

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS MATRICES AMBIENTALES AGUA, SUELO Y ATMÓSFERA⁵²

POLLUTION EFFECTS ON ENVIRONMENTAL MATRIX, WATER, SOIL AND ATMOSPHERE

JeanCarlo Andrade⁵³

Cristian Lara-Basantes⁵⁴

Diego Muñoz⁵⁵

Cristhian Chicaiza-Ortiz⁵⁶

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁵⁷

⁵² Derivado del proyecto de investigación: Contaminación Ambiental

⁵³ Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Máster of Science in Environmental Science, Applied Ecology mention, Eötvös Loránd University, Docente, Universidad Agraria del Ecuador, correo electrónico: jandrade@uagraria.edu.ec

⁵⁴ Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Chimborazo, Máster Universitario en Geología Ambiental, Universidad Complutense de Madrid, Docente, Universidad Agraria del Ecuador, clara@uagraria.edu.ec

⁵⁵ Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, Magister en Ciencias: Manejo Sustentable de Biorecursos y Medio Ambiente. Universidad de Guayaquil, Docente Coordinador de la Unidad de Vinculación con la Sociedad, Universidad Agraria del Ecuador, correo electrónico: dmunoz@uagraria.edu.ec

⁵⁶ Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, MSc in Environmental Engineering, Universidad de Tianjin, China, Programa de posgrado en Shanghai Jiao Tong University (SJTU) China-UK Low Carbon College, Docente Investigador, Universidad Regional Amazónica IKIAM, correo electrónico: cristhian.chicaiza@ikiam.edu.ec

⁵⁷ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

6. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS MATRICES AMBIENTALES AGUA, SUELO Y ATMÓSFERA ⁵⁸

JeanCarlo Andrade⁵⁹, Cristian Lara-Basantes⁶⁰, Diego Muñoz⁶¹, Cristhian Chicaiza-Ortiz⁶²

RESUMEN

En el siguiente texto, se abordan diversas problemáticas ambientales referidas a contaminación atmosférica, contaminación del suelo y aguas y la creciente inquietud sobre el cambio climático en Ecuador. Hoy en día, el debate ya no se mantiene centrado en la diferencia entre países desarrollados y en vías de desarrollo; de hecho, se reconoce con juicio mayoritario que todos los países deben participar en la reducción de emisiones, aunque no necesariamente de la misma manera. En la región de América Latina y el Caribe, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero contribuyeron con el 9% de las emisiones mundiales en 2011. Cabe señalar que, entre los efectos de acuerdo al quinto informe del IPCC, existe la posibilidad de un aumento del nivel del mar (65 a 75 cm) para el año 2100, al igual que la reducción del caudal de los ríos y la contaminación, la deforestación, por ejemplo, altera los ecosistemas originales en sistemas menos diversos, con mucha menos biomasa, y los hace menos estables. De manera indirecta, la salud humana también se ve afectada cuando se producen olas de calor extremo o enfermedades relacionadas con vectores, los cuales, amplían sus áreas de influencia con mayor frecuencia. Es por ello que dentro de este análisis se destacan problemas en la realidad nacional y las posibles soluciones a un futuro cada vez más desconcertante.

⁵⁸ Derivado del proyecto de investigación: Contaminación Ambiental

⁵⁹ Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Máster en Science in Environmental Science, Applied Ecology mention, Eötvös Loránd University, Docente, Universidad Agraria del Ecuador, correo electrónico: jandrade@uagraria.edu.ec .

⁶⁰ Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Chimborazo, Máster Universitario en Geología Ambiental, Universidad Complutense de Madrid, Docente, Universidad Agraria del Ecuador, clara@uagraria.edu.ec.

⁶¹ Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, Magister En Ciencias: Manejo Sustentable de Biorecursos y Medio Ambiente. Universidad de Guayaquil, Docente Coordinador de la Unidad de Vinculación con la Sociedad, Universidad Agraria del Ecuador, correo electrónico: dmunoz@uagraria.edu.ec.

⁶² Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, MSc in Environmental Engineering, Universidad de Tianjin, China, Programa de posgrado en Shanghai Jiao Tong University (SJTU) China-UK Low Carbon College, Docente Investigador, Universidad Regional Amazónica IKIAM, correo electrónico: cristhian.chicaiza@ikiam.edu.ec

ABSTRACT

In this reflection, various environmental problems related to air pollution, soil and water pollution, and the growing concern about climate change in Ecuador are addressed. Today, the debate remains no longer focused on the difference between developed and developing countries. It is widely recognized that all countries should participate by reducing polluting atmosphere emissions, although not necessarily in the same way. In the Latin American and Caribbean region, Greenhouse Gas emissions contributed 9% of global emissions in 2011. According to the fifth IPCC report, there is the possibility of an increase of sea level from 65 to 75 cm by the year 2100 and the reduction of river flow caused by deforestation and the constantly increasing pollution. Most anthropogenic activities consume natural resources and alter original ecosystems into less diverse systems. This has detrimental consequences in soil and water ecosystems, making them less stable in terms of biomass and nutrient cycles regeneration. Human health is also affected when extreme heatwaves or vector-related diseases occur. Recently, some studies pointed out that these are expanding their areas of influence. Within this analysis, problems in the national reality and possible solutions to an increasing and disconcerting future are highlighted.

PALABRAS CLAVE: Contaminación, Cambio Climático, Contaminación Atmosférica, Gases de efecto invernadero, Suelos, Aguas.

Keywords: Pollution, Climate change, Air pollution, Greenhouse gases, Soil, Water, Air pollution.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 75 % de los contaminantes que llegan al suelo y a los cuerpos de agua superficial provienen de actividades antrópicas realizadas en el continente. Esto quiere decir que independientemente de cuál origen de la contaminación o el sitio donde haya sido producida, por lo general termina siendo parte de las matrices ambientales. Se entiende entonces, como matriz ambiental, al área en la cual se desarrollan todas las actividades ecológicas entre el medio biótico y abiótico, incluyendo las antrópicas, pero siendo delimitadas por sus características inherentes tales como las físicas y químicas. Establecemos de esa forma que en el texto se mencionan tres tipos de matrices ambientales; atmosférica, hídrica y del suelo. Ha de diferenciarse el término matriz ambiental de ecosistemas, pues los mismos son parte de la estructura de una matriz ambiental y de esa manera, conforman un paisaje en el cual pueden variar su estructura, función y composición de especies de manera diferenciada (Forman y Godron, 1986).

La matriz hídrica tiene la facultad de diluir los contaminantes y transportarlos hacia el mar y constituyen de esa manera el medio de traslocación más apropiado para dichas sustancias. Es el caso por ejemplo de los derrames de pesticidas y petróleo, que en fuentes de agua continental empiezan a ser más comunes, aunque en menores proporciones en comparación con los derrames marinos. (Mehrabian, Letendre, y Cameron, 2018). Las actividades petroleras han significado la destrucción de la matriz ambiental de suelos y asimismo la explotación de los recursos de las zonas aledañas. De esta actividad extractivista, es especialmente necesario mencionar a la contaminación química (por el empleo de sustancias para actividades extractivas), también a la contaminación sonora (por las detonaciones, construcción de plataformas, transportación, etc.) y la lumínica (generada en la quema de gases) (Silva y Correa, 2009)

Estudios coinciden sobre la necesidad de gestionar y proteger los recursos del suelo. Por ejemplo, según Tölgyessy (1993), hay que considerar el suelo como una de las propiedades más valiosas del hombre, pues permite la coexistencia de plantas, microorganismos, animales y humanos en la Tierra. Al ser un recurso natural limitado que se regenera a escalas geológicas y que se degrada fácilmente debido en primera instancia a la agricultura e industria, es indispensable mantener aplicar métodos que protejan su calidad; prevengan su erosión o mitiguen su contaminación, y que estos provengan de la investigación

y cooperación interdisciplinaria; considerando a todos los niveles profesionales y a la población en general, como principal beneficiaria (Osman, 2014).

