

Partículas contaminantes y cambio climático: detonantes de alergias por pólenes y esporas

Brayan Bustamante
Carmen Isela Ortega Rosas

La contaminación atmosférica es una de las principales amenazas para la humanidad, puesto que más de un 90 % de la población en el mundo habita en zonas con una mala calidad del aire. Los efectos de este tipo de contaminación se reflejan en alrededor de siete millones de defunciones por año a nivel global, atribuibles a enfermedades respiratorias como el cáncer pulmonar y padecimientos cardiovasculares. En 2021, la Organización Mundial de la Salud publicó una actualización de sus directrices mundiales sobre calidad del aire. En estas, se establecen los límites normados para contaminantes como óxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃) y material particulado atmosférico (PM₁₀ y PM_{2.5}). Este último de gran interés debido a su impacto en la salud humana y el entorno natural (World Health Organization, 2022).

El material particulado atmosférico o PM (del inglés *particulate matter*), define a una mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas que, por sus propiedades físicas y químicas, tienen el potencial de adentrarse en regiones profundas del sistema respiratorio humano a través de su inhalación. El origen de estas partículas contaminantes se encuentra en actividades humanas como la

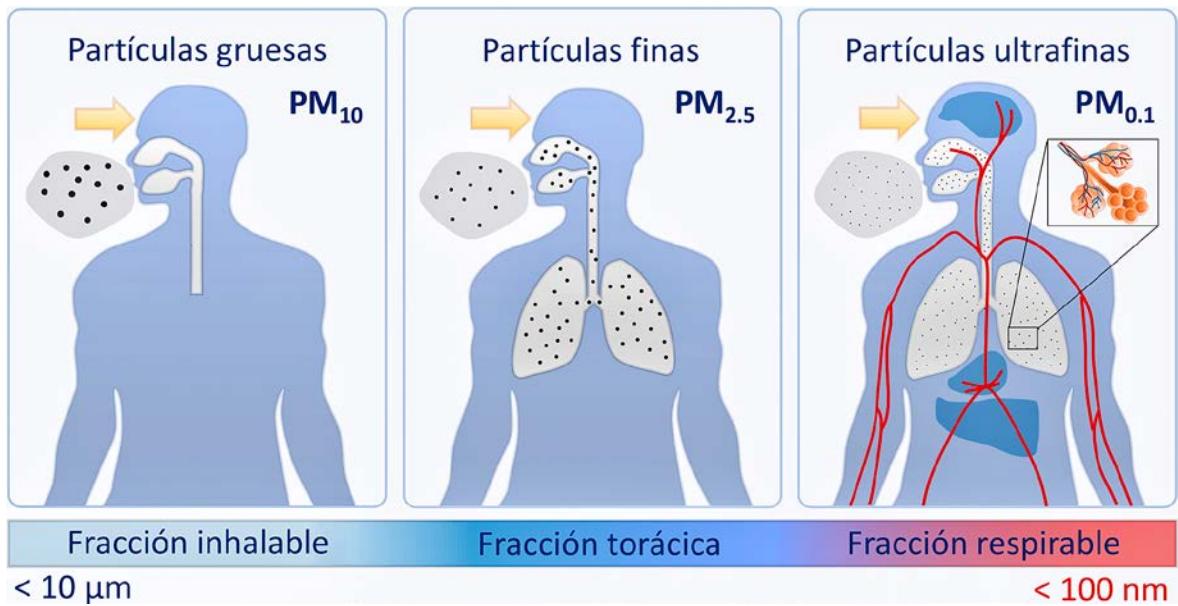


Figura 1. Potencial de penetración de cada fracción. La fracción inhalable (PM_{10}) corresponde a la masa total de partículas que se adentran en nariz y boca. La fracción torácica ($PM_{2.5}$) es la masa total de partículas que alcanzan regiones más allá de laringe. La fracción respirable ($PM_{0.1}$) es la masa total de partículas que impactan en regiones profundas del sistema respiratorio (alvéolos pulmonares y torrente sanguíneo). Ilustración elaborada por Brayan Bustamante.

quema de combustibles fósiles, el tráfico vehicular y la industria. Aunque hay otras fuentes de emisión como tormentas de polvo y arena, incendios forestales y sales de mar (Hopke *et al.*, 2020).

