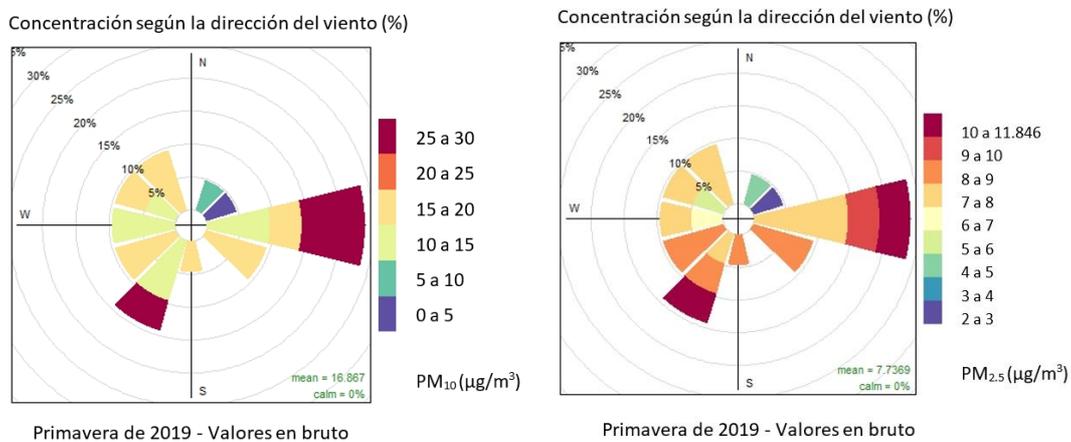


Figura 25. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de primavera de 2019.

Verano de 2019.

Analizando la estación de verano de 2019 en la Figura 26, se observa en el mapa de concentración de PM10, el promedio de los valores en brutos de las diferentes zonas recorridas.

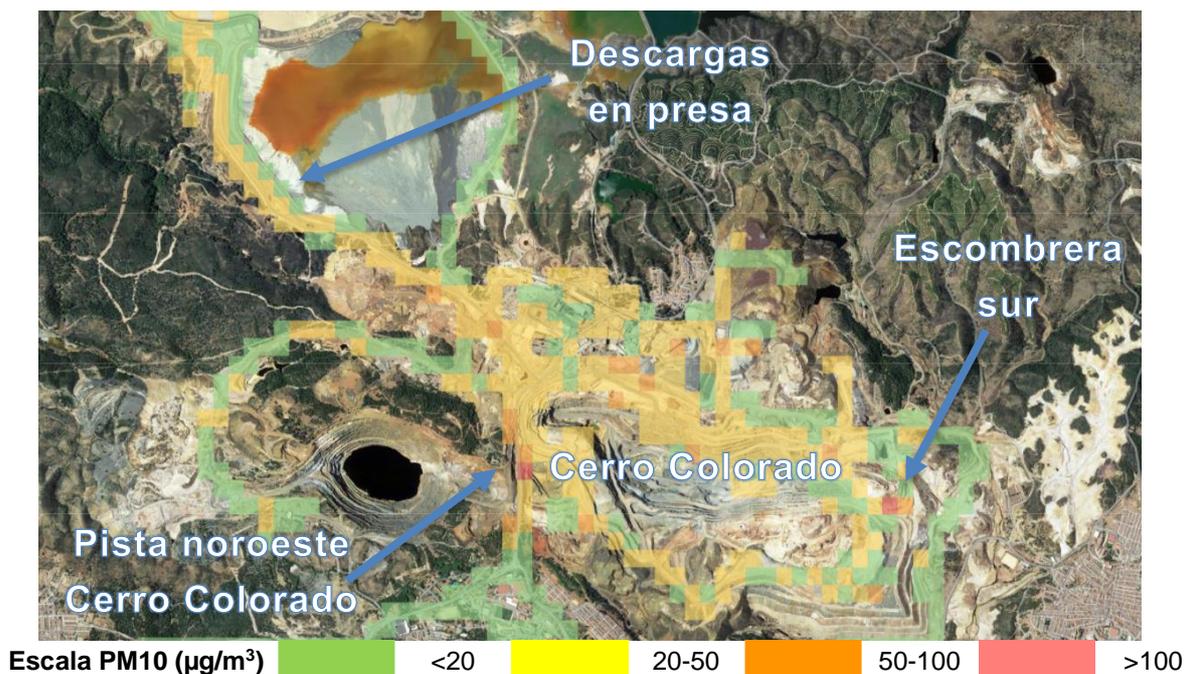


Figura 26. Mapa de concentración de PM10 en la estación de verano de 2019. AirCasting.

En el mapa anterior, se destaca varias zonas que presentan una mayor concentración media de PM10, como son las zonas de descargas en presa, la escombrera sur, el Cerro Colorado en la pista principal fundamentalmente y en la pista noroeste del Cerro Colorado. En este periodo de verano podemos ver una alta concentración en el Cerro Colorado, la zona sur y oeste pertenecientes a la escombrera comparado con otros periodos, pudiendo ser debido a una menor precipitación, existiendo más polvo en suspensión.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 22).

Tabla 22. Resumen niveles promedio del verano de 2019.

Verano 2019		Muestra 24		Horario	Promedio 1:09	Inicio 12:53	Final 14:02
Temperatura (°C)	Promedio 31	Mínimo 26	Máximo 34	Humedad relativa (%)	Promedio 52	Mínimo 47	Máximo 62
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	13	4	125	PM2.5 (µg/m³)	32	9	304
PM10 (µg/m³)	25	5	443	PM10 (µg/m³)	70	13	1219
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3HPMObd							

Se aprecia en la Figura 27, la rosa de contaminación con el factor aplicado en los valores de PM10 y de PM2.5 según la dirección del viento. Se observa que el principal foco en verano de 2019 es en la dirección suroeste y con focos secundarios de alta concentración en el sur y oeste.

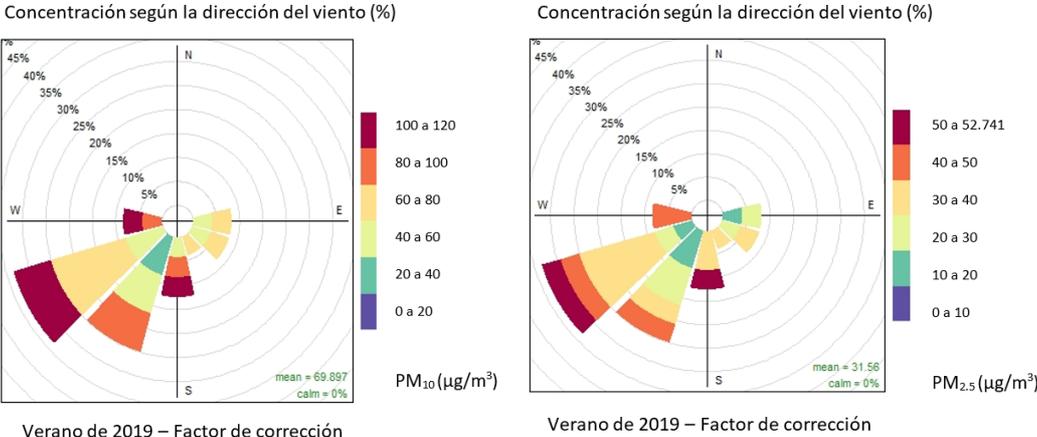


Figura 27. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de verano de 2019.

Otoño de 2019.

Analizando la estación de otoño de 2019 en la Figura 28, se observa en el mapa de concentración de PM10, el promedio en valores en brutos de las diferentes zonas recorridas.

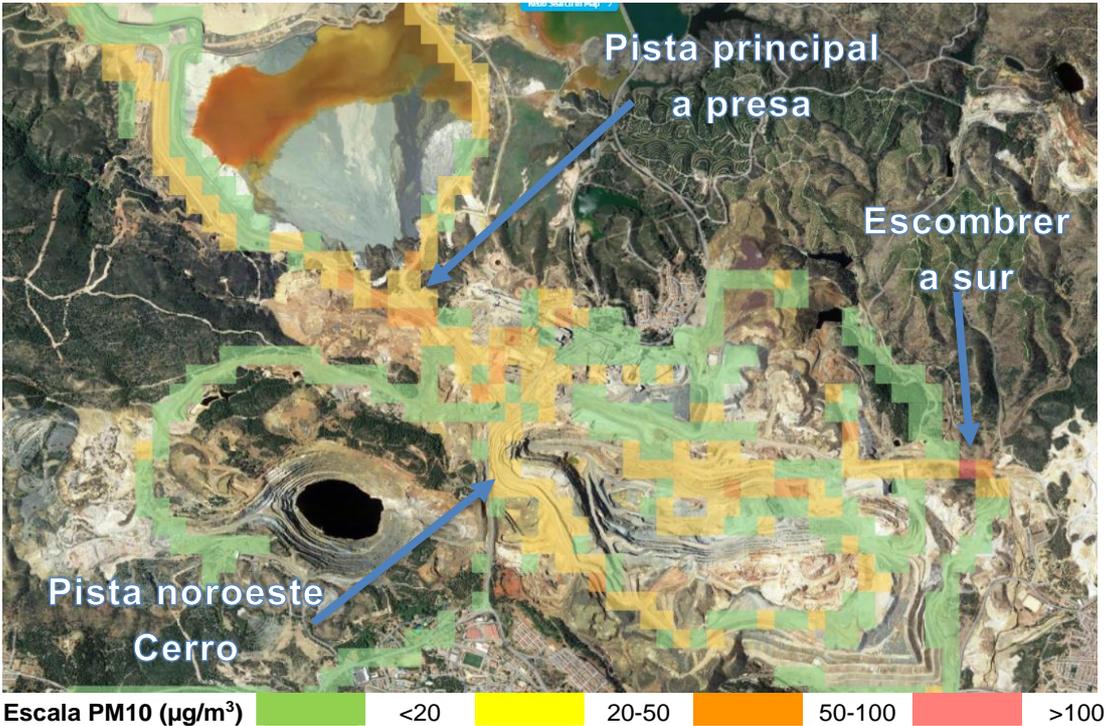


Figura 28. Mapa de concentración de PM10 en la estación de otoño de 2019. AirCasting.

De este mapa se destaca varias zonas que presentan una mayor concentración media de PM10, como son las zonas de la pista principal a la presa, toda la envolvente de la presa, la escombrera sur, presentando una de las medias más altas de concentraciones de PM10 y en la pista noroeste del Cerro Colorado.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 23).

Tabla 23. Resumen niveles promedio del otoño de 2019.

Otoño 2019		Muestra 8		Horario	Promedio 1:24	Inicio 12:37	Final 14:02
Temperatura (°C)	Promedio 23	Mínimo 19	Máximo 26	Humedad relativa (%)	Promedio 60	Mínimo 55	Máximo 71
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	11	2	122	PM2.5 (µg/m³)	27	4	296
PM10 (µg/m³)	21	2	308	PM10 (µg/m³)	58	6	846
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3CKO63q							

Se aprecia en la Figura 29, la rosa de contaminación con los valores en bruto de PM10 y de PM2.5 según la dirección del viento. Se observa que el principal foco en otoño de 2019 es en la dirección norte, aunque el foco de mayor concentración es en el suroeste.

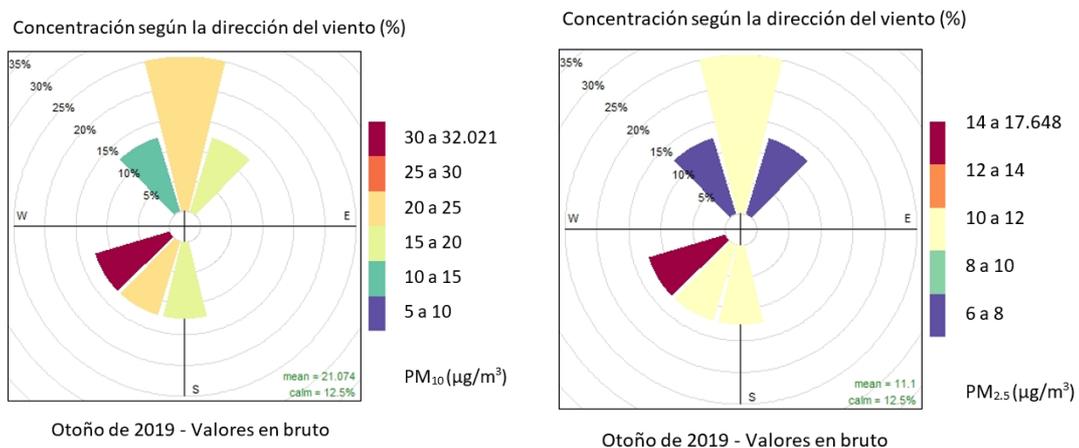


Figura 29. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de otoño de 2019.

Resumen anual de 2019.

Tras el análisis de la concentración por estaciones se procede a analizar el periodo completo del 2019, en la Figura 30, se observa el mapa de la concentración de PM10 en promedio con valores en brutos de las diferentes zonas recorridas.

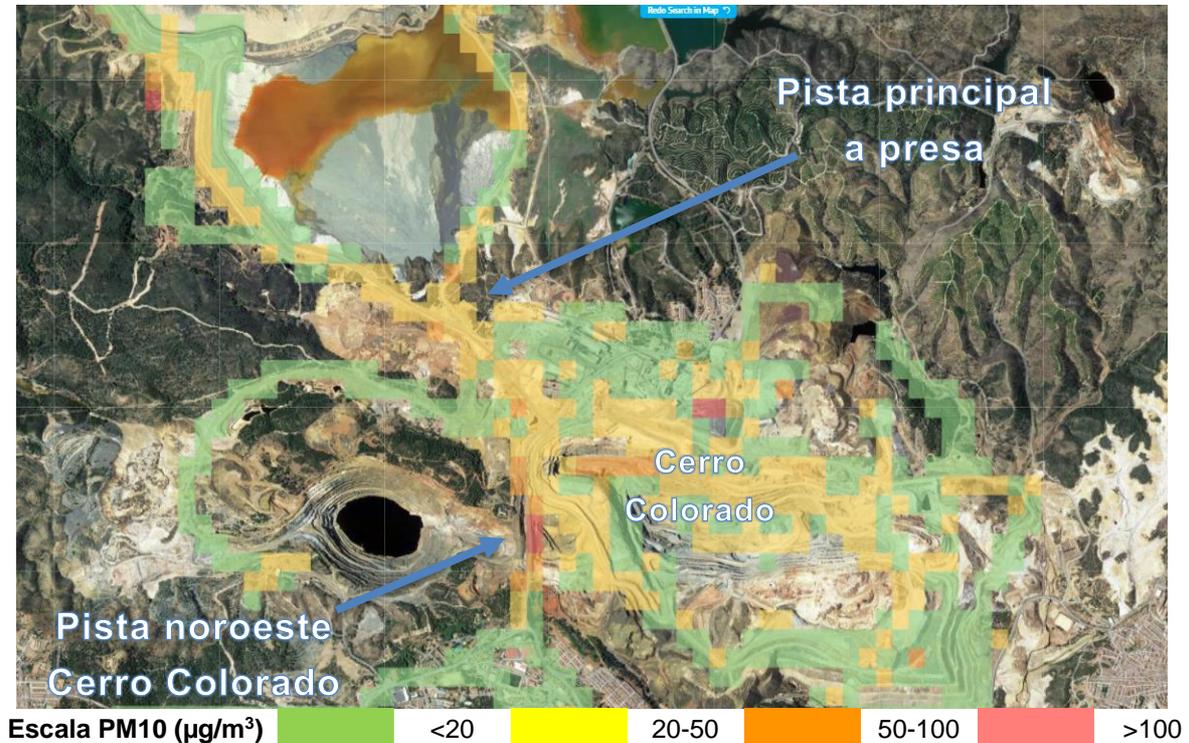


Figura 30. Mapa de concentración de PM10 anual de 2019. AirCasting.

En este mapa anual se puede destacar una mayor concentración de media en las zonas de la pista principal del Cerro Colorado, en la zona de stock grueso, en el área de modernización, en la pista noroeste del Cerro Colorado y en la zona de las presas, tanto en la carretera que lleva a ella como a su alrededor. La media de concentración de PM10 en la zona de stock de gruesos fue de $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 24).

Tabla 24. Resumen niveles promedio del año 2019.

Año 2019		Muestra 69		Horario	Promedio 1:21	Inicio 12:36	Final 13:57
Temperatura (°C)	Promedio 26	Mínimo 21	Máximo 29	Humedad relativa (%)	Promedio 53	Mínimo 48	Máximo 63
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	10	2	111	PM2.5 (µg/m³)	25	6	270
PM10 (µg/m³)	20	3	379	PM10 (µg/m³)	55	8	1042
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3cKTpW7							

Además de la tabla resumen y del mapa de concentración en la Figura 31 se puede observar los diagramas de evolución semanal y mensual de PM10 y PM2.5 en bruto. Donde se puede apreciar un incremento de las concentraciones en los meses de verano y en cuanto a los días, los lunes, los miércoles y los viernes son los que presentan una media mayor de hasta 32 µg/m³ en el caso del PM10 con valores en bruto, y con el valor corregido sería en torno a los 90 µg/m³.

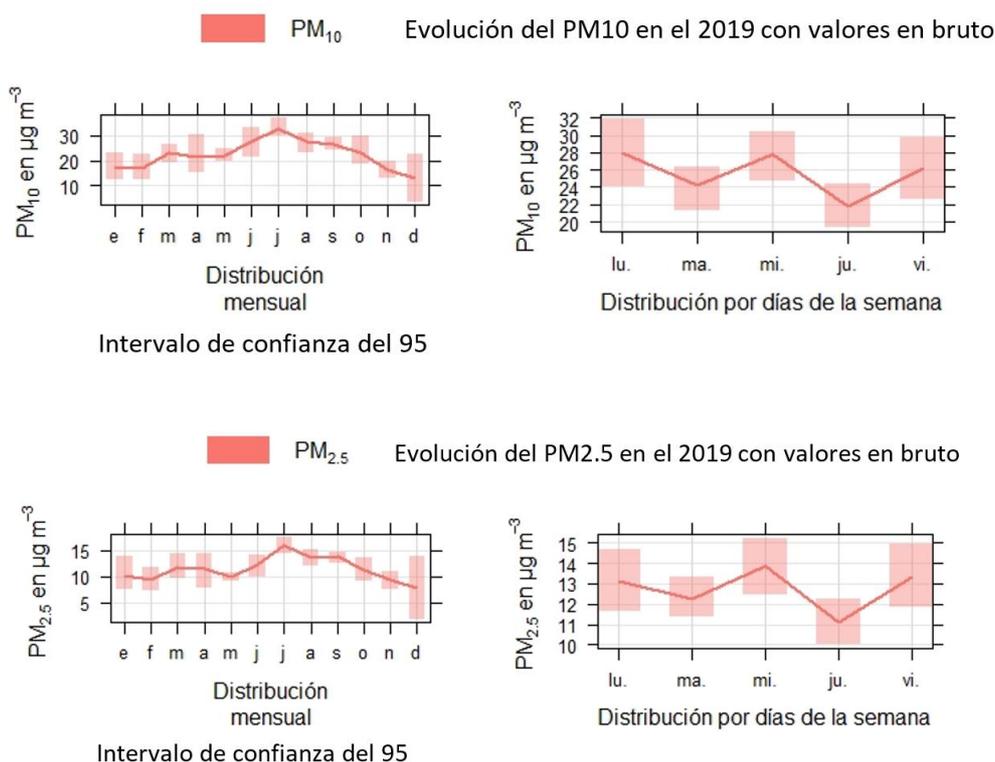
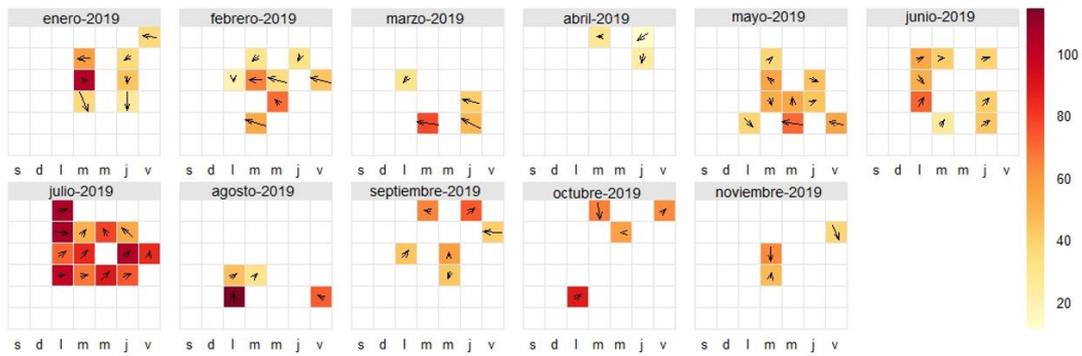


Figura 31. Diagrama de evolución semanal y mensual de PM10 y PM2.5 anual de 2019.

