RESUMEN EJECUTIVO PROYECTO 1
CALIDAD DEL AIRE Y SALUD AMBIENTAL URBANA EN CINCO CIUDADES DE COLOMBIA

La contaminación del aire es el principal factor de riesgo ambiental que afecta la salud. El material particulado fino ($PM_{2.5}$) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son los contaminantes del aire que más se han asociado con efectos adversos sobre la salud humana. En Colombia, la estimación de la exposición a estos contaminantes a nivel municipal e intraurbana está limitada por la escasa cantidad de monitores de calidad de aire disponibles en las redes de monitoreo. Los sistemas de monitoreo de calidad del aire que operan en el país aportan información de alta calidad con resolución temporal pero no con resolución a nivel geográfico y tampoco ofrecen información sobre la toxicidad de los contaminantes. Adicionalmente, la evaluación de efectos de contaminantes sobre la salud a largo plazo requiere estimaciones de exposición crónica a contaminantes.

Este proyecto tuvo como objetivo general estimar la exposición crónica a contaminantes del aire y ruido ambiental y su variación geográfica y evaluar sus efectos sobre la salud humana en cinco ciudades capitales de Colombia. Para llegar a este objetivo general desarrollamos los siguientes objetivos específicos: 1). Estimar la superficie de exposición crónica a $PM_{2.5}$ y NO_2 con resolución espacial de pequeña área en cinco centros urbanos: Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali y Medellín. 2). Determinar el potencial oxidativo del $PM_{2.5}$ en las cinco ciudades. 3). Describir la mortalidad y morbilidad diagnosticada por enfermedades cardiorespiratorias y los eventos adversos perinatales (bajo peso al nacer y parto prematuro) con resolución espacial de pequeña área en las cinco ciudades 4). Evaluar el efecto de la exposición crónica a $PM_{2.5}$ y NO_2 sobre la mortalidad, la morbilidad atendida y los eventos adversos perinatales, teniendo en cuenta la variablidad geográfica de éstos contaminantes en las cinco ciudades. 5). Analizar la percepción de calidad de vida, síntomas de ansiedad y transtornos del sueño en poblaciones con exposición diferencial a niveles de ruido ambiental en la ciudad de Medellín.

El objetivo específico 1 respondió a la pregunta: ¿Cómo varía geográficamente la exposición crónica a $PM_{2.5}$ y NO_2 en las 5 ciudades?. Para resolver esta pregunta se construyeron superficies de exposición crónica a $PM_{2.5}$ y NO_2 usando modelos de regresión de uso de suelo (LUR por sus siglas en inglés) que tuvieron como base la estimación de concentraciones de los contaminantes en por lo menos 40-80 puntos de las ciudades usando monitores pasivos (gravimétrico para $PM_{2.5}$ y difusión pasiva para NO_2) en campañas de monitoreo durante periodo seco y lluvioso, monitoreo en el que participaron activamente las autoridades ambientales locales. Para la construcción de los LUR se utilizó la integración de variables de uso de suelo, densidad poblacional, altitud, meteorología e información geográfica de vías (tipo, longitud, distancia) disponible en fuentes secundarias de información locales. Así mismo se realizaron estimaciones de velocidad y flujo vehicular de todas las ciudades durante los periodos de monitoreo ambiental por medio de la generación y validación de modelos de estimación de relaciones velocidad-densidad-flujo vehicular. Se construyeron y validaron modelos LUR para $PM_{2.5}$ y NO_2 para las cinco ciudades. En general, los modelos LUR para $PM_{2.5}$ mostraron mejor capacidad explicativa de la variación espacial de los contaminantes (medida como R^2) comparados con los modelos para NO_2. Los modelos finales para PM2.5 tuvieron R^2 de 82% para Medellín, 77% para Bucaramanga, 73% para Barranquilla, 70% para Cali y 44% para Bogotá. Por su parte, los modelos finales para NO_2 tuvieron R^2 de 65% para Bucaramanga, 57% para Medellín, 44% para Cali, 40% para Bogotá y 30% para Barranquilla. La visualización (mapas) de las estimaciones de concentraciones crónicas de los contaminantes en las ciudades muestran una gran variabilidad de exposición al interior de las ciudades con zonas que superan la norma de calidad de aire.