Según su diámetro aerodinámico, estas partículas se categorizan por “fracciones” (Figura 1). Las partículas más gruesas, cuyo diámetro sea igual o menor a 10 micras, corresponden a la fracción PM_{10} (una micra es equivalente a la millonésima parte de un metro). En contraste, la fracción $PM_{2.5}$, abarca a partículas finas de tamaño igual o menor que 2.5 micras de diámetro.

En los últimos años, algunas investigaciones han abordado las concentraciones del PM comprendido en un tamaño igual o menor que 0.1 micras de diámetro. La fracción $PM_{0.1}$ se incluye en el rango de partículas ultrafinas o nanopartículas. Debido a sus reducidos tamaños, es posible que su alcance sea mayor al de otras fracciones, consiguiendo penetrar en los alvéolos pulmonares y el torrente sanguíneo (Figura 1).

Sin embargo, algunos de los aspectos en relación con la ocurrencia de estos contaminantes y

sus efectos en la salud humana continúan siendo incomprendidos a la fecha (Kwon *et al.*, 2020).

La aerobiología es una ciencia multidisciplinaria que tiene por objeto el estudio de todas aquellas partículas biológicas en suspensión, generalmente referidas bajo el término colectivo de bioaerosoles (Nilsson, 1992). Los bioaerosoles son susceptibles a la fuerza mecánica del viento y corrientes de aire, experimentando en cortas o largas distancias a través de la atmósfera, eventos sucesivos de liberación, dispersión, deposición y resuspensión. Dicha secuencia es designada por el nombre de “proceso aerobiológico”.

En la actualidad, los expertos en aerobiología señalan que las principales fuentes de bioaerosoles son virus, bacterias, colonias de hongos microscópicos y protozoarios; al igual que plantas productoras de semillas (espermatofitas), hongos generadores de esporas, fragmentos de artrópodos, y restos de origen animal y vegetal. La concentración de bioaerosoles en la atmósfera es tal, que resulta imposible para seres humanos y otros organismos evitar la interacción directa con estas partículas aerotransportadas. Por este motivo, la aplicación de la aerobiología ha sido de gran utilidad en ámbitos de

la salud pública y ocupacional, las ciencias ambientales y la tecnología agrícola (Lancia *et al.*, 2021).

Es posible que, por sus tamaños tan similares, granos de polen y esporas interactúen con el PM en un mismo sistema de circulación de masas de aire. Este hecho da como resultado la adhesión de partículas finas y ultrafinas en la pared externa de granos de polen y esporas fúngicas, potenciando la respuesta alérgica de sujetos sensibilizados (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

Este trabajo tiene la finalidad de dar a conocer las implicaciones del aumento en las concentraciones de PM y su interacción con otras partículas de origen biológico, considerando además los efectos del cambio climático en la alta incidencia de alergias respiratorias por causa de granos de polen y esporas fúngicas (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

TEMPORADAS DE ALERGIAS: UN POTENCIAL EN ASCENSO

Los granos de polen y esporas fúngicas son biopartículas con potencial alergénico que suelen encontrarse suspendidas en la atmósfera, por lo que son fácilmente inhaladas. En algunos casos, el sistema inmunitario reconoce a granos de polen y esporas fúngicas como sustancias extrañas o antígenos. En respuesta, el organismo producirá una mayor cantidad de inmunoglobulina E (IgE) como medida de defensa. La IgE es un anticuerpo que dirigirá al antígeno hacia la superficie de los mastocitos (un tipo de glóbulo blanco). Tal evento estimula la desgranulación de sustancias y mediadores activos al interior de los mastocitos (p. ej., histamina, leucotrienos y prostaglandinas). Según la clasificación de hipersensibilidad de Gell y Coombs (1963), el polen genera una de Tipo 1 (inmediata); como resultado se manifiestan los síntomas de la alergia: estornudos, inflamación, congestión nasal, irritación ocular, dificultad para respirar y crisis de asma en los casos más extremos. Según Pavón-Romero y colaboradores (2022), las alergias respiratorias son padecidas por cerca del 40 % de la población en el mundo.