Para complementar la distribución y evolución del material particulado junto con la dirección del viento, se ha realizado un calendario de niveles de PM10 y PM2.5, en este caso se realiza con los valores corregidos (Figura 32), se aprecia también que los días de más concentración son en verano.

Año 2019 PM10 corregido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Año 2019 PM2.5 corregido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

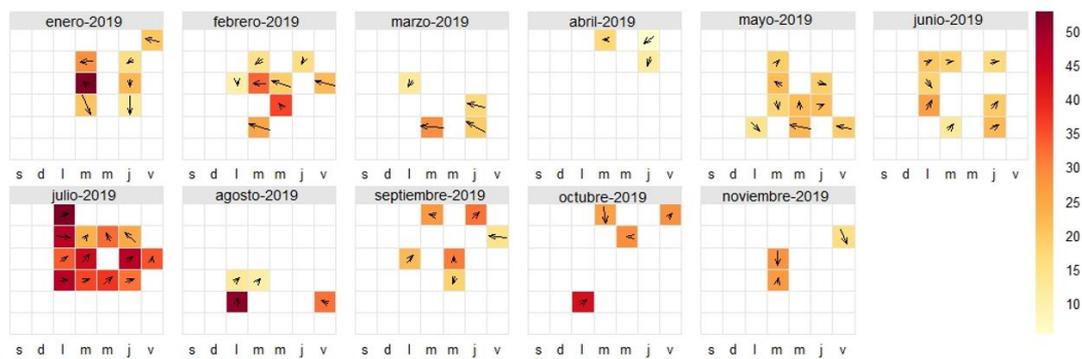


Figura 32. Calendario de evolución de PM10 y PM2.5 anual de 2019.

3.3.3. Periodo desde el uno de enero al de veintisiete de octubre de 2020.

Invierno de 2020.

Analizando la estación de invierno de 2020 en la Figura 33, se puede observar el mapa de concentraciones de PM10 de los promedios en valores brutos de las diferentes zonas recorridas.

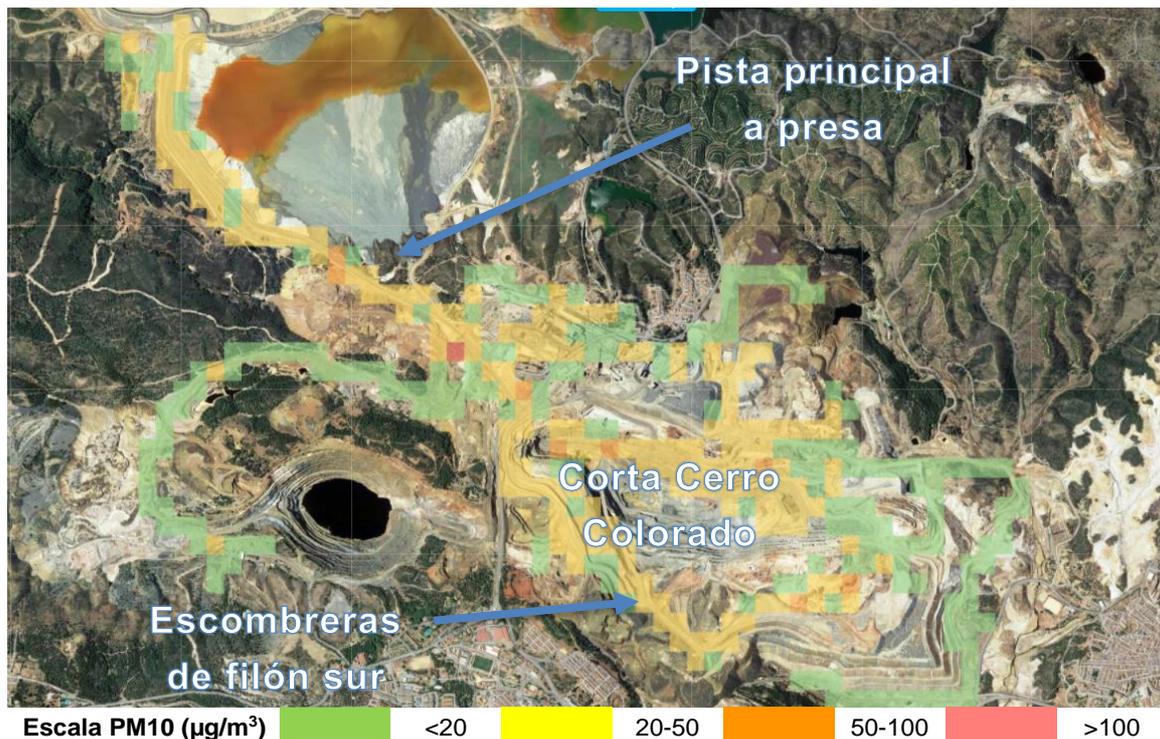


Figura 33. Mapa de concentración de PM10 en la estación de invierno de 2020. AirCasting.

En el mapa anterior, se destaca una concentración de PM10 más elevada en las zonas de la pista principal a la presa, en la Corta del Cerro Colorado y en la parte sur de las instalaciones, principalmente en las escombreras de filón sur.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 25).

Tabla 25. Resumen niveles promedio del invierno de 2020.

Invierno 2020		Muestra 9		Horario	Promedio	Inicio	Final
Temperatura (°C)	Promedio	Mínimo	Máximo	Humedad relativa (%)	Promedio	Mínimo	Máximo
	20	18	23		65	59	72
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 (µg/m³)	13	3	79	PM2.5 (µg/m³)	31	8	191
PM10 (µg/m³)	25	4	322	PM10 (µg/m³)	68	12	886
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3DRpyHf							

En la tabla anterior, se aprecia la media de todas las variables muestreadas, pero, además es muy interesante complementar dichos datos con la dirección del viento (Figura 34), donde se observa con los valores en bruto de PM10 y de PM2.5, que las mayores concentraciones se producen en la dirección sureste y con un foco secundario importante de dirección suroeste.

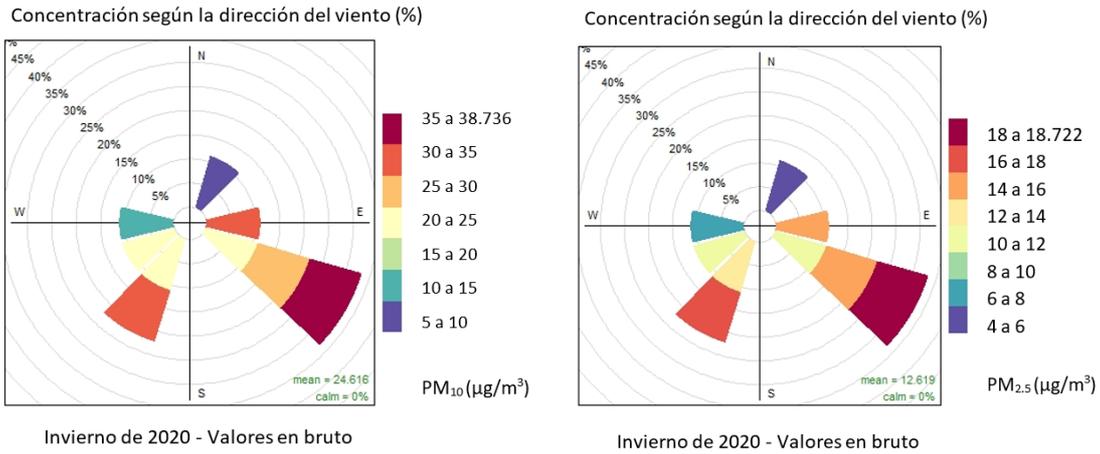


Figura 34. Rosa de contaminación de PM₁₀ y PM_{2.5} de invierno de 2020.

Primavera de 2020.

Analizando la estación de primavera del 2020 en la Figura 35, se observa en el mapa de concentración de PM₁₀ el promedio en valores brutos de las diferentes zonas recorridas.

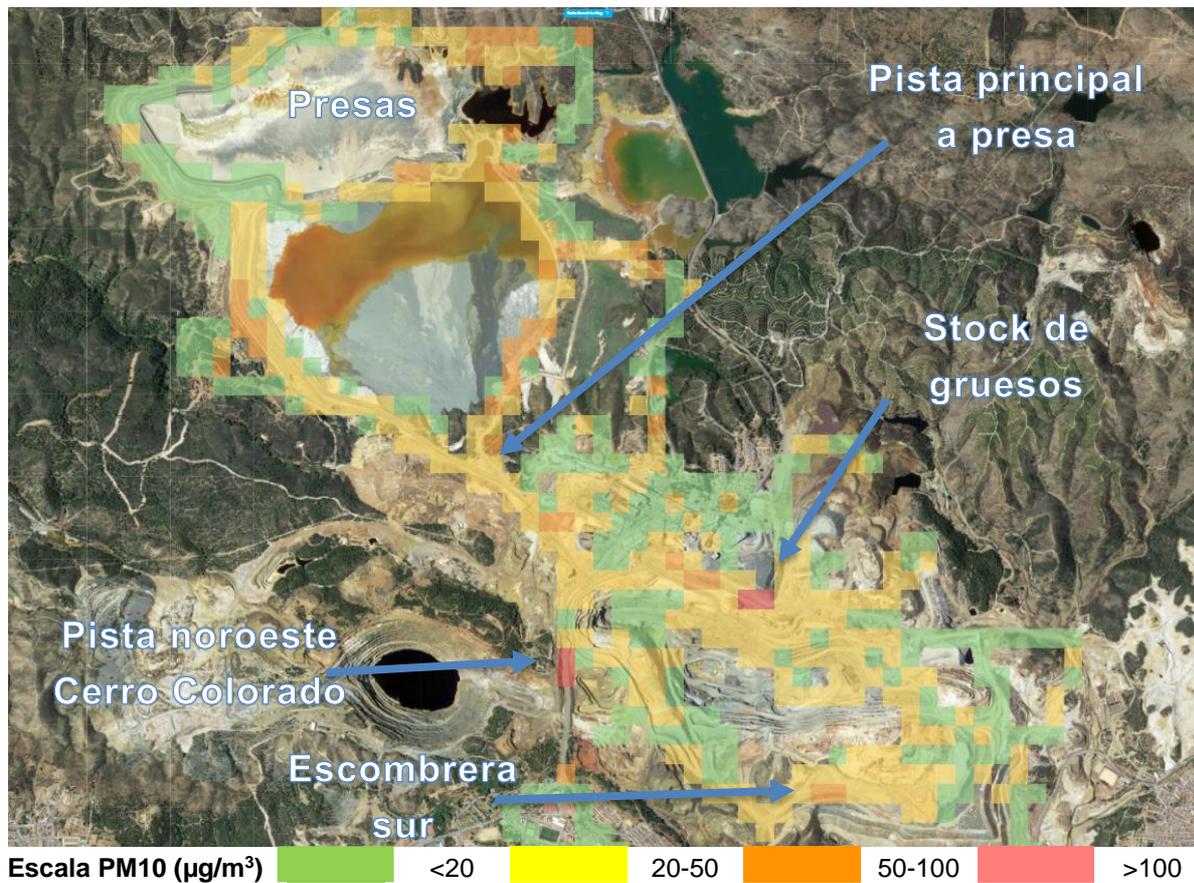


Figura 35. Mapa de concentración de PM₁₀ en la estación de primavera de 2020. AirCasting.

En el mapa se observa una mayor concentración de PM10 en zonas como la pista principal a la presa, en todos los alrededores de las presas con focos superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, se tiene dos grandes sectores con una concentración por encima de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se trata del stock de gruesos y de la pista noroeste Cerro Colorado. También se puede apreciar otra banda de importancia como la escombrera sur situada entre los pueblos vecinos de Minas de Riotinto y Nerva.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 26).

Tabla 26. Resumen niveles promedio de la primavera de 2020.

Primavera 2020			Muestra 33	Horario	Promedio 1:01	Inicio 14:01	Final 15:02
Temperatura (°C)	Promedio 26	Mínimo 24	Máximo 29	Humedad relativa (%)	Promedio 54	Mínimo 50	Máximo 62
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12	3	107	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	6	259
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26	3	421	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72	8	1158
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3nOyJ5I							

En la Figura 36 se observa con los valores en bruto de PM10 y de PM2.5, que la mayor parte de las concentraciones se producen desde el suroeste hasta el noreste y en menor proporción desde el este y sureste.

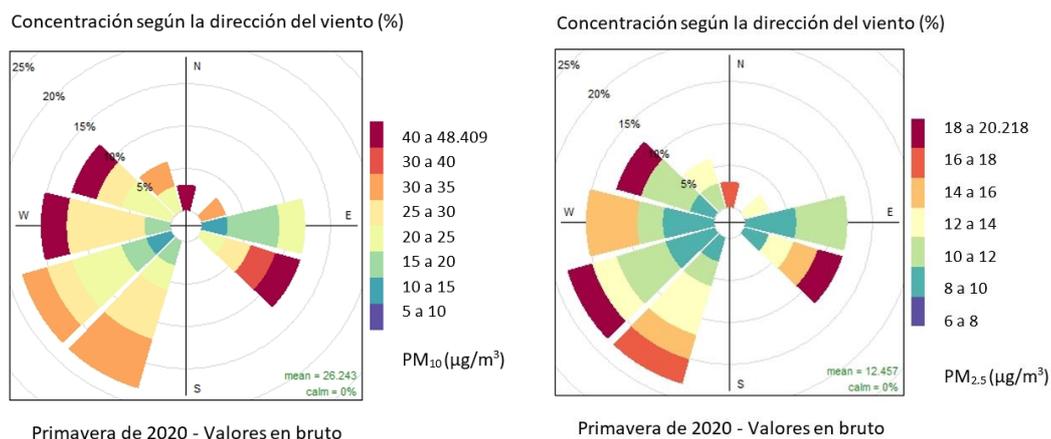


Figura 36. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de primavera de 2020.

Verano de 2020.

Analizando la estación del verano del 2020 en la Figura 37, se observa en el mapa de concentración de PM10 promedio en valores brutos de las diferentes zonas recorridas.

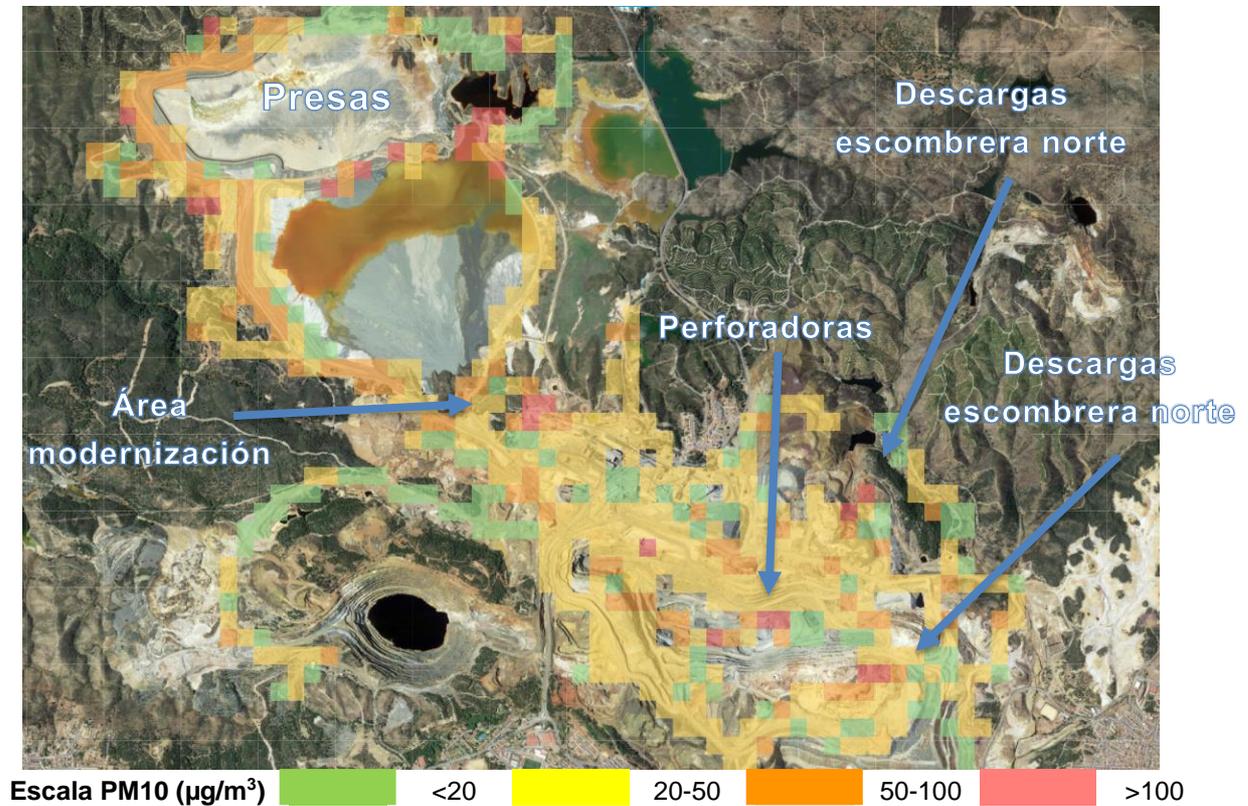


Figura 37. Mapa de concentración de PM10 en la estación de verano de 2020. AirCasting.

En el mapa de concentración de PM10 se observa por la zona sur, altas concentraciones provenientes de la escombrera sur y escombreras de filón sur. En el interior, se puede destacar zonas de muy alta concentración en las perforadoras. En el noreste, destaca un foco de descargas de escombrera norte. Por último, en el este y noreste tenemos altas concentraciones en el área de modernización en la pista principal a las presas y en las descargas de las presas.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 27).

Tabla 27. Resumen niveles promedio del verano de 2020.

Verano 2020		Muestra		Horario		Promedio	Inicio	Final
		54				1:12	12:45	13:57
Temperatura (°C)	Promedio	Mínimo	Máximo	Humedad relativa (%)	Promedio	Mínimo	Máximo	
	32	28	35		50	46	59	
Valores en bruto				Valores con factor de corrección				
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo	
PM2.5 (µg/m³)	16	5	152	PM2.5 (µg/m³)	40	13	368	
PM10 (µg/m³)	36	6	754	PM10 (µg/m³)	99	18	2072	
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3DNslfc								

En la Figura 38 se observa con los valores corregidos de PM10 y de PM2.5, que la mayor parte de las concentraciones se producen desde el suroeste y en menor proporción desde el este hasta el sur.

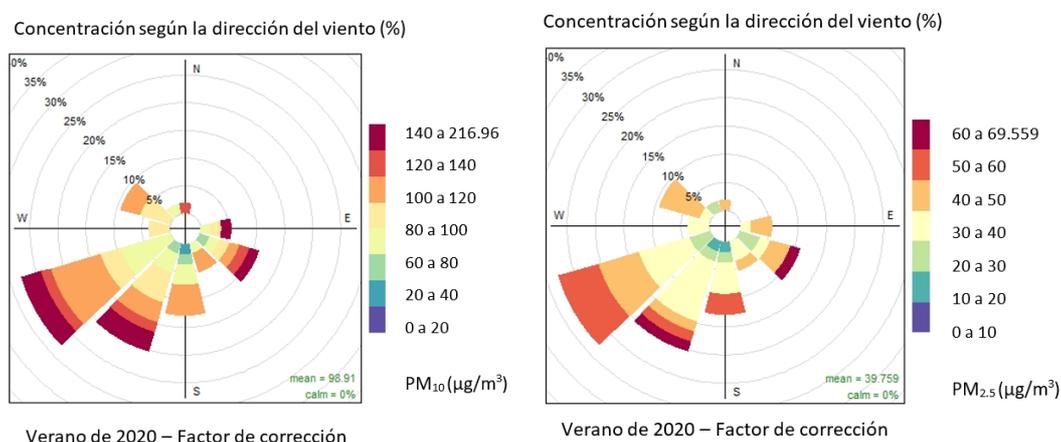


Figura 38. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de verano de 2020.

Otoño de 2020.

Se puede ver el mapa de concentración de PM10 promedio en la estación de otoño de 2020 en la Figura 39, en dicha imagen se observa el promedio en valores brutos de las diferentes zonas recorridas.

