

División De Ciencias Biológicas Y De La Salud  
Departamento El Hombre Y Su Ambiente  
Licenciatura En Biología

Informe final de servicio social por actividades relacionadas con la profesión

**IMPLEMENTAR TÉCNICAS DE BIOLOGÍA MOLECULAR PARA  
EVALUAR LA RESPUESTA ANTIOXIDANTE POR LA EXPOSICIÓN A  
MATERIAL PARTICULADO PM<sub>2.5</sub> EN MODELO IN VITRO DE CÉLULAS  
A549 DE ADENOCARCINOMA PULMONAR HUMANO**

**Presenta**

Atziry Tonanzi García Flores

**Matrícula**

2202033307

**Institución receptora**

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER)

**Departamento**

Toxicología y Medicina Ambiental

**Asesora interna**

Dra. María del Carmen Monroy Dosta (28806)

**Asesor externo**

Dr. Jesús Valencia Cervantes (13584868)

**Periodo de realización:** diciembre 2024 – junio 2025

## RESUMEN

La contaminación del aire constituye un importante problema de salud pública a nivel mundial. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha demostrado que el riesgo de cáncer de pulmón aumenta conforme se incrementan los niveles de exposición al material particulado (PM), particularmente a las partículas finas PM<sub>2.5</sub>. Este tipo de contaminación se asocia no solo con enfermedades respiratorias, sino también con afecciones cardiovasculares y diversos tipos de cáncer. En México, se reportaron 7,811 nuevos casos y 6,733 defunciones asociadas a esta enfermedad.

El cáncer de pulmón presenta una elevada tasa de mortalidad debido a su carácter asintomático en etapas tempranas, lo que limita su detección oportuna. Por ello, resulta necesario identificar biomarcadores que permitan mejorar el diagnóstico temprano y optimizar los tratamientos, así como comprender el impacto específico de la exposición a PM<sub>2.5</sub> en la progresión de la enfermedad y en los mecanismos celulares de defensa antioxidante.

En este contexto, la presente investigación se desarrolló en el Departamento de Toxicología y Medicina Ambiental del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) y tuvo como objetivo implementar técnicas de biología molecular para evaluar la respuesta antioxidante inducida por la exposición a PM<sub>2.5</sub> en células A549 de adenocarcinoma pulmonar humano. Las actividades incluyeron el mantenimiento de cultivos celulares, el tratamiento con diferentes concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, la extracción y cuantificación de proteínas, así como la evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes clave como el superóxido dismutasa (SOD) y el glutatión peroxidasa (GPx). Los resultados esperados permitirán comprender cómo la exposición a PM<sub>2.5</sub> modula los mecanismos antioxidantes celulares y contribuirán a la identificación de biomarcadores que respalden la implementación de estrategias orientadas a la reducción de los límites permisibles de este contaminante, con un impacto positivo en la salud pública.

**Palabras clave:** Estrés oxidativo, material particulado fino, células A549, toxicología ambiental, enzimas antioxidantes

# Índice

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
APOORTE A LA SOCIEDAD .....	4
<b>2. LUGAR DE REALIZACIÓN</b> .....	4
<b>3. MARCO INSTITUCIONAL</b> .....	5
MISIÓN .....	5
VISIÓN .....	5
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	5
OBJETIVO GENERAL .....	5
OBJETIVOS PARTICULARES .....	5
<b>5. ACTIVIDADES REALIZADAS</b> .....	6
5.1 PREPARACIÓN DE MEDIOS Y SOLUCIONES .....	6
5.2 MANTENIMIENTO DE CULTIVOS CELULARES .....	6
5.3 TRATAMIENTO CON MATERIAL PARTICULADO PM <sub>2.5</sub> .....	6
5.4 EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS .....	6
5.5 CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE LOWRY) .....	7
5.6 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE SUPERÓXIDO DISMUTASA (SOD) .....	7
5.7 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE GLUTATIÓN PEROXIDASA (GPX) .....	7
5.8 ANÁLISIS DE DATOS .....	7
<b>6. DESCRIPCIÓN DEL VÍNCULO DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS CON LOS OBJETIVOS DE FORMACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS</b> .....	8
<b>7. RESULTADOS Y APRENDIZAJES</b> .....	9
<b>8. CONCLUSIÓN</b> .....	10
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	12
<b>10. Vo Bo de los asesores</b> .....	12

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la agencia especializada en cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha demostrado que el riesgo de cáncer de pulmón incrementa con el aumento de los niveles de exposición a material particulado PM. Aunque la composición de la contaminación del aire y los niveles de exposición pueden variar.