En la matriz atmosférica, la contaminación del aire representa el mayor riesgo para la salud a nivel mundial; por ejemplo, en el año 2012, siete millones – o lo que sería uno de cada ocho – del número total de muertes, estuvieron relacionadas con la contaminación del aire; aproximadamente la mitad de esas muertes fueron debido al aire contaminado en zonas urbanas y rurales (WHO, 2014). La contaminación del aire urbano, principalmente originada por el tráfico, es una cuestión de preocupación creciente (Laña *et al.*, 2016), y de manera especial, en los países en vías de desarrollo, donde el crecimiento urbano está, entre otras preocupaciones, asociado con niveles crecientes de contaminación del aire (Shen *et al.*, 2016). La población urbana mundial aumenta continuamente con un incremento esperado de personas que viven en áreas urbanas del 54% en 2014 al 66% en 2050 (UN, 2014), es decir, que existe ya una estrecha relación con la contaminación del aire en zonas urbanas a niveles aún más significativos.

El nivel general de contaminación del aire al que las poblaciones están expuestas de manera crónica, corresponde a la contaminación urbana del aire de fondo (Berkowicz, Olesen y Jensen, 2003; Gómez-Losada *et al.*, 2018). Por lo general, las concentraciones de contaminación de aire de fondo urbano, según indican Berkowicz, *et al.*, (2003) se representan como la contaminación del aire que se encuentra por encima del nivel del techo o en parques, y muestran una variación geográfica correspondiente sobre la ciudad en la que se mide, con diferencias espaciales marcadas por el tipo y cantidades de las emisiones (Jensen *et al.*, 2014), pero también, estas se ven afectadas por las contribuciones a niveles regionales de contaminantes, así como también están muy afectadas por las variaciones de la meteorología (Ketzler, Berkowicz, Hvidberg, y Jensen, 2011).

Esto ha aumentado la preocupación de las autoridades ambientales y sanitarias nacionales y regionales, que han puesto en marcha acciones concretas para regular las emisiones tanto de fuentes fijas como móviles; en algunos casos, se han intensificado los programas de vigilancia y prevención para contrarrestar los efectos. Sin embargo, es necesario señalar que las medidas de control adoptadas hasta ahora no han sido eficientes en gran parte de la región, debido a la creciente actividad económica, vinculada al aumento del consumo energético industrial y el parque automovilístico en las ciudades (Gaitán *et al.*

2007). En este texto se analizaron inventarios de emisiones (IE) realizados en el país, mediante la comparación de tendencias y registros de Óxidos de Nitrógeno (NOx) y Monóxido de Carbono (CO), reportados por artículos científicos, al igual que las emisiones de los IE relacionados con estas emisiones atmosféricas.

También, la alteración de matrices ambientales de suelo y agua se da principalmente por las descargas de petróleo, el uso indiscriminado de pesticidas en cultivos agrícolas, lavado inadecuado de tanques contenedores de productos químicos, lixiviados de rellenos sanitarios, manejo inadecuado de desechos orgánicos industriales y domésticos. Por tanto, debe considerarse de alto interés y prioridad para nuestra sociedad, el estudio de las interacciones de sustancias contaminantes en el ambiente, para así determinar los mecanismos y tecnologías de remediación más adecuados en torno al cambio climático.

Actualmente, las técnicas tradicionales de remediación consisten en métodos físicos de remoción o excavación del suelo contaminado y eliminarlo posteriormente a un vertedero; recubrimiento o contención. Sin embargo, los métodos presentan inconvenientes como la disposición de la misma contaminación en otro sitio con el riesgo significativo de la manipulación y transporte de material peligroso. Adicionalmente, también está el hecho de encontrar nuevos vertederos para la disposición final del material. Otro tipo de tecnologías que se han utilizado son la incineración y varios tipos de descomposición química que pueden ser muy efectivos, pero sus inconvenientes son principalmente su complejidad tecnológica y afectación ambiental (Vidali, 2001). Por ello, en el texto se abarcan diferentes puntos de vista acerca de las limitaciones de tratamiento para nuestro país y adicionalmente, el desconocimiento de las potencialidades de metodologías más amigables con el ambiente, que permitan alcanzar el desarrollo sustentable de una manera más eficiente.

DESARROLLO

Atmósfera

La atmósfera, un componente vital para el desarrollo de la vida terrestre, es el resultado de interacciones geológicas, químicas, físicas y biológicas con la superficie de la Tierra, desarrolladas a lo largo de miles de millones de años y alcanzando un equilibrio dinámico. Su estructura está compuesta de una capa gaseosa con un espesor de aproximadamente 2.000 km, dividiéndose en diferentes capas conforme se asciende desde el

suelo (troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera). En los primeros 11 y 12 km se concentra el 75% de la masa total de la atmósfera (troposfera). A pesar de ser la capa más delgada de todas las mencionadas, es aquí donde se desarrolla el ciclo vital de todos los seres vivos y se producen todos los fenómenos meteorológicos y procesos turbulentos que experimenta el clima, manteniendo el aire en constante agitación, en donde el movimiento de las masas de aire, transportan y diluyen contaminantes atmosféricos hasta lugares muy alejados de sus fuentes de generación (Alejandrina, *et al.*, 2012).

Nuestra atmósfera recibe emisiones de dos orígenes. La primera natural, procedente de fuentes inanimadas o de seres vivos (erupciones volcánicas, emisiones de la tierra y del agua, plantas, incendios forestales y descomposiciones radiológicas) que varían a causa de las condiciones climáticas que predominan en el lugar donde se suscitaron. La segunda de origen antrópico, donde el ser humano tiene el control, tuvo sus inicios desde el uso del fuego, pero principalmente desde la Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII, y que en la actualidad ha venido incrementándose. Hasta finales del siglo XX a más de los contaminantes atmosféricos conocidos (óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos y partículas sólidas en suspensión), los humanos emiten compuestos orgánicos volátiles y oligoelementos metálicos, causados principalmente por actividades de carácter industrial (Tolba, 1992).

En la investigación de Giraldo (2004), se elaboró un IE enfocado a vehículos livianos, cuya metodología de cálculo consistió en la inclusión de vehículos particulares de pasajeros (PC) en el inventario, también el segmento de los taxis (T), otro grupo importante son los camperos y camionetas (LDT). El proceso fue acompañado por el uso de factores de emisión (FE), cuya referencia de alcance geográfico se remitió a California (EE.UU.). Las pruebas en dinamómetro reportadas fueron aplicadas a una muestra de 2300 vehículos de las diferentes categorías, posteriormente se establecieron equivalencias mediante una categorización de propiedades similares respecto a los vehículos de la capital de Colombia, Bogotá. Estas características fueron el tamaño del motor, la existencia de sistemas para el monitoreo de emisiones, y un registro de las distancias recorridas en kilómetros. Adicionalmente, el proyecto estudió la determinación de la contribución de varias fuentes móviles, aplicado a ciertos gases como Hidrocarburos Totales (THC), NO_x y CO. Con esos valores se estimaron los valores de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera: metano (CH₄),

CO₂, y NO_x. Los valores que los vehículos llegan a emitir de GEI son presentados a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Valores encontrados de las emisiones de GEI para el estudio de Colombia

Contaminante	Cálculo de emisiones (ton/año)
CO	230.000
NO _x	12.000
THC	25.000
CO ₂	3.000.000
CH ₄	1.400
N ₂ O	90

Fuente: Modificado de Giraldo (2004)

Entre las emisiones a la atmósfera con una carga contaminante se tuvo CO, COV, PM₁₀, SO_x y NO_x. El inventario consideró los vehículos que emplean gas natural, diésel y gasolina. Se estimó la contribución individual de los parámetros mencionados de los diferentes vehículos, donde se consideraron también las motocicletas. Para el modelamiento del sistema se utilizó como base al método International Vehicle Emissions (IVE), diseñado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) de EE.UU. en cooperación con la Universidad de California, enfocado en la replicabilidad de casos en países en desarrollo (Parrish, 2006). Además, se realizaron campañas en territorio con el propósito de recopilar datos como inputs, que incluyeron actividades tales como: i) Encuestas en 15 estacionamientos para evaluar la asignación tecnológica de los vehículos (referida al combustible empleado, al igual que la edad y tipo del vehículo; la tecnología incorporada al control de las emisiones, kilometraje); Además de la ii) Dentro de la ciudad se realizaron mediciones mediante filmaciones, cuantificando los vehículos y sus tipos en las carreteras seleccionadas; Posteriormente se contó con un iii) Seguimiento en tiempo real (GPS) de las motocicletas (M), los vehículos privados (VP, incluye LDT y PC), los T, los camiones (C) – sin considerar los vehículos del sistema BRT y los autobuses (B) (Dockery, *et al.*, 1993).

