



**UNIVERSIDAD
DEL PACÍFICO**
FACULTAD DE ECONOMÍA
Y FINANZAS

ECONOMÍA

**EL EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA
OFERTA LABORAL**

**Trabajo de suficiencia profesional presentado para optar al Título profesional de
Licenciada en Economía**

Presentado por

Fiorella Lucia Becerra Ortiz

Lima, Enero 2021

I. Introducción

A la par del gran desarrollo económico que se ha experimentado a lo largo del siglo XX, se ha producido un importante incremento en los niveles de contaminación del aire. En efecto, se estima que el 91% de la población mundial vive en lugares donde la calidad del aire tiene niveles que exceden los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (2018a). Esto ha llevado a tener serias consecuencias tanto en el medio ambiente como en la calidad de vida de la humanidad. Este es el caso de las complicaciones en la salud de las personas, donde la Organización Mundial de la Salud (2016) indicó que “en el 2012, una de cada nueve muertes era resultado de condiciones relacionadas a la contaminación del aire”, como lo son los ataques al corazón, enfermedades cardíacas, el cáncer al pulmón, y diversas enfermedades respiratorias. Ante dicha problemática, se han incrementado los esfuerzos para mitigar los efectos y daños colaterales de la contaminación del aire, así como la generación de evidencia a fin de estimar los mismos.

Este documento de trabajo busca analizar los efectos que puede tener la contaminación del aire sobre la oferta laboral, para lo cual se ha realizado una revisión de literatura de estudios sobre la materia. Dada la relación negativa existente entre la contaminación y el bienestar de la población, a través de la generación de enfermedades, se infiere que esta relación se mantendrá en las variables de estudio.

A partir de la información analizada se puede concluir que los resultados de los estudios son consistentes en encontrar una relación negativa y significativa. No obstante, se encuentran tanto relaciones lineales como no lineales, siendo estas últimas las más recurrentes. Lo cual podría explicarse como que la relación es positiva para niveles moderados, pero negativa al llegar a niveles críticos de contaminación del aire. Adicionalmente, se encuentra que dos variables importantes a tomar en cuenta al estimar los efectos en la oferta laboral son: tener miembros dependientes en el hogar susceptibles a ver afectada su salud (niños y adultos mayores), y el nivel de ingresos del individuo a evaluar.

La estructura de este documento consta de las siguientes secciones: en la segunda sección, se define la oferta laboral, se presentan conceptos relacionados a la contaminación del aire y se explica la relación teórica entre las variables de estudio; en la tercera sección, se introduce el análisis de la evidencia empírica de los efectos de la contaminación del aire en la oferta laboral, así como otros efectos mencionados en la literatura; finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones.

II. Marco teórico

A fin de contar con un mayor entendimiento de la temática, esta sección expone las definiciones de las variables a ser evaluadas: oferta laboral y contaminación del aire; finalizando con la inclusión de un modelo teórico que presenta la interacción de ambas.

2.1. Definición de oferta laboral

La definición que nos brinda Parkin (2007) de la oferta de trabajo es la siguiente: “La oferta de trabajo es la relación entre la cantidad ofrecida de trabajo y el salario real, cuando todos los demás factores que influyen sobre los planes de trabajo permanecen igual.”, donde se presenta que la curva que explica la relación entre la cantidad de horas de trabajo con el salario real tiene una pendiente positiva. Adicionalmente, menciona que, un aumento en el salario real tiene dos efectos opuestos: (i) el efecto sustitución, por el que usualmente aumenta el número de horas, si el salario aumenta y (ii) el efecto ingreso, donde el aumento del ingreso genera que el individuo decida incrementar su consumo, incluyendo al bien del tiempo libre.

Por otro lado, en términos conceptuales, se entiende que el equilibrio del mercado laboral se determina por las interacciones entre la demanda y oferta del mercado de trabajo. En ese sentido, también es importante entender cuál es la relación que existe entre la productividad de trabajo con la cantidad que demandan las empresas. Al respecto, Parkin (2007) explica que la curva de demanda de trabajo presenta modificaciones, en parte, por movimientos de la función de producción, los cuales pueden ser generados, en ciertos casos, por el capital, tanto físico como humano, así como por la tecnología. Ante esto, resulta importante definir lo que se entiende por capital humano.

2.1.1. Capital humano

Becker, G. (1994), define al capital humano como el conjunto de conocimientos y capacidades productivas, como la salud, el nivel educativo, experiencia y valores, que influyen en el rendimiento de las personas. Asimismo, indica que las inversiones en capital humano pueden ser especificados como gastos en educación, cursos de capacitación y gastos en cuidados médicos. Intuitivamente explica que, dado que el desarrollo económico depende de los avances tecnológicos y conocimientos científicos, se puede deducir que éste depende, a su vez, de la acumulación del capital humano.