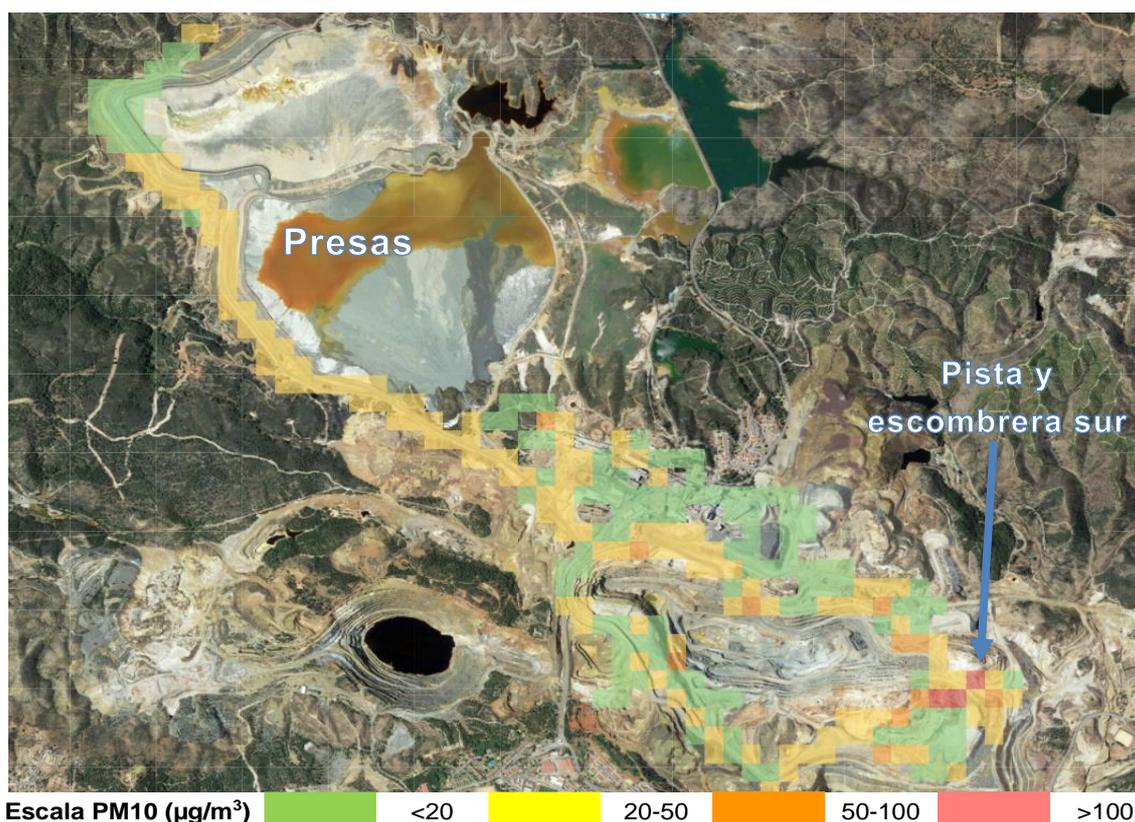


Figura 39. Mapa de concentración de PM10 en la estación de otoño de 2020. AirCasting.

En el mapa de concentración de PM10 se observa por la zona sur, altas concentraciones provenientes de la escombrera sur. En el este, se destaca la pista y la escombrera sur con niveles máximos de promedio. Y por el este y noreste, se tiene altas concentraciones en la pista principal a presas y en las descargas en presa.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 28).

Tabla 28. Resumen niveles promedio del otoño de 2020.

Otoño 2020		Muestra 11		Horario	Promedio	Inicio	Final
Temperatura (°C)	Promedio 25	Mínimo 23	Máximo 27	Humedad relativa (%)	Promedio 52	Mínimo 49	Máximo 58
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
PM2.5 (µg/m³)	Promedio 12	Mínimo 2	Máximo 100	PM2.5 (µg/m³)	Promedio 29	Mínimo 6	Máximo 242
PM10 (µg/m³)	Promedio 25	Mínimo 3	Máximo 469	PM10 (µg/m³)	Promedio 70	Mínimo 9	Máximo 1290
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3CPa9Gk							

En la Figura 40 se observa con los valores en bruto de PM10 y de PM2.5, que la mayor parte de las concentraciones se producen desde el norte y en menor proporción desde el oeste hasta el sur.

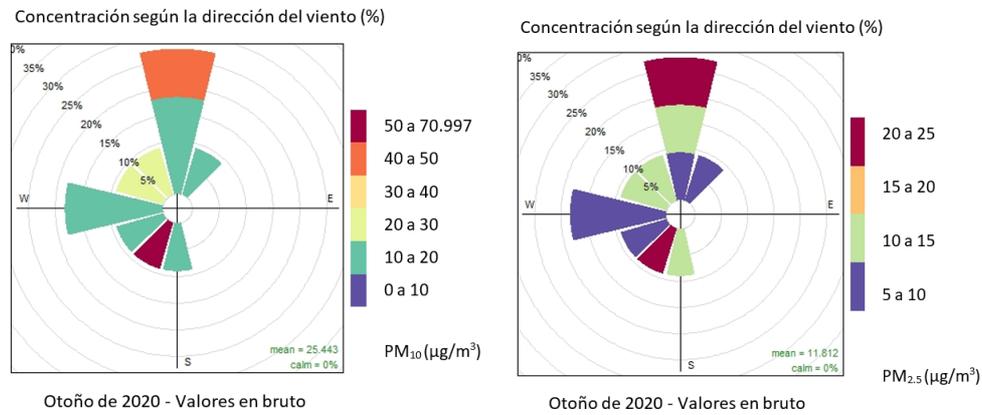


Figura 40. Rosa de contaminación de PM10 y PM2.5 de otoño de 2020.

Resumen anual de 2020.

Tras el análisis de la concentración por estaciones, se procede a analizar el periodo completo del 2020, en la Figura 41, se observa el mapa de concentración de PM10 en promedio con valores en brutos de las diferentes zonas recorridas.

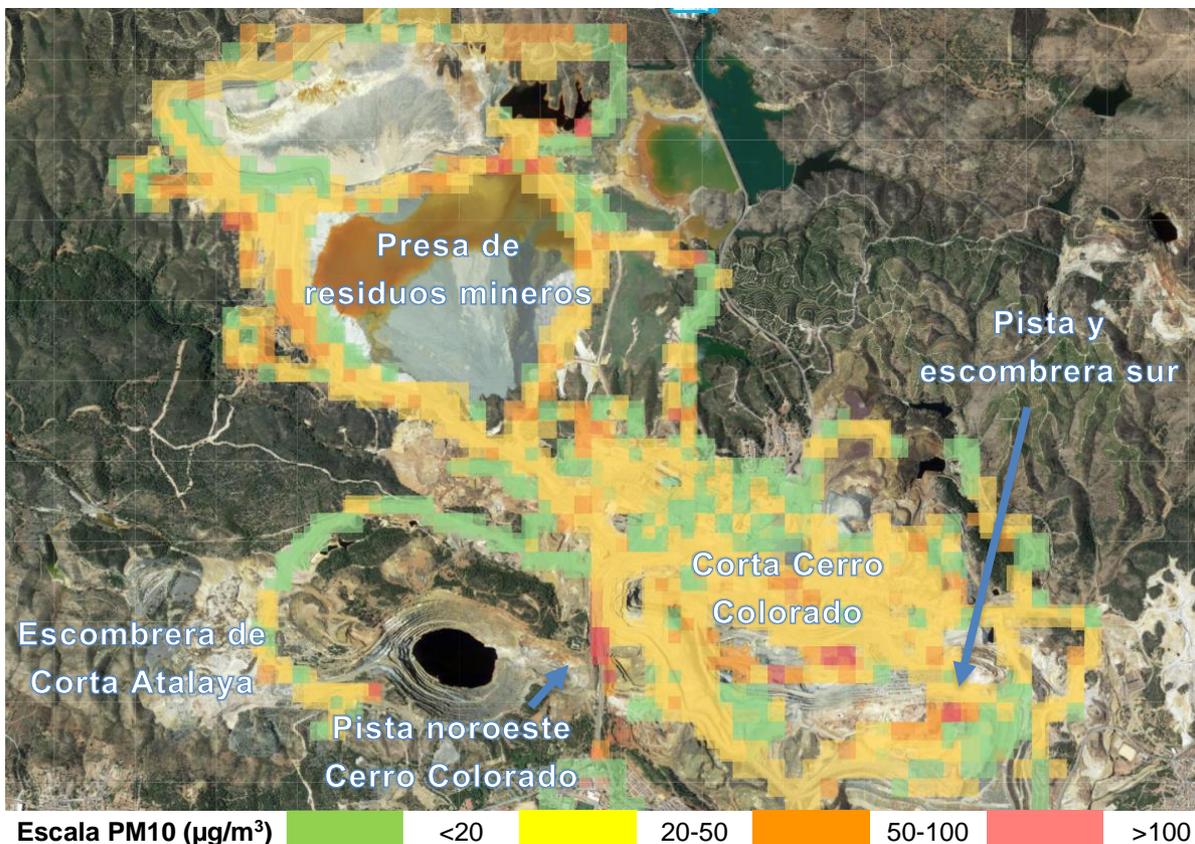


Figura 41. Mapa de concentración de PM10 anual de 2020. AirCasting.

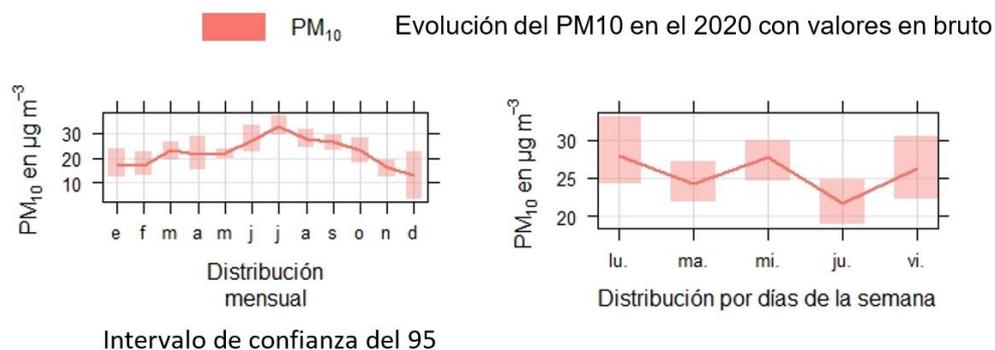
En el mapa anual se destaca, por un lado, concentraciones elevadas en la presa, tanto en los alrededores como en la pista que une con las instalaciones mineras. Por otro lado, en la zona del oeste, destaca la escombrera de Corta Atalaya y la pista noroeste de Cerro Colorado. En la zona interior, las perforadoras sitúan un foco de alta concentración. En el sur se tiene dos puntos importantes la escombrera sur y la pista de acceso. La media de concentración de PM10 en la zona de la pista noroeste fue de 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en este periodo.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 29).

Tabla 29. Resumen niveles promedio del año 2020.

Año 2020		Muestra 107		Horario	Promedio 1:05	Inicio 13:21	Final 14:27
Temperatura (°C)	Promedio 29	Mínimo 26	Máximo 32	Humedad relativa (%)	Promedio 53	Mínimo 48	Máximo 61
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15	4	134	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35	10	307
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32	5	634	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	85	13	1610
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3DSmue6							

Además de la tabla resumen y del mapa de concentración en la Figura 42 se puede observar los diagramas de evolución semanal y mensual de PM10 y PM2.5 en bruto. Donde se puede apreciar un incremento de las concentraciones en los meses de verano y en cuanto a los días, los lunes, los miércoles y los viernes son los que presentan una media mayor de hasta 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso del PM10 con valores en bruto, y con el valor corregido sería en torno a los 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



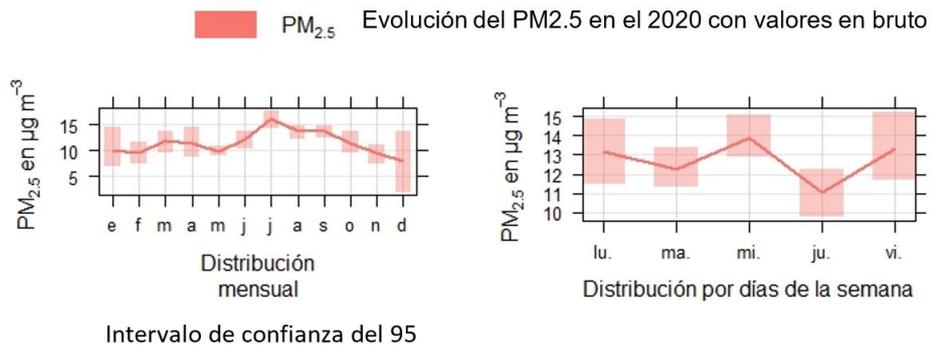


Figura 42. Diagrama de evolución semanal y mensual de PM₁₀ y PM_{2.5} anual de 2020.

Para complementar la distribución y evolución del material particulado junto con la dirección del viento, se ha realizado un calendario de niveles de PM₁₀ y PM_{2.5}, en este caso se realiza con los valores corregidos (Figura 43), se aprecia también que los días de más concentración son en verano.

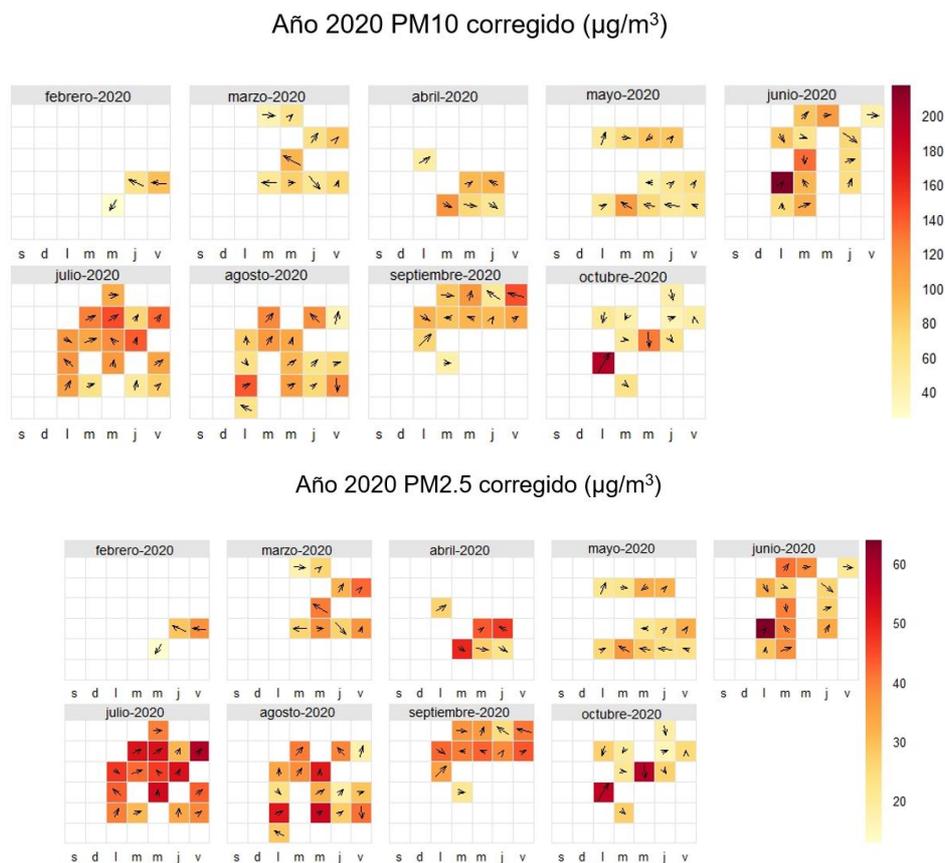


Figura 43. Calendario de evolución de PM₁₀ y PM_{2.5} anual de 2020.

3.3.4. Comparativa entre estaciones de todo el periodo.

En este apartado se realiza la comparativa entre todas las estaciones durante todo el periodo estudiado. En el cual, en las Figuras 44 y 45, se puede apreciar la evolución semanal y mensual de la concentración del material particulado tanto de PM10 como de PM2.5.

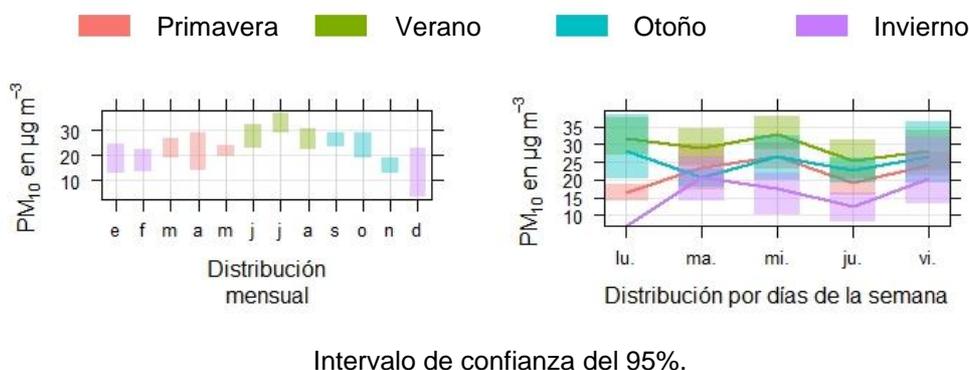


Figura 44. Diagrama de evolución semanal y mensual de PM10 de las estaciones del periodo.

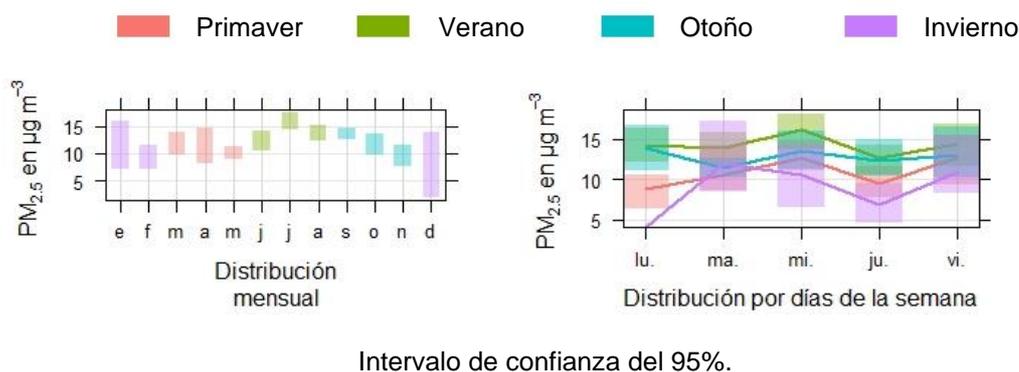


Figura 45. Diagrama de evolución semanal y mensual de PM2.5 de las estaciones del periodo.

En esta comparativa se destaca el aumento de PM en las estaciones de verano, principalmente debido a la escasa precipitación en esos meses.

También pueden influir otros factores como puede ser el polvo proveniente del Sahara, además de la temperatura y la humedad.

Como plan de contingencia ante la escasez de precipitaciones durante las estaciones más secas o periodos de más concentración, se procede a regar las zonas que provocan mayor nivel de polvo en suspensión con agua de proceso previamente tratada con carbonato cálcico (CaCO_3) como se muestra en la Figura 46.

También se evita otro de los problemas de la minería metálica como son las aguas ácidas. Otras formas de evitar la resuspensión, pero en este caso más caras, es el uso de materiales como resinas que se impregnan en las zonas críticas. La eficacia

de estos métodos sobre todo en cuanto a rendimiento económico es menor que en el caso del riego.



Figura 46. Dumper de riego. Fuente: [Atalaya Riotinto Minera, S.L.U.](#)

3.3.5. Resumen global de todo el periodo.

Tras el análisis de la concentración por estaciones, se procede a analizar el periodo completo desde el 24 de julio de 2018 al 27 de octubre de 2020, en la Figura 47, se observa el mapa de concentración de PM10 en promedio con valores en brutos de las diferentes zonas recorridas en todo el periodo.

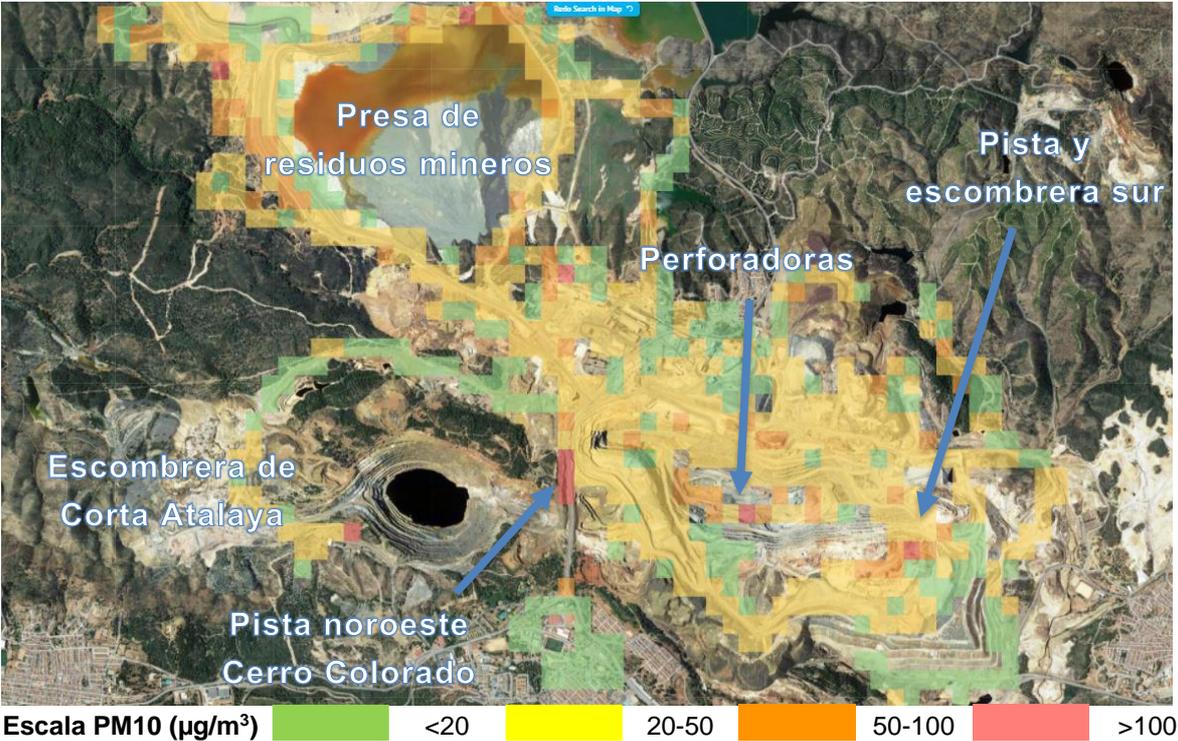


Figura 47. Mapa de concentración de PM10 global de 2018 a 2020. AirCasting.