El objetivo específico 2 respondió a la pregunta: ¿Es igual de tóxica la mezcla de $PM_{2.5}$ en las diferentes zonas de las ciudades?. Para resolver esta pregunta se tomaron en cada ciudad entre 17-20 muestras de los sitios de monitoreo gravimétrico de $PM_{2.5}$ (descritos en el objetivo 1) en las que se realizaron pruebas de oxidación (agotamiento) de glutatión (GSH) y ácido ascórbico (AA) como medida del potencial tóxico del $PM_{2.5}$. El potencial oxidativo del $PM_{2.5}$ medido por el agotamiento de éstos dos antioxidantes se ha relacionado con efectos adversos en salud en el largo plazo. La prueba utilizada fue un ensayo que usa un fluido que simula el tracto respiratorio humano (RFTL assay). El potencial oxidativo (toxicidad) de las muestras de $PM_{2.5}$ analizadas mostró una gran variabilidad geográfica en todas

las ciudades. Adicionalmente, se encontró que la concentración de PM2.5 no se relaciona de manera directa con su potencial oxidativo y que el tipo de zona (residencial, industrial, tráfico) no necesariamente se relaciona con la toxicidad de la mezcla, excepto en Bogotá donde las zonas industriales sí mostraron las concentraciones y toxicidades más alta de $PM_{2.5}$. En otras ciudades como Medellín, Cali y Bucaramanga, la toxicidad de PM2.5 es alta tanto en zonas residenciales como de tráfico e industriales.

El objetivo específico 3 respondió las preguntas: ¿Cómo se comporta la mortalidad general y por eventos cardio-respiratorios en las ciudades? ¿Existen inequidades en la mortalidad de causa no violenta en las ciudades? Para responder estas preguntas se usó la información consolidada de defunciones de Estadísticas Vitales entre 2014-2019 para las cinco ciudades con desagregación a nivel de sector censal como unidad geográfica de análisis. Se encontró que las tasas de mortalidad no violenta se distribuyen de manera heterogénea en la ciudad con concentraciones hacia la zona oriente en Barranquilla, hacia el centro-occidente en Cali, en el centro para Medellín y con un patrón disperso pero más hacia el oriente para Bogotá. Para el análisis de inequidades sociales en la mortalidad se usó el Índice de pobreza multidimensional como variable de referencia y se calcularon el índice y curvas de concentración. Se encontró que en general en las cuatro ciudades las curva y los índices de concentración sugieren una desigualdad con tendencia a la concentración de las tasas de mortalidad mayores en los extremos de los sectores censales con mayor pobreza multidimensional, principalmente para la mortalidad por enfermedades respiratorias y el cáncer. Para la mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio esta desigualdad fue evidente para Bogotá y Medellín, pero no para Cali ni Barranquilla. Para identificar desigualdades geográficas de la mortalidad utilizamos la metodología de filtros de Eingevalores para generar filtros espaciales de Morán a nivel de sector censal. Se confirmó que existe una desigualdad geográfica en la mortalidad de las ciudades que está presente de manera más evidente en Bogotá y Cali.

El objetivo específico 4 respondió a las preguntas: ¿La exposición crónica a $PM_{2.5}$ esta relacionada con la mortalidad cardiopulmonar y eventos adversos perinatales? ¿La exposición crónica a $PM_{2.5}$ y NO_2 esta relacionada con la exacerbación de EPOC? Para realizar el análisis del efecto de la exposición crónica a $PM_{2.5}$ sobre la mortalidad general a nivel nacional se usaron estimaciones de concentraciones de $PM_{2.5}$ a nivel municipal entre 2014-2019 derivadas de modelos globales basados en datos satelitales (modelo ACAG) y el total de muertes por municipio durante el mismo periodo. Se estimó que la cantidad de muertes totales atribuibles por niveles que excedieron 25$\mu g/m^3$ fueron solo 142 pero las atribuibles a exposiciones que excedieron 15$\mu g/m^3$ fueron 34.341 y de ellas 6.128 en Bogotá, 3.884 en Medellín, 1.098 en Cali, 827 en Bucaramanga y 222 en Barranquilla. Para el análisis del efecto de la exposición crónica a $PM_{2.5}$ sobre la mortalidad cardio-respiratoria a nivel intraurbano en las 5 ciudades se utilizó un diseño ecológico y transversal con análisis a nivel de sector censal usando como exposición las estimaciones de las superficies de exposición crónica para $PM_{2.5}$ obtenidas en el objetivo 1 y los datos de mortalidad cardio-respiratoria descritos en el objetivo 3. Se usaron modelos de regresión de Poisson para modelar las tasas de mortalidad usando los filtros de Moran para ajustar por la autocorrelación espacial de los sectores censales; estos modelos fueron ajustados además por la estructura de edad y sexo de la población y los quintiles de pobreza multidimensional como variable socioeconómica. Se encontró que por cada incremento en 5$\mu g/m^3$ en la exposición crónica a $PM_{2.5}$ se aumentó de la tasa de mortalidad cardio-respiratoria en un 16% en Bucaramanga y un 5% en Medellín, pero este efecto no fue evidente en las otras ciudades. Para el análisis de efecto sobre eventos adversos perinatales se usó la información de nacimientos 2015-2019 usando porcentaje de parto pretérmino (<37 semanas) y porcentaje de bajo peso al nacer en recién nacidos a término (edad gestacional mayor a 36 semanas y peso al nacer menor 2500 gr) como indicadores de interés. La distribución intraurbana de ambos indicadores mostró gran heterogeneidad espacial. No se encontró asociación entre la exposición a $PM_{2.5}$ y los indicadores perinatales a nivel de sector censal en ninguna de las ciudades.