Las espermatofitas son plantas vasculares que producen semillas como parte de su reproducción.

Entre estas se encuentran las gimnospermas o “plantas con semillas desnudas” (pinos y abetos). Por su parte, las angiospermas son plantas que han desarrollado frutos como medio de protección y dispersión de las semillas. En su caso, la flor es la estructura reproductora de la cual se desarrollará y liberará el polen (proceso de dehiscencia de la antera).

En el interior de los granos de polen se encuentran las células germinativas con carga masculina que deberán alcanzar la estructura femenina correspondiente para lograr la fecundación. Este proceso de reproducción sexual es altamente exitoso y se conoce por el nombre de polinización. La polinización es posible gracias a vectores como insectos, aves y mamíferos que, en la búsqueda de néctar y otros recursos, harán efectivo el transporte del polen de una flor a otra. No obstante, alrededor de un 10 % de las especies de plantas con flores dependen de la polinización por viento. Este carácter se define como anemofilia y puede interpretarse como la adaptación evolutiva de algunas plantas frente a escenarios en que las oportunidades de polinización por vectores animales son reducidas (por ejemplo, lugares áridos, de temperaturas extremas o gran altitud). Entre las características que destacan en plantas anemófilas se encuentran flores o estructuras poco vistosas, unisexuales, sin aromas, de diseños ligeros y frágiles, sin nectarios u otro tipo de recompensas, y con una elevada producción polínica por flor o estróbilo. Además, los granos de polen suelen ser secos, pequeños y poco ornamentados (Friedman y Barrett, 2009).

A pesar de que las esporas de hongos suelen presentarse en concentraciones atmosféricas mayores, estas han sido relegadas a un papel secundario en estudios aerobiológicos. Este hecho podría deberse a su alta variabilidad morfológica, lo que dificulta su identificación taxonómica al microscopio; o bien, a su bajo potencial alergénico. Sin embargo, en años recientes las esporas fúngicas han ganado un mayor interés por parte de especialistas, quienes consideran que sus propiedades

alergénicas han sido subestimadas (Codina *et al.*, 2021). En los hongos, los métodos de dispersión pasivos son predominantes y pueden ser tanto sexuales como asexuales. Por ende, su arribo a nuevos ambientes depende en gran medida de la potencia y dirección de los vientos.

Para que la liberación de pólenes (dehiscencia) y esporas tenga lugar, son determinantes algunas características medioambientales: disponibilidad de recursos, cambios de estaciones y temperatura. Su tiempo en suspensión depende en gran medida de la prolongación de épocas de sequía, baja humedad y altos niveles de radiación solar. En contraste, un aumento en la precipitación podría disminuir su concentración atmosférica. La convergencia de estos factores tiene relación directa con el inicio de la temporada de alergias: los sujetos sensibilizados que habitan en sitios urbanos responden rápidamente a los picos de mayor concentración de alérgenos en el aire. Si bien debe considerarse la susceptibilidad y la predisposición genética de la población ante ciertos taxones de gran potencial alergénico (por ejemplo, pastos y ambrosías), la contaminación atmosférica y la influencia del cambio climático (Ortega-Rosas *et al.*, 2020). Algunos eventos extremos que han sido asociados a la aceleración del cambio climático (olas de calor o lluvias intensas, por ejemplo), han llevado a modificaciones en la extensión de temporadas de alergias en diferentes regiones. La disponibilidad de agua y el aumento en la temperatura detonan los patrones de floración y propagación de las esporas, lo que afecta el ciclo de vida de plantas y hongos conduciendo a episodios de alergias más severos y prolongados (Paudel *et al.*, 2021).