Con ello, la investigación presentó varios resultados, proyectando emisiones (ton/año) de PM₁₀ (1.974), CO (822.500), COV (65.800), NO_x (49.350) y SO_x (2303). El Instituto de los Estados Unidos para los Efectos de la Salud (HEI), patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA), plantearon objetivos con el fin de conocer cuáles son los efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de las personas, principalmente emitidos por el parque automotor (Parrish, 2009; Parrish 2002). Entre todos sus proyectos se encuentran análisis de estudios que investigan la influencia de polución aérea por partículas sobre la mortalidad a largo plazo.

La peligrosidad de las partículas no solo está determinada por su composición química, también se debe considerar su diámetro aerodinámico; partículas con un diámetro inferior a 10 micras (PM₁₀), principalmente las de 2,5 micras (PM_{2,5}) o menores, son más peligrosas que partículas con un diámetro superior a PM₁₀ (Gómez-Losada, Pires y Pino-Mejías, 2018). Estas partículas por su diámetro penetran más fácilmente hasta los alveolos pulmonares, por ende, el riesgo de afectación es mayor (World Health Organization, 2006).

Los vehículos a diésel emiten más PM menor a 2,5 micras que los de gasolina. En países como España la flota vehicular a diésel se triplicó desde 1997 (2.800.000) hasta 2005 (8.400.000) (Observatorio Sostenibilidad en España, 2007), Siendo la población infantil la más susceptible a estos riesgos ambientales, no solo porque su anatomofisiología y sus sistemas corporales aún no se encuentran desarrollados, también porque su zona respiratoria se encuentra a niveles más bajos de la capa de aire, donde la concentración de los contaminantes pesados es mayor. Los cambios de los alveolos pulmonares en los niños continúan hasta la adolescencia y su frecuencia respiratoria es mayor que la de un adulto, es decir, respiran más cantidad de aire por kg de peso (Canadian Association of Physicians for the Environment, 2000). En la Tabla 2, se representan los principales contaminantes atmosféricos en contraste a las fuentes de emisión.

Tabla 2. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes

Contaminante	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros.	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Gas	Vehículos Combustibles en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

Fuente: Modificado de Ballester (2005).

Como señala Franco (2009), el PM es considerado como un problema de salud pública, y las afectaciones que sufre la población están ligadas a varias enfermedades. Las principales son de tipo respiratorias y cardíacas, a su vez provocan impactos negativos visuales y olfativos, afectando en mayor medida a las poblaciones más vulnerables como niños y ancianos, siendo de vital importancia el conocimiento evolutivo de este tipo de sustancias en nuestro organismo y a que patología podrían estar asociadas. La composición de estos contaminantes puede producir contaminantes secundarios en forma de radicales libres en la tropósfera y hacia la estratósfera debido a la radiación ultravioleta en bajas concentraciones de NO_x ($CO + O_3(\text{tropósfera}) \rightarrow CO_2 + O_2$), mientras que en altas concentraciones: $CO + O_3 \xrightarrow{\text{Energía Lumínica}} CO_2 + O_2$.

En Ecuador, la Secretaría de Ambiente (2017) desde principios del año 2000 ha venido monitoreando la calidad del aire atmosférico del Distrito Metropolitano de la ciudad

de Quito. Cada año se entregan los resultados obtenidos y son comparados con la Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA) y el límite permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los principales contaminantes monitoreados son: monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀) y a 2,5 micras (PM_{2,5}), cadmio, mercurio inorgánico y benceno. De acuerdo con Zalakeviciute *et al.* (2018), solo en el periodo 2005-2016 la ciudad de Quito registró un promedio de 17,4 µg/m³ para PM_{2,5}, superando los límites anuales establecidos por la normativa nacional (15 µg/m³) y de la OMS (10 µg/m³). Caracterizándose el sector del transporte como la principal fuente de emisión de este tipo de contaminantes hacia la atmósfera.

Por otra parte, la calidad del aire de la ciudad de Guayaquil afecta constantemente a sus pobladores, los valores epidemiológicos demuestran un impacto a la salud pública a causa de PM generado en la urbe, principalmente por el transporte público y privado. Según las estadísticas de la Dirección Provincial del Guayas, hasta diciembre de 2010 existían 360.000 vehículos solamente en el cantón Guayaquil y hasta el 2011 se registraron 530.000 personas con enfermedades respiratorias agudas. Sin embargo, no solo es la magnitud del parque automotor, la edad media de los vehículos influye en la generación de mayor combustión. También en la ciudad, se han venido realizando diferentes estudios a nivel de ruido. Uno destacable se realizó a lo largo de la Av. Machala, una de las principales vías de comunicación de la urbe, donde se seleccionó 5 puntos de muestreo al azar durante 9 días, en 3 semanas diferentes eligiendo los días lunes, miércoles y viernes, en 3 horarios diferentes que fueron 07:30 a 09:00; 12:00 a 13:30 y 18:00 a 19:30. Los resultados obtenidos indicaron que el nivel de presión sonora continuo equivalente sobrepasaban por mucho lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 5, en donde se establecen los límites máximos permisibles de ruido según el uso de suelo de la zona, en este caso 60 dB (decibelios) (Espín, 2011).

Un tema poco estudiado en las principales calles y avenidas de la ciudad de Guayaquil es la presencia de PM₁₀ y PM_{2,5} causada principalmente por el congestionamiento vehicular. Estas localidades albergan la mayor concentración y desarrollo del comercio formal e informal, donde diariamente las personas están en constante interacción con este tipo de PM.

Tan solo en el año 2006, la Fundación Natura reportó emisiones de 1760 t/año de PM₁₀ provenientes de fuentes móviles (Espín, 2011).

En la investigación de Moran-Zuloaga *et al.* (2021) realizaron un monitoreo continuo durante 14 meses en toda la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de caracterizar las concentraciones de partículas totales en suspensión (TSP), PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁, basándose en patrones espaciales y temporales debido a las condiciones meteorológicas de la urbe. También analizaron la morfología de las partículas recolectadas en varios lugares y determinaron su composición química. Los datos fueron recopilados por medio de un contador de partículas externo (TOPAS de Turnkey Instruments) instalado a partir del 1 de septiembre de 2015 hasta el 17 de noviembre de 2016; este equipo permite medir TSP y concentraciones de masa hasta 6000 µg/m³, PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁. La información meteorológica fue obtenida de la estación HOBO del proyecto ESPOL LabFREE (2008-2015), del Instituto Oceanográfico de la Armada de Ecuador INOCAR y de las estaciones del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil (2016-2018).