En ese sentido, se puede entender la importancia que tiene la salud en el desarrollo económico, así como en el desarrollo de las interacciones del mercado laboral; por lo tanto, como parte de la revisión de evidencia empírica, se presentará como la contaminación, exterior e interior, cumple un rol relevante en la salud de una parte importante de la población afectando, finalmente, la decisión de ofertar más o menos horas en el mercado laboral.

2.2. Conceptos sobre contaminación del aire

De acuerdo a lo explicado por la Organización Mundial de la Salud (2018a, 2018b), la contaminación del aire se puede clasificar en dos tipos: de exteriores (encontrada en el ambiente) y de interiores (producida en el hogar). A continuación, se definen ambos:

2.2.1. Contaminación ambiental (de exteriores)

La contaminación ambiental puede tener orígenes naturales como incendios forestales o tormentas de arena; sin embargo, una sustancial mayoría proviene de actividades humanas como la combustión de gasolina de automóviles, generación de energía, fábricas, quema de desechos y actividades domésticas realizadas con combustibles contaminantes (Organización Mundial de la Salud, 2018a).

Los contaminantes presentes en la contaminación ambiental más utilizados como parte de la evidencia a presentar posteriormente son la materia particulada (o PM por sus siglas en inglés), el ozono (O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el dióxido de sulfuro (SO_2). Sobre ellos, la Organización Mundial de la Salud (2018a) los define de la siguiente forma:

- a. La materia particulada (PM) es el más estudiado, así como común a usarse como estimación aproximada de la contaminación a nivel general. Están compuestas de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas; son inhalables, y mientras más pequeñas sean son más letales, dado que es más sencillo de adentrarse en el cuerpo hasta llegar a los pulmones y sangre. Las dos formas en las que se encontrarán dentro de este documento son $PM_{2.5}$ y PM_{10} , llamadas de esta forma por tener un diámetro de menos de 2.5 micrones, y mayor a 2.5, pero menor a 10 micrones, respectivamente; y se expresa en microgramos por metros cúbicos ($\mu g/m^3$).
- b. El Ozono (O_3) al nivel del suelo es el principal componente del smog, y se produce por la reacción de los rayos solares con contaminantes como los óxidos de nitrógeno.
- c. El Dióxido de sulfuro (SO_2) es un gas generado por la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. La principal fuente es la quema de combustibles que contienen sulfuro para la calefacción de los hogares, la generación de energía y funcionamiento de vehículos.
- d. El Dióxido de nitrógeno (NO_2), forma parte de la materia particulada, así como del ozono. Proviene principalmente de actividades de generación de energía a nivel industrial o del motor de automóviles y barcos.

2.2.2. Contaminación de interiores

Este tipo de contaminación es generada por la forma en que algunos hogares cocinan, es decir con combustibles sólidos (como la madera o el carbón) y kerosene en estufas precarias; los cuales

producen contaminantes como la materia particulada, metano, monóxido de carbono, entre otros (Organización Mundial de la Salud, s.f.a). Se presenta principalmente en hogares pobres de países de bajos o medianos ingresos, en los que es la causa más común de enfermedades y muerte prematura.

2.3. Oferta de mercado de trabajo individual

A fin de comprender la teoría asociada a la relación entre la oferta laboral y la contaminación del aire, se iniciará reconstruyendo el modelo teórico de la decisión de cada individuo entre consumo y ocio, continuando con cómo Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2013) incluyen a la salud como un factor adicional dentro de la función de utilidad.

Conforme a lo propuesto por Becker G. (1965), los individuos toman la decisión de las horas que le dedicarán al trabajo y las horas destinadas al ocio dentro de las 24 horas con las que cuentan durante un día. Esta decisión se realiza optimizando una función de utilidad simplificada que depende del consumo (de un agregado de bienes durante ese periodo) representado por (c) y de las horas de ocio que se disponga (o). Tomando, por ejemplo, la siguiente función de utilidad:

$$U(c, o)$$

La cual se encuentra sujeta a la siguiente restricción presupuestaria, donde (w) representa el salario, (l) las horas trabajadas, y (n) los ingresos no provenientes del trabajo:

$$c = w * l + n$$

De esta optimización, se obtienen los niveles óptimos de ocio, consumo y horas trabajadas, tomando en cuenta el nivel de ingresos. Además, también concluye que, ante incrementos en el salario real, el ocio (ahora al ser más caro) podría ocasionar que el individuo elija trabajar más (efecto sustitución). No obstante, si los ingresos alcanzan niveles altos, podría resultar que el individuo elija consumir más bienes, incluyendo el ocio, y por lo tanto trabajar menos (efecto ingreso).