EFFECTOS DEL PM EN LAS PROPIEDADES DE GRANOS DE POLEN Y ESPORAS FÚNGICAS

En la actualidad, la interacción del PM con partículas biológicas es un fenómeno que ha despertado interés, sobre todo en sitios urbanos donde los niveles por contaminación atmosférica resultan

alarmantes. Es posible que las características microscópicas en la morfología de pólenes y esporas fúngicas faciliten la adhesión de partículas a su pared más externa (Figura 2). La membrana de esta pared puede llegar a colapsar en casos en los que las concentraciones por PM sean excesivas, reduciendo su estructura en fragmentos más finos (subpartículas) que preservan algunas proteínas de potencial alergénico y producen un mayor impacto al penetrar en las regiones profundas del sistema respiratorio (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

En el caso de granos de polen, Visez y colaboradores (2019) sugieren cuatro escenarios en los que la interacción con partículas contaminantes se lleva a cabo: 1) al depositarse sobre estructuras florales al momento de apertura de la antera –parte superior del estambre en donde se produce el polen; 2) en su transporte aéreo, por medio de un mismo sistema de circulación; 3) durante un evento de resuspensión en el cual las partículas sedimentadas vuelven a elevarse por efecto del viento; y 4) al codepositarse en fosas nasales y recorrer las vías respiratorias. La evidencia comprueba que esta interacción tiene efectos en la composición química de granos de polen, su desempeño reproductivo, alergenidad y estructura. Se han descrito alteraciones en el contenido de flavonoides (químicos vegetales), pérdida de viabilidad (medida de fertilidad masculina) y capacidad germinativa, aumento de potencial alergénico y ruptura (Sénéchal *et al.*, 2015).

En México, pocos estudios se han desarrollado y gran parte de los registros aerobiológicos se han enfocado en estudiar la concentración polínica de la zona metropolitana del Valle de México, con un menor interés en conocer la repercusión de esporas fúngicas en la atmósfera de entornos urbanos, si bien los últimos años se han caracterizado por el progreso en investigaciones en el campo aerobiológico para estados más al norte del país como Nuevo León (Monterrey), Baja California (Mexicali), Sinaloa (Los Mochis) y Sonora (Hermosillo y Cajeme). No obstante, son limitados los trabajos que abordan el impacto en la salud humana de la interacción de PM con granos de polen y esporas fúngicas (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

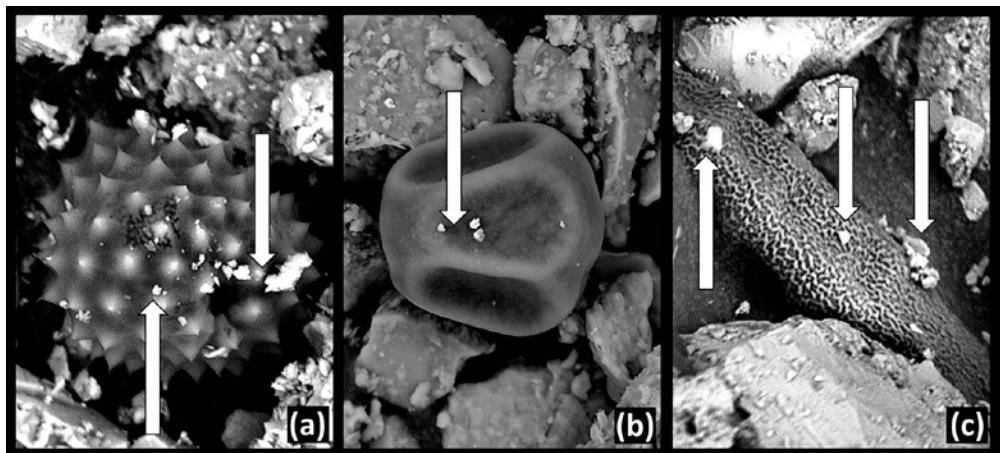


Figura 2. Material particulado atmosférico (PM) adherido a granos de polen y esporas fúngicas. Las flechas en blanco señalan algunas de las partículas adheridas. De izquierda a derecha: (a) polen de *Ambrosia* (ambrosías); (b) polen de Poaceae (familia de los pastos); (c) espora de *Alternaria* (hongo filamento). Las imágenes se obtuvieron a través de microscopía electrónica de barrido por las investigadoras Belem González-Grijalva y Carmen I. Ortega-Rosas.

