

# Presentación

Este libro de divulgación de resultados de los estudios realizados por el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales-GIMSA del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena, tiene por objeto la socialización del trabajo que se ha venido realizando desde hace tres años, en la Línea de Investigación de Calidad del Aire y en las áreas específicas de Microbiología Ambiental y Salud Pública.

Las páginas iniciales de este producto de investigación presentan los fundamentos que le permiten al lector ubicarse en la temática mediante la identificación de los aerosoles biológicos y su presencia en la atmósfera, el conocimiento de su tipología y principales fuentes de emisión, su comportamiento aerodinámico y viabilidad, y finalmente, sus efectos en el ambiente y la salud humana.

El capítulo final presenta los resultados de la investigación efectuada en una de las fuentes de emisiones de Bioaerosoles como es el sistema de disposición final de residuos sólidos municipales, referenciada ampliamente en diversos estudios efectuados en México, Puerto Rico y España, y que en Colombia registra un estudio de similares características en el relleno Sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín. Se resumen los resultados relevantes de la investigación titulada Evaluación de Partículas Viables Biológicas emitidas desde el Relleno Sanitario Palangana del Distrito de Santa Marta (Colombia), orientada a establecer la presencia de bacterias y hongos generados en las unida-



des de proceso del relleno sanitario y su distribución espacio-temporal hacia las comunidades aledañas a la zona de estudio.

Se espera proporcionar los elementos necesarios para que estudiantes, docentes e investigadores evalúen la potencialidad de esta línea de investigación y la importancia de la aplicación de los resultados obtenidos para la toma de decisiones, la reglamentación de la normativa ambiental y los mecanismos para el control de impactos que incrementen la problemática en lo que se refiere a salud pública.

# Introducción

En los últimos años el creciente interés por evaluar las diversas fuentes de Contaminación Atmosférica, ha llevado a incrementar la inversión a nivel mundial en investigaciones orientadas no sólo a cuantificar la contaminación física y química, sino a estimar la contaminación del aire originada por microorganismos; en principio, porque ha sido posible establecer que las emisiones atmosféricas de origen biológico representan riesgos para la salud de los seres humanos, generando a corto y mediano plazo problemas de salud pública que pueden afectar a una comunidad, a una población, a un país o grupo de países.

En el campo de la Ingeniería Ambiental se han implementado tecnologías para el tratamiento de aguas residuales y aguas para consumo humano, así como para el aprovechamiento, tratamiento y disposición de residuos sólidos municipales, que a su vez han originado otras fuentes de contaminación por la generación y dispersión de aerosoles biológicos.

Esta situación ha fomentado el estudio de emisiones de origen biológico conocidas como Bioaerosoles, asociadas tanto a actividades industriales y agrícolas en ambientes *outdoor*, como a su presencia en instalaciones para el cuidado de la salud, residencias, oficinas y aulas de clases en ambientes *indoor*. Las posibles consecuencias nocivas de



tipo ambiental y los efectos sobre la salud humana derivados de la exposición de Bioaerosoles *indoor* y *outdoor*, han renovado el interés de investigaciones en Calidad del Aire y en el área específica de Microbiología del Aire.

# Capítulo 1

Andrés M. Vélez-Pereira  
Diana M. Henao-Marín  
Yiniva Camargo Caicedo

## Generalidades de los Aerosoles Biológicos

### Aerobiología, su Historia y Actualidad

La mayoría de los organismos se transportan de un lugar a otro en algún momento de su vida. Para algunos, el movimiento se produce dentro de su mismo hábitat, mientras que para otros se presenta un amplio espectro de posibilidades de largo alcance siendo la atmósfera el medio de transporte que muchos utilizan (Gage et al., 1999). Pasteur, en su importante trabajo realizado en 1862 en el recuento de bacterias de la atmósfera, manifestó que "sería de mayor interés multiplicar los estudios sobre este tema" (Ariatti & Comtois, 1993). Pasteur, no sólo atacó el paradigma de la generación espontánea, sino que también estableció que el polvo suspendido en el aire incluía gérmenes o aerosoles biológicos (Levetin & Horner, 2002). De este primer impulso, gran número de investigadores han dedicado sus trabajos a este desafío (Comtois, 1997), y es Pierre Miquel (1850-1922), también llamado el primer pro-

fesional de la aerobiología (Comtois, 1997), quien tomó literalmente el deseo de Pasteur, pues fue uno de los padres de esta disciplina, a la que inicialmente le llamó Micrografía Atmosférica.

La aerobiología ha experimentado un desarrollo sustancial durante los últimos 150 años, presentando considerables avances desde "la edad de oro de la aerobiología" hasta la actualidad. "La edad de oro de la aerobiología" transcurrió entre los años 1861-1882, y consistió en la caza de organismos suspendidos en el aire que conducían al desarrollo de una enfermedad que estaba en su apogeo (Comtois e Isard, 1999).

El término aerobiología fue acuñado en los años 30 por Fred C. Meier, encargado de estudiar el aerotransporte pasivo de los microorganismos, su identificación, comportamiento, movimiento y supervivencia, de manera conjunta con los conocimientos de microbiología, meteorología física de los aerosoles y química atmosférica (Gregory, 1973; Rosas et al., 2005).