2.3.1. Introducción de la salud

A este modelo se le pueden realizar modificaciones agregando variables y supuestos, como las que realizan Graff Zivin, J. y Neidell, M. (2013), quienes agregan la variable (H) que representa la salud del individuo. Adicionalmente, indican que la salud se puede describir en función del nivel de contaminación (P), la exposición a esta contaminación la cual se mitiga mediante comportamiento de evasión (A) y tratamiento médico (M). Es decir:

$$H = H(P, M, A)$$

Adicionalmente, complejizan el modelo incluyendo la variable (φ) que hace referencia a un episodio de enfermedad. Donde el tratamiento médico (M) dependerá si se está atravesando alguna enfermedad; la cual, a su vez, dependería de los niveles de contaminación (P) y del comportamiento de evasión (A) como medida preventiva de esta enfermedad.

$$H = H(M(\varphi), \varphi(P, A))$$

Un supuesto importante que se toma en cuenta para desarrollar el modelo es que la productividad laboral aumenta mientras aumenta la salud, a un grado decreciente. En ese sentido, propone maximizar la siguiente función de utilidad¹:

$$U(c, o, H)$$

La cual se encontraría sujeta a una restricción presupuestaria, donde se introducen las variables (T) representando a las horas totales en el día, que, restadas de las horas de ocio, reemplazan a las horas trabajadas (l), (H) como el factor que aumenta o disminuye la productividad laboral y por lo tanto los ingresos; así como los precios del comportamiento de evasión (P_a), del consumo (P_c) y de los gastos de tratamiento médico (P_m). Esta se expresaría de la siguiente forma²:

$$P_c * C + P_a * A + P_m * M = w * H * (T - o) + n$$

Del ejercicio de optimización, se obtienen relaciones cuyas interpretaciones intuitivas ayudan a entender la relación entre la contaminación y la oferta laboral. Las principales, son las siguientes:

$$(1) \frac{\frac{\partial H}{\partial A}}{\frac{\partial H}{\partial M}} = \frac{P_a}{P_m}$$

De la expresión (1) se deduce que el comportamiento de evasión y el tratamiento médico serán consumidos de forma que su ratio marginal de productividad con respecto a la salud sea igual a su ratio de precios. Además, de la optimización, se obtiene que tanto A como M pueden ser expresadas como una función de la contaminación, episodios de enfermedad y los costos asociados de los tres bienes. A partir de este hallazgo, se puede expresar la relación entre salud y contaminación derivando la función compleja de salud, obteniendo lo siguiente:

$$(2) \frac{\partial H}{\partial P} = \underbrace{\left[\left(\frac{\partial H}{\partial M} \right) * \left(\frac{\partial M}{\partial \varphi} \right) + \left(\frac{\partial H}{\partial \varphi} \right) \right]}_{\frac{\partial H}{\partial \varphi}} * \underbrace{\left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial P} \right) + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial A} \right) * \left(\frac{\partial A}{\partial P} \right) \right]}_{\frac{\partial \varphi}{\partial P}}$$

¹ En el ejercicio realizado por Graff Zivin, J. & Neidell, M. se expresa al consumo como X , en lugar de c ; y al ocio como L , en lugar de o .

² En el ejercicio realizado por Graff Zivin, J. & Neidell, M. se expresa al ingreso no proveniente del salario como I , en lugar de n .

Finalmente, de la expresión (2), se encuentra que la salud depende de la relación que tiene la contaminación con las enfermedades ($\frac{\partial \varphi}{\partial P}$) y de cómo la enfermedad afecta directamente la salud ($\frac{\partial H}{\partial \varphi}$). De la relación entre la contaminación y las enfermedades, se observa cómo esta se descompone en el efecto directo y biológico, y del comportamiento de evasión que se practique para mitigar el riesgo de sufrir una enfermedad. Mientras que de la relación entre salud y el episodio de enfermedad en sí, indica que este depende de la efectividad del tratamiento médico que se decida tomar al adquirir una enfermedad.

Esta demostración teórica de Graff Zivin, J. y Neidell, M. (2013), a través de la inclusión de la variable salud como parte de la función de utilidad del individuo, así como de la relación entre la contaminación, los tratamientos médicos y los esfuerzos que se realizan para mitigar efectos perjudiciales para nuestra salud, brinda una primera noción sobre las demostraciones empíricas a ser expuestas próximamente.

III. Evidencia empírica

Gran parte de la evidencia generada se concentra en los efectos de la contaminación ambiental en la salud. No obstante, durante los últimos años se ha podido encontrar un mayor interés en los efectos en el capital humano; tanto a corto plazo, a través de sus efectos en la productividad, como en el largo, causando cambios en la oferta laboral y hasta en habilidades cognitivas. Previo a introducir la evidencia científica alrededor de este problema, se iniciará dando un panorama general sobre los principales efectos sobre la calidad de vida de la humanidad.

3.1. Efectos de la contaminación del aire sobre la calidad de vida

Un significativo número de investigaciones realizadas se encuentra relacionado a los efectos que las cortas o largas exposiciones a una mala calidad de aire pueden generar en la salud de las personas, dentro de los cuales se pueden resaltar una mayor predisposición a padecer de enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, y enfermedades respiratorias crónicas y agudas (Organización Mundial de la Salud, 2018a). De acuerdo con las estimaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (2016), se encontró que, a nivel global, 3 millones de muertes en 2012 eran atribuibles solo a la contaminación ambiental del aire, donde alrededor del 87 % de ellas ocurrían en países de bajos o medianos ingresos. Esta cifra aumentó en 2016 hasta alcanzar los 4.2 millones de muertes prematuras a nivel mundial a causa de la contaminación ambiental con un 91% perteneciente a los países anteriormente mencionados (Organización Mundial de la Salud, 2018c). En cuanto a la contaminación de interiores, se estimó que, en 2016, 3.8 millones de muertes fueron ocasionadas por un incorrecto uso de combustibles sólidos y kerosene al momento de cocinar.