El estado de Sonora se ubica en la región noroeste de la República Mexicana. Su cabecera municipal, Hermosillo, es una ciudad de clima semiárido, que cuenta con temperaturas extremas a lo largo del año y lluvias torrenciales durante los meses del verano. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), su población total es de 936,263 habitantes, siendo el municipio con mayor número de personas en el estado.

Desde 2015 a 2019, se ha estudiado la concentración de pólenes y esporas fúngicas en el aire de Hermosillo. Entre los taxones polínicos dominantes, se encuentran los pastos (familia Poaceae). Los granos de polen de esta familia (como el que se muestra en la sección b de la Figura 2), suelen ser pequeños en comparación con otros; y, por su composición, tienen propiedades alergénicas que afectan la salud de los grupos más susceptibles a problemas respiratorios. Asimismo, se han encontrado adheridas a su pared partículas de especies químicas provenientes del tráfico vehicular (por ejemplo, bromuro, cloro y antimonio).

Otros taxones de especial atención por su abundancia y alergenicidad son los mezquites (género *Prosopis*), las ambrosías (género *Ambrosia*) y los quelites (familia Amaranthaceae), al igual que hongos filamentosos como *Cladosporium* y *Alternaria*. Sus patrones de concentración (Figura 3) se asocian a su floración entre las estaciones del invierno-primavera (febrero-abril) y

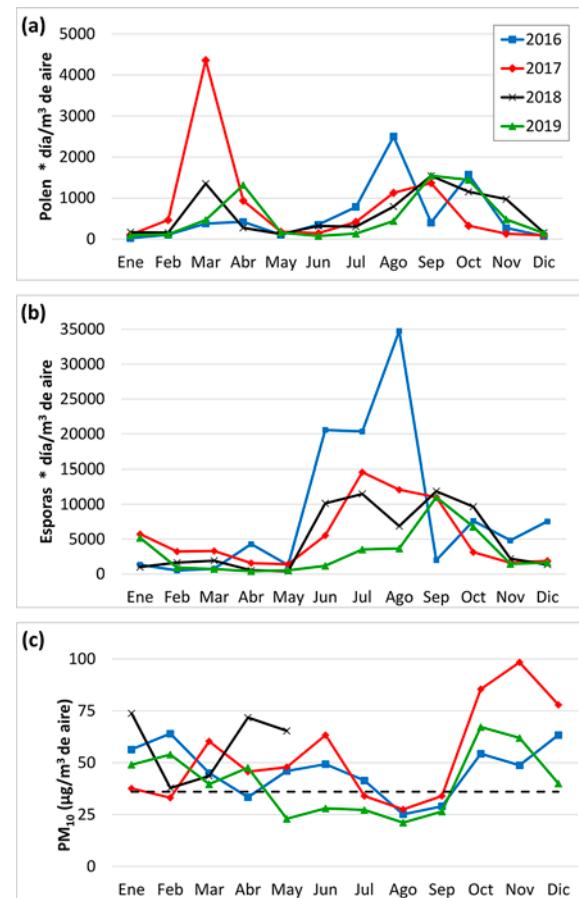


Figura 3. Concentración de partículas contaminantes en Hermosillo, Sonora de 2016 a 2019, con colores correspondientes a cada año de monitoreo continuo: 2016 en azul, 2017 en rojo, 2018 en negro y 2019 en verde. El gráfico incluye (a) granos de polen, (b) esporas fúngicas y (c) PM10. La línea punteada indica el límite permisible de PM10 (36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire) en un primer año de monitoreo, según la NOM-025-SSA1-2021. μg = microgramo (millonésima parte de un kilogramo). Fuente: Laboratorio de Aerobiología (UES), Carmen I. Ortega-Rosas.