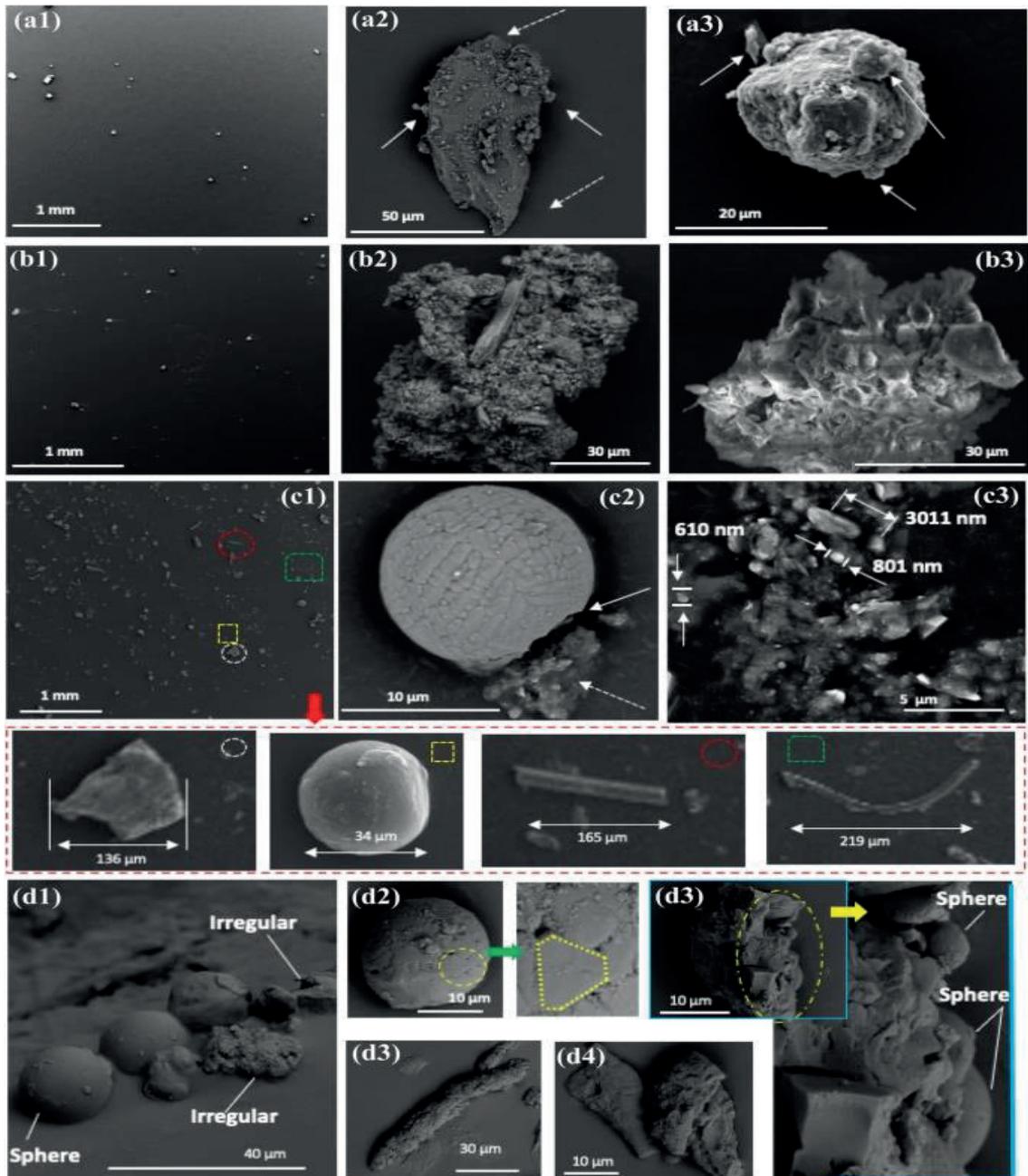
De acuerdo a la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión establecida en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4, para PM₁₀ el promedio aritmético de concentración de todas las muestras de un año y de 24 horas de monitoreo continuo, no deberán exceder los 50 µg/m³ y 100 µg/m³, respectivamente. Mientras que para PM_{2,5} el promedio aritmético de concentración de todas las muestras de un año y de 24 horas de monitoreo continuo, se establecen en un límite máximo permisible de 15 µg/m³ y 50 µg/m³, respectivamente.

Durante la época de lluvias los valores promediados de concentraciones de TSP y PM₁₀ se reducen, debido a que se precipitan al suelo en lugar de permanecer suspendidas en el aire. Sin embargo, en ausencia de lluvias los valores llegan hasta 160 µg/m³ para TSP y 98 µg/m³ para PM₁₀, en tanto que, para PM_{2,5} y PM₁ se elevan hasta 23 µg/m³ y 8 µg/m³, respectivamente (Romero, Diego, y Álvarez, 2006). En la época seca durante la ausencia de lluvias los valores promediados pueden alcanzar los 140 µg/m³ para TSP, 93 µg/m³ para PM₁₀, picos esporádicos que sobrepasan los 20 µg/m³ para PM_{2,5} y los 4 µg/m³ para PM₁. Asimismo, los valores máximos reportados en los meses de junio y octubre de 2016, indican cifras para PM₁₀ de hasta 195 µg/m³ y 173 µg/m³, respectivamente. Mientras que en los meses de junio y septiembre de 2016 para PM_{2,5} los valores alcanzan los 41 µg/m³ y 37

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Se puede decir que, en algunos días del periodo de estudio, los datos reportados sobrepasan los umbrales permitidos por la legislación ambiental ecuatoriana, específicamente en el promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, como establece la norma para PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ (Moran-Zuloaga *et al.*, 2021).

En la Figura 1 se muestra el análisis morfológico y químico de estos polvos urbanos, su estructura es bastante compleja y variaron según su ubicación. Las partículas presentaron formas irregulares, esféricas, algunos con bordes afilados similares a una varilla y a agregados, sobre todo en el centro de la ciudad de Guayaquil existen formas variables y su composición parece ser de un aerosol de distribución de tamaño polidispersa. La composición química de las partículas se caracterizó por ser ricas en C, N, Al, Si, Mg, Ca y Fe, especialmente en las PM_{10} ; la mayoría fueron uniformes, con depósitos o recubrimientos con una composición química adicional, lo que indica ser de tipo aerosol orgánico mezcladas o secundarias (Moran-Zuloaga, et al., 2021).

Figura 1. Imágenes SEM del PM en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. a1-a3: Imágenes SEM de menor resolución de las partículas suspendidas en el aire después de ser golpeadas con cintas de carbón colocadas en condiciones abiertas desde áreas residenciales; b1-b3: Fuera de la ciudad; c1-c3: Centro de la ciudad y d1-d6: Centro de la ciudad durante la temporada de lluvias.



Fuente: (Moran-Zuloaga, et al., 2021)

Teniendo en cuenta estos resultados, las variaciones estacionales en la ciudad de Guayaquil desempeñan un factor importante en la medición de las concentraciones de PM. Las lluvias ayudan a disminuir las partículas en suspensión dentro de la urbe, principalmente en los meses de febrero y marzo. Mientras que en la época seca las concentraciones de PM son más consistentes de agosto a noviembre.

Uno de los aspectos metodológicos que resulta de gran interés para el evaluar el incremento de emisiones es el factor de $1000 \text{ GtCO}_2 = 0,45^\circ\text{C}$, que es empleado por el IPCC; además dado que el CH_4 y los aerosoles tienen un tiempo de vida muy corto, sus efectos climáticos se compensan en gran medida, y la reducción de las emisiones de CH_4 mejora la calidad del aire al reducir el ozono superficial global. De allí nace una de reflexiones contemporáneas sobre la reducción de emisiones relacionadas con la influencia del COVID-19, con efectos temporales en la disminución de contaminación atmosférica, sin embargo, como se está evidenciando hoy en día, muchas de las industrias han venido retomando sus actividades y eventualmente, las emisiones de GEI se retomarán (Arias, *et al.*, 2021).

Suelo y Agua

La estabilización de estas matrices requiere grandes reducciones en las emisiones de GEI, la protección y la mejora de los sumideros de carbono (C) de la biosfera, la posible gestión de la radiación solar, y la adaptación al calentamiento global. De la misma manera, los amortiguadores, la biodiversidad y otras características de resiliencia son fundamentales para equilibrar los ecosistemas correspondientemente con la carga que suponen las actividades humanas. Sin embargo, este tipo de compensaciones no suele ser suficiente. Un ejemplo es el debilitamiento relativo de los sumideros fisiológicos de C de la tierra y el océano, el aumento de la respiración bacteriana en el océano, el retroceso del bosque amazónico y bosque boreal. Por ello, resulta indispensable ante los principios de incertidumbre del crecimiento de las sociedades, realizar estudios más focales a comunidades o incluso zonas de alta biodiversidad, donde las prácticas de mitigación son menos generales y aterrizan en actividades no solo de investigación, sino en una colaboración en conjunto del sector público, ONG y la academia (Will, *et al.*, 2018).

Debido a las limitaciones de crecimiento de las naciones, principalmente por el uso y transformación de los combustibles fósiles, es necesario un examen holístico de sectores

como el transporte, la construcción y la gestión de residuos sólidos mediante técnicas sensibles al contexto. En este sentido, considerar el análisis del ciclo de vida resulta importante, ya que no sólo se emiten cantidades significativas de CO₂ y otros GEI, sino que también hay implicaciones sociales y económicas asociadas a los recursos naturales, no sólo en lo referido al consumo de los principales servicios y bienes, sino también a las cargas ambientales asociadas a su extracción, movilización y fin de uso, lo cual, afecta directamente a las matrices de agua y suelo, que son los sistemas que de una u otra manera translocan y al final confinan, las cargas contaminantes. Este escenario presupone el despliegue de tecnologías de baja emisión de carbono, como los coches de emisiones cero, para permitir las emisiones negativas mediante el uso de tecnologías bioenergéticas con captura y almacenamiento de carbono, la producción de hidrógeno y los biocombustibles, es decir, la repotenciación de las energías renovables para complementar la variable económica (Welsby, Price, Pye, y Ekins, 2021).