Como parte de la población que se ve directamente afectada por la contaminación del aire está conformada por los niños y adultos mayores. Con respecto a la población infantil, Jayachandran, S. (2008) desarrolla la tesis que la contaminación del aire tiene efectos en la mortalidad infantil, debido a que puede producir bajo desarrollo del feto dentro del útero, así como infecciones respiratorias agudas en niños pequeños. Ante la cual, encuentra que un episodio de contaminación extraordinario³ llegó a incrementar en 20% la mortalidad de niños menores a 3 años, generados por la exposición al humo en los periodos pre y post natales. Lo que en términos nominales se describe como alrededor de 15,600 muertes fetales e infantiles atribuibles a la contaminación.

No obstante, los efectos de la contaminación del aire no sólo se evidencian en variables como la salud o mortalidad, sino también en algunas que afectan el proceso de aprendizaje de los niños en edad escolar (Miller, S. & Vela, M., 2013). Al respecto, Miller, S. & Vela, M. (2013) explican que estos efectos se podrían canalizar de tres formas: el absentismo causado directamente por enfermedades, fatiga y problemas de atención. Para ello, analizan los efectos que tienen los niveles de PM₁₀ y O₃ en resultados de pruebas estandarizadas de Chile, donde concluyen que altos niveles de este tipo de contaminantes están relacionados a una reducción de los resultados de las pruebas.

Como se puede observar, en esta breve recopilación de literatura, los efectos de un ambiente contaminado en la vida de las personas son relevantes, generando perjuicios en habilidades cognitivas y en la salud, los cuales podrían llegar a ser mortales; por lo que se debe prestar especial atención a las medidas de prevención, y mitigación que se puedan tomar por parte tanto del sector público, como del privado.

3.2. Efectos de la contaminación del aire sobre la oferta laboral

Los estudios realizados en torno a la temática de la oferta laboral iniciaron alrededor de la década de 1980, donde uno de los primeros estudios realizados en la materia es el de Hausman, J., D Ostro, B. & Wise, D. (1984). En él se analiza la relación entre los días perdidos de trabajo y el nivel de contaminación del ambiente, sobre lo cual, concluye que una desviación estándar en el total de partículas suspendidas (TSP⁴, por sus siglas en inglés) se puede asociar a un incremento de aproximadamente 10% de días de trabajo perdidos. Además de estudiar los efectos de la contaminación externa, también analizaron la contaminación interna o generada en el hogar; encontrando que un incremento de 20 cigarros consumidos por otro fumador del hogar tiene un efecto de incrementar en 22% los días de trabajo perdidos en el individuo no-fumador (Hausman, J., D Ostro, B. & Wise, D., 1984).

³ En este estudio en particular se estudian los producidos por una serie de incendios forestales de 1997 en Indonesia.

⁴ Esta vendría a ser un equivalente a lo que actualmente se conoce como materia particulada o PM.

A partir de este primer estudio, han surgido una serie de investigaciones asociando principalmente los efectos de la contaminación ambiental (de exteriores) con la oferta laboral, mas no profundizando en la contaminación de interiores. Asimismo, los análisis sobre la oferta laboral se concentran, en su mayoría, en medir los efectos a corto plazo (tomando la medida diaria o de la semana anterior a la medición de horas trabajadas); con la excepción del estudio de Kim, Y., Manley, J & Radoias V. (2017) donde se mide el efecto tres y diez años después de un acontecimiento específico de contaminación. A continuación, se presentarán los hallazgos principales de los estudios revisados, ordenados por las similitudes que se encontraron dentro de sus resultados.

3.2.1. Productividad

Dentro de la literatura, la medida de la productividad es una constante referencia para estimar los efectos que la contaminación podría tener en el capital humano. Al respecto, Chang, T., Graff Zivin, J., Gross, T. & Neidell, M. (2016b) realizaron una aproximación de los efectos de la contaminación de exteriores (medida como $PM_{2.5}$) en la productividad de empaquetadores de peras; actividad que, a pesar de realizarse al interior de una fábrica, se veía afectada por la contaminación del ambiente por el tamaño que tiene la $PM_{2.5}$, el cual le permite penetrar hasta el interior de estas instalaciones. Como parte de este estudio, encontraron que un cambio en 10 unidades de $PM_{2.5}$, disminuye en 6% la productividad en los empaquetadores. No obstante, al evaluar la no linealidad, se encontró que no se generaban efectos significativos hasta evaluar niveles de contaminación de 20-25 $\mu g/m^3$, donde el efecto era de una disminución significativa de \$1.03 por hora en la productividad; además, cuando el nivel de contaminación supera los 25 $\mu g/m^3$, este efecto aumentaba a \$1.88 por hora. Esta distinción es relevante, debido a que indicaría que la contaminación tendría un efecto significativo negativo en la productividad, una vez pasado un umbral ubicado entre 15 a 20 $\mu g/m^3$, mientras que el nivel de calidad de aire estándar en Estados Unidos⁵ para $PM_{2.5}$ es casi el doble.