durante el verano (julio-septiembre), meses en los que la disponibilidad de agua aumenta gracias a las lluvias que reverdecen temporalmente los paisajes de la región. Hermosillo cuenta con un registro de partículas contaminantes en la fracción PM₁₀ (Figura 3). A partir de ello, se ha llegado encontrar que, durante parte de los meses más fríos del año (octubre a diciembre), las concentraciones de este contaminante superan de manera significativa el límite tolerable de 36 µg/m³ de aire para un primer año de monitoreo, según la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021. Por lo tanto, es probable que, en los picos máximos de concentración de pólenes, esporas fúngicas y PM₁₀, la población de Hermosillo sea susceptible a los padecimientos de enfermedades respiratorias y afecciones cardiovasculares incluso más severas (Ortega-Rosas *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Pólenes y esporas fúngicas actúan como vehículos de transporte para partículas finas y ultrafinas adheridas a su pared, lo que puede llevar a un alcance más profundo del PM en el sistema respiratorio. La contaminación atmosférica en las ciudades es un problema en aumento que se ve potenciada por los efectos de la aceleración del cambio climático. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de estrategias de mitigación más efectivas por parte de gobiernos y organizaciones. Entre las recomendaciones en pro de combatir los efectos combinados de la contaminación y las alergias respiratorias se encuentran el monitoreo continuo de la calidad del aire, la elaboración de calendarios polínicos que indiquen los meses de mayor concentración de pólenes y esporas fúngicas alergénicas para contemplar medidas anticipatorias (por ejemplo, el uso del cubrebocas) y la asistencia médica temprana al momento de reconocer los primeros síntomas de alerta.

R E F E R E N C I A S

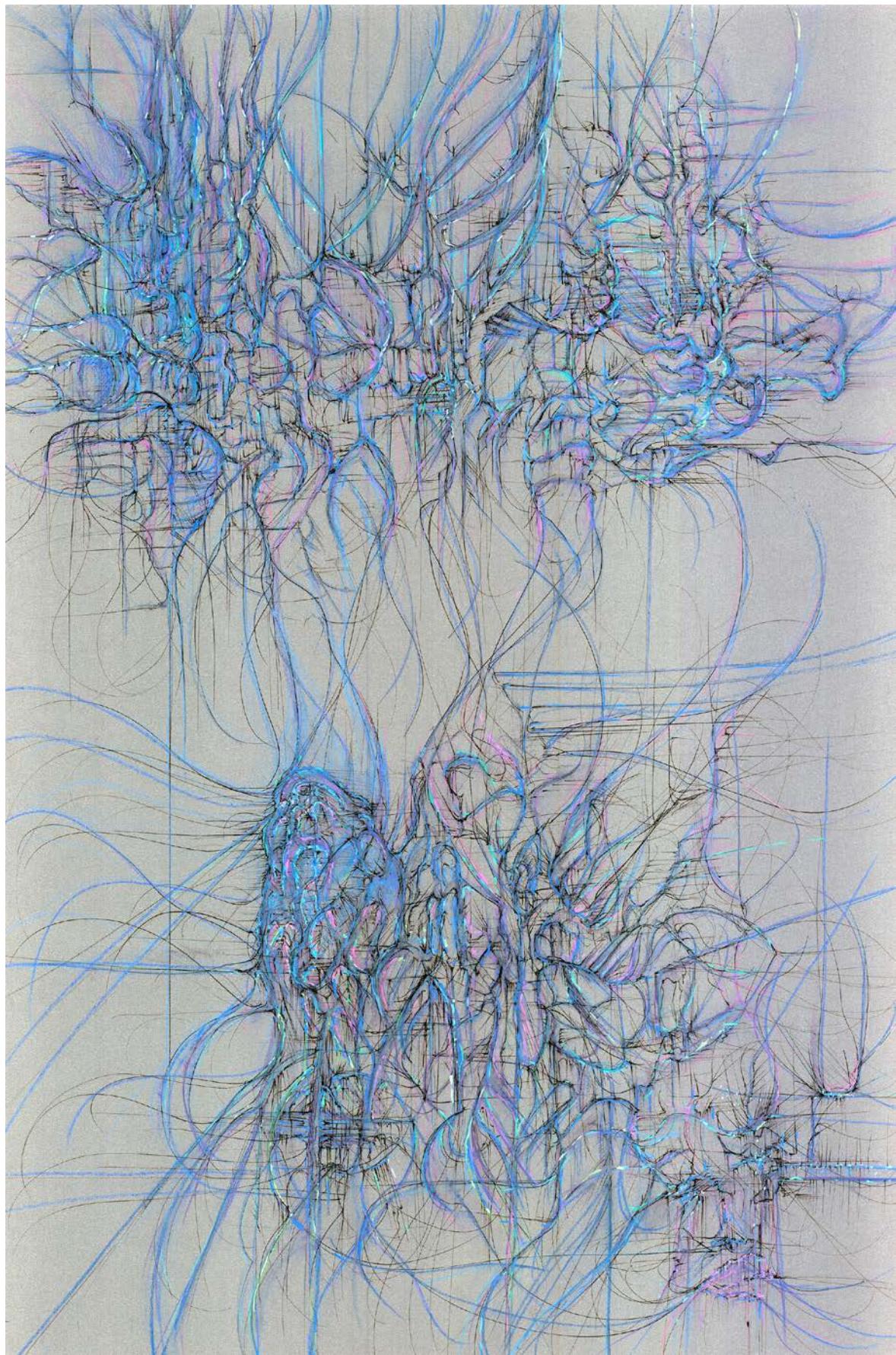
Codina R, Esch RE and Lockey RF (2021). The clinical relevance of pollen versus fungal spores in allergic diseases. *J Allergy Clin Immunol Pract* 9:3615-3620.