El mapa anterior refleja la concentración en todo el periodo muestreado con el AirBeam2, se puede destacar la zona noroeste de la presa con altas concentraciones en su camino y en las zonas de descargas. En la zona interior, las perforadoras sitúan un foco de alta concentración, en el sur tenemos dos puntos importantes como la escombrera sur y la pista de acceso. Una de las zonas más afectadas por el PM10 es la zona de la pista noroeste con una concentración en bruto de 106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los datos resumidos, tanto en valores en bruto como en valores corregidos por el factor se resumen en la siguiente tabla (Tabla 30).

Tabla 30. Resumen niveles promedio del periodo global.

Periodo global			Muestra 220	Horario	Promedio 1:11	Inicio 12:54	Final 14:05
Temperatura (°C)	Promedio 28	Mínimo 24	Máximo 31	Humedad relativa (%)	Promedio 54	Mínimo 48	Máximo 63
Valores en bruto				Valores con factor de corrección			
	Promedio	Mínimo	Máximo		Promedio	Mínimo	Máximo
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13	3	115	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31	8	279
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25	4	464	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70	12	1275
Enlace CrowdMap: https://bit.ly/3xmLace							

Además de la tabla resumen y del mapa de concentración en la Figura 48 se puede observar el diagrama de evolución de PM10 en bruto para el periodo completo. Donde se puede apreciar un incremento de las concentraciones en los meses de verano y en cuanto a los días, los lunes, los miércoles y los viernes son los que presentan una media mayor, alcanzando de máxima concentraciones de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

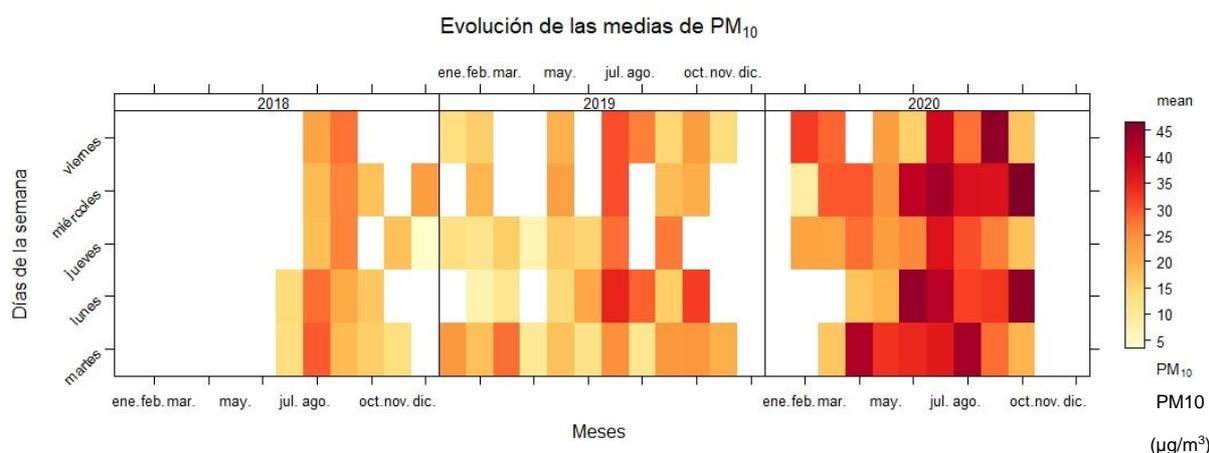


Figura 48. Diagrama de evolución de PM10 en el periodo completo.

En la Figura 49 se puede visualizar el diagrama de tendencia de PM10 y PM2.5 en bruto para el periodo completo. Donde se puede apreciar una simetría entre PM10 y PM2.5, ya que siguen la misma tendencia, además, se percibe un aumento de las concentraciones en el tiempo de forma creciente. También, se corrobora el comportamiento que se da en las estaciones de verano donde suele alcanzar su valor máximo.

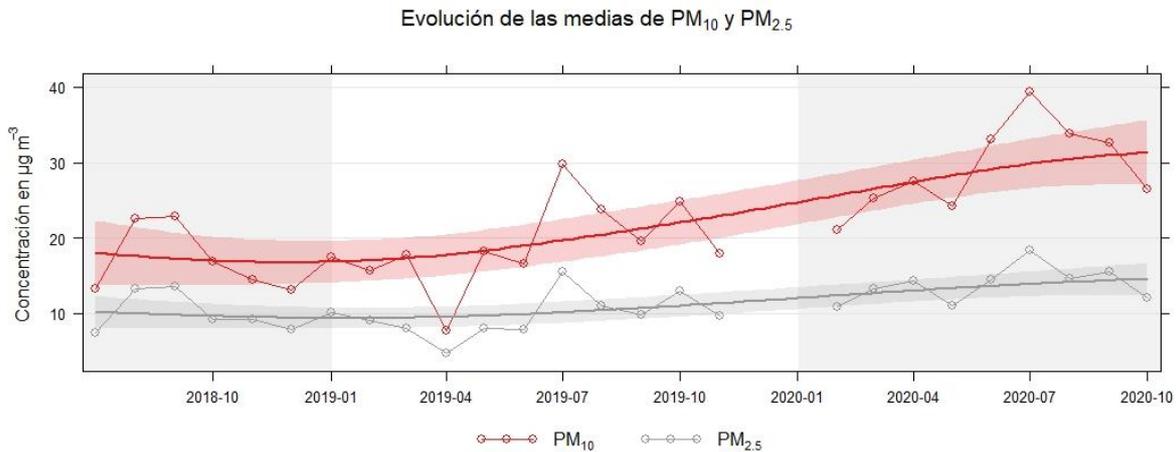


Figura 49. Diagrama de tendencia de PM10 y PM2.5 en el periodo completo.

Se puede apreciar en la Figura 50 el diagrama de dispersión de PM10 con los valores en bruto para el periodo completo. En el eje horizontal tenemos la fecha del periodo, en el eje vertical izquierdo se muestra la concentración de PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el eje vertical derecho se observa la velocidad del viento en una escala de colores expresado en km/h.

Se percibe según la Figura 50, una leve relación entre la velocidad del viento y el nivel de concentración de partículas, se puede decir que cuando la velocidad del viento es inferior a 10 km/h aproximadamente, las partículas son inferiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

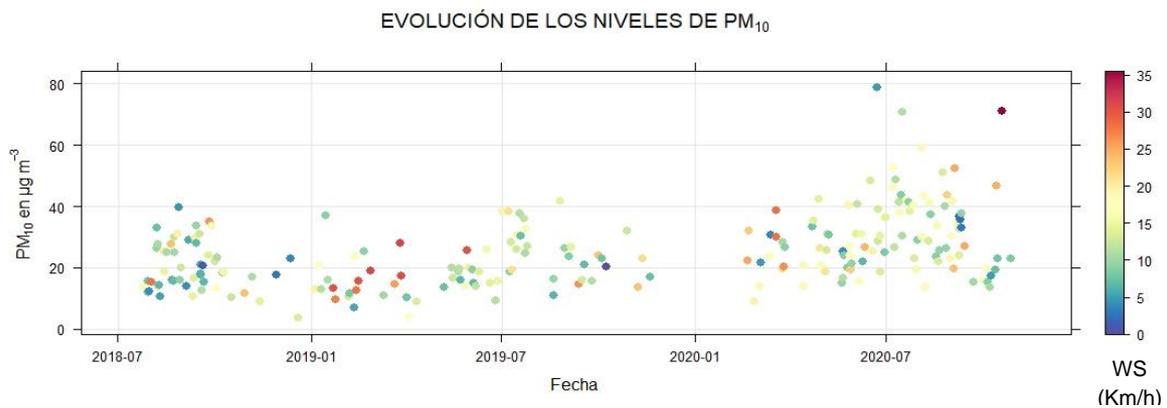


Figura 50. Diagrama de dispersión de PM10 según la velocidad del viento en el periodo completo.

Se puede apreciar en la Figura 51 el diagrama de dispersión de PM10 con los valores en bruto para el periodo completo. En el eje horizontal tenemos la fecha del periodo, en el eje vertical izquierdo se muestra la concentración de PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el eje vertical derecho se observa la humedad relativa en una escala de colores expresado en porcentaje (%).

Se percibe según la Figura 51, una leve relación entre la humedad relativa y el nivel de concentración de partículas, se puede decir que cuando la humedad relativa es superior al 60%, las partículas son inferiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. También se aprecia una mayor humedad en los meses de septiembre a marzo aproximadamente, coincidiendo con las estaciones de otoño e invierno.

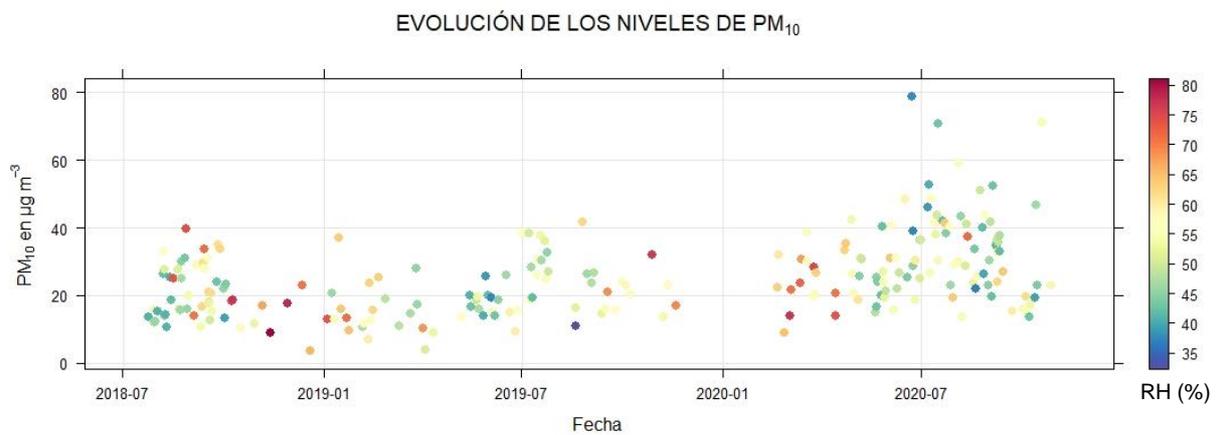


Figura 51. Diagrama de dispersión de PM10 según la humedad relativa en el periodo completo.

Se puede apreciar en la Figura 52 el diagrama de dispersión de PM10 con los valores en bruto para el periodo completo. En el eje horizontal tenemos la fecha del periodo, en el eje vertical izquierdo se muestra la concentración de PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el eje vertical derecho se observa la temperatura en una escala de colores expresado en grado Celsius o grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$).

Se percibe según la Figura 52 y 51, una relación entre la humedad relativa y la temperatura, es decir, a menor temperatura se produce mayor humedad y viceversa. Según la Figura 52, se observa una relación entre la temperatura y el nivel de concentración de partículas, se puede analizar que cuando la temperatura es más elevada, como ocurre en verano, las concentraciones de partículas son mayores. También se aprecia una menor temperatura en los meses de septiembre a marzo aproximadamente, como se puede predecir por las estaciones del año.

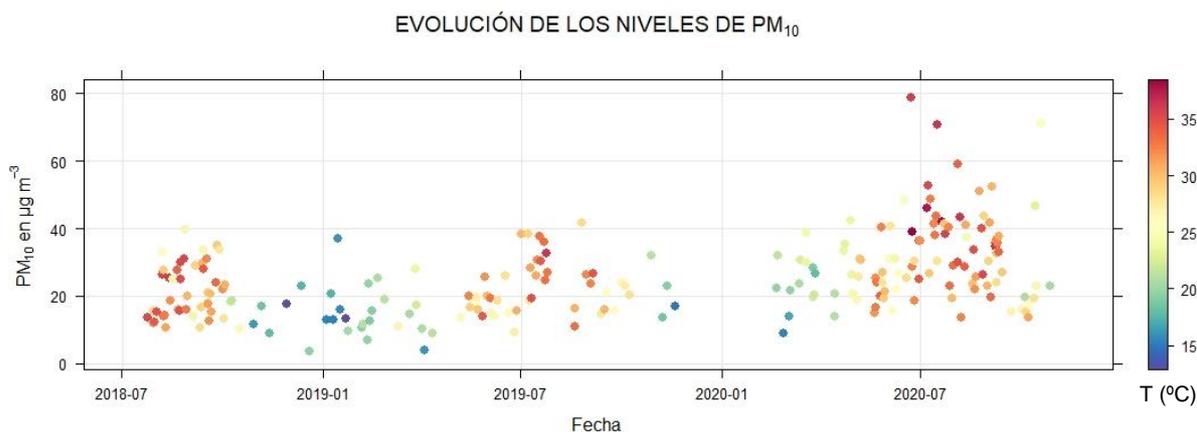


Figura 52. Diagrama de dispersión de PM10 según la temperatura en el periodo completo.

3.4. Mejoras realizadas en el AirBeam2.

Tras realizar el estudio de calidad del aire en la mina de Riotinto, se han advertido ciertas limitaciones o funcionamientos extraños en el dispositivo. En este apartado, se destacan algunos de estos comportamientos anómalos y se realizan una serie de reprogramaciones del AirBeam2 para corregir errores o mejorar el rendimiento del mismo.

Valores atípicos.

En primer lugar, se habla de los valores atípicos, también llamados “outliers”. Estos valores son observaciones extremas que difieren de los datos normales o gaussianos.

En nuestro caso, se trata de valores atípicos de error técnico, es decir, son errores en el procesamiento y almacenamiento de los datos de los diferentes sensores que componen el AirBeam2.

Se ha observado que duplica el valor a la hora de guardarlo y exportarlo. Este error no se trata de un error en la medición del sensor, sino de un error de duplicidad al guardar y exportar estos valores. Como se puede ver en la plataforma AirCasting (Figura 53) y en el Excel que genera (Figura 54), se muestra que la medición de la temperatura expresada en Fahrenheit (°F), alcanza el valor máximo de 9191°F, mientras que su valor es 91°F, como se viene observando en la Figura 54. Al realizar el tratamiento de datos, se han corregido estos valores de forma manual.



Figura 53. Valor atípico en la plataforma AirCasting.

ObjectID	Session_Name	Timestamp	Latitude	Longitude	Measurement_Value
1					Sensor_Package_Name
2					AirBeam2:0018961070C7
3					Sensor_Name
4					AirBeam2-F
5					Measurement_Type
6					Temperature
7					Measurement_Units
8					degrees Fahrenheit
9					1:Measurement_Value
11981	11972	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:33.921	37.70320031	-6.57238946
11982	11973	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:34.411	37.70320031	-6.57238946
11983	11974	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:34.412	37.70320031	-6.57238946
11984	11975	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:34.413	37.70320031	-6.57238946
11985	11976	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:34.414	37.70320031	-6.57238946
11986	11977	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:34.415	37.70320031	-6.57238946
11987	11978	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.405	37.70320031	-6.57238946
11988	11979	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.406	37.70320031	-6.57238946
11989	11980	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.406	37.70320031	-6.57238946
11990	11981	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.407	37.70320031	-6.57238946
11991	11982	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.408	37.70320031	-6.57238946
11992	11983	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.907	37.70320031	-6.57238946
11993	11984	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.908	37.70320031	-6.57238946
11994	11985	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.909	37.70320031	-6.57238946
11995	11986	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.910	37.70320031	-6.57238946
11996	11987	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:35.911	37.70320031	-6.57238946
11997	11988	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:36.405	37.70320031	-6.57238946
11998	11989	20180814 Control del polvo	2018-08-14T12:57:36.406	37.70320031	-6.57238946

Figura 54. Excel generado por AirCasting.

Temperatura.

En cuanto a la temperatura, los valores son generados y exportados en Fahrenheit (°F). Anteriormente se convertía a grados centígrados (°C) en el tratamiento de datos, como mejora en este trabajo, se ha incluido esta conversión de unidades en la programación interna del AirBeam2 para que se genere y exporte automáticamente en grados centígrados. Como se puede ver en la Figura 55, que muestra la programación del dispositivo, se ha seleccionado la opción 1 que corresponde a grado Celsius o grado centígrado.

```

double cel;
int fah;
int kelv;
int real_hum; //Variables used for sensors

byte tempselect = 1;
//change tempselect above to equal 1 for Celsius
//change tempselect above to equal 2 for Fahrenheit
//change tempselect above to equal 3 for Kelvin
//change tempselect above to equal 4 for Celsius and Fahrenheit
//change tempselect above to equal 5 for Fahrenheit and Kelvin
//change tempselect above to equal 6 for Celsius and Kelvin
//change tempselect above to equal 7 for Celsius, Fahrenheit and Kelvin

```

Figura 55. Reprogramando la temperatura del AirBeam2.

Tiempo de muestreo para la intercomparación.

En cuanto al tiempo de muestreo, el AirBeam2 genera y exporta mediciones cada segundo como ya vimos en apartados anteriores, dado que lo hace idóneo para ser un dispositivo móvil. En nuestro caso, para realizar la intercomparación antes estudiada en el periodo desde el 10 de junio hasta el 4 de agosto de 2021, y al encontrarse el AirBeam2 en una estación fija como es el Campus El Carmen, se procede a reprogramar el dispositivo para que muestre el promedio de los datos cada minuto en vez de cada segundo, con ello, se facilita el tratamiento de datos.

Para realizar esta mejora, se cambia el valor del parámetro “bt_timer” de 1000 que es un segundo a 60000 que es un minuto. (Figura 56).

```

/*Timers*/
unsigned long starttime = 0; //Pauser timer
unsigned long starttime0 = 0; //Used for PM Streaming timer
unsigned long starttime1 = 0; //Used for Streaming timer
unsigned long starttime2 = 0; //Used for Red Comm LED disconnect timer
unsigned long currentMillis = 0; //Used for initial time reference for configuration window
unsigned long led_stream = 0; //Used for White Comm LED reconnect timer
unsigned long timeskip = 0;
unsigned long timer_expired = 120000; //Change this for time frame period for configuration window
unsigned long bt_timer = 1000; //Reading interval for Bluetooth
unsigned long wifi_cell_timer = 60000; //Reading interval for WiFi and Cellular
unsigned long PT_timer = 100; //Frequency of query for Plantower
unsigned long begintime; //Begin time for the start of the AB2 firmware
unsigned long elapsedtime; //Elapsed time for the AB2 configuration window

```

Figura 56. Reprogramando el tiempo de muestreo del AirBeam2.

Calibración del sensor de partículas.

En cuanto a la calibración del sensor de partículas, el AirBeam2 trae una programación de serie. Dicha ecuación de calibración viene dividida para los tres tamaños de partículas, es decir, en PM10, PM2.5 y PM1.

Tras nuestro análisis en la intercomparación, se han modificado estas ecuaciones de serie añadiendo nuestros factores de corrección para obtener una medida más precisa con nuestro factor de corrección propio. Al hacer este cambio, los datos son generados y exportados con el valor ya corregido, sin tener que aplicar el factor de corrección a posteriori.

En la siguiente Tabla 31, se muestran las ecuaciones de serie y las corregidas por nuestro factor de forma resumida. En nuestro caso, no se tiene calibración del PM1, por ello, se mantiene la ecuación de serie.

Tabla 31. Ecuación de calibración del AirBeam2.

Calibración del AirBeam2 de serie		Calibración propia tras la intercomparación	
PM10	$y = 1.06Amb_{10}$	PM10	$y = (1.06Amb_{10})^{2.75}$
PM2.5	$y = 1.33Amb_{2.5}^{0.85}$	PM2.5	$y = (1.33Amb_{2.5}^{0.85})^{2.43}$
PM1	$y = 0.66776Amb_1^{1.1}$		

Calibración del sensor de partículas con mejoras del fabricante.

En cuanto a la calibración del sensor de partículas, el fabricante ha sacado al mercado una nueva versión "AirBeam3", en septiembre de 2021. En este nuevo dispositivo, se observa variaciones en las ecuaciones.