Para el análisis de efectos sobre morbilidad crónica usamos como evento de interés las exacerbaciones por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) derivada de los Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS) de la ESE municipal (ESE ISABU) en la ciudad de Bucaramanga y en los registros del programa de control de EPOC de la Fundación Neumológica de Colombia en la ciudad de Bogotá. En Bogotá se analizó además el efecto a corto plazo de las variaciones de contaminantes sobre la cantidad de exacerbaciones de EPOC en la ciudad con fuente en los RIPS obtenidos del sistema de información de la protección social. Para Bogotá se encontró que las los incrementos en las concentraciones de $PM_{2.5}$ (con efectos rezagados entre 1-3 días), NO_2 (con efectos rezagados en

1-2 días) y el O_3 (con efecto en el mismo día) están asociados con incrementos en la cantidad de consultas a los servicios de salud de urgencias por exacerbaciones de EPOC. En cuanto a los efectos de la exposición crónica a PM2.5 resultados preliminares mostraton que entre los pacientes que asisten a programa de control de EPOC se presentan exacerbaciones de manera más rápida en aquellos que viven en zonas de mayores concentraciones crónicas de PM2.5. Por el contrario, en Bucaramanga no se encontró asociación entre concentraciones crónicas de $PM_{2.5}$ y las exacerbaciones de EPOC y la asociación fue positiva pero no concluyente con NO_2.

El objetivo específico 5 respondió a la pregunta: ¿La exposición crónica a ruido ambiental esta relacionada con alteraciones de la calidad de vida y del sueño en residentes de la ciudad de Medellín? Para responder esta pregunta se realizó un estudio de corte transversal en la ciudad de Medellín donde se identificaron dos zonas con niveles diferenciales de exposición a ruido ambiental (alto >65dB y bajo <50dB nivel de exposición). Para la medición de ruido ambiental se utilizaron los mapas de ruido de Medellín del año 2018 con detalle de estimación de exposición con detalle a nivel de comuna y predio. Se seleccionaron las comunas 11 y 16 como las zonas de estudio por sus características de fuentes mixtas de ruido ambiental y la presencia de gradientes diferenciales de exposición en su área. Se realizaron medidas en algunas fachadas y en interiores de viviendas de sitios con extremos de exposición (alto y bajos niveles de ruido ambiental). Se hizo un muestreo en cada nivel de exposición y se reclutaron 225 participantes adultos residentes habituales de la zona a quienes en trabajo de campo se indagó información sociodemográfica, antecedentes en salud, hábitos de vida, actividad física y de ocio y percepciones sobre molestias de ruido ambiental. La información de eventos de salud de interés se registró mediante cuestionarios estandarizados de percepción de calidad de vida (EUROHIS-QOL), síntomas de ansiedad (Test de Zung) y transtornos del sueño (Escala de Pittsburgh) junto con el registro de autopercepción de afectación en escalas Likert y de puntaje de 1-10. Se realizó un análisis multivariable para estimar los efectos de la exposición a ruido ambiental sobre la calidad de vida y calidad del sueño de los participantes ajustando por las variables que pueden alterar esta asociación. Se encontró que la prevalencia de autopercepción de afectación alta sobre la calidad de vida relacionada con ruido fue en promedio 23% más alta en los residentes de las zonas con mayor exposición a ruido y que la prevalencia de personas con alteraciones del sueño (pobres dormidores) fue en promedio 12% más alta en éstas mismas zonas, indicando estos resultados que existe un tendencia mayor de afectación de calidad de vida y del sueño en personas que están expuestas a niveles altos de ruido ambiental en las comunas 11 y 16 de Medellín.

Con los resultados de este estudio aportamos información útil para la comunidad y los tomadores de decisiones en aras de comprender mejor el problema de los contaminantes del aire y el ruido ambiental en los principales centros urbanos de Colombia. De manera particular, consideramos que los resultados de este proyecto serán un insumo fundamental para guiar la toma de decisiones para el desarrollo, seguimiento y evaluación de los planes locales de control de la calidad de aire en las ciudades.