- Friedman J and Barrett SCH (2009). Wind of change: new insights on the ecology and evolution of pollination and mating in wind-pollinated plants. *Annals of Botany* 103:1515-1527.
- Gell PGH and Coombs RRA (1963), eds. *Clinical Aspects of Immunology*. 1st ed. Oxford, England: Blackwell.
- Hopke PK, Dai Q, Li L and Feng Y (2020). Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Sci Total Environ* 740:1-10.
- INEGI (2020). Censo de población y vivienda 2020. Recuperado de: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/poblacion/>.
- Kwon HS, Ryu MH and Carlsten C (2020). Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Exp Mol Med* 52:318-328.
- Lancia A, Capone P, Vonesch N, Pellicioni A, Grandi C, Magri D and D'Ovidio MC (2021). Research progress on aerobiology in the last 30 years: a focus on methodology and occupational health. *Sustainability* 13:1-20.
- Nilsson S (1992). Aerobiology: an inter and multidisciplinary approach. *Indian Journal of Aerobiology* 23:23-28.
- Ortega-Rosas CI, Meza-Figueroa D, Vidal-Solano JR, González-Grijalva B and Schiavo B (2020). Association of airborne particulate matter with pollen, fungal spores, and allergic symptoms in an arid urbanized area. *Environ Geochem Health* 43:1761-1782.
- Paudel B, Chu T, Chen M, Sampath V, Prunicki and Nadeau KC (2021). Increased duration of pollen and mold exposure are linked to climate change. *Scientific Reports* 11:1286.
- Pavón-Romero GF, Calderón-Ezquerro MC, Rodríguez-Cervantes MA, Fernández-Villanueva D, Melgoza-Ruiz E, Ramírez-Jiménez F and Terán LM (2022). Association of allergic sensitivity and pollination in allergic respiratory disease: the role of pollution. *J Asthma Allergy* 15:1227-1243.
- Sénéchal H, Visez N, Charpin D, Shahali Y, Peltre G, Biolley JP, Lhuissier F, Couderc R, Yamada O, Malrat-Domenge A, Pham Ti N, Poncet P and Sutra JP (2015). A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. *The Scientific World Journal* 940243:1-29.
- Visez N, Ivanovsky A, Roose A, Gosselin S, Sénéchal H, Poncet P and Chöel M (2019). Atmospheric particulate matter adhesion onto pollen: a review. *Aerobiologia* 36:49-62.
- World Health Organization (2022). *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment*. 2022 update. Chapter 2. Air pollution. Geneva: World Health Organization.