La contaminación del aire aumenta el riesgo de desarrollar una amplia gama de enfermedades, tales como las relacionadas con el sistema respiratorio y cardiovascular. Los estudios indican que los niveles de exposición a PM han aumentado significativamente en algunas partes del mundo en los últimos años, especialmente en países de rápida industrialización con grandes poblaciones. Los datos indican que en 2010 hubo 223,000 muertes por cáncer de pulmón en todo el mundo como resultado de la contaminación del aire. El cáncer de pulmón representa un importante desafío de salud pública, siendo una de las principales causas de mortalidad tanto en México como a nivel mundial. En 2020, se estimó una incidencia de más de 2 millones de casos relacionados con esta enfermedad y alrededor de 1,8 millones de muertes atribuibles. En México, se registraron 7,811 casos nuevos y 6,733 muertes asociadas.

Esta enfermedad tiene una alta tasa de mortalidad debido a su carácter asintomático, lo que dificulta su detección en sus estadios iniciales, siendo diagnosticado un 0.6%. Por lo tanto, se necesitan más información sobre la identificación de biomarcadores que nos permitan mejorar la detección temprana y el tratamiento con quimioterapia mejorando la calidad de vida de los pacientes (Rojas-Martinez, et al., 2019). Además, es necesario conocer el impacto de la contaminación ambiental ocasionado en específico por partículas PM<sub>2.5</sub> y los efectos que puede provocar en cuanto a la incidencia y progresión de esta enfermedad, con la finalidad de contar con un esquema de tratamiento adecuado y en su caso evitar la exposición a la contaminación.

## APORTE A LA SOCIEDAD

Durante la realización del servicio social se evaluará el efecto de las partículas  $PM_{2.5}$  sobre la respuesta antioxidante en células A549 de adenocarcinoma pulmonar humano. Los resultados esperados nos permitirán comprender cómo la exposición a la contaminación del aire en particular por la presencia de  $PM_{2.5}$  modulan un mecanismo de defensa indispensable para que las células se protejan de los xenobióticos. La identificación de biomarcadores específicos que se modulen por la exposición a partículas  $PM_{2.5}$  nos permitirán sugerir la implementación de nuevas directrices encaminadas a reducir los límites permisibles de  $PM_{2.5}$  o tomar medidas para reducir su generación y emisiones.

## 2. LUGAR DE REALIZACIÓN

El Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) "Ismael Cosío Villegas" fue la sede donde se llevó a cabo el servicio social. Esta institución es un centro de atención médica especializada de tercer nivel, dependiente de la Secretaría de Salud, con reconocimiento nacional e internacional por su labor en la prevención, diagnóstico, tratamiento e investigación de enfermedades respiratorias.

El INER se encuentra ubicado en la Calzada de Tlalpan No. 4502, Colonia Sección XVI, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14080, Ciudad de México. Está situado al sur de la capital, en una zona hospitalaria estratégica, accesible por importantes vialidades y medios de transporte público.

Este instituto destaca por su infraestructura moderna, que incluye laboratorios especializados en biología molecular, inmunología, toxicología y microbiología, así como unidades clínicas altamente equipadas para la atención integral de pacientes con enfermedades respiratorias. Asimismo, el INER desempeña un papel fundamental en la formación de profesionales de la salud y en la investigación científica aplicada, siendo un espacio idóneo para el desarrollo de actividades académicas y de servicio social.

### **3. MARCO INSTITUCIONAL**

#### MISIÓN

Mejorar la salud respiratoria de los individuos y las comunidades a través de la investigación, la formación de recursos humanos y la atención médica especializada.

#### VISIÓN

El INER debe ser la entidad nacional normativa en salud respiratoria y el principal sitio de enseñanza, investigación, promoción y atención de alta especialidad, con competitividad nacional e internacional.

### **4. OBJETIVOS**

#### OBJETIVO GENERAL

Implementación de técnicas de biología molecular para evaluar la respuesta antioxidante provocada por la exposición a material particulado PM<sub>2.5</sub>.

#### OBJETIVOS PARTICULARES

1. Preparación de soluciones.
2. Cuantificación de proteínas, ensayos de actividad enzimática y viabilidad celular.
3. Mantenimiento de cultivos celulares.

### **5. ACTIVIDADES REALIZADAS**

La presente investigación se llevó a cabo en el Departamento de Toxicología y Medicina Ambiental del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER). Las actividades experimentales se desarrollaron siguiendo una secuencia metodológica que incluyó preparación de reactivos, cultivo y tratamiento de células, extracción y análisis de proteínas, así como la medición de parámetros antioxidantes clave. A continuación, se describen las fases del trabajo experimental:

## 5.1 PREPARACIÓN DE MEDIOS Y SOLUCIONES

Se prepararon los medios de cultivo y reactivos necesarios para el crecimiento celular y la realización de ensayos bioquímicos. El medio empleado fue DMEM (Dulbecco's Modified Eagle Medium) complementado con 10% de suero fetal bovino inactivado y 1 mg/ml de antibiótico Penicillin-Streptomycin. Todos los materiales se manipularon en condiciones estériles bajo campana de bioseguridad tipo II.