Un efecto similar se encontró entre los resultados de la investigación que desarrollaron Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2012), quienes usaron información de la productividad de trabajadores del sector agrícola en California y la relacionaron con la contaminación generada por el ozono (expresado en “partes por billón”, ppb). En este estudio, se encontró que la calidad del aire tiene un impacto en la productividad, de modo que una disminución de 10 ppb de concentraciones de ozono incrementa la productividad laboral en 5.5%.

Si bien estos resultados son consistentes, se encuentra que fueron realizados para trabajos de índole manual o física (o “blue collar” en inglés), por lo que Chang, T., Graff Zivin, J., Gross, T.

⁵ De acuerdo a lo determinado en los National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), el límite del promedio diario es 35 $\mu g/m^3$ para el caso de $PM_{2.5}$.

& Neidell, M. (2016a) realizan una investigación similar, pero para el caso de trabajadores de un call-center en China. Los resultados se mostraron reincidentes para este tipo de trabajadores cuyas actividades requieren habilidades cognitivas, en lugar de físicas. Se concluyó que un incremento en 10 unidades en el índice de contaminación del aire (API, por sus siglas en inglés) disminuían el número de llamadas diarias del trabajador en 0.35%, en promedio; el cual se manifestaba a través del tiempo invertido en descansos, más no en la duración de las llamadas.

3.2.2. Efectos lineales

Por otro lado, la forma más directa y también recurrente de estimar la oferta laboral, es a través de las horas trabajadas. Al respecto, Hanna, R. y Oliva, P. (2011), estudiaron las variaciones de contaminación resultantes del cierre de una refinería de petróleo en la Región Metropolitana de Ciudad de México en marzo 1991, la cual era considerada como la más tóxica en la historia de Ciudad de México. Se encontró que, tras el cierre de la refinería, hubo una disminución del 8.28% en la contaminación ambiental (medida como dióxido de sulfuro SO_2) en las áreas a menos de 5 kilómetros de distancia, así como un aumento de 5.5% en las horas trabajadas por los habitantes de esa misma área. Esta relación se explicaba como que un aumento de 1% en SO_2 generaba una disminución de 0.45% hasta 0.67% en las horas trabajadas de la siguiente semana.

En esa línea, Fan, M. & Grainger, C. (2019) evaluaron el impacto de la contaminación del aire, expresada en concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$, en las horas trabajadas de habitantes de ciudades en China. Al respecto, esta investigación obtuvo los siguientes resultados: un incremento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de $\text{PM}_{2.5}$, reduce las horas trabajadas en 29 minutos a la semana, en promedio, lo cual corresponde a una elasticidad de aproximadamente -1 (un incremento de 1% en $\text{PM}_{2.5}$ disminuye las horas en alrededor de 1% también). Un aporte relevante de esta investigación es que estimaron que, si los niveles de contaminación estuvieran dentro de los límites establecidos en los National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), las horas de un individuo promedio se incrementarían en 3 horas y media por semana.

3.2.3. Efectos no lineales

Parte de las investigaciones revisadas encontraron que la relación entre la contaminación del aire y las horas trabajadas tenían una relación no lineal. En el caso del trabajo que Aragón F., Miranda, J. & Oliva, P. (2016) realizaron para el caso de Lima, se encuentra que para un subgrupo de individuos que no viven con dependientes identificados como vulnerables (niños menores de 5 años o adultos mayores de 75), la relación sería no lineal. Es decir, a niveles de contaminación menores a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no se encuentra un efecto significativo de la $\text{PM}_{2.5}$ en la oferta de trabajo, pero al evaluar niveles de contaminación mayores a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el efecto es negativo y significativo.

De forma similar, en el estudio empírico realizado por Zhang, Z., Hao, Y. & Lu, Z. (2018) en 112 ciudades de China, también se encontró que existe una relación no lineal entre la oferta laboral (estimado como número de trabajadores) y el nivel de contaminación (expresado en este caso como concentración de dióxido de sulfuro, SO₂). Dado que se encontró que la cantidad ofertada aumentaba conforme aumentaban los niveles de contaminación, hasta llegar a cierto punto máximo en el que finalmente disminuían.

Estos resultados generan una discusión importante como lo es la forma en que se designan los estándares de niveles de contaminación por las organizaciones pertinentes como la Organización Mundial de Salud (OMS) o en los NAAQS. Actualmente, estas establecen para el caso de concentraciones de PM_{2.5}, un estándar de promedio diario 25 y 35 µg/m³ respectivamente; mientras que para el caso de promedios anuales la OMS establece el estándar en 10 µg/m³ y los NAAQS manejan las cifras 12 µg/m³, como estándar primario y 15 µg/m³, como secundario.