El fabricante, estudiando la línea de regresión y teniendo en cuenta la deriva de los valores que se produce a mayor concentración, ha realizado un ajuste de regresión por partes, como se puede ver en las Figuras 57 y 58 de PM1 y PM2.5. En las cuales, la línea roja es la regresión por partes y las líneas negras punteadas representan una línea con pendiente =1.

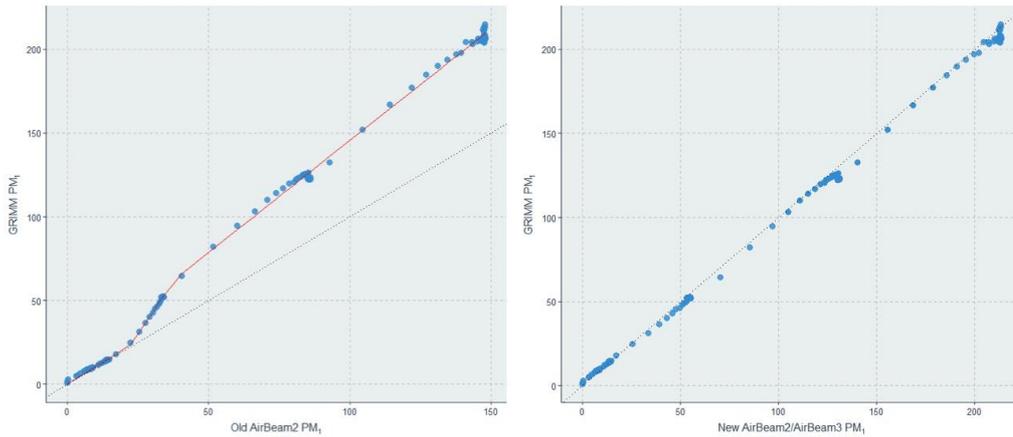


Figura 57. Regresión por partes de PM1 del AirBeam2/AirBeam3. Fuente: ([Habitatmap, 2021](#)).

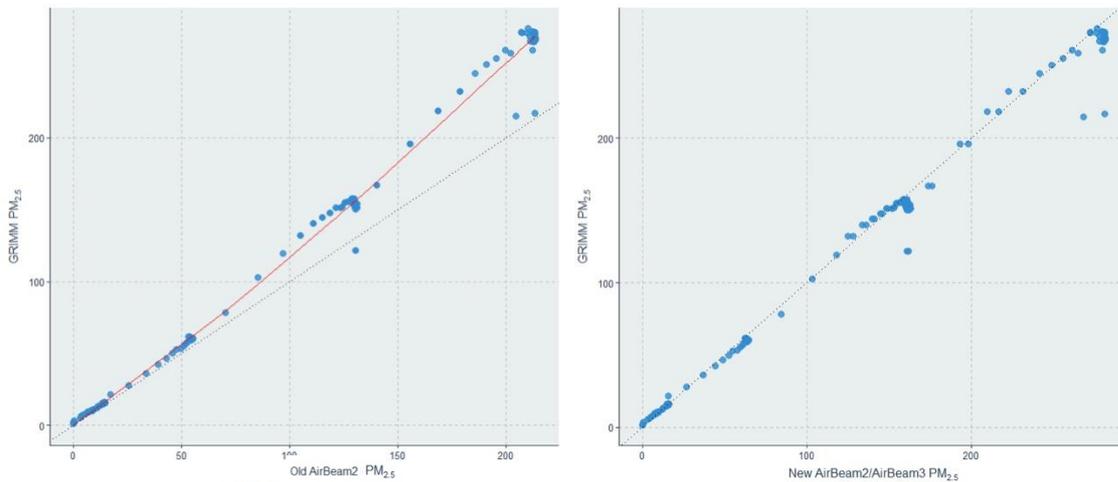


Figura 58. Regresión por partes de PM2.5 del AirBeam2/AirBeam3. Fuente: ([Habitatmap, 2021](#)).

Como se puede observar en las figuras anteriores, se ha realizado una regresión por partes para mejorar el ajuste. Para ello se ha usado un nuevo modelo, que consiste en dividir cada tamaño de partícula en diferentes rangos dependiendo de la concentración (Figura 59). Por otra parte, en la Figura 60, se ha reprogramado el AirBeam2 con el código del AirBeam3. De esta manera, es posible tener la nueva programación en un equipo más antiguo.

```

/*
  PM1 (x=PM1 bruto)
  0-22.14
  Y=1.0566x
  22.14-37.95
  Y=-30.9677+2.4554x
  >37.95
  Y=11.2026+1.3442x

  PM2.5 (PM1 = nueva ecuación transformada de PM1)
  0-30.16
  Y=1.0888*PM1
  30.16-126.85
  Y=-5.84+ 1.2826*PM1
  >126.85
  Y=-25.94 + 1.441*PM1

  Ecuación de PM10
  <20
  PM10=1.05*PM2.5
  >20
  PM10= -19+2*PM2.5
*/

```

Figura 59. Rango de ecuaciones para cada tamaño de partículas.

```

if (concPM1_0_amb < 22.14) {
  PM1_0 = (1.0566 * concPM1_0_amb);
}
else if (concPM1_0_amb > 22.13 && concPM1_0_amb < 37.95) {
  PM1_0 = (-30.9677 + (2.4554 * concPM1_0_amb));
}
else if (concPM1_0_amb > 37.94) {
  PM1_0 = (11.2026 + (1.3442 * concPM1_0_amb));
}

if (PM1_0 < 30.16) {
  PM2_5 = (1.0888 * PM1_0);
}
else if (PM1_0 > 30.15 && PM1_0 < 126.85) {
  PM2_5 = (-5.84 + (1.2826 * PM1_0));
}
else if (PM1_0 > 126.84) {
  PM2_5 = (-25.94 + (1.441 * PM1_0));
}

if (PM2_5 < 20.0) {
  PM10_0 = (1.05 * PM2_5);
}
else if (PM2_5 > 19.99) {
  PM10_0 = -19.0 + (2.0 * PM2_5);
}

```

Figura 60. Reprogramación del AirBeam2 según rangos de concentración de PM.

Este estudio no tiene en cuenta la humedad relativa, ni cualquier otro factor que pueda alterar estas mediciones, ya sea por variación geográfica o estacional de los diferentes aerosoles.

Por este motivo, se propone la realización de un análisis teniendo en cuenta estas variables como se ha realizado en el estudio que se ha hecho en el Plantower PMS5003 del dispositivo PurpleAir ([Barkjohn et al., 2021](#)).

En nuestro caso, se ha usado las ecuaciones de corrección lineales, en la siguiente tabla (Tabla 32), se muestra las diferentes ecuaciones que se podrían adaptar a nuestro modelo teniendo en cuenta los diferentes factores como pueden ser:

- T = temperatura.
- RH = humedad relativa.
- D = punto de rocío.

Tabla 32. Ecuaciones teniendo en cuenta diversos factores. Fuente: ([Barkjohn et al., 2021](#)).

Nombre	Ecuación	RMSE ($\mu\text{g m}^{-3}$)	
		(cf_1)	(cf_atm)
Lineal	$PA = PM_{2.5} \times s_1 + b$	2.88*	3.01
+RH	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + i$	2.52*	2.59
+T	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times T + i$	2.84	2.96
+D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times D + i$	2.86	2.99
+RH × T	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times T + s_4 \times RH \times T + i$	2.52	2.60
+RH × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times D + s_4 \times RH \times D + i$	2.52	2.60
+D × T	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times D + s_3 \times T + s_4 \times D \times T + i$	2.51*	2.61
+RH × T × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times T + s_4 \times D + s_5 \times RH \times T + s_6 \times RH \times D + s_7 \times T \times D + s_8 \times RH \times T \times D + i$	2.48*	2.57
PM × RH	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times RH \times PM_{2.5} + i$	2.48*	2.53
PM × T	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times T + s_3 \times T \times PM_{2.5} + i$	2.84	2.96
PM × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times D + s_3 \times D \times PM_{2.5} + i$	2.86	3.00
PM × no lineal RH	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \frac{RH^2}{(1-RH)} \times PM_{2.5} + s_3 \times \frac{RH^2}{(1-RH)} + i$	2.86	2.99
PM × RH × T	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times T + s_4 \times PM_{2.5} \times RH + s_5 \times PM_{2.5} \times T + s_6 \times RH \times T + s_7 \times PM_{2.5} \times RH \times T + i$	2.46*	2.53
PM × RH × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times D + s_4 \times PM_{2.5} \times RH + s_5 \times PM_{2.5} \times D + s_6 \times RH \times D + s_7 \times PM_{2.5} \times RH \times D + i$	2.54	2.57
PM × T × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times T + s_3 \times D + s_4 \times PM_{2.5} \times T + s_5 \times PM_{2.5} \times D + s_6 \times T \times D + s_7 \times PM_{2.5} \times T \times D + i$	2.52	2.63
PM × RH × T × D	$PA = s_1 \times PM_{2.5} + s_2 \times RH + s_3 \times T + s_4 \times D + s_5 \times PM_{2.5} \times RH + s_6 \times PM_{2.5} \times T + s_7 \times T \times RH + s_8 \times PM_{2.5} \times D + s_9 \times D \times RH + s_{10} \times D \times T + s_{11} \times PM_{2.5} \times RH \times T + s_{12} \times PM_{2.5} \times RH \times D + s_{13} \times PM_{2.5} \times D \times T + s_{14} \times D \times RH \times T + s_{15} \times PM_{2.5} \times RH \times T \times D + i$	2.42*	2.51

4. CONCLUSIONES.

En este estudio se ha realizado un análisis de los niveles de concentración de partículas en las instalaciones de Atalaya Riotinto Minera, S.L.U., ubicado en el término municipal de Minas de Riotinto en la provincia de Huelva, para ello se ha empleado un dispositivo LCS móvil como es el AirBeam2.

El proyecto se enmarca en el periodo comprendido entre el 24 de julio de 2018 y el 27 de octubre de 2020. En este periodo se han realizado 220 muestreos recorriendo las instalaciones del recinto minero.

En este tiempo se han alcanzado con valores en bruto de PM2.5, un promedio de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un máximo de 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un mínimo de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que para PM10, se alcanza un promedio de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un máximo de 464 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un mínimo de 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tras la obtención de estos valores, se ha procedido a realizar la intercomparación en el Campus El Carmen con los equipos de referencia, durante 64 días, correspondientes al periodo comprendido entre el 10 de junio y 4 de agosto de 2021. A continuación, se han analizado los datos obtenidos con el fin de calcular un factor de corrección de PM10 y de PM2.5, que permita asemejarlos a los valores que se conseguirían con un equipo de referencia, calibrando así nuestra ecuación del AirBeam2 y generando medidas más precisas.

Sin embargo, los LCS tienen márgenes de errores, que se incrementan en el tiempo debido a la deriva del propio equipo, además de los factores meteorológicos externos como es la humedad relativa, la temperatura y el viento que deterioran los sensores. Todo ello provoca que las mediciones presenten una alta dispersión en los datos ofreciendo datos que son muy diferentes a las que se obtienen de los captadores de alto volumen. Sin embargo, la mayor virtud de estos equipos es que ofrecen un monitoreo 24/7, lo que permite utilizarlos como sistema de alerta para detectar emisiones extremas de polvo de manera continua.

Se puede decir que estos equipos son útiles a corto plazo, ya que no se verían afectados por la deriva ni condiciones meteorológicas, pero si se quisieran utilizar en un periodo más prolongado de tiempo, necesitaría un constante mantenimiento y

calibración para asegurar la precisión en las mediciones, según la situación geográfica y estacional.

Como conclusión general, el uso de este dispositivo LCS móvil ha permitido conocer la concentración de aerosoles atmosféricos con una alta resolución espacio-temporal y a tiempo real de manera considerablemente fiable, mediante la realización de rutas diarias de inspección dentro del recinto minero. Así, se delimitan las zonas mineras que producen mayores concentraciones de material particulado, pudiendo actuar sobre ellas mediante la aplicación de medidas de abatimiento de partículas, como el riego, lo que evita la resuspensión de aerosoles y el respeto de las normas establecidas por la ley.

El coste económico de los sensores es muy bajo, en comparación a otros métodos más complejos y poco operativos desde el punto de vista minero.

En estos momentos se está incorporando este tipo de sensores móviles en vuelos con drones, lo que permitirá reducir el tiempo de muestreo y obtener resultados de emisiones más globales de la explotación minera.

5. REFERENCIAS.

- Aberer, K., Sathe, S., Chakraborty, D., Martinoli, A., Barrenetxea, G., Faltings, B., & Thiele, L. (2010). OpenSense: Open community driven sensing of environment. *Proceedings of the ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming, IWGS 2010*, 39–42. <https://doi.org/10.1145/1878500.1878509>
- AENOR. (2015). *UNE-EN 12341:2015*.
- AirLAB. (2021). *MICROSENSOR CHALLENGE EDITION 2021*. <http://www.airlab.solutions/en/projects/microsensor-challenge>
- AQ-SPEC. (2016). *South Coast Air Quality Management District Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC) sensor field evaluations*. <http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-pm>
- Atalaya Riotinto Minera, S. L. . (2021). *Proyecto Riotinto*. <https://riotinto.atalayamining.com>
- Atmel. (2016). *Teensy ++*. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/7593S.pdf>
- Ayala-Carcedo, F. J. (1991). *Evaluación y corrección de impactos ambientales*. ITGE.
- Ayala-Carcedo, F. J. (1998). *Guía visual para evaluación y corrección de impactos ambientales*. ITGE.
- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., & Modzel, P. (2018). Evaluation of low-cost sensors for ambient PM_{2.5} monitoring. *Journal of Sensors*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5096540>
- Barkjohn, K. K., Gantt, B., & Clements, A. L. (2021). Development and application of a United States-wide correction for PM_{2.5} data collected with the PurpleAir sensor. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(6), 4617–4637. <https://doi.org/10.5194/amt-14-4617-2021>
- Baron, R., & Saffell, J. (2017). Amperometric Gas Sensors as a Low Cost Emerging Technology Platform for Air Quality Monitoring Applications: A Review. *ACS Sensors*, 2(11), 1553–1566. <https://doi.org/10.1021/acssensors.7b00620>
- BOE. (2007). *LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera*. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ley34_2007calidad_proteccion_atmosfera_tcm30-187907.pdf
- BOE. (2011). Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. *Boletín Oficial Del Estado*, BOE-A-2011(29 de enero de 2011), 44.1-44.33. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-1645-consolidado.pdf>

- Breathe London. (2019). *Breathe London Technical Report*.
<https://www.globalcleanair.org/files/2021/05/BL-Pilot-Final-Technical-Report.pdf>
- Carslaw, D. C. (2021). *OpenAir: Tools for the Analysis of Air Pollution Data (2.8-6)*.
<https://cran.r-project.org/web/packages/openair/index.html>
- Carslaw, D. C., & Ropkins, K. (2012). Openair - An r package for air quality data analysis. *Environmental Modelling and Software*, 27–28, 52–61.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>
- Castell, N., Kobernus, M., Liu, H. Y., Schneider, P., Lahoz, W., Berre, A. J., & Noll, J. (2015). Mobile technologies and services for environmental monitoring: The CitiSense-MOB approach. *Urban Climate*, 14, 370–382.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.08.002>
- Clements, A. L., Griswold, W. G., Abhijit, R. S., Johnston, J. E., Herting, M. M., Thorson, J., Collier-Oxandale, A., & Hannigan, M. (2017). Low-cost air quality monitoring tools: From research to practice (A workshop summary). *Sensors (Switzerland)*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/s17112478>
- Commission's, E. (2002). *Working Group on Particulate Matter*.
<https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/finalwgreporten.pdf>
- Crilley, L. R., Shaw, M., Pound, R., Kramer, L. J., Price, R., Young, S., Lewis, A. C., & Pope, F. D. (2018). Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2), 709–720. <https://doi.org/10.5194/amt-11-709-2018>
- DTP. (2016). *605068 batería*. <https://www.sparkfun.com/products/13855>
- EC Working Group. (2010). *GUIDE TO THE DEMONSTRATION OF EQUIVALENCE OF AMBIENT AIR MONITORING METHODS*.
https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/aquila-guide_equivalence.pdf
- EPA. (2021a). *Guía de instrucciones y herramienta de macroanálisis: evaluación de sensores de aire de bajo costo mediante la colocación con monitores de referencia federales*. <https://www.epa.gov/air-research/instruction-guide-and-macro-analysis-tool-evaluating-low-cost-air-sensors-collocation>
- EPA. (2021b). *Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors: Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications*.
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=CEMM&dirEntryId=350785
- Equipo Unal-Palmira. (2019). *INFORME FINAL EQUIPO UNAL-PALMIRA "CALI RESPIRA."* http://www.tuciudadrespira.com/uploaded/Informe_Final_Concurso_Cali_Respira_Equipo_UNAL-Palmira.pdf

- Espressif. (2016). *ESP8266-ESP-12S*. <https://www.mouser.es/pdfDocs/ESP-12SDatasheet.pdf>
- EU Working Group. (2018). *Air quality in Europe — 2018 report*. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018/download>
- Feenstra, B., Papapostolou, V., Hasheminassab, S., Zhang, H., Boghossian, B. Der, Cocker, D., & Polidori, A. (2019). Performance evaluation of twelve low-cost PM2.5 sensors at an ambient air monitoring site. *Atmospheric Environment*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116946>
- Fernández, R. (2021). El sector minero en España - Datos estadísticos. *Statista*. <https://es.statista.com/temas/5427/la-industria-extractiva-en-espana/>
- Frederick, S., Johnson, K., Johnson, C., Yaga, R., & Clements, A. (2020). *Performance Evaluations of PM2.5 Sensors in Research Triangle Park, NC: PurpleAir PA-II-SD, Aeroqual AQY, Applied Particle Technology Maxima, Vaisala AQT420, Sens-it RAMP, and Clarity Node-S*. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=CEMM&dirEntryId=348487
- Freudenberg Filtration Technologies SE & Co. KG. (2021). *Polvo fino en las vías respiratorias*. <https://micronairblue.com/es/polvo-fino>
- Gobierno de España. (1985). Real Decreto 863/1985, 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. *Boletín Oficial Del Estado*, 140, 12 de junio 1985, 10836–17877.
- Habitatmap. (2021). *HabitatMap - AirBeam2 - AirBeam3 - AirCasting*. <https://www.habitatmap.org/>
- Honeywell. (2010). *HIH-5030-001*. https://www.mouser.es/datasheet/2/187/honeywell-sensing-hih5030-5031_series-product-shee-1846297.pdf
- Jayaratne, R., Liu, X., Ahn, K. H., Asumadu-Sakyi, A., Fisher, G., Gao, J., Mabon, A., Mazaheri, M., Mullins, B., Nyaku, M., Ristovski, Z., Scorgie, Y., Thai, P., Dunbabin, M., & Morawska, L. (2020). Low-cost PM2.5 sensors: An assessment of their suitability for various applications. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(3), 520–532. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.10.0390>
- Jayaratne, R., Liu, X., Thai, P., Dunbabin, M., & Morawska, L. (2018). The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(8), 4883–4890. <https://doi.org/10.5194/amt-11-4883-2018>
- Junta de Andalucía. (2006). *DECRETO 151/2006, de 25 de julio, por el que se establecen los valores límite y la metodología a aplicar en el control de las emisiones no canalizadas de partículas por las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera*. 15–21.