Entre los contaminantes comunes de suelos y en gran medida de origen antropogénico están los previamente mencionados productos derivados del petróleo, pesticidas, radón, asbesto, metales pesados, arseniato de cobre y creosota, que son muchas veces desechos de la industrialización en sí, y la agricultura. La cantidad del contaminante y el área determinan de qué manera este proceso perjudicial ocurre en los suelos y como se propaga. Por ejemplo, ciertos contaminantes pueden filtrar a las napas freáticas más fácilmente en arenas que en suelos arcillosos y, por otra parte, los suelos arcillosos de grano fino o el material orgánico en los suelos superficiales pueden retener los contaminantes firmemente, lo que se traduce en acumulación y toxicidad (Rodríguez, McLaughlin, y Pennock, 2019).

Algo remarcable dentro del contexto nacional, es el desarrollo incontrolado en los últimos 40 años de la industria petrolera ha causado impactos sanitarios, sociales y ambientales (Juteau-Martineau, Becerra, y Maurice, 2014). En Ecuador, durante el “boom petrolero” (1972-1982) se evidenció el incremento en la tasa de deforestación. No solamente por las actividades directas que conllevan la extracción del recurso, sino también las indirectas como la construcción de caminos y expansión territorial por aumento de población en estas zonas (Fontaine, 2004). Aproximadamente más de un millón de hectáreas de selva han sido deforestadas desde el inicio de la actividad petrolera, además se han vertido accidentalmente 400.000 barriles de crudo al agua y suelo (Giordano, 2002).

Cuando existen derrames de hidrocarburos, el suelo es uno de los recursos que se ve afectado directamente. Dependiendo de la topografía de la zona y la cantidad de petróleo derramado pueden crearse capas de diferentes grosores que afectan la calidad del suelo. En el derrame ocurrido en Papallacta, provincia de Napo, se formó una capa de 6 centímetros de espesor. Los hidrocarburos al ser vertidos a ríos o mares sin recibir algún tipo de tratamiento previo pueden ser ingeridos dentro de la cadena alimenticia, llegando finalmente al ser humano, este ingiere los tóxicos acumulados en los distintos niveles tróficos. Los hidrocarburos tienen la capacidad de ligarse con los lípidos y proteínas que pueden llegar a los ácidos nucleicos, deteriorando el código genético de la especie (Vaca, 2020)

Los diferentes compuestos de los hidrocarburos pueden tener diversos efectos tóxicos en los organismos. Puede afectar a la vida marina matando, asfixiando, envenenando a las diferentes poblaciones. Como indica Wake (2005), un problema distintivo en los cuerpos de agua es cuando la población de fitoplancton disminuye al ser expuesta a hidrocarburos en altas concentraciones y por periodos prolongados. Esto conlleva indirectamente a afectar a las sociedades que dependen del recurso hídrico. En un estudio se determinó que más del 80% de las enfermedades presentadas en la población a nivel mundial se originan de las condiciones insalubres del agua, principalmente en los países menos desarrollados (Canchingre-Bone, Mosquera-Quintero, y Morales-Pérez, 2016).

En el Ecuador, la industria petrolera es de especial importancia. Por ejemplo, las poblaciones campesinas e indígenas que viven en las zonas cercanas a refinerías o pozos petroleros se han visto afectadas directamente por la contaminación de esta actividad (Hurtig y San Sebastian, 2004). De allí se derivan también otros problemas sociales latentes que afectan a la población cercana a los pozos petroleros como pérdidas culturales, falta de compensación por daños a infraestructuras o recursos naturales, violación de los derechos indígenas y de los territorios ancestrales (Juteau-Martineau, *et al.*, 2014).

Un renombrado caso ecuatoriano fue el de la Iniciativa Yasuní-ITT, por su carácter vanguardista y capacidad para poner a prueba la voluntad política de las naciones. Yasuní es hogar de los Tagaeri y los Taromenane, los dos únicos pueblos indígenas de Ecuador que han optado por evitar la interacción con la sociedad occidental en favor de un estilo de vida tradicional centrado en la recolección, la caza y la agricultura seminómada. El auge de la propuesta a nivel nacional motivó fuertemente a la región y no solo a grupos ecologistas.

Esta estructura incluía un fondo fiduciario gestionado por la ONU, que de alguna manera garantizaba que los fondos sean adecuadamente manejados, al igual que un comité de múltiples partes interesadas compuesto por representantes del gobierno de Ecuador, la sociedad civil y donantes extranjeros. El capital del fondo se recaudó mediante donaciones voluntarias públicas y privadas de la comunidad mundial y se invertiría en proyectos de energías renovables en Ecuador, la gestión participativa de las áreas naturales de los grupos indígenas, la replantación y la gestión forestal sostenible en propiedades privadas. Se distingue así un nuevo enfoque para el tipo de método y política, excediendo el límite geográfico de un país y concatenando factores indispensables y carentes en muchos sitios de la región sudamericana como la transferencia de tecnología, el turismo científico, los proyectos de desarrollo sostenible de las áreas de biodiversidad biológicamente ricas, los compuestos activos de algunas plantas medicinales, así como también la protección de grupos humanos ancestrales invaluable (Murmis y Larrea, 2015).

Analizando la problemática de Guayaquil, según Witsenburg, (2007), particularmente en la contaminación hídrica, los principales problemas en el Estero Salado son las descargas domésticas e industriales, desechos sólidos, lo que provoca ausencia de vida marina, un deterioro escénico conjuntamente con la producción de malos olores, el colapso del alcantarillado, reflujos con inundaciones e insalubridad. Esta situación se agrava debido a que los canales del Estero Salado están bloqueados muchas veces por la mala gestión de los desechos sólidos, lo que imposibilita el flujo y el drenaje, disminuyendo el aporte de agua con oxígeno disuelto, lo que favorece la eutrofización y consecuente implantación de condiciones anaerobias, que añaden otro problema ambiental (MAE, s.f.).

Según Sims, Suflita, y Russell (1990), se pueden estimar alteraciones antrópicas utilizando diferentes indicadores. Por ejemplo, la diversidad puede usarse para describir la manera en que las especies (o taxones operativos) se interconectan (Fisher *et al.*, s.f.) y así describir comunidades de animales, plantas y microorganismos que han sido afectados. Adicionalmente, se pueden usar índices como el de dominancia de Simpson (Simpson, 1949), el cual evalúa la heterogeneidad dentro de una comunidad y el índice de Shannon (Shannon, 1948; Shannon y Weaver, 1949), que se utiliza para proporcionar una medición general de la riqueza y equidad de ambas especies. Lo más común es tomar un enfoque hacia los ciclos biogeoquímicos que pueden evaluarse por la actividad enzimática, componentes del ciclo del

nitrógeno (nitrificación, mineralización y fijación de nitrógeno), descomposición de celulosa o mediciones de la respiración celular.

Analizar la acumulación de sustancias perjudiciales en el suelo puede ser vital, debido al deterioro de las comunidades microbianas. Por ejemplo, la inhibición de los procesos oxido-reductores de compuestos orgánicos tóxicos, por la presencia de un exceso de sulfato, consecuencia de la acumulación de hidrocarburos en ambientes anaeróbicos (Gibson y Suflita, 1986). Es así que, en el suelo, existe una interrelación significativa entre microorganismos y contaminantes.

Existen microorganismos presentes en agua y suelos contaminados. Estos seres emplean al contaminante como fuente de carbono y energía para realizar sus funciones vitales. De esta forma, se lleva a cabo la degradación y metabolización de sustancias contaminantes. El potencial de degradación de forma natural se denomina atenuación natural. Esta depende de factores fisicoquímicos como la temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, nutrientes, demanda química y bioquímica de oxígeno, entre otros. En ambientes aeróbicos o anaeróbicos los microorganismos realizan degradaciones enzimáticas convirtiendo los contaminantes en CO₂ o productos intermedios basándose en reacciones bioquímicas. Es una interacción entre el potencial bacteriano y los nutrientes o recursos obtenidos del suelo, agua y aire (Castro, *et al.*, (2013).