3.2.4. Hogares con personas vulnerables

Al existir evidencia de que los perjuicios en la salud se acrecientan en el caso de niños y adultos mayores, se puede intuir que una forma en la que se ve perjudicada la oferta laboral es de forma indirecta, a través del aumento de horas dedicadas al cuidado de esta población vulnerable generando una disminución en las horas trabajadas.

Esto se evidencia en Aragón F., Miranda, J. & Oliva, P. (2016), quienes no encontraron una relación lineal entre niveles moderados de contaminación con la oferta laboral en hogares sin dependientes vulnerables; sino más bien, que esta relación significativa sólo se presenta en aquellos hogares que cuentan con niños pequeños y adultos mayores, donde una reducción de 10 µg/m³ de PM_{2.5} incrementa en 1.9 las horas de trabajo semanales de la persona pertenecientes a ese hogar. De igual forma, Hanna R. & Oliva P. (2011) llegaron a concluir que el tener en el hogar un miembro dependiente susceptible a padecer de enfermedades causadas por los altos niveles de contaminación (especificado, en este caso, como un niño menor de 5 años) incrementa el efecto negativo generado en las horas trabajadas.

En la investigación desarrollada por Kim, Y., Manley, J & Radoias V. (2017) para el caso de Indonesia, relacionaron la contaminación estimada en 1997, año en el que ocurrió un episodio específico de contaminación generado por una serie de incendios forestales, con las horas trabajadas de los años 2000 y 2007. Si bien encontraron una relación lineal en la que un incremento en una desviación estándar del índice de contaminación tiene una disminución de 0.99 horas de trabajo 3 años después; como parte de su análisis, agregaron una variable para controlar la salud de las personas, con la cual también se presentaron resultados significativos para la

contaminación, dando a indicar que existen otras formas mediante las cuales la contaminación del aire disminuye la oferta laboral.

A fin de demostrarlo, realizaron una submuestra de los hogares con dependientes vulnerables, en donde los resultados persistían denotando un efecto negativo de la contaminación en las horas trabajadas; además, hallaron que, al evaluar la diferencia entre hombres y mujeres, para estas últimas el efecto se duplica, obteniendo una disminución de 2.46 horas para mujeres, pero de 1.17 en el caso de los hombres.

Sobre estos estudios revisados, se puede concluir que, si bien la salud del individuo en cuestión puede no necesariamente verse afectada por la contaminación; el hecho de vivir con personas dependientes, que sí puedan ver afectada su salud de forma relevante, va a generar una disminución en las horas dedicadas al trabajo, debido a que se decidirá destinar más horas para cuidar de ellas.

3.2.5. Diferencia de ingresos

A manera de investigar los efectos de la contaminación ambiental en la pérdida del capital humano de China e India, Wang, F y Wu, M (2020) desarrollaron un estudio usando como variable dependiente al stock de profesionales dedicados a la tecnología e innovación (TIP, por sus siglas en inglés). En esta investigación, se pueden resaltar las diferencias regionales encontradas, como que en el caso de la parte este de China (la cual cuenta con una economía más desarrollada) un incremento de 1% de $PM_{2.5}$ tiene un efecto significativo, disminuyendo en 301 el número de profesionales. Mientras que, en zonas relativamente menos desarrolladas (medio oeste), este efecto no es estadísticamente significativo. Este resultado puede llevar a concluir que poblaciones que gozan de economías más consolidadas, podrían tener la posibilidad de migrar a áreas con mejor calidad del aire.

En el caso particular de India, también se incluye el PBI per cápita en el modelo como variable que explica el número de profesionales, donde los resultados indican que es una variable significativa con relación directa; así como que se encuentra que el coeficiente de contaminación del aire es estadísticamente significativo indicando que un incremento del 1% de PM_{10} , llevaría a una disminución en 0.127% en el número de TIP. Considerando que los niveles de contaminación de este país superan los comúnmente aceptados por la OMS (ver Anexo 1), esta relación podría significar la pérdida de profesionales altamente capacitados, pues no necesariamente podrían migrar internamente, sino también fuera del país.

De igual manera, Zhang, Z., Hao, Y. & Lu, Z. (2018) llegan a la conclusión de que el nivel de ingresos (representado por el PBI per cápita) forma una parte importante en la decisión de ofertar

trabajo, dado que presenta un efecto positivo y significativo; lo cual podría indicar que ciudades prósperas económicamente son más atractivas para los trabajadores.

Adicionalmente, a fin de cuantificar la interacción de la contaminación con el nivel de ingresos, agregan una variable (que es la multiplicación del efecto de la contaminación por el PBI per cápita), la cual tiene un efecto negativo y significativo, dando a relucir una conclusión similar a la que llegaron Wang, F y Wu, M (2020). Es decir, que en ciudades donde el ingreso per cápita es mayor son menos tolerantes a niveles de contaminación altos debido a que tienen un mayor número de oportunidades de mitigar los riesgos que la contaminación genera, como migrar a zonas o ciudades menos contaminadas.