- Kahraman, M. M., & Erkayaoglu, M. (2021). A Data-Driven Approach to Control Fugitive Dust in Mine Operations. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 38(1), 549–558. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00318-2>
- Karagulian, F., Barbieri, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S., & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/atmos10090506>
- Khan, M. A. H., Rao, M. V., & Li, Q. (2019). Recent advances in electrochemical sensors for detecting toxic gases: NO₂, SO₂ and H₂S. *Sensors (Switzerland)*, 19(4). <https://doi.org/10.3390/s19040905>
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., & Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, 75, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
- Manuel, O. G. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1), 16–25.
- Marutz, C. D. C. (2014). *Medicina y Seguridad del Trabajo*. 60(237), 756–778.
- Mead, M. I., Popoola, O. A. M., Stewart, G. B., Landshoff, P., Calleja, M., Hayes, M., Baldovi, J. J., McLeod, M. W., Hodgson, T. F., Dicks, J., Lewis, A., Cohen, J., Baron, R., Saffell, J. R., & Jones, R. L. (2013). The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, 70, 186–203. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>
- Meteosim. (2019). *Medidas de mitigación en entornos mineros*. <https://meteosim.com/medidas-mitigacion-entornos-mineros/>
- Microchip. (2016). MCP9700T-E/TT. <https://www.mouser.es/datasheet/2/268/20001942G-1820450.pdf>
- Microsoft Office. (2021). *Excel Professional Plus 2021 Preview* (No. 2110).
- Mie. (2011). *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications* - Google Libros. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ETvXooNW4-EC&oi=fnd&pg=PA269&ots=Go0owAPXQt&sig=T_BuvVpQhfkkgSyYF854-RWXhIZU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Minera, S. (2021). *Orden TED / 723 / 2021 , de 1 de julio , por la que se aprueba la trabajadores contra el riesgo por inhalación de polvo y sílice cristalina respirables ", del Reglamento General de Normas Básicas de TEXTO CONSOLIDADO Última modificación : sin modificación. 2–9.*

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). Orden TEC/351/2019 sobre Índice Nacional de Calidad del Aire. *Descripción de La Propuesta Del Índice Nacional de Calidad Del Aire*, 2, 15. <http://respiramexico.org.mx/wp-content/uploads/2015/03/Presentación-INSP.pdf>
- Morawska, L., Thai, P. K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., Bedini, A., Chai, F., Christensen, B., Dunbabin, M., Gao, J., Hagler, G. S. W., Jayaratne, R., Kumar, P., Lau, A. K. H., Louie, P. K. K., Mazaheri, M., Ning, Z., Motta, N., ... Williams, R. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, 116, 286–299. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.04.018>
- Mukherjee, A., Stanton, L. G., Graham, A. R., & Roberts, P. T. (2017). Assessing the utility of low-cost particulate matter sensors over a 12-week period in the Cuyama valley of California. *Sensors (Switzerland)*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/s17081805>
- Müller, M. (2021). *Meteoblue*. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/export/nerva_españa
- Nova. (2016). *MDCS42, Versión 2.1 + EDR*. <https://www.inovacomm.com/class-2-bluetooth-module-nvc-mdcs42a.html>
- Nriagu, J. O., & Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333(6169), 134–139. <https://doi.org/10.1038/333134A0>
- Parlamento Europeo, C. de la U. E. (2008). Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de La Unión Europea. Serie L*, 152, 11 de junio, 1–44. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050>
- Peltier, R. E. (2021). *An Update on Low-cost Sensors for the Measurement of Atmospheric Composition*. WMO. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10620
- Plantower. (2016). *PMS7003*. https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003_series_data_manua_English_V2.5.pdf
- Polvo fugitivo. (2021). In *Real Academia de Ingeniería*. <http://diccionario.raing.es/es/lema/polvo-fugitivo>
- Qin, X., Hou, L., Gao, J., & Si, S. (2020). The evaluation and optimization of calibration methods for low-cost particulate matter sensors: Inter-comparison between fixed and mobile methods. *Science of the Total Environment*, 715. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136791>

- Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., & Rickerby, D. (2017). End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Science of the Total Environment*, 607–608, 691–705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266>
- Represa, N. S., Fernández-Sarría, A., Porta, A., & Palomar-Vázquez, J. (2020). Data Mining Paradigm in the Study of Air Quality. *Environmental Processes*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00407-5>
- SIMCOM. (2016). *SIM808, 2G GSM*. https://www.tme.eu/es/details/sim808-bt-eat/modulos-m2m-gprs-hspa-lte/simcom/s2-1060c-z1f0a/?brutto=1¤cy=EUR&gclid=Cj0KCQiAhMOMBhDhARIsAPVml-GF_QZJSwICPRwRLIvx3PCe8uHEZNwwwxWQZ8Ev7OiyQnONPR87wUaAn7KEALw_wcB
- Sistema de Información del Medio Ambiente*. (2010). <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/ConcentracionPTS13.pdf>
- Tagle, M., Rojas, F., Reyes, F., Vásquez, Y., Hallgren, F., Lindén, J., Kolev, D., Watne, Å. K., & Oyola, P. (2020). Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8118-4>
- Toro, A., García de los Ríos-Cobo, J. I., Fadón, O., Cabrera, R., & Acebes, P. (2020). *Impactos ambientales en minería metálica*. <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/265811-Impactos-ambientales-en-mineria-metalica.html>
- Valenta, R. K., Kemp, D., Owen, J. R., Corder, G. D., & Lèbre. (2019). Re-thinking complex orebodies: Consequences for the future world supply of copper. *Journal of Cleaner Production*, 220, 816–826.
- WHO European Centre for Environment and Health. (2021). *WHO global air quality guidelines*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>
- Zou, Y., Clark, J. D., & May, A. A. (2021). A systematic investigation on the effects of temperature and relative humidity on the performance of eight low-cost particle sensors and devices. *Journal of Aerosol Science*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105715>

6. ANEXOS.

Anexo 1. Descripción del hardware.

En este anexo, se define los diferentes componentes que tiene el AirBeam2.

Sensor de partículas (PM).

De entre todos los métodos para la determinación de la concentración de aerosoles atmosféricos, la medida indirecta de la concentración en masa basada en la dispersión de la luz (teoría de Mie), se considera el método que posee un coste económico aceptable.

Dicho fenómeno se produce cuando la luz viaja de un material con un cierto índice de refracción (como el aire) a un material con un índice de refracción diferente (como las partículas de polvo). Los Contadores ópticos de partículas emplean espejos y lentes para recoger la luz dispersa y enfocar esta luz dispersa en un fotodetector. El detector convierte la luz dispersada en señales eléctricas o pulsos, cada pulso se correlaciona con una partícula y el instrumento convierte estos pulsos en datos numéricos de tamaños de partículas (Figura A1).

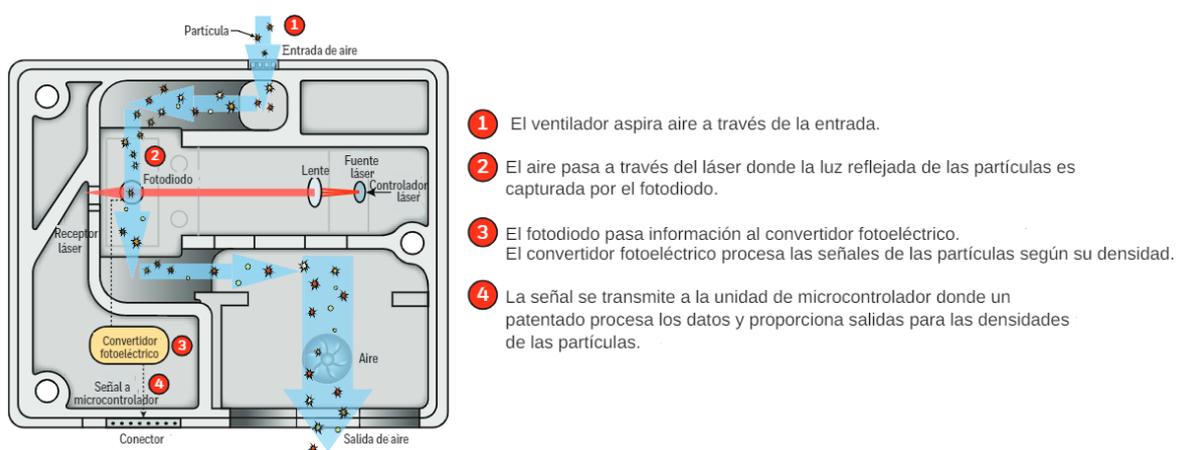


Figura A1. Esquema dispositivos LCS ([Fuente Honeywell, 2010](#)).

La teoría de Gustav Mie, fue desarrollada a principios del siglo XX, es la solución completa de las ecuaciones de Maxwell para la dispersión de las ondas electromagnéticas en las partículas esféricas. Puede utilizarse para analizar las distribuciones de intensidad características incluso para partículas muy pequeñas que, contrariamente a la teoría de Fraunhofer, no se limitan a ángulos de dispersión inferiores a 90° , sino que también se producen para ángulos de dispersión superiores a 90° . A fin de utilizar la distribución de intensidad determinada para calcular el tamaño de las partículas, es necesario conocer el índice de refracción y el índice de absorción del material de muestra para la teoría de Mie, en contraposición a la teoría de Fraunhofer ([Mie, 2011](#)).

En el AirBeam2, el sensor de partículas utilizado es el modelo PMS7003 fabricado en el 2016 por la empresa Plantower.

Tiene una serie de características asociadas que lo hacen idóneos para los requerimientos en el estudio minero ([Plantower, 2016](#)):

- Dimensiones: 48x37x12 mm (Figura A2).
- El consumo de corriente cuando está activo es de unos 100 mA, y cuando se encuentra suspendido o en modo reposo sería de unos 200 μ A.
- El precio medio es de 34 €.
- Temperatura de operación de -10°C a +60°C.
- Rango de humedad de operación de 0 ~ 99%.
- Tensión de alimentación de 4.5V a 5.5V.
- Rango efectivo de medida de 0 ~ 500 μ g/m³.
- Error máximo para PM2.5 es de 0 ~ 100 \pm 10 μ g/m³.
- Vida útil es de 3 años.

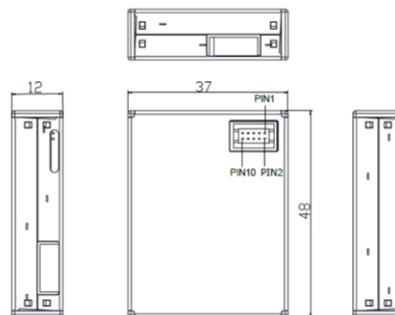


Figura A2. Plantower PMS7003 con las dimensiones en mm.

Los pines de conexión están distribuidos de la siguiente manera (Figura A3).

Pin 1 → Vcc (5V).

Pin 2 → Vcc (5V).

Pin 3 → Tierra (Gnd).

Pin 4 → Tierra (Gnd).

Pin 5 → Reiniciar.

Pin 7 → RX.

Pin 9 → TX.

Pin 10 → Modo reposo.

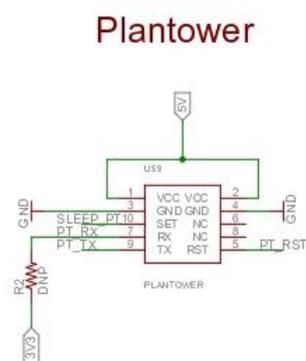


Figura A3. Esquema del sensor Plantower PMS7003.

Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura utilizado es el modelo MCP9700T-E/TT fabricado por Microchip.

Tiene una serie de características ([Microchip, 2016](#)):

- Dimensiones: 48x37x12 mm (Figura A4).
- El precio medio es de 0.20 €.
- Amplio rango de medición de -40°C a 125°C .
- La precisión es de 0°C a $70^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ (máximo).
- Tensión de alimentación de 2.3V a 5.5V.
- El consumo de corriente cuando está activo es de unos 6 μA .

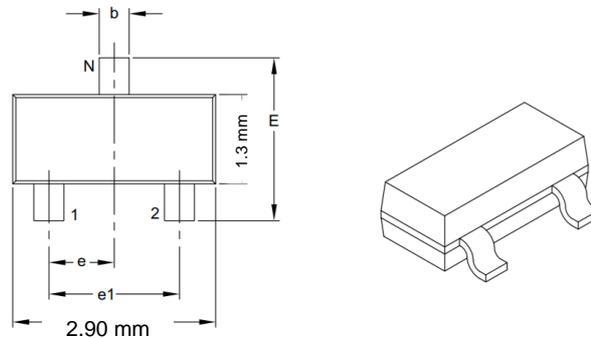


Figura A4. Sensor Microchip MCP9700T-E/TT con las dimensiones en mm.

Los pines de conexión están distribuidos de la siguiente manera (Figura A5):

Pin 1 → Vcc (5V).

Pin N → Tierra (Gnd).

Pin 2 → Tensión de salida (Vout).

Temperature Sensor

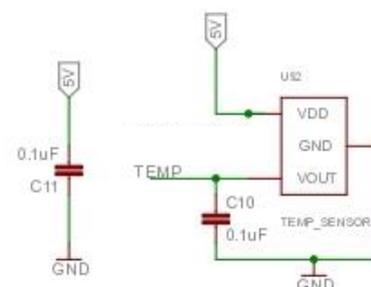


Figura A5. Esquema del sensor Microchip MCP9700T-E/TT.

Sensor de humedad.

El sensor de humedad utilizado es el modelo HIH-5030-001 fabricado por Honeywell.

Tiene una serie de características ([Honeywell, 2010](#)):

- Dimensiones: 8.59x4.17x2.67 mm (Figura A6).
- El precio medio es de 15 €.
- Temperatura de operación de -40°C a +85°C.
- Amplio rango de medición de 0% a 100% de humedad relativa.
- La precisión es de 11% a 89% \pm 3% RH (máximo).
- Tensión de alimentación de 2.7V a 5.5V.
- El consumo de corriente cuando está activo es de unos 200 μ A.

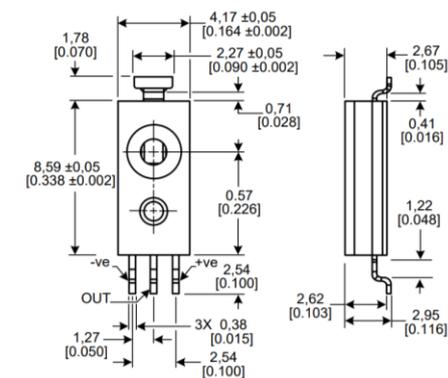


Figura A6. Honeywell HIH-5030-001 con las dimensiones en mm [in].

Los pines de conexión están distribuidos de la siguiente manera (Figura A7):

Pin 1 \rightarrow Tierra (Gnd).

Pin 2 \rightarrow Tensión de salida (Vout).

Pin 3 \rightarrow Vcc (5V).

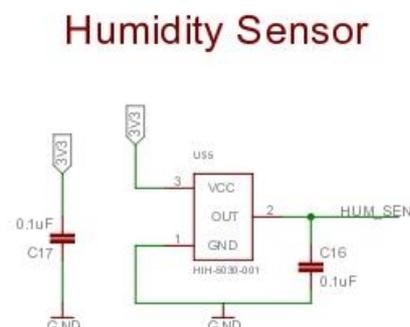


Figura A7. Esquema del sensor Honeywell HIH-5030-001.

Wireless.

El WiFi utilizado es el modelo ESP8266-ESP-12S a 2.4 GHz fabricado por Espressif.

Tiene una serie de características ([Espressif, 2016](#)):

- Dimensiones: 24x16x3 mm (Figura A8).
- El precio medio es de 10 €.
- Temperatura de operación de -20°C a +85°C.
- Rango de frecuencia es de 2412-2484 MHz.
- Seguridad admitida: WEP/WPA-PSK/WPA2-PSK.
- Tensión de alimentación de 3V a 3.6V.
- El consumo de corriente cuando está activo es de unos 300 mA.

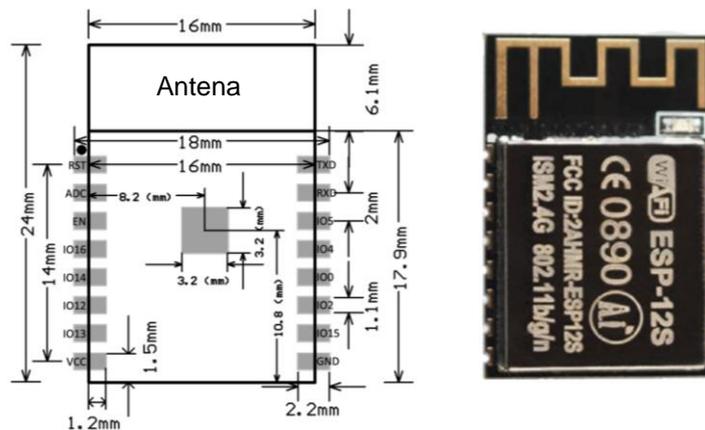


Figura A8. Espressif ESP8266-ESP-12S a 2.4 GHz con las dimensiones en mm.

Los pines de conexión están distribuidos de la siguiente manera (Figura A9):

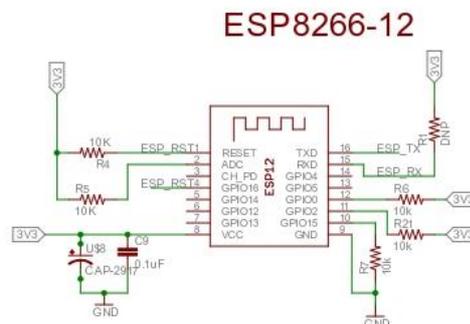


Figura A9. Esquema del Espressif ESP8266-ESP-12S a 2.4 GHz.

Móvil (2G).

El Bluetooth utilizado es el modelo SIM808 a 2G GSM fabricado por SIMCOM.

Tiene una serie de características ([SIMCOM, 2016](#)):

- Dimensiones: 24x24x2.6 mm (Figura A12).
- El precio medio es de 27 €.
- Temperatura de operación de -40°C a +85°C.
- Módulo completo GSM/GPRS cuatribanda (850/900/1800/1900MHz) combinado con GPS.
- La potencia de salida del módulo a 1 W (class 1 @ 1800/1900MHz) y a 2 W (class 4 @ 850/900MHz).
- El protocolo de comunicación es con Bluetooth 3.0.
- Tensión de alimentación de 3.4V a 4.4V.



Figura A12. SIMCOM SIM808, 2G GSM.

Los pines de conexión están distribuidos de la siguiente manera (Figura A13):

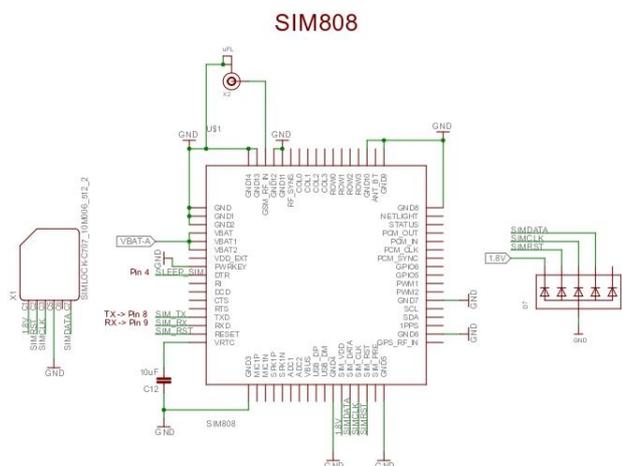


Figura A13. Esquema del SIMCOM SIM808, 2G GSM.

Batería.

La batería utilizada, modelo 605068 fabricado por DTP, es de polímero de iones de litio recargable de 3,7 V de 2000 mAh. Puede dar una autonomía al AirBeam2 de 10 horas, cuando está completamente cargada. La batería se carga a través del puerto USB-C. El indicador de carga de la batería se ilumina en verde fijo cuando el AirBeam2 se está cargando y se apaga cuando el AirBeam2 está completamente cargado.

Tiene una serie de características ([DTP, 2016](#)):

- Dimensiones: 67.33x50.24x5.61 mm (Figura A14).
- Para su conexión, cuenta con un conector JST-PH estándar de 2 pines.
- Lleva en la PCB un cargador de batería modelo MCP73831T, en el cual, lleva recogida las condiciones de carga como es la temperatura de operación y rango de alimentación (voltaje), para que no se produzcan sobrecalentamientos ni descargas excesivas en los niveles de tensión.
- Voltaje nominal es de 3.7V.
- El precio medio es de 13 €.
- Temperatura de operación de -25°C a +60°C.



Figura A14. Batería DTP 605068 con las dimensiones en mm.

Los pines de conexión de la batería están distribuidos de la siguiente manera (Figura A15):

Battery Connector

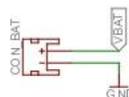


Figura A15. Esquema de la Batería DTP 605068.

Esquemático.

En este apartado, se muestra el esquemático completo del AirBeam2, además de los componentes que hemos visto, se observan los diferentes acondicionamientos que se necesita para poner el funcionamiento el dispositivo, como son filtros de potencia, reguladores de voltaje, interruptores para regulación, leds de comunicación y programación, conectores de batería y USB, convertidor de nivel lógico 5V y FTDI (interfaz de programación de USB a I²C/UART) (Figura A18).