Dentro de la perspectiva hacia un futuro sostenible, la búsqueda, análisis y propagación de técnicas que permitan mitigar y remediar la contaminación de manera eficiente y que sean ambientalmente amigables, es prioridad. Mayoritariamente dichas técnicas guardan correlación con otras disciplinas como lo son la Ingeniería Química, la Biología, la Microbiología, Biotecnología y ciencias afines, es por ello que es imprescindible buscar la concatenación de diferentes aportes que nazcan de los enfoques multidisciplinarios en un solo objetivo; el saneamiento y correcto funcionamiento ecosistémico con relación en el aprovechamiento de los recursos naturales. Específicamente existen diversos métodos que han resultado ser eficientes en cuando a la mitigación de sustancias tóxicas persistentes tanto en suelo, así como en agua. Dichas matrices ambientales guardan una significativa relación con diferentes factores bióticos y abióticos, tomando en cuenta que, por ejemplo; el ciclo hidrológico desempeña un rol de gran valor en la movilización de sustancias, tanto en aguas superficiales, así como en flujos subterráneos. Por otra parte, el suelo, con sus diferentes

horizontes, es una matriz por excelencia al recibir la mayor parte de los contaminantes derivados de actividades antropogénicas entre sus agregados, y dependiendo puntualmente de estos, el contaminante puede migrar con mayor o menor facilidad (Zhang, *et al.*, 2008).

En esta matriz, también se encuentran ubicados la mayoría de los microorganismos, los cuales guardan estrecha relación con los ciclos biogeoquímicos, la biodegradación de ciertas sustancias y también la movilización y mineralización de ciertos elementos. Por ello, es importante mencionar su influencia dentro de los procesos de remediación ambiental, como, por ejemplo; una disciplina especialmente ligada a las interacciones microbianas, es la biorremediación, la cual promete ser una tecnología más eco amigable y con resultados alentadores

Los métodos biológicos son económica y ambientalmente rentables, sin embargo, menos rápidos que las otras técnicas y limitados a ciertos tipos de suelos. Abarcan el uso de plantas la fitorremediación, que es una técnica derivada de la biorremediación, pues esta última, se centra con mayor ahínco en la utilización de microorganismos como bacterias, hongos, levaduras, etc. Ambas ciencias se usan a menudo en conjunto, por ejemplo durante la fitoestabilización, la cual es asistida por interacciones microbianas y complementariamente por quelantes (orgánicos o inorgánicos), puede llevar a una exitosa fitoextracción y posterior fitovolatilización de algún agente tóxico, pero por supuesto, este proceso se encuentra limitado básicamente por el funcionamiento y requerimientos esenciales de una planta (Khalid *et al.*, 2017).

Por otra parte, ciertos aspectos relevantes del metabolismo microbiano, hacen que la biorremediación sea una técnica relativamente reciente y que promete tener potencial para la biodegradación de ciertos agentes químicos. Por ejemplo, como menciona Sims *et al.*, (1990), las comunidades microbianas del suelo contienen individuos con dependencia obligada, opcional o sin dependencia de la fosforilación oxidativa. Los organismos obligatoriamente aeróbicos funcionan sólo de forma respiratoria, utilizando mayormente oxígeno como aceptor terminal de electrones. Otros organismos pueden cambiar a un modo fermentativo de transducción de energía, en muchos casos utilizando el sustrato en sí como fuente y depósito de electrones. Se destaca entonces la habilidad, por ejemplo, de aquellos microorganismos facultativos, para poder aprovechar la energía de diferentes sustratos (como es el caso de diferentes agentes tóxicos).

Aun tomando en cuenta que el metabolismo respiratorio es más competitivo que la fermentación, ciertos anaerobios obligados, incluidas algunas formas con sistemas de transporte de electrones adaptados para sulfato u otros aceptores de electrones, son competitivos también en condiciones estrictamente anaeróbicas. Por lo cual, la diversidad genética y capacidad adaptativa de los microorganismos (especialmente bacterias), es un recurso único y amigable al ambiente que puede ser explotado aún de maneras más eficientes, con técnicas combinadas. La mayoría de los sistemas de biorremediación se ejecutan en condiciones aeróbicas, pero la combinación de sistemas y más específicamente la utilización de un sistema en condiciones anaeróbicas, puede permitir que los organismos microbianos degraden moléculas que de otro modo serían recalcitrantes (Colberg y Young, 1995).

Sí tomamos en cuenta las técnicas físicas como la remediación electrocinética y o el reemplazamiento y posterior incineración de suelos contaminados, vemos que son técnicas abrasivas con el ambiente, al alterar completamente los horizontes de la capa terrestre, las características físicas como por ejemplo la compactación del suelo por el uso de maquinaria pesada, la dificultad de encontrar nuevos vertederos para la disposición final del material, el costo de aplicación a pequeña escala y la falta de aceptación pública, etc. De igual manera, los métodos químicos, incluyen mayormente el uso de agentes quelantes, que bien pueden percolar a capas profundas de los flujos subterráneos y migrar a diferentes ecosistemas, causando una alteración bioquímica según la concentración en la que se hayan utilizado (Vidali, 2001).

Es imperativo considerar que, también, el tiempo de acción y mitigación que las técnicas pudieran brindar tras su utilización es estrictamente dependiente del riesgo y tipo de contaminante. Los efectos colaterales que este pudiera tener en un lapso determinado y repercusiones que sean “recuperables” o no; la prevención mediante planes de manejo y técnicas de remediación biológica, resultan ser más apropiadas que alterar el ecosistema de manera significativa. El crecimiento económico debe siempre prever proporcionalmente al escalamiento del consumo de los recursos naturales, el desarrollo tecnológico. La tecnología puede ayudar a solventar problemas actuales de contaminación y ser la clave para poder utilizar los recursos renovables y no renovables de manera más eficiente (ATSDR, 2016).

Las técnicas y métodos que incluyen los protocolos de biorremediación son, por ejemplo, un campo poco explorado, multidisciplinario —por tanto, menos complejo de

aplicar tecnológicamente— y con amplias posibilidades (Norris, et al., 1993; Hincee, Means and Burrissil, 1995; Flathman, Jerger and Exner, 1993). Como se mencionó con anterioridad, la biorremediación está sujeta a más factores externos (la existencia de una población microbiana capaz de degradar los contaminantes, la biodisponibilidad de contaminantes para la población microbiana; el tipo de suelo, temperatura, pH, presencia de oxígeno u otros aceptores de electrones y nutrientes) que pueden afectar su efectividad. Para que sea eficaz, los microorganismos deben atacar enzimáticamente los contaminantes y convertirlos en productos inocuos y su aplicación, a menudo requiere la manipulación de parámetros ambientales para permitir la degradación microbiana se desarrolle a un ritmo más rápido. Algunos contaminantes, como los hidrocarburos orgánicos clorados o altamente aromáticos, son resistentes al ataque microbiano, ya que se degradan lentamente o no se degradan en absoluto. Por ello no es fácil predecir las tasas de limpieza para un ejercicio de biorremediación; no existen reglas para predecir si un contaminante puede degradarse. Sin embargo, tomando en cuenta los riesgos de exposición para el personal de limpieza o una exposición más amplia ligada a técnicas químicas o físicas y dado que la biorremediación se basa en la atenuación natural, el público en general la considera más aceptable que otras tecnologías (Vidali, 2001).

Para finalizar esta sección, se recalca la importancia de la ecología y la investigación, para alcanzar el desarrollo sustentable. En concordancia con Hernando (2012), debemos combinar el enfoque tradicional proveniente del campo de la ingeniería para la mejora de procesos y eficiencia de resultados, pero siempre, con un planteamiento ecológico, que reconozca la heterogeneidad de la naturaleza. Esta será la única manera en que ambas ciencias se apoyen en los principios que rigen el comportamiento de poblaciones biológicas naturales. De esta manera, el campo de la biorremediación sufriría un cambio drástico tal cual lo ha venido teniendo el campo de la ecología microbiana con grandes avances muy beneficiosos, esto, en términos cortos, supondría un avance de gran magnitud en el conocimiento de los procesos de degradación de contaminantes y su aplicación con fines ambientales.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Respecto a la contaminación atmosférica, el ruido y el PM, son parámetros poco monitoreados en la ciudad de Guayaquil y en la mayoría de Ecuador, ya sea por la falta de recursos, la carencia de una red activa de monitoreo, la falta de planificación de desarrollo urbana, entre otros factores. Sin embargo, se debe manifestar que ambos parámetros están siendo monitoreado en la actualidad, pues se ha demostrado categóricamente que pueden llegar a ser factores de polución ambiental y causar impactos con desventajas al ambiente y a la salud humana. Muestra de esto son los datos de PM obtenidos por Moran-Zuloaga *et al.* (2021); en algunos días registraron valores que sobrepasan los umbrales permitidos por la legislación ambiental ecuatoriana. Es por ello que es necesario tener en cuenta estos factores para presentar propuestas desde la academia, que evidencien la necesidad de tomar medidas adecuadas en cuanto a la contaminación atmosférica.