IV. Conclusiones

A pesar de que existe una vasta literatura y estudios sobre los efectos que produce la contaminación ambiental del aire en la salud de las personas, se puede apreciar que existe una oportunidad de profundizar en los efectos colaterales que se puedan generar en otros ámbitos como la oferta laboral y productividad.

A partir de la revisión de literatura presentada en este documento se puede concluir que existe una relación negativa y significativa entre la contaminación del aire sobre las variables que aproximan la oferta laboral (horas trabajadas y número de trabajadores). En ciertos casos esta se presenta de forma lineal, mientras que, en otros, se encuentra que la relación es no lineal y los efectos se muestran una vez superado un umbral de contaminación. Este efecto podría deberse a que cuando una ciudad o zona presenta niveles moderados de contaminación, generados por un aumento en el tráfico o inicio de operaciones de nuevas industrias, esto podría ser percibido como un indicador de prosperidad económica. Sin embargo, llega el momento en que se atraviesa el umbral y estos niveles de contaminación resultan contraproducentes con el bienestar general de la población generando esta disminución en la oferta laboral.

Adicionalmente, se encuentra que la disminución de horas trabajadas, generada por la contaminación del aire, se acrecienta en aquellos hogares que cuenten con personas dependientes vulnerables (niños o adultos mayores). Lo cual se debe, principalmente, a que estos grupos usualmente resultan ser los más afectados por la contaminación, causando que los trabajadores sean más propensos a disminuir sus horas ofertadas de trabajo, a fin de cambiarlas por horas de cuidado al miembro de la familia que lo requiera.

En relación al rol que cumple el nivel de ingresos del individuo en estudio, se puede concluir que esta es una variable importante a tomar en cuenta al determinar la magnitud de los efectos de la contaminación en la oferta laboral. De forma intuitiva, se puede explicar que, al contar con ingresos altos, se hace más conveniente tomar acciones a fin de evadir los efectos negativos de la

contaminación; como, por ejemplo, disminuir las horas de trabajo, si uno requiere transportarse fuera del hogar para cumplir con este, o mudarse a una ciudad con niveles menor de contaminación.

Finalmente, como se puede observar en el Anexo 2, la cantidad de países que contaban con información acerca de los niveles de contaminación era alrededor del 50% en el 2016, cifra que es alarmante considerando que sin esta no se pueden hacer estas evaluaciones, ni tomar las medidas necesarias para mitigar estos efectos. Por otro lado, sería interesante que en futuras investigaciones se puedan evaluar los niveles óptimos determinados por la OMS y NAAQS (ubicados entre 25 y 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, para un promedio diario), considerando que en uno de los estudios revisados se encontró que los efectos negativos se manifestaban en niveles aún menores (a partir de un rango entre 15 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De igual forma, es importante mencionar, que se deben generar los mecanismos necesarios para llevar un adecuado control de los reportes de esta información; dado que dependiendo del tipo de beneficios o sanciones que se determinen alrededor de estos límites, podría generarse la alteración de estos resultados.

V. Bibliografía

Aragón F., Miranda, J. & Oliva, P. (2016) *Particulate matter and labor supply: the role of caregiving and non-linearities*. Simon Fraser University Economics Working Paper

Becker, G. (1965). A theory of the allocation of time. *The Economic Journal* Vol.75 (299), 493–517

Becker, G. (1994), *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education (3rd Edition)*. The University of Chicago Press

Chang, T., Graff Zivin, J., Gross, T. & Neidell, M. (2016a): *The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call-Center Workers in China*. IZA Discussion Paper No. 10027

Chang, T., Graff Zivin, J., Gross, T. & Neidell, M. (2016b) Particulate Pollution and the Productivity of Pear Packers. *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 8, No. 3 pp. 141-169

Fan, M. & Grainger, C. (2019) *The Impact of Air Pollution on Labor Supply in China*. Department of Agricultural and Applied Economics, University of Wisconsin-Madison

Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2012) The Impact of Pollution on Worker Productivity. *The American Economic Review*, Vol. 102, No. 7, pp. 3652-3673

Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2013) Environment, Health and Human Capital. *Journal of Economic Literature*, Vol. 51, No. 3 (SEPTEMBER 2013), pp. 689-730