## 5.2 MANTENIMIENTO DE CULTIVOS CELULARES

La línea celular A549, derivada de adenocarcinoma pulmonar humano, se cultivó en placas de cultivo con medio DMEM suplementado, incubadas a 37 °C en una atmósfera con 5% de CO<sub>2</sub>. Se realizaron cambios de medio cada 48 horas y pases celulares cuando se alcanzó una confluencia del 80–90%. La viabilidad y el recuento celular se determinaron mediante azul de tripano y cámara de Neubauer.

## 5.3 TRATAMIENTO CON MATERIAL PARTICULADO PM<sub>2.5</sub>

Una vez que las células alcanzaron la confluencia deseada, se procedió a tratarlas con extractos de PM<sub>2.5</sub> en diferentes concentraciones. La exposición se realizó durante 24 horas, y se incluyeron controles sin tratamiento para comparar los efectos.

## 5.4 EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS

Tras la exposición a PM<sub>2.5</sub>, se retiró el medio y se lavaron las células con PBS 1x. Posteriormente, se lisaron con buffer de lisis (10mM Tris-HCl pH 8.0, 1mM EDTA, 150 mM NaCl) suplementado con inhibidores de proteasas y PMSF. Las muestras fueron sonicadas por 4 minutos en condiciones frías y centrifugadas a 13,000 rpm por 10 minutos a 4°C. El sobrenadante fue recolectado y almacenado a -70°C para su posterior análisis.

## 5.5 CUANTIFICACIÓN DE PROTEÍNAS (MÉTODO DE LOWRY)

Se utilizó el método de Lowry para determinar la concentración total de proteínas en las muestras. Se prepararon estándares con albúmina sérica bovina (BSA) y se procesaron todas las muestras por triplicado. La absorbancia se midió a 620 nm utilizando un lector de microplacas.

## 5.6 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE SUPERÓXIDO DISMUTASA (SOD)

La actividad de la enzima SOD se midió mediante la conversión de hidroxilamonio a nitrito. La mezcla de incubación incluyó tampón fosfato, xantina, xantina oxidasa y cloruro de hidroxilamonio. La reacción se llevó a cabo a 25°C por 20 minutos.

Posteriormente, se agregó ácido sulfanílico y  $\alpha$ -naftilamina, incubando por 20 minutos a temperatura ambiente. La absorbancia se leyó a 530 nm.

## 5.7 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE GLUTATIÓN PEROXIDASA (GPX)

La actividad de GPx se midió evaluando la oxidación de NADPH en presencia de glutatión reducido (GSH) y peróxido de hidrógeno. Las muestras fueron incubadas con un sistema enzimático que incluye glutatión reductasa, EDTA y  $\text{NaN}_3$ . Se midió la disminución de la absorbancia a 340nm durante 3 minutos tras la adición de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

## 5.8 ANÁLISIS DE DATOS

Todos los datos obtenidos fueron registrados en hojas de cálculo. Se calcularon medias y desviaciones estándar. Los resultados fueron graficados y se analizaron con herramientas estadísticas básicas (ANOVA unidireccional y prueba de significancia) para evaluar las diferencias entre grupos tratados y controles.

## **6. DESCRIPCIÓN DEL VÍNCULO DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS CON LOS OBJETIVOS DE FORMACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS**

Las actividades desarrolladas durante la presente investigación se encuentran estrechamente vinculadas con los objetivos de formación establecidos en el Plan de Estudios de la Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana, cuyo propósito es formar profesionales críticos y creativos capaces de realizar actividades científicas mediante el uso de metodologías propias de las ciencias biológicas, con una visión integral de los fenómenos ambientales y de salud.

La preparación de medios de cultivo, soluciones y reactivos, así como el manejo de cultivos celulares y la aplicación de técnicas de biología molecular, fortalecieron la formación metodológica y experimental del estudiante, favoreciendo el desarrollo de habilidades en el uso del método científico, el trabajo en condiciones controladas y el manejo adecuado

de material biológico. Estas actividades permitieron consolidar conocimientos relacionados con los procesos celulares y bioquímicos involucrados en la respuesta al estrés ambiental y al proceso salud-enfermedad.

El tratamiento de células A549 con material particulado PM<sub>2.5</sub> y la evaluación de parámetros como la viabilidad celular, la cuantificación de proteínas y la actividad de enzimas antioxidantes contribuyeron a la comprensión de la interacción entre los sistemas biológicos y los factores ambientales de origen antrópico. De esta manera, se promovió el análisis crítico de problemáticas actuales relacionadas con la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud humana.

Finalmente, el análisis e interpretación de los datos experimentales mediante herramientas estadísticas básicas fortalecieron las capacidades analíticas y críticas, permitiendo integrar el conocimiento teórico con la evidencia experimental. En conjunto, las actividades realizadas contribuyeron a una formación científica sólida, con un enfoque ético y socialmente responsable, en concordancia con los objetivos generales del plan de estudios de la Licenciatura en Biología de la UAM.

## **7. RESULTADOS Y APRENDIZAJES**

Realizar mi servicio