En 1837 fue encontrado el primer microorganismo en la atmósfera cuando Schwann demostró la causa de fermentación y putrefacción en una sala con material estéril, mientras que Pauster en 1862 y Vlandavets & Mats, 1958 demostraron que universalmente se encuentran en la atmósfera de los laboratorios de investigación. Otras investigaciones, señalan que los microorganismos en el aire fueron descubiertos en la superficie medida en el mar (Certes, 1984; Fischer, 1886) por Charles Lindbergh, mediante la exposición de placas de Petri a través de la ventana de un avión sobre el Océano Atlántico en 1933 (Meier, 1935a; Meier, 1935b) y durante viajes que realizaba sobre el Mar Caribe en aviones comerciales (Meier, 1936). Posteriormente con una toma de muestras en suspensión en el aire, se logró comprobar la presencia de las bacterias al aire libre en relación con las masas de aire (Fulton 1966a; Fulton 1966b; Fulton y Mitchell, 1966), la actividad urbana (Fulton 1966c, Fulton y Mitchell, 1966), y la altitud (Fulton, 1966c).

Sin embargo, la existencia de una multitud de corpúsculos en el aire fue reportada desde la antigüedad. Lucretius (55 a.C.) observó las partículas de polvo brillando en un rayo de sol en una habitación oscura y concluyó

que su movimiento se debía al bombardeo de innumerables e invisibles átomos en el aire; no obstante, fue necesario esperar al descubrimiento del microscopio para comprobar que en el aire existían microorganismos vivos (de la Rosa et al., 2002). Un siglo después, Ehrenberg, en sus numerosas memorias publicadas de 1822 a 1858, demostró que tanto las partículas atmosféricas del interior de las casas y hospitales como las del aire exterior de elevadas montañas, estaban compuestas de esporas criptogámicas; en esta misma época en Francia, Gaultier de Claubry (1855), inauguró la investigación científica de las partículas atmosféricas, mas fue Pasteur el que perfeccionó los procedimientos empleados por este investigador y realizó los primeros estudios precisos de las bacterias del aire, cuando demostró la no existencia de la generación espontánea (De la Rosa et al., 2002).

Más adelante, uno de los motivos que propiciaron el estudio de los microorganismos del aire fue descubrir la causa de algunas enfermedades (Lighthar & Shafer, 1995); justificado en lo sucedido durante la epidemia de cólera que apareció en Europa en 1847 y 1848, donde Ehrenberg en Berlín, Swagne, Brittan y Budd en Inglaterra, Robin y Pouchet en Francia, realizaron diversas investigaciones para descubrir en el aire de los hospitales los “gérmenes” causantes de esta enfermedad (Miquel y Cambert, 1901). De igual forma otros investigadores como Selmi en Italia y Salisbury en EEUU (1866), realizaron estudios en el aire de los pantanos con el fin de conocer la causa de la fiebre intermitente y la malaria (De la Rosa et al., 2002), debido a que se creía que el viento podía traer enfermedades al hombre, a los animales y a las cosechas. De hecho, Hipócrates (460-377 a. C.), considerado el padre de la ciencia médica, sostenía que el hombre era atacado por fiebres epidémicas cuando inhalaba aire infectado de contaminantes que son hostiles a la raza humana (Gregory, 1973).

A partir de 1882 se generalizaron los análisis microbiológicos del aire, estudiándose el número y tipo presentes en diversos ambientes, donde Pierre Miquel fue el que realizó numerosos y variados estudios, analizando tanto el aire confinado de casas y hospitales como la atmósfera de diversas calles de París, parques, el cementerio de Mont Parnasse, e incluso las alcantarillas, no sólo determinando el número de microorga-

nismos por metro cúbico de aire (presente en cada uno de estos ambientes) sino su naturaleza y propiedades patógenas, así como la influencia de los diversos factores ambientales (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, etc), y la posibilidad de transmisión de enfermedades contagiosas por el aire (Miquel & Cambert, 1901), obteniendo resultados válidos y reafirmados en la actualidad por investigadores modernos. Ejemplo de esto es la correlación efectuada entre las estaciones del año y la concentración de bacterias presentes en el aire, y su relación con la altura, afirmando que la concentración de las bacterias disminuía con la altura (De la Rosa et al., 2002)

Para mediados del siglo XIX, se continúa con el pensamiento que las enfermedades se generaban por “aire envenenado”, planteando la hipótesis sobre la existencia de bacterias patógenas en el aire, lo que condujo a Lister en 1867 a la implementación de pulverizaciones del aire con ácido carbónico, para evitar la infección de las heridas quirúrgicas, iniciándose así la época de la asepsia en la cirugía (De la Rosa et al., 2002). Posteriormente se demostró la presencia en el aire de varias bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Mycobacterium tuberculosis*, entre otras, confirmando las afirmaciones planteadas acerca de la posibilidad de transmisión por el aire de enfermedades infecciosas como la escarlatina, tuberculosis, tosferina y rubéola (Macé, 1913).