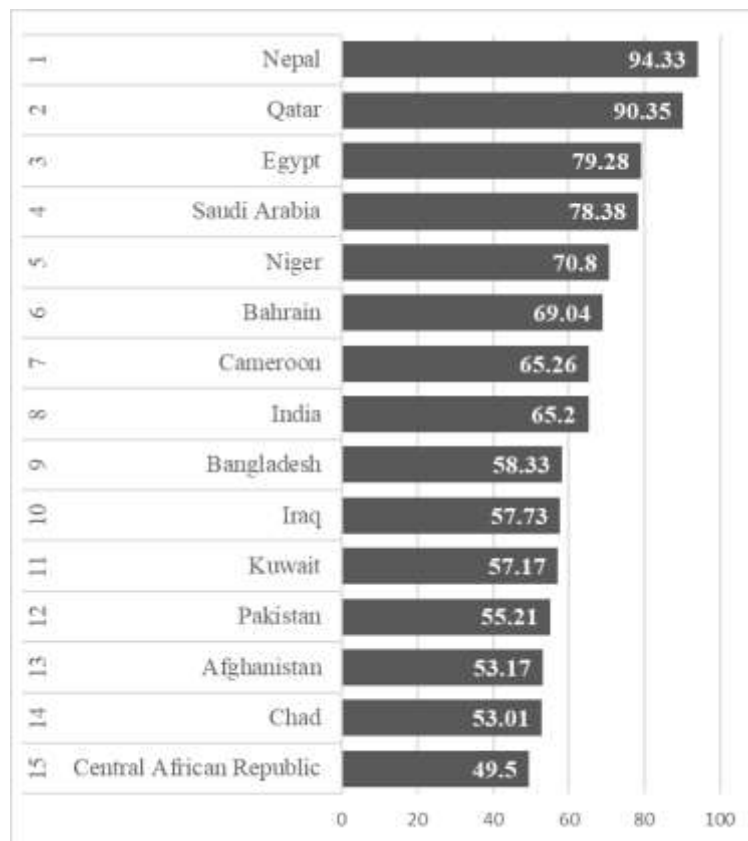
- Hanna, R. & Oliva, P. (2011) The effect of pollution on labor supply: Evidence from a natural experiment in Mexico City. *Journal of Public Economics*, 2015, 122, 68-79.
- Hausman, J., D Ostro, B. & Wise, D. (1984) *Air pollution and lost work*. National Bureau of Economic Research.
- Jayachandran, S. (2008) *Air quality and early-life mortality: Evidence from Indonesia's wildfires*. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 14011
- Kim, Y., Manley, J & Radoias V. (2017) Medium- and long-term consequences of pollution on labor supply: evidence from Indonesia. *IZA Journal of Labor Economics*. DOI 10.1186/s40172-017-0055-2
- Miller, S. & Vela, M. (2013) *The Effects of Air Pollution on Educational Outcomes: Evidence from Chile* Inter-American Development Bank (IDB) Working Paper Series No. IDB-WP-468
- Organización Mundial de la Salud (2016) *Ambient air pollution: A global assesment of exposure and burden of disease*
- Organización Mundial de la Salud (2018a) *Fact sheets: "Ambient (outdoor) air pollution"* Recuperado el 12 de Diciembre, 2020, de [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud (2018b) *Fact sheets: Household air pollution and health*. Recuperado el 12 de Diciembre, 2020, de <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Organización Mundial de la Salud (2018c) *9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action*. Recuperado el 12 de Diciembre, 2020, de <https://www.who.int/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Organización Mundial de la Salud (s.f.a) *Household air pollution: Health impacts*. Recuperado el 12 de Diciembre, 2020, de <https://www.who.int/airpollution/household/health-impacts/en/>
- Organización Mundial de la Salud (s.f.b). *Indicators: Concentrations of fine particulate matter (PM2.5)*. Recuperado el 15 de Enero, 2021, de [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-\(pm2-5\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-(pm2-5))
- Parkin, Michael (2007) *Macroeconomía* (7^{ma} ed.). Pearson Educación, México. (pp. 200-201)

Wang, F y Wu, M (2020), Does air pollution affect the accumulation of technological innovative human capital? Empirical evidence from China and India, *Journal of Cleaner Production* (Vol. 285), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124818>

Zhang, Z., Hao, Y. & Lu, Z. (2018) Does environmental pollution affect labor supply? An empirical analysis based on 112 cities in China. *Journal of Cleaner Production* 190 (2018) 378-387

VI. Anexos

Anexo 1: Concentraciones de materia particulada PM_{2.5} (µg/m³): Información de los 15 países con mayor concentración para el 2016



Fuente: Organización Mundial de la Salud (s.f.b)
Elaboración propia

Anexo 2: Número total de pueblos y ciudades en la base de datos de AAP (Contaminación ambiental del aire), versión 2016, por región

Región	Número de pueblos/ciudades	Número de países con información	Total de países en la región
África (Sub-Sahariana) (LMIC)	39	10	47
América (LMIC)	102	13	24
América (HIC)	524	6	11
Mediterráneo Oriental (LMIC)	53	8	15
Mediterráneo Oriental (HIC)	31	6	6
Europa (LMIC)	165	9	19
Europa (HIC)	1,549	33	34
Sudeste Asiático (LMIC)	175	9	11
Pacífico Occidental (LMIC)	225	4	21
Pacífico Occidental (HIC)	109	5	6
Global	2,972	103	194

LMIC: Países de bajos o medios ingresos, HIC: Países de altos ingresos

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2016)

Elaboración propia.