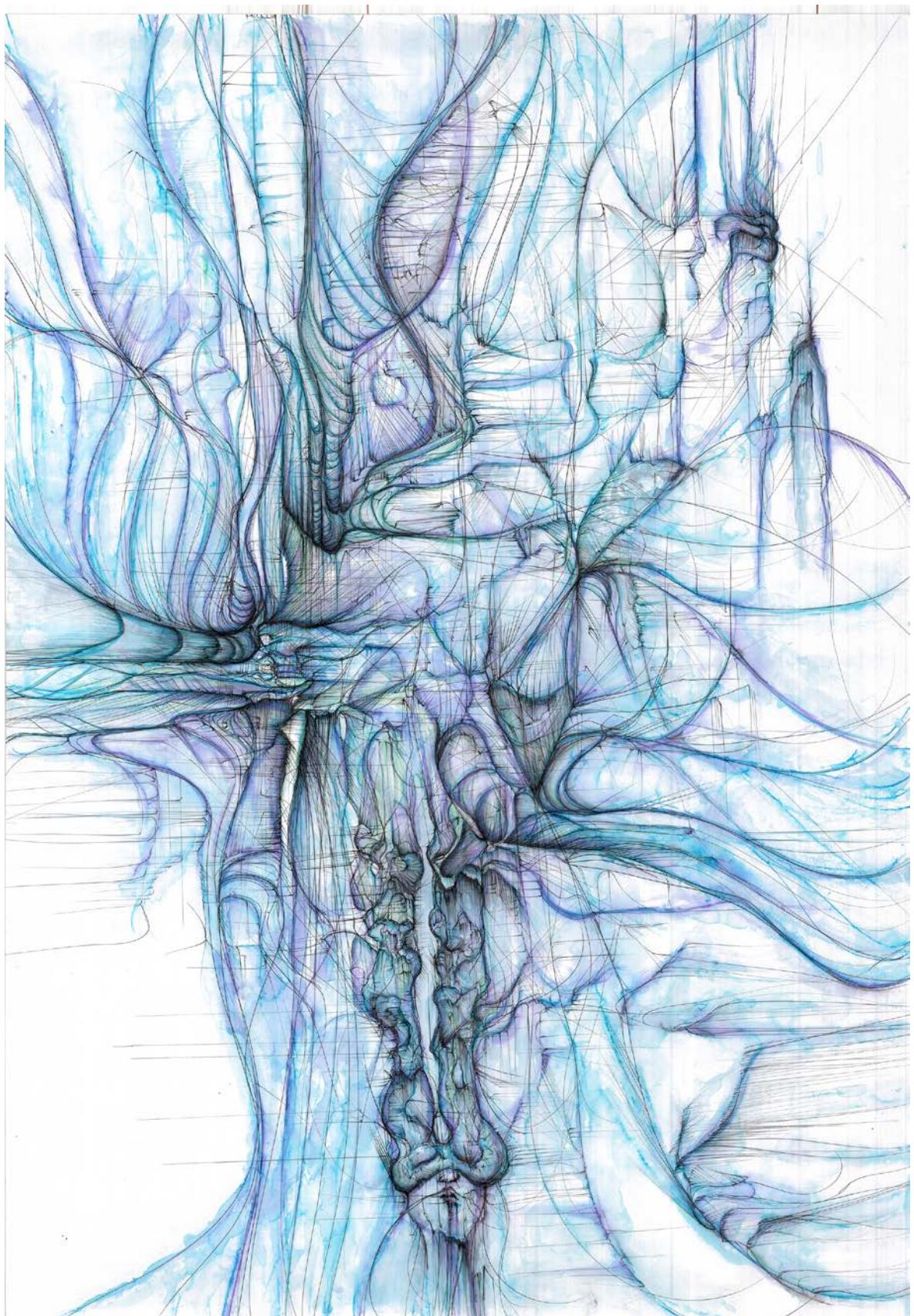
Brayan Bustamante

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora

Carmen Isela Ortega Rosas
Licenciatura en Ecología
Unidad Académica Hermosillo
Universidad Estatal de Sonora
carmen.ortega@ues.mx



© Héctor Salazar. Mar-pajaritos-kish. 70 x 100 cm, glossy paper, precision pen, airbrush, marker, 2023.



© Héctor Salazar. 1p-lsd -thc-100 ug-DMT, scan-memoria-mar. 70 x 100 cm, glossy paper, precision pen, airbrush, marker, 2023.