Si bien es cierto los diferentes métodos de remediación y descontaminación ambiental incluyen diversos costos e inversiones como tecnificaciones, tecnología y demás, los métodos que incluyen a los organismos biológicos dentro de la biorremediación parecieran ser una esperanza motivadora para los investigadores ambientales, que buscan nuevas alternativas de desarrollo de las sociedades actuales. Los costos de inversión en estas son por mucho menos difíciles de costear y medianamente fáciles de controlar. Es necesario una amplia y más detallada revisión para poder tratar el tema, más, sin embargo, como mencionan Torres, Acevedo, Romo, Marmolejo, y Gayosso, (2015) en concordancia con Hernando (2012); la búsqueda de caminos inexplorados en la ecología microbiana, interacciones ecológicas y consorcios microbianos, son todavía áreas vastas que tienen potencialidad de investigación y desarrollo, inclusive, en términos más complejos, genéticamente una gran mayoría – cercana al 96% – de microorganismos aún siguen sin ser secuenciados e identificados genéticamente, lo que hace posible otorgar el beneficio de la duda sobre los ya existentes caminos metabólicos y sus interacciones enzimáticas, injerencia de metabolitos secundarios, proteínas y demás biomoléculas como biosurfactantes, que podrían jugar un rol esencial en la descontaminación de cualquier tipo de contaminante.

Un claro motivo para buscar el sano funcionamiento de los ecosistemas y sus interacciones, son las razones aquí expuestas acerca de sustancias ajenas al organismo que pueden causar diferentes afectaciones negativas, tales como carcinogénesis y acumulación en los tejidos. Un claro ejemplo, tal como menciona Newman (2015), que podría ser tomando en cuenta dentro de las perspectivas a futuro, de la mano de los avances en el campo de la ecología microbiana y la ecotoxicología son los disruptores endócrinos, ya que podrían ser considerados como bioindicadores de respuesta a estímulo ante xenobióticos, pues indirectamente flora y fauna se ven afectados en respuestas hormonales que pueden medirse, regularse e inclusive ponderarse a valores predictivos dentro de los inmunoensayos y pruebas de ecotoxicidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandrina, G. P., Anselmo, G. F., Benjamín, S. G., Pilar, F. H., María, G. M., Carlos, B. Y., Senén, D. A. (2012). Contaminación atmosférica (Vol. 6101305). Madrid: UNED. Recuperado de <https://bit.ly/3ICAdHN>
- Arias, P., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R., Krinner, G., Marotzke, J., ... & Zickfeld, K. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 14 I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Summary for Policymakers. Recuperado de <https://bit.ly/3AEKpgf>
- Arias. (2012). El proyecto de la investigación introducción a la metodología científica (sexta edición ed.). Caracas: Episteme. Recuperado de <https://bit.ly/3rXi0hI>
- ATSDR. (2016). Resúmenes de Salud Pública - Combustibles JP-5 y JP-8 (Jet Fuels JP-5 and JP-8). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Recuperado de <https://bit.ly/3awWabW>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 159-175. Recuperado de <https://bit.ly/3geAAfP>
- Berkowicz, R., Olesen, H.R., y Jensen, S.S., (2003). User's Guide to WinOSPM, NERI Technical Report. Roskilde. Recuperado de <https://bit.ly/3AzLaxG>
- Canadian Association of Physicians for the Environment. (2000). Children's Environmental Health Project. Respiratory health effects. Recuperado de <https://bit.ly/35iiXJz>
- Canchingre-Bone, María Elizabeth; Mosquera-Quintero, Guillermo; Morales-Pérez, Milagros; Galán-Rivas, Vilnia (2016). La Gestión De Los Residuos Líquidos Empresariales De La Refinería Estatal Esmeraldas, República Del Ecuador. *Ciencia en su PC*, núm. 3, pp. 42-56 Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba Santiago de Cuba, Cuba Recuperado de <https://bit.ly/34bg8tq>
- Castro, Y., Castro, B., Garza, F., Rivera, P., Ortiz, L., & Heyer, Y. (2013). ADICIÓN DE HIDROCARBUROS Variation of Soil Microbial Populations Affected by the Addition of Hydrocarbons, 221–230. Recuperado de <https://bit.ly/3axGDZr>
- Colberg, P. y Young L. (1995). Anaerobic Degradation of Nonhalogenated Homocyclic Aromatic Compounds Coupled with Nitrate, Iron, or Sulfate Reduction. In *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*, pp. 307–330, Wiley-Liss, New York. Recuperado de <https://bit.ly/3G6FYM9>

- Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., & Speizer, F. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753–1759. Recuperado de <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
- Espín, G. E. (2011). Contaminación atmosférica por el polvo PM-10, producto de la explotación minera y la regeneración urbano-industrial de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil. Recueprado de <https://bit.ly/3H2tI0x>
- Fisher, R.A., A.S. Corbet, and C.B. Williams. (s.f.). The relation between the numbers of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Animal Ecol.* 12: 42-58. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/1411>
- Flathman, D., Jerger, J., Exner. E. (1993) *Bioremediation: Field Experience*, Lewis, Boca Raton, Florida. Recuperado de <https://bit.ly/3fYaKwi>
- Fontaine G. (2004), “Enfoques Conceptuales y metodológicos para una sociología de los conflictos ambientales”, en: Cardenas M. y Rodriguez M. (eds), *Guerra, Sociedad y Medio Ambiente*. Foro Nacional Ambiental. Bogotá, Mayo 2004 Recuperado de <https://bit.ly/3ABngLB>
- Forman, R.T.T. and Godron, M. (1986) *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons Ltd., New York. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Recuperado de <https://bit.ly/3H4ohyn>
- Franco, H. A. (2009). Consideraciones del material particulado en Bogotá. *Alternativas tecnológicas de medición de la calidad del aire*. *Tecnura*, 13(25), 104-115. Recuperado de <https://bit.ly/3AA1ckp>
- Gaitán, M., Cancino, J. & Behrentz, Eduardo, (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de ingeniería*, (26), pp.81–92. Recuperado de <https://bit.ly/3G16tmn>
- Gibson, S.A., and J.M. Sufiita. (1986). Extrapolation of biodegradation results to groundwater aquifers: Reductive de halogenation of aromatic compounds. *Appl. Envir. Microbial.* 52: 681-688. Recuperado de <https://bit.ly/33RXmHt>
- Giordano, E. (2002). *Las guerras del petróleo - Geopolítica, Economía y Conflicto* . Barcelona: Icaria Editorial S.A. Recuperado de <https://bit.ly/3KHup1z>

- Giraldo, L. (2004). Emisiones de gases invernadero y otros contaminantes por parte de la flota vehicular liviana de Bogotá. Universidad de los Andes. Recueprado de <https://bit.ly/3G13ZV5>
- Gómez-Losada, Á., Pires, J.C.M., Pino-Mejías, R., (2018). Modelling background air pollution exposure in urban environments: Implications for epidemiological research. *Environ. Model. Softw.* Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2018.02.011>
- Hernando, R. (2012). Procesos De Bioremediación. Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD. Recuperado de <https://bit.ly/3rNJypr>
- Hinchee, J., Means, D., Burrisl, R. (1995) Bioremediation of Inorganics. Battelle Press, Columbus, Ohio. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-642-31331-8_30
- Hurtig AK., y M.San Sebastian (2004). Incidence of childhood leukemia and oil exploitation in the Amazon basin of Ecuador. *Int J Occup Environ Health*, n°10 : 245-250. Recuperado de <https://bit.ly/32ycr0h>
- Jensen, S.S., Ketzal, M., Brandt, J., Plejdrup, M., Nielsen, O.-K., Winther1, M., Evdokimova, O., Gross, A., (2014). Manual for THOR-AirPAS - air pollution assessment system. Technical Project Report for AirQGov Regional Pilot Project 3 (AirQGov:RPP3). Recuperado de <https://bit.ly/3ALR9Jv>
- Juteau-Martineau, G., Becerra, S., & Maurice, L. (2014). Ambiente, petróleo y vulnerabilidad política en el Oriente Ecuatoriano: ¿hacia nuevas formas de gobernanza energética?. *América Latina Hoy*, 67, 119–137. Recuperado de <https://doi.org/10.14201/alh201467119137>
- Ketzal, M., Berkowicz, R., Hvidberg, M., y Jensen, S.S., (2011). Evaluation of AirGIS: a GIS-based air pollution and human 544 exposure modelling system. *Int. J. Environ. Pollut.* 47, 226–238. Recuperado de <https://bit.ly/3FVPEt7>
- Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N. K., Murtaza, B., Bibi, I., & Dumat, C. (2017). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 247–268. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>
- Laña, I., Del Ser, J., Padró, A., Vélez, M., Casanova-Mateo, C., (2016). The role of local urban traffic and meteorological conditions in air pollution: A data-based case study