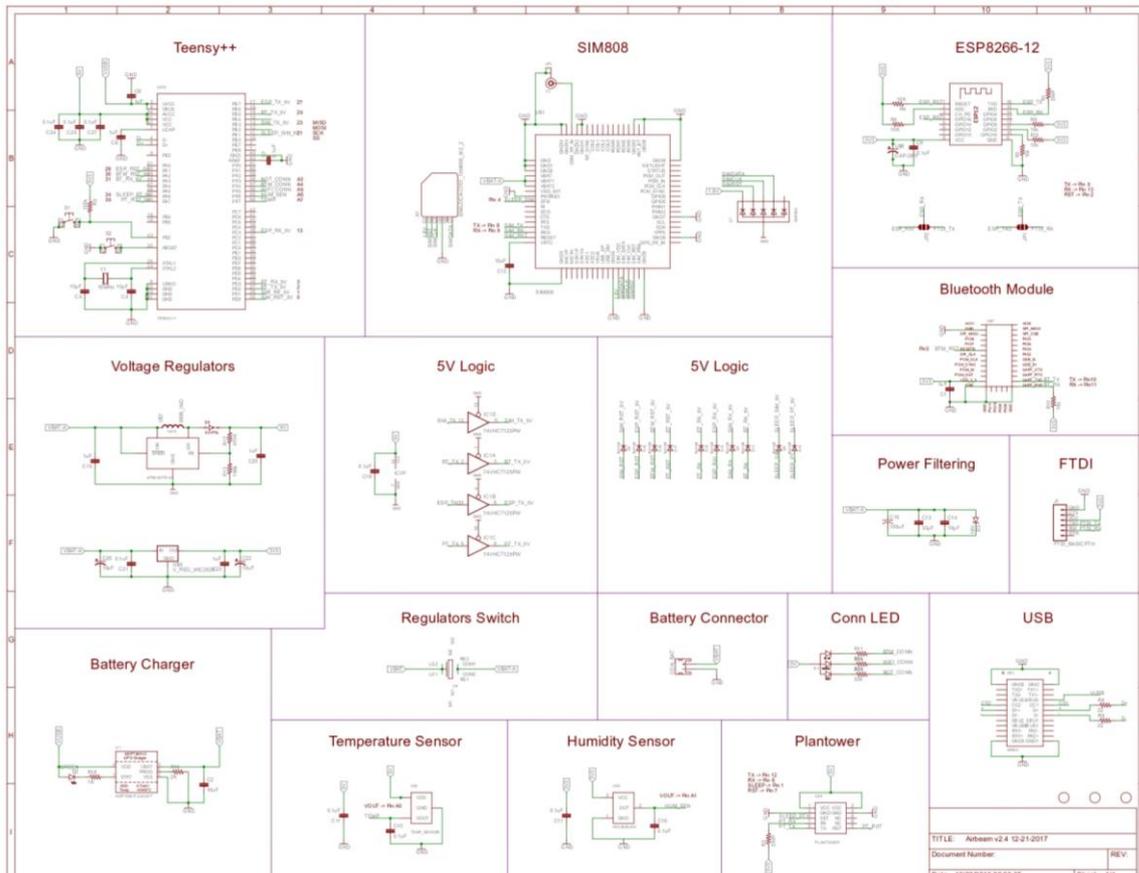


Figura A18. Esquema completo del AirBeam2.

PCB.

Tras el diseño del esquemático, se crea la placa PCB (Placa de circuito impreso). La placa del AirBeam2 es multiplaca, es decir, la distribución de los componentes se encuentra en ambas caras de la PCB. Además, se ha tenido en cuenta el diseño de la carcasa del Airbeam2 y la situación de los conectores para facilitar su uso (Figura A19). Quedando unas dimensiones de la placa de 97.38 x 87.02 mm.

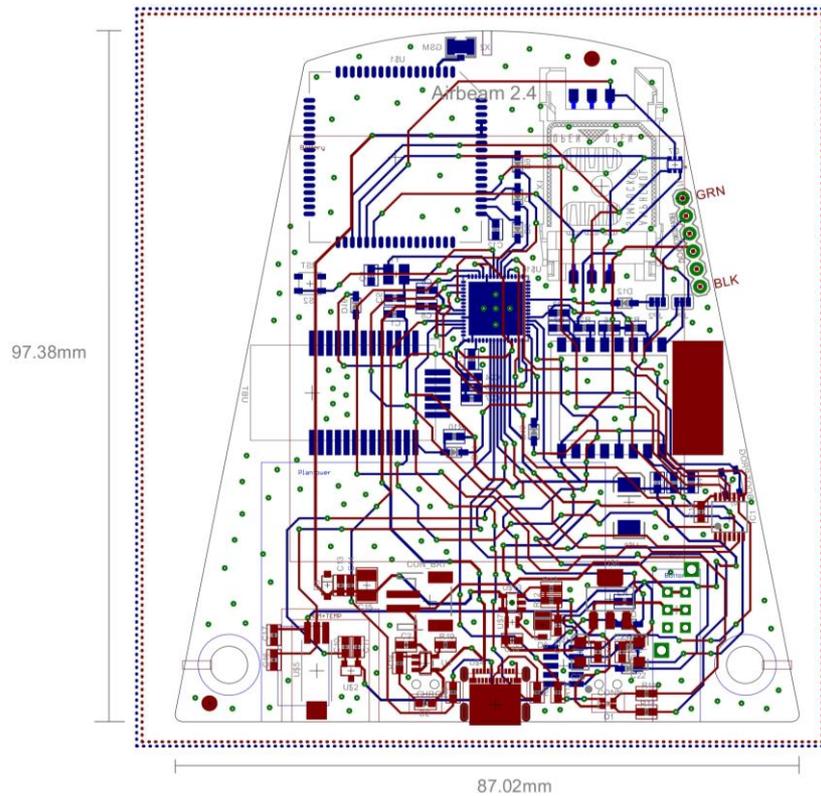


Figura A19. Diseño de la placa de circuito impreso (PCB) del AirBeam2.

Montaje.

Tras el diseño de la PCB y de la elección de sus componentes, se dispone a su montaje quedando de la siguiente manera (Figura A20). La batería seleccionada se ha envuelto con cinta adhesiva kapton de color azul, para aislarla eléctricamente de la PCB y la carcasa, y a su vez para protegerla de altas temperaturas.



Figura A20. Montaje del AirBeam2 junto con el sensor de PM.

Anexo 2. Recorrido diario del AirBeam2, en bruto y aplicando el factor de corrección, en el recinto minero.

Tabla A1. Recorrido diario del AirBeam2, en bruto y aplicando el factor de corrección, en el recinto minero.

Fecha (dd/mm/año)	Hora		PM2.5 (µg/m3)					PM10 (µg/m3)					T (°C)			RH (%)			Enlace mapa web		
	Inicio	Final	Promedio	Promedio factor	Mínimo	Mínimo factor	Máximo	Máximo factor	Promedio	Promedio factor	Mínimo	Mínimo factor	Máximo	Máximo factor	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio		Mínimo	Máximo
24-7-18	15:46	16:48	8	19	1	2	52	126	14	37	1	3	168	462	35	28	38	41	37	54	https://bit.ly/3kRF4ZE
30-7-18	12:10	12:28	10	24	2	5	39	95	16	43	2	6	125	344	29	26	29	54	50	59	https://bit.ly/3nHNvIE
30-7-18	12:49	13:09	7	16	0	0	39	95	12	33	0	0	146	402	32	30	34	48	45	50	https://bit.ly/31W7anC
31-7-18	12:09	13:24	6	13	0	0	163	396	12	34	0	0	803	2208	34	25	37	46	39	60	https://bit.ly/370Rn0R
2-8-18	12:06	13:06	8	20	0	0	44	107	15	42	0	0	149	410	35	26	37	41	37	52	https://bit.ly/2HmdTs0
7-8-18	9:59	10:06	18	45	14	34	25	61	33	91	23	63	51	140	26	24	27	56	54	62	https://bit.ly/2ULaXZd
7-8-18	10:18	13:33	15	35	4	10	222	539	26	72	4	11	647	1779	36	30	38	42	36	51	https://bit.ly/3fjdC5R
8-8-18	11:32	12:01	16	40	3	7	192	466	28	76	4	11	440	1210	29	26	32	51	47	57	https://bit.ly/35S2NEQ
8-8-18	12:03	13:01	8	21	2	5	108	262	14	38	2	6	274	754	33	31	35	45	41	51	https://bit.ly/3pSivHJ
9-8-18	15:32	16:57	8	19	0	0	104	253	14	39	0	0	418	1150	33	28	39	41	34	53	https://bit.ly/3fjCBWs
10-8-18	11:23	12:08	5	12	0	0	65	158	10	29	0	0	257	707	31	27	33	41	37	49	https://bit.ly/2HmsvaS
13-8-18	15:18	16:27	9	23	0	0	175	425	25	69	0	0	828	2277	36	34	43	41	35	47	https://bit.ly/3nJVg7h
14-8-18	12:10	13:10	10	24	0	0	62	151	19	52	0	0	242	666	32	30	33	42	38	46	https://bit.ly/35S2fPi
16-8-18	11:16	12:34	16	39	3	7	66	160	25	69	3	8	235	646	24	22	27	74	66	83	https://bit.ly/2KlPpJl
20-8-18	11:50	12:54	13	32	2	5	174	423	28	76	2	6	916	2519	34	26	36	51	37	65	https://bit.ly/3nFC6cc
22-8-18	11:48	12:59	11	26	2	5	64	155	16	44	2	6	151	415	31	29	34	52	46	57	https://bit.ly/3nHmpww
23-8-18	12:35	13:44	12	29	7	17	40	97	16	43	8	22	72	198	35	33	37	46	43	51	https://bit.ly/3nLqZig
24-8-18	11:54	12:07	18	43	14	34	23	56	25	69	19	52	34	94	35	33	37	46	43	52	https://bit.ly/3kTypOk
24-8-18	12:42	12:58	21	50	16	39	27	66	30	82	22	61	50	138	35	34	37	45	42	48	https://bit.ly/3fl98LM
27-8-18	15:32	16:16	15	37	4	10	129	313	31	85	4	11	631	1735	35	26	38	43	40	57	https://bit.ly/2INgQCT
28-8-18	9:30	11:23	25	60	11	27	111	270	40	109	16	44	202	556	27	23	32	74	62	86	https://bit.ly/36S6M3k
29-8-18	15:28	16:27	11	26	4	10	62	151	16	44	4	11	261	718	33	25	36	46	41	65	https://bit.ly/3nNSNIM
30-8-18	11:26	12:38	13	33	6	15	51	124	20	55	7	19	175	481	30	26	34	54	49	62	https://bit.ly/2UNtGmN
4-9-18	9:37	12:47	10	23	4	10	82	199	14	38	5	14	301	828	24	21	28	71	58	83	https://bit.ly/2KlOsRE
6-9-18	11:10	13:20	17	42	4	10	173	420	29	79	6	17	439	1207	29	22	36	58	46	58	https://bit.ly/2KoUVC9
10-9-18	11:31	11:58	6	14	0	0	38	92	11	29	0	0	80	220	28	25	29	54	50	64	https://bit.ly/36XqLxx

11-9-18	11:51	12:49	11	26	3	7	64	155	16	45	3	8	157	432	29	24	31	62	57	73	https://bit.ly/3IT8hoe
12-9-18	11:52	12:31	18	43	4	10	274	666	30	82	4	11	619	1702	30	29	32	61	57	67	https://bit.ly/3n1PHzF
13-9-18	15:30	16:21	17	42	5	12	77	187	28	77	7	19	154	424	34	29	36	55	51	67	https://bit.ly/391e87m
14-9-18	11:50	12:59	21	52	11	27	40	97	34	92	15	41	102	281	27	23	32	71	58	89	https://bit.ly/35OE04n
17-9-18	15:17	16:09	18	44	6	15	135	328	31	85	6	17	272	748	32	26	35	57	50	75	https://bit.ly/36Ty7Co
18-9-18	11:12	11:37	14	35	7	17	45	109	21	58	9	25	77	212	29	26	32	62	56	78	https://bit.ly/35Pu0aT
18-9-18	11:38	11:47	13	32	8	19	43	104	18	50	10	28	75	206	28	27	30	63	59	66	https://bit.ly/3kEr9rw
18-9-18	15:34	16:20	11	28	4	10	56	136	18	49	4	11	199	547	31	27	33	52	48	63	https://bit.ly/335P1g2
19-9-18	11:32	13:00	8	19	1	2	97	236	13	35	2	6	329	905	32	26	35	50	45	60	https://bit.ly/35So6FW
20-9-18	10:52	13:41	13	31	4	10	133	323	21	57	7	19	545	1499	30	24	36	62	52	79	https://bit.ly/3pND9cb
21-9-18	10:55	12:28	10	25	3	7	95	231	15	42	4	11	174	479	31	24	37	54	43	71	https://bit.ly/3pOMHDL
25-9-18	12:18	13:06	13	32	3	7	115	279	24	65	4	11	497	1367	33	31	35	43	40	47	https://bit.ly/2IVsAmk
26-9-18	11:25	12:05	14	34	5	12	233	566	35	97	5	14	1549	4260	29	27	31	62	57	67	https://bit.ly/2Kmaomw
28-9-18	11:34	12:39	16	40	2	5	551	1338	34	93	2	6	1988	5467	28	22	31	62	55	74	https://bit.ly/3pNww9G
1-10-18	15:20	16:11	13	31	7	17	51	124	22	61	8	22	118	325	32	24	34	45	40	62	https://bit.ly/335w8JS
2-10-18	9:42	13:08	6	15	0	0	109	265	13	37	0	0	520	1430	28	19	32	39	34	53	https://bit.ly/3nF4c7q
3-10-18	15:25	16:17	12	29	4	10	83	202	23	64	5	14	347	954	31	24	33	44	39	60	https://bit.ly/3IR1BHj
9-10-18	11:34	12:38	11	27	3	7	47	114	18	51	5	14	139	382	22	21	24	74	69	81	https://bit.ly/3kVEFFo
10-10-18	11:04	12:59	12	28	3	7	61	148	19	51	3	8	172	473	21	19	23	77	73	84	https://bit.ly/2UOndbe
17-10-18	15:43	16:37	6	14	0	0	35	85	10	28	0	0	73	201	27	22	29	58	52	74	https://bit.ly/2HICnla
29-10-18	12:51	13:37	5	13	0	0	122	296	12	32	0	0	237	652	16	14	20	53	48	58	https://bit.ly/3kVeoCm
6-11-18	13:09	13:43	10	23	0	0	76	185	17	47	0	0	133	366	18	16	21	67	61	74	https://bit.ly/2Hsm9S
13-11-18	9:29	13:10	6	15	1	2	76	185	9	24	1	3	132	363	18	11	23	81	64	99	https://bit.ly/2UKKSt1
29-11-18	9:17	11:31	12	29	3	7	41	100	18	48	4	11	80	220	13	9	17	78	67	90	https://bit.ly/35R7Jd1
12-12-18	12:38	13:45	14	34	7	17	40	97	23	63	8	22	77	212	17	16	20	71	63	76	https://bit.ly/2HslGVq
20-12-18	11:54	13:22	2	5	0	0	28	68	4	10	0	0	61	168	19	16	23	66	57	73	https://bit.ly/333TUpR
4-1-19	11:42	13:15	8	20	3	7	100	243	13	36	4	11	430	1183	15	11	19	74	63	84	https://bit.ly/2UMlmTp
8-1-19	11:56	13:09	12	29	4	10	84	204	21	57	4	11	153	421	17	15	20	46	40	57	https://bit.ly/3pP5v5Q
10-1-19	11:10	13:23	6	15	0	0	89	216	13	35	0	0	413	1136	15	10	19	55	47	65	https://bit.ly/2UPAkJq
15-1-19	12:03	13:44	22	53	10	24	122	296	37	102	13	36	225	619	16	12	21	64	54	76	https://bit.ly/39bHWhs
17-1-19	15:48	16:21	9	22	1	2	207	503	16	44	2	6	488	1342	15	13	19	64	57	68	https://bit.ly/3kMuYJm
22-1-19	15:48	16:21	8	21	2	5	33	80	13	36	2	6	78	215	13	11	19	71	66	76	https://bit.ly/2UKMgfk
24-1-19	11:38	13:16	5	12	0	0	51	124	9	26	0	0	87	239	20	18	24	65	56	71	https://bit.ly/3pPtv8V
5-2-19	10:14	13:41	6	15	0	0	69	168	11	29	0	0	285	784	19	14	24	47	41	56	https://bit.ly/2Kk4e6n

7-2-19	12:09	13:35	7	16	0	0	117	284	11	32	1	3	524	1441	21	17	26	57	50	66	https://bit.ly/35Pg94q
11-2-19	12:42	13:50	4	10	0	0	53	129	7	19	0	0	91	250	20	17	22	60	52	68	https://bit.ly/38Z6qL0
12-2-19	12:21	13:18	14	33	5	12	91	221	24	65	7	19	168	462	20	17	22	63	57	68	https://bit.ly/370ahov
13-2-19	12:09	13:34	8	19	3	7	33	80	13	35	3	8	75	206	19	17	22	57	52	63	https://bit.ly/2lOWcSV
15-2-19	12:45	13:28	9	22	2	5	36	87	16	43	2	6	80	220	19	17	21	63	56	69	https://bit.ly/35SjX06
20-2-19	11:59	13:46	15	36	7	17	45	109	25	70	10	28	81	223	21	17	26	63	52	72	https://bit.ly/35O9Tdk
26-2-19	11:50	12:33	10	25	2	5	76	185	19	53	2	6	144	396	21	19	23	48	45	54	https://bit.ly/2HqDy2U
11-3-19	12:38	13:41	5	12	0	0	141	342	11	30	0	0	658	1810	27	21	31	48	40	62	https://bit.ly/3nP4jxh
21-3-19	12:30	13:43	7	17	0	0	82	199	15	41	0	0	319	877	21	17	25	47	39	56	https://bit.ly/332m44f
26-3-19	12:23	13:31	12	29	1	2	103	250	28	77	3	8	509	1400	24	21	26	45	42	51	https://bit.ly/2UNkVJp
28-3-19	12:28	13:50	8	20	2	5	97	236	17	48	2	6	280	770	22	19	25	46	42	63	https://bit.ly/395NsSW
2-4-19	12:04	13:29	7	17	1	2	125	304	10	29	1	3	240	660	21	18	25	68	60	76	https://bit.ly/35RVxJ1
4-4-19	10:28	13:30	2	5	0	0	41	100	4	11	0	0	97	267	16	12	21	51	43	61	https://bit.ly/3lXrrcA
11-4-19	11:58	13:32	5	12	0	0	100	243	9	24	0	0	202	556	21	18	25	52	46	60	https://bit.ly/2INsCO3
7-5-19	10:09	14:08	8	19	1	2	175	425	14	37	1	3	914	2514	25	19	28	57	48	70	https://bit.ly/36RsxAk
14-5-19	16:01	17:06	9	22	0	0	132	321	20	55	0	0	288	792	32	22	34	41	37	58	https://bit.ly/2J2QoF6
16-5-19	11:57	13:24	8	19	1	2	161	391	16	45	1	3	852	2343	29	21	34	43	37	56	https://bit.ly/2UNHmHJ
21-5-19	12:36	13:26	7	18	0	0	72	175	19	52	0	0	277	762	26	21	28	50	45	58	https://bit.ly/3pMpO3M
22-5-19	10:47	13:26	9	21	0	0	132	321	20	54	0	0	586	1612	27	24	31	53	45	61	https://bit.ly/393hdnj
23-5-19	12:25	13:40	9	21	2	5	92	223	16	44	2	6	357	982	30	21	32	47	43	64	https://bit.ly/395n6AE
27-5-19	15:51	17:02	6	14	0	0	80	194	14	38	0	0	310	853	34	24	37	40	37	54	https://bit.ly/3lWijVB
29-5-19	12:20	13:42	9	22	0	0	125	304	26	70	0	0	599	1647	32	28	34	39	36	45	https://bit.ly/395neQE
31-5-19	11:51	12:41	8	19	0	0	179	435	20	55	0	0	864	2376	30	28	32	42	39	46	https://bit.ly/3kSDhDp
3-6-19	12:09	13:44	8	20	1	2	68	165	19	53	1	3	237	652	33	24	36	38	34	50	https://bit.ly/36XLWzr
4-6-19	10:10	12:56	8	19	1	2	198	481	15	41	2	6	798	2195	27	20	33	55	44	74	https://bit.ly/3lUZMzL
6-6-19	12:33	13:17	7	17	1	2	67	163	14	39	1	3	142	391	24	22	29	43	39	47	https://bit.ly/2lNtdyP
10-6-19	16:05	16:45	7	18	0	0	108	262	18	51	1	3	509	1400	28	24	31	45	41	51	https://bit.ly/334FpCb
17-6-19	12:24	13:35	11	26	0	0	134	325	26	71	1	3	573	1576	28	23	31	46	42	52	https://bit.ly/3lSuAdR
20-6-19	12:05	12:55	8	20	0	0	62	151	15	41	0	0	110	303	26	25	28	59	56	65	https://bit.ly/2UNfJW1
25-6-19	11:41	12:35	5	12	0	0	45	109	9	26	0	0	100	275	27	24	29	60	57	67	https://bit.ly/3lTWt51
27-6-19	15:31	16:33	9	22	2	5	57	138	16	43	2	6	208	572	31	22	34	56	50	71	https://bit.ly/3kQww55
1-7-19	12:34	13:38	22	53	9	22	233	566	39	106	11	30	530	1458	31	26	33	56	51	62	https://bit.ly/3kLVaUw
8-7-19	12:52	13:47	19	47	2	5	192	466	38	106	2	6	440	1210	29	26	33	50	43	60	https://bit.ly/3nD2Rya
9-7-19	12:08	13:22	10	23	0	0	93	226	19	51	0	0	177	487	28	26	30	55	49	61	https://bit.ly/3fnmOWB