En el siglo XX, el estudio de los microorganismos del aire sufre grandes altibajos; los primeros años se continuaron analizando diversos ambientes, siguiendo la línea de los investigadores del siglo XIX, siendo los más novedosos los realizados en el metro de Londres por Andrews en 1902 y Forbes en 1924, y en Nueva York por Soper en 1908 (Gregory, 1961). Es así como a lo largo de la historia, un sinnúmero de investigadores, precisan la necesidad de realizar estudios enfocados a establecer la supervivencia de los microorganismos en los aerosoles, tanto de bacterias, como de *Bacillus* (Harper et al., 1952), *Escherichia coli*, *Pseudomonas* (Brown, 1953), *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Serratia*, *Mycobacterium* (Ferry et al., 1958), *Staphylococcus* (Webb, 1959), al igual que hongos, como el *Aspergillus*, o la *Pestalotia* (Mazur & Weston, 1955), o virus como la influenza (Schechmeister, 1950).

La aerobiología es una ciencia que, poco a poco, ha retomado campos y aplicaciones científicas cada vez más, implicando especialidades aplicadas con carácter interdisciplinario de diversas áreas del conocimiento como la agronomía, la medicina, la física, la botánica, la zoología, la ecología, la microbiología, entre otras (Recio, 1999). Así mismo, en estos años se observa una mayor preocupación por el control del aire de los ambientes *indoor*, principalmente en los hospitales, industrias farmacéuticas y alimentarias; así por ejemplo, en 1969, la Organización Mundial de la Salud- OMS dicta las primeras normas recomendadas para la fabricación y la inspección de la calidad de los medicamentos, en los que se incluye el control microbiano del aire de los locales (Anónimo, 1969). Desde entonces, los estudios aerobiológicos de estos ambientes retoman mayor interés, reportándose actualmente como una práctica habitual e incluso obligatoria (Anónimo, 1985), la realización de recuentos y controles periódicos del aire de las zonas estériles y limpias de hospitales (Denyer, 1992) e industrias farmacéuticas (Anónimo, 1996; De la Rosa et al., 2000). Adicional a esto, suele evaluar y/o controlar otros ambientes *indoor*, como fábricas de equipos electrónicos, escuelas y edificios de oficinas, justificando este último ambiente, al hecho que en los últimos años, se ha descrito una nueva enfermedad denominada “el síndrome del edificio enfermo”, generando en los ocupantes de la edificación problemas de salud bajo los mismos patrones sintomatológicos (Berenguer, 1991; Negro, 2004b).

Otros de los campos actuales de interés en la aerobiología, es el estudio de la presencia de polen en las emisiones de aerosoles biológicos, puesto que es el causante de la mayoría de las alergias presentadas, durante las épocas de florecimiento en primavera, según lo presentado en 1902, por el fisiólogo francés Carlos Richet, demostrando que los venenos y las sustancias tóxicas, en lugar de provocar en el animal un progresivo aumento de resistencia, lo hacían más sensible, llegando en algunos casos a ser letales en dosis verdaderamente insignificantes. Poco después, otros investigadores observaron que los fenómenos de hipersensibilidad también eran producidos por productos no tóxicos, como era el caso de los granos de polen, lo que dejó sentada la teoría de Blackley, y el polen quedó considerado como un elemento alergénico capaz de desencadenar fenómenos realmente patológicos (Recio,

1999). Desde principios del siglo XX hasta hoy, los estudios aerobiológicos asociados al polen, se han direccionado rápidamente hacia el campo medicofarmacológico.

En la actualidad, la aerobiología es una ciencia ampliamente estudiada, desde diversos enfoques, pero con un fin común, establecer las concentraciones, tipos y características de la microbiota presente en la atmósfera, evaluando la correlación de los microorganismos y las condiciones atmosféricas locales, con el objetivo de establecer los impactos que produce la presencia de los aerosoles biológicos en el ambiente y en la salud pública, como resultado de comprobar que el aire se ha convertido en un medio de dispersión de agentes patógenos y no patógenos para los seres vivos.

## **Generalidades de los Microorganismos en el Aire**

Los microorganismos en la atmósfera no se consideran como una microbiota autóctona, dado que la atmósfera se convierte en medio para la dispersión rápida y global de muchos tipos de microorganismos; estimando una importante transferencia de microorganismos y de sus metabolitos gaseosos entre la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, reportándose en la troposfera inferior un gran número de ellos (de la Rosa et al, 2002).

La presencia de microorganismos suspendidos en el aire posee diversos tipos de denominación, dependiendo del tipo de clasificación que se esté realizando; es así como se denominan aerosoles biológicos, partículas biológicas, partículas aerotransportables biológicas o bioaerosoles, a toda clase de material biológico que se encuentre suspendido en el aire y que contiene organismos viables y no viables tales como bacterias, virus, hongos, polen, insectos muy pequeños o sus desechos, e incluso compuestos de origen microbiano tales como endotoxinas  $\beta$ -1,3-glucanos o micotoxinas (Huang et al., 2002; Toivola et al., 2002; Douwes et al., 2003; Rengasamy et al., 2004; Sergey & Reponen, 2004;