- in Madrid, Spain. *Atmos. Environ.* 145, 424–438. Univ. Illinois Press, Urbana. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2016.09.052>
- MAE. (s.f.). Proyecto de recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil: Estero Salado e Isla Santay. Recuperado de <https://bit.ly/3Hih1iB>
- Mehrabian, S., Letendre, F., & Cameron, C. B. (2018). The mechanisms of filter feeding on oil droplets: Theoretical considerations. *Marine Environmental Research*, 135, 29–42. Recuperado de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.01.006>
- Moran-Zuloaga, D., Merchan-Merchan, W., Rodríguez-Caballero, E., Hernick, P., Cáceres, J., & Cornejo, M. (2021). Resumen y estacionalidad de PM 10 y PM 2.5 en Guayaquil, Ecuador. *Aerosol Sci Eng*, 499-515. Recuperado de <https://doi:10.1007/s41810-021-00117-2>
- Murmis, M. R. Rosa y Larrea, C., (2015). “We can start leaving oil under the ground now. This is how”. *The Guardian*. February 9, 2015. Recuperado de <https://bit.ly/3H3Q2ag>
- Narvaéz, S., Gómez, M., & Matínez, M. (2008). Selección de bacterias con capacidad dCegradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe colombiano. *Boletín de investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1), 61-71.
- Newman, M. (2015). *The Science of Pollution* (Cuarta). CRC Press. Recuperado de <https://bit.ly/33OMYAp>
- Norris, R., Hinchee, R. Brown, P., McCarty, L., Semprini, J., Wilson, D. H. Kampbell, M. Reinhard, E. J. Bouwer, P. C. Borden, T. M. Vogel, J. M. Thomas, C. H. Ward (1993). *Handbook of Bioremediation*. Lewis, Boca Raton, Florida. Recuperado de <https://bit.ly/3rP1kss>
- Observatorio Sostenibilidad en España. (2007). *Calidad del aire. Evaluación integrada*. Madrid: Observatorio Sostenibilidad en España (OSE). Recuperado de <https://bit.ly/3ALSdwZ>
- Osman, K. T. (2014). Soil Erosion by Water. In *Soil Degradation, Conservation and Remediation* (pp. 69–101). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-94-007-7590-9_3
- Parrish D. Kuster W., Yoko Yokouchi, M. S., Paul Y. K., Joost, G., A. Makoto Koike, D. G., (2009). Comparison of air pollutant emissions among mega-cities. *Atmospheric environment*, 43(40), pp.6435–6441. Recuperado de <https://bit.ly/3G0QKDY>

- Parrish, D. (2006). Critical evaluation of US on-road vehicle emission inventories. *Atmospheric Environment*, 40(13), 2288-2300. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.033>
- Parrish, D., Trainer, M., Hereid, D., Williams, E., Olszyna, K., Harley, R., Meagher, J., Fehsenfeld, F (2002). Decadal Change in Carbon Monoxide to Nitrogen Oxide Ratio in U.S. Vehicular Emissions. *Journal of Geophysical Research*, 107(D12), pp.5-1 – 5-9. Recuperado de <https://doi.org/10.1029/2001JD000720>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO. Recuperado de <https://bit.ly/35iwMHT>
- Romero, M., Diego, F., y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*(2), 44. Recuperado de <https://bit.ly/3qYFbZC>
- Secretaria de Ambiente. (2017). Informe de la calidad de aire-2016. Quito. Recuperado de <https://bit.ly/3qXIDVs>
- Shannon, C.E., and W. Weaver. (1949). The mathematical theory of communications. Recueprado de <https://bit.ly/3fZqJdq>
- Shen, L., Shuai, C., Jiao, L., Tan, Y., Song, X., (2016). A global perspective on the sustainable performance of urbanization. *Sustain.* 8, 1-16. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su8080783>
- Silva, S., Correa, F., (2009). Análisis De La Contaminación Del Suelo: Revisión De La Normativa Y Posibilidades De La Regulación Económica. *Semestre Económico*, vol. 12, núm. 23, enero-junio, pp. 13-34 Universidad de Medellín Medellín, Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3KJW15a>
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity. *Nature (London)* 163: 688. Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Sys. Technol.* 27: 379-423. Recuperado de <https://bit.ly/33VY1GC>
- Sims, J. L., Suflita, J. M., & Russell, H. H. (1990). Reductive dehalogenation: A subsurface bioremediation process. *Remediation Journal*, 1(1), 75-93. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/rem.3440010109>
- Tolba, M. K. (1992). Contaminación atmosférica. In *Salvemos El Planeta* (pp. 1-12). Springer, Dordrecht. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-94-011-2286-3_1

- Tölgyessy, J. (1993). *Chemistry and Biology of Water, Air and Soil. Environmental Aspects*. Departamento of Environmental Science. Faculty of Chemical Technology. Stovak Technical University. Czchoslovakia. Elsevier. Recuperado de <https://bit.ly/3rP94L2>
- Torres, D., Acevedo, O., Romo, C., Marmolejo, Y., & Gayosso, M. (2015). Participación de consorcios microbianos en la biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(3), 77-86. Recuperado de <https://bit.ly/3pQiGmG>
- UN, (2014). World's population increasingly urban with more than half living in urban areas. United Nations World Press., Recuperado de <https://bit.ly/3IufG8q>
- Vaca, Á. M. (2020). Evaluación espacio temporal de la influencia de hidrocarburos totales de petróleo en comunidades bentónicas de sedimentos de la cuenca baja del río Napo. Recuperado de <https://bit.ly/3KHuO45>
- Vidali, M. (2001). Bioremediation An Overview. *Pure and Applied Chemistry - PURE APPL CHEM*, 73, 1163–1172. Recuperado de <https://doi.org/10.1351/pac200173071163>
- Wake, H. (2005). "Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62 (1), 131-140. Recuperado de <https://bit.ly/3KNrZPg>
- Welsby, D., Price, J., Pye, S., & Ekins, P. (2021). Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*, 597(7875), 230-234. Recuperado de <https://bit.ly/34bCQBm>
- WHO, (2014). Seven million premature deaths annually linked to air pollution. World Heal. Organ. Recuperado de <https://bit.ly/3qX1pep>
- Will, S., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C., et al. (2018) "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, no. 33: 8252-59. Recuperado de <https://bit.ly/3nZL0nI>
- Witsenburg, F. (2007). *The tragedy of the Estero Salado: opportunities for better management*. [Thesis]: Delft University of Technology (Holland). Recuperado de <https://bit.ly/3fVv4OX>
- World Health Organization, (2006). WHO (Occupational and Environmental Health Team) *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur*

dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. World Health Organization. Recuperado de <https://bit.ly/3nV6WjK>

Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., López-Villada, J., y Diaz, M. V. (2018). Quantifying decade-long effects of fuel and traffic regulations on urban ambient PM_{2.5} pollution in a mid-size South American city. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 66-75. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su10062064>

Zhang, C., Wu, L., Luo, Y., Zhang, H., & Christie, P. (2008). Identifying sources of soil inorganic pollutants on a regional scale using a multivariate statistical approach: Role of pollutant migration and soil physicochemical properties. *Environmental Pollution*, 151(3), 470–476. Recuperado de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.04.017>