10-7-19	11:52	13:29	13	33	2	5	319	775	28	78	2	6	748	2057	31	24	33	47	42	59	https://bit.ly/2IVwdJe
11-7-19	12:42	13:35	10	25	4	10	41	100	19	53	4	11	148	407	35	28	38	42	39	54	https://bit.ly/3q0JfLc
15-7-19	12:18	13:34	14	34	5	12	220	534	26	71	5	14	1206	3317	31	24	34	56	51	69	https://bit.ly/35TIMOC
16-7-19	12:09	13:02	18	44	9	22	93	226	31	85	11	30	173	476	32	28	34	55	48	66	https://bit.ly/3pN4uLr
18-7-19	12:59	13:36	19	46	9	22	89	216	38	104	11	30	363	998	33	31	35	53	50	56	https://bit.ly/2UMMNh1
19-7-19	11:57	13:09	14	34	4	10	137	333	30	84	4	11	654	1799	34	24	37	47	43	64	https://bit.ly/36UvqjO
22-7-19	12:41	13:24	19	46	8	19	70	170	36	99	11	30	189	520	33	27	36	52	48	64	https://bit.ly/3KTW7yX
23-7-19	12:19	13:25	15	36	10	24	48	117	25	68	12	33	97	267	33	28	36	55	49	66	https://bit.ly/3pQ2baA
24-7-19	15:39	16:43	15	38	4	10	107	260	33	89	5	14	473	1301	36	26	40	45	41	60	https://bit.ly/35Ozm6l
25-7-19	12:27	13:24	13	32	4	10	146	355	27	74	6	17	412	1133	33	24	36	49	44	63	https://bit.ly/2Y8jBG6
19-8-19	12:00	12:52	5	13	0	0	208	505	16	45	0	0	975	2681	31	25	33	51	46	61	https://bit.ly/3sVXgqD
20-8-19	16:11	16:44	4	11	0	0	49	119	11	30	0	0	174	479	33	26	36	32	29	42	https://bit.ly/393jkrf
26-8-19	12:41	13:23	21	51	8	19	113	274	42	114	12	33	303	833	28	26	30	63	57	68	https://bit.ly/3pTsvRk
30-8-19	11:58	12:45	13	32	2	5	143	347	26	73	2	6	279	767	32	28	34	46	43	54	https://bit.ly/36XFzw7
3-9-19	10:11	13:13	11	27	3	7	258	627	23	65	4	11	1509	4150	32	21	37	48	41	69	https://bit.ly/395QnuS
5-9-19	16:01	17:01	13	32	2	5	169	411	27	74	3	8	893	2456	35	27	37	48	44	55	https://bit.ly/3364FLi
13-9-19	12:24	13:44	6	14	0	0	72	175	15	40	0	0	307	844	28	26	29	52	48	56	https://bit.ly/2IWgtW8
16-9-19	15:59	17:03	9	22	2	5	40	97	16	44	2	6	100	275	30	27	32	55	50	64	https://bit.ly/2HrrSNo
18-9-19	10:11	13:03	13	31	4	10	62	151	21	57	6	17	183	503	26	20	31	69	56	85	https://bit.ly/395QE0S
25-9-19	11:39	13:05	8	18	1	2	71	172	16	43	1	3	303	833	26	19	29	57	50	76	https://bit.ly/2KuFp81
1-10-19	12:09	13:08	11	26	1	2	86	209	24	66	2	6	297	817	27	23	28	55	50	64	https://bit.ly/21QDwSK
4-10-19	12:08	13:19	12	29	0	0	310	753	23	63	0	0	749	2060	27	22	30	59	53	70	https://bit.ly/36UwFzu
9-10-19	10:03	13:24	12	29	3	7	200	486	20	56	3	8	451	1240	28	18	34	56	46	77	https://bit.ly/395pXtm
28-10-19	15:29	16:47	18	43	6	15	129	313	32	88	7	19	323	888	21	20	23	76	73	80	https://bit.ly/3kTO68c
8-11-19	12:05	12:51	6	16	0	0	64	155	14	38	0	0	114	314	18	16	22	54	48	59	https://bit.ly/3fntTXp
12-11-19	15:42	16:28	12	28	2	5	43	104	23	63	2	6	86	237	19	17	21	57	53	63	https://bit.ly/390L9R7
19-11-19	11:46	13:18	11	27	1	2	71	172	17	47	1	3	138	380	15	13	17	69	64	77	https://bit.ly/35RTHHV
20-2-20	12:23	13:26	12	29	3	7	46	112	22	61	3	8	134	369	20	17	21	63	59	70	https://bit.ly/2UKp15c
21-2-20	12:06	13:18	15	37	5	12	146	355	32	88	5	14	842	2316	21	20	23	60	57	67	https://bit.ly/2KwPG8s
26-2-20	9:44	11:57	5	13	0	0	51	124	9	25	0	0	209	575	15	12	19	65	54	78	https://bit.ly/3pPPFrS
3-3-20	11:50	13:02	7	17	0	0	60	146	14	39	1	3	240	660	17	15	18	77	70	84	https://bit.ly/2KkZyNB
4-3-20	11:54	13:19	11	26	1	2	68	165	22	59	2	6	291	800	20	17	22	71	66	76	https://bit.ly/3pRe7cg
12-3-20	15:18	16:36	13	31	4	10	87	211	24	65	4	11	151	415	21	19	23	72	66	77	https://bit.ly/2J3JtIq
13-3-20	11:03	12:32	17	42	7	17	143	347	31	84	8	22	734	2019	22	20	29	67	51	75	https://bit.ly/3nMtSIQ

18-3-20	15:40	15:48	14	35	8	19	36	87	30	82	12	33	98	270	23	21	24	58	54	63	https://bit.ly/396FNUq
18-3-20	15:48	16:46	19	45	3	7	71	172	39	107	3	8	200	550	24	23	25	55	53	59	https://bit.ly/35UQveR
24-3-20	16:14	17:08	11	26	1	2	124	301	20	54	1	3	225	619	22	20	27	57	51	62	https://bit.ly/3pQ8bjr
25-3-20	15:52	16:52	15	38	5	12	83	202	28	78	5	14	151	415	19	17	21	75	68	78	https://bit.ly/3nJKKXk
26-3-20	15:40	16:55	11	27	3	7	53	129	20	56	3	8	203	558	22	17	26	55	48	66	https://bit.ly/37d5a4z
27-3-20	11:38	12:52	15	37	6	15	91	221	26	73	7	19	172	473	18	17	20	63	59	68	https://bit.ly/2IPRV1z
13-4-20	16:17	16:26	9	23	5	12	37	90	14	38	5	14	71	195	21	20	22	74	70	78	https://bit.ly/398toiK
13-4-20	16:26	17:18	13	30	5	12	67	163	21	57	5	14	119	327	21	19	23	71	66	82	https://bit.ly/3nDU670
22-4-20	15:55	16:59	18	44	6	15	114	277	33	92	7	19	202	556	24	21	26	63	56	71	https://bit.ly/3q19tbl
23-4-20	16:17	16:30	19	47	5	12	93	226	35	97	5	14	161	443	23	21	24	64	61	68	https://bit.ly/3nMTLYm
28-4-20	16:21	17:12	20	49	0	0	91	221	42	117	1	3	215	591	23	22	25	53	49	60	https://bit.ly/391Lpzn
29-4-20	16:20	17:17	11	28	0	0	121	294	26	72	0	0	548	1507	24	21	26	54	49	61	https://bit.ly/3kP8A29
30-4-20	15:55	16:26	9	22	0	0	76	185	21	57	0	0	138	380	24	23	25	58	55	63	https://bit.ly/336TZJi
4-5-20	11:26	13:23	9	22	1	2	70	170	19	51	3	8	327	899	26	23	28	61	53	69	https://bit.ly/3ISHwQV
5-5-20	16:18	16:54	9	23	0	0	82	199	26	70	0	0	310	853	28	25	31	44	39	51	https://bit.ly/3m67kc4
6-5-20	16:03	16:55	13	33	1	2	141	342	31	85	2	6	599	1647	29	28	31	50	47	54	https://bit.ly/394ISW8
7-5-20	16:12	17:05	13	32	2	5	119	289	31	85	2	6	516	1419	30	27	32	49	46	55	https://bit.ly/3pSFkId
20-5-20	10:24	13:25	9	21	1	2	97	236	15	41	1	3	329	905	32	24	36	48	39	91	https://bit.ly/3q19Hj4
21-5-20	12:07	12:15	11	26	5	12	62	151	25	70	5	14	221	608	32	31	33	45	43	47	https://bit.ly/3fkIT8m
21-5-20	16:24	17:21	9	22	4	10	139	338	17	46	4	11	733	2016	33	29	35	43	40	50	https://bit.ly/3397Xu7
22-5-20	12:40	13:40	13	33	3	7	86	209	24	66	3	8	148	407	33	31	34	44	38	54	https://bit.ly/2IOleS7
25-5-20	16:11	17:37	11	26	2	5	60	146	20	55	3	8	265	729	34	32	37	43	39	50	https://bit.ly/3nMQL5z
26-5-20	16:42	17:34	15	37	2	5	194	471	40	111	2	6	1160	3190	33	27	35	42	39	51	https://bit.ly/2URIRwm
27-5-20	10:32	11:38	10	25	1	2	169	411	24	66	3	8	855	2351	28	25	31	55	49	62	https://bit.ly/3ISXzhn
27-5-20	11:48	12:12	13	31	3	7	48	117	27	74	3	8	113	311	30	29	32	52	48	57	https://bit.ly/37d5EHV
28-5-20	10:40	13:14	10	24	4	10	161	391	19	53	4	11	781	2148	29	23	33	52	44	64	https://bit.ly/36WV5bl
29-5-20	12:01	12:51	10	23	2	5	97	236	21	58	3	8	397	1092	30	29	32	49	45	53	https://bit.ly/3714uPx
2-6-20	12:18	13:13	17	41	6	15	93	226	31	85	8	22	200	550	25	23	28	64	58	69	https://bit.ly/3nKirEp
3-6-20	13:10	13:59	16	38	4	10	231	561	41	112	4	11	1247	3429	28	23	29	57	52	69	https://bit.ly/3nLAVYR
5-6-20	11:45	12:58	9	21	2	5	87	211	15	43	2	6	373	1026	25	21	28	54	48	67	https://bit.ly/2IPSto9
8-6-20	12:41	13:33	13	33	2	5	131	318	31	85	4	11	562	1546	24	22	27	57	52	61	https://bit.ly/2IWAX19
9-6-20	11:24	12:25	11	26	1	2	63	153	22	60	1	3	280	770	26	21	28	49	44	58	https://bit.ly/395pkjl
11-6-20	13:04	14:04	11	26	1	2	123	299	27	73	1	3	526	1447	25	24	27	49	47	55	https://bit.ly/3ftSnyk
16-6-20	13:00	14:00	16	40	0	0	232	564	48	133	0	0	1434	3944	26	25	28	59	55	64	https://bit.ly/3fmyx7R

18-6-20	13:00	14:11	11	27	0	0	84	204	25	70	0	0	316	869	28	23	29	44	40	53	https://bit.ly/35PKAaP
22-6-20	13:01	14:02	26	64	3	7	214	520	79	217	3	8	1158	3185	36	26	39	38	34	49	https://bit.ly/35SqnkE
23-6-20	11:31	11:51	14	33	6	15	102	248	29	79	7	19	408	1122	32	26	36	45	40	52	https://bit.ly/3nldTCj
23-6-20	13:13	14:39	18	45	8	19	300	729	39	107	9	25	1436	3949	38	36	42	38	35	42	https://bit.ly/3i05E2Q
25-6-20	11:06	12:12	16	38	7	17	59	143	30	83	9	25	109	300	28	27	30	60	56	64	https://bit.ly/35SCqOT
25-6-20	12:14	15:42	12	29	6	15	117	284	19	51	6	17	232	638	32	27	37	54	48	70	https://bit.ly/2lWo5rW
29-6-20	11:22	12:37	12	29	3	7	112	272	25	68	4	11	601	1653	34	32	37	50	46	57	https://bit.ly/3fkBAxz
30-6-20	11:57	13:39	15	37	5	12	137	333	36	100	6	17	748	2057	34	26	38	48	42	62	https://bit.ly/3kTxNbx
1-7-20	13:05	14:08	16	40	4	10	157	381	36	100	4	11	681	1873	32	27	33	50	46	59	https://bit.ly/3fnm6J2
7-7-20	13:07	14:09	21	52	6	15	157	381	46	127	12	33	1127	3099	37	27	40	39	36	51	https://bit.ly/2UN55ym
8-7-20	13:01	14:02	22	53	6	15	132	321	53	145	7	19	617	1697	35	29	37	41	37	46	https://bit.ly/33o7DrN
9-7-20	12:37	13:39	13	31	5	12	89	216	27	73	5	14	381	1048	30	28	32	55	49	59	https://bit.ly/2lXFy3n
10-7-20	13:07	13:59	24	59	12	29	120	291	49	134	21	58	509	1400	33	28	34	56	51	64	https://bit.ly/35XgGlb
13-7-20	12:24	13:26	19	47	9	22	192	466	41	114	12	33	1097	3017	32	24	36	58	50	75	https://bit.ly/35RiVpL
14-7-20	12:54	13:51	17	42	7	17	118	287	38	104	9	25	473	1301	33	26	36	52	47	65	https://bit.ly/334tles
15-7-20	12:24	13:38	19	47	6	15	211	513	44	120	8	22	1284	3531	33	26	36	50	46	63	https://bit.ly/35QlyXS
16-7-20	19:59	21:13	29	70	8	19	300	729	71	194	9	25	1417	3897	36	29	38	43	40	55	https://bit.ly/35T5Tsc
16-7-20	3:00	12:05	15	36	5	12	178	432	30	84	5	14	991	2725	28	26	29	59	55	63	https://bit.ly/3373GHP
20-7-20	12:28	13:38	18	43	6	15	161	391	42	116	7	19	855	2351	38	35	41	42	39	45	https://bit.ly/337aAFW
22-7-20	12:01	13:17	22	54	10	24	139	338	41	114	12	33	405	1114	30	26	34	64	54	75	https://bit.ly/2lXo6Mo
24-7-20	12:18	13:14	18	43	8	19	149	362	38	106	9	25	752	2068	36	30	37	44	42	51	https://bit.ly/39bhTY5
27-7-20	12:55	13:53	16	40	6	15	264	641	40	111	6	17	1973	5426	32	27	34	57	52	67	https://bit.ly/3fkpmoH
28-7-20	12:54	13:36	13	31	5	12	228	554	23	63	6	17	476	1309	33	26	36	46	41	58	https://bit.ly/3q1h36a
30-7-20	13:14	13:15	14	34	10	24	19	46	19	53	12	33	27	74	30	29	31	64	62	67	https://bit.ly/393m08f
31-7-20	11:52	12:50	16	39	8	19	70	170	29	80	10	28	214	589	33	32	35	56	52	64	https://bit.ly/2lYe5yy
4-8-20	13:26	13:43	15	37	4	10	102	248	30	83	4	11	410	1128	35	32	37	54	50	58	https://bit.ly/3fm1yRe
4-8-20	13:44	14:10	18	43	4	10	332	806	59	163	4	11	1842	5066	34	33	35	55	53	59	https://bit.ly/3pSMRtV
6-8-20	12:28	14:07	16	39	3	7	209	508	43	120	4	11	1612	4433	36	25	42	46	41	63	https://bit.ly/2lV0PKG
7-8-20	11:50	13:40	7	18	1	2	56	136	14	38	1	3	129	355	32	25	36	55	47	70	https://bit.ly/35Sylu4
10-8-20	13:18	14:18	14	34	5	12	145	352	29	79	6	17	745	2049	34	33	38	51	44	55	https://bit.ly/2lUQHsFq
11-8-20	12:43	13:44	16	38	2	5	216	525	41	113	2	6	1176	3234	31	25	33	50	45	60	https://bit.ly/339s77j
12-8-20	11:14	12:18	21	51	7	17	160	389	37	103	13	36	308	847	24	22	26	72	65	81	https://bit.ly/3foTjbV
17-8-20	13:01	14:18	10	24	2	5	175	425	23	65	2	6	1027	2824	30	25	33	52	46	62	https://bit.ly/3lOJt0B
19-8-20	13:06	14:05	13	32	2	5	133	323	34	93	2	6	639	1757	35	33	37	44	40	48	https://bit.ly/36ZYnLc

20-8-20	12:28	13:14	7	18	0	0	134	325	22	60	0	0	775	2131	32	28	33	37	34	43	https://bit.ly/2HnHDoq
21-8-20	12:49	13:58	12	29	1	2	159	386	26	70	1	3	822	2261	31	27	36	57	49	70	https://bit.ly/2ULRMhM
24-8-20	11:47	13:01	21	51	6	15	203	493	51	141	6	17	1177	3237	31	26	33	49	45	56	https://bit.ly/2IWVv7a
26-8-20	12:35	13:22	23	55	6	15	169	411	40	110	8	22	330	908	35	28	37	42	38	50	https://bit.ly/3nlZaXG
27-8-20	12:20	12:58	11	28	2	5	98	238	26	72	2	6	415	1141	35	31	37	40	38	44	https://bit.ly/3l0ezkQ
28-8-20	11:46	12:49	17	42	2	5	252	612	44	120	2	6	1574	4329	29	23	31	56	53	66	https://bit.ly/2J3U89m
31-8-20	12:43	13:45	12	29	2	5	72	175	23	63	2	6	262	721	30	28	33	45	41	50	https://bit.ly/2Kq7mh3
1-9-20	12:10	13:14	15	37	5	12	122	296	30	84	5	14	524	1441	29	26	31	46	42	51	https://bit.ly/3kUOmUs
2-9-20	12:56	13:58	15	36	5	12	267	649	42	115	5	14	1673	4601	31	27	33	49	45	56	https://bit.ly/2Kq7vRD
3-9-20	12:52	14:10	10	25	4	10	67	163	20	54	4	11	289	795	34	31	35	42	39	47	https://bit.ly/3942ljh
4-9-20	11:47	12:44	17	41	1	2	238	578	52	144	2	6	1782	4901	30	26	33	43	39	50	https://bit.ly/3pRmPqY
7-9-20	12:17	13:27	18	44	10	24	179	435	36	98	11	30	887	2439	32	25	36	50	44	64	https://bit.ly/3fkSjke
7-9-20	16:12	17:10	17	40	7	17	205	498	35	96	8	22	1335	3671	36	30	39	41	38	50	https://bit.ly/33oeQYT
8-9-20	10:10	11:36	15	35	7	17	50	121	24	66	8	22	175	481	28	24	31	62	56	71	https://bit.ly/394kl2h
8-9-20	11:48	13:01	16	39	5	12	150	364	33	89	6	17	651	1790	30	28	32	57	53	64	https://bit.ly/2KwxXJy
8-9-20	15:55	16:44	19	46	6	15	135	328	37	101	8	22	537	1477	32	26	34	50	45	61	https://bit.ly/35Qge8a
9-9-20	12:27	13:19	17	41	7	17	75	182	33	91	8	22	301	828	29	23	32	61	54	75	https://bit.ly/36YNF7D
9-9-20	16:26	17:29	18	44	6	15	83	202	36	98	7	19	234	644	32	28	35	48	45	56	https://bit.ly/2UQR3vG
10-9-20	16:13	16:57	16	38	5	12	95	231	33	91	6	17	384	1056	34	31	36	42	39	47	https://bit.ly/3pQxYbr
11-9-20	12:44	13:34	18	44	5	12	124	301	38	104	5	14	491	1350	31	26	33	47	44	56	https://bit.ly/2J3Uzk0
14-9-20	16:02	16:42	14	35	6	15	62	151	27	74	6	17	214	589	30	26	32	64	61	70	https://bit.ly/3nL8kmv
22-9-20	12:56	13:09	9	21	4	10	33	80	15	42	5	14	61	168	27	25	29	60	55	66	https://bit.ly/395JMk0
1-10-20	12:40	13:27	8	18	1	2	96	233	16	44	1	3	408	1122	27	25	29	58	53	63	https://bit.ly/3foof7b
5-10-20	12:10	13:00	11	27	3	7	58	141	20	54	3	8	102	281	21	19	22	62	59	65	https://bit.ly/35V18hL
6-10-20	15:37	16:30	8	20	0	0	71	172	15	42	0	0	134	369	29	23	32	55	50	71	https://bit.ly/3nQyLHD
8-10-20	15:48	16:26	6	16	1	2	79	192	14	37	1	3	316	869	31	30	33	43	41	47	https://bit.ly/394u3lj
9-10-20	11:58	12:17	10	25	6	15	32	78	17	47	6	17	75	206	26	22	27	53	49	62	https://bit.ly/3pUrZMy
13-10-20	16:16	17:12	9	21	0	0	68	165	19	53	0	0	303	833	28	26	29	40	37	43	https://bit.ly/3lXocli
14-10-20	15:53	16:38	24	58	5	12	123	299	47	128	6	17	586	1612	23	21	25	46	44	52	https://bit.ly/36TkIKq
15-10-20	16:17	17:12	11	27	1	2	175	425	23	63	2	6	1053	2896	24	20	28	44	39	51	https://bit.ly/334BqVW
19-10-20	16:26	16:56	23	57	6	15	279	678	71	195	8	22	1850	5088	25	23	27	55	52	57	https://bit.ly/2ULEZvX
27-10-20	16:06	16:46	11	27	0	0	82	199	23	63	2	6	273	751	20	19	22	59	55	62	https://bit.ly/36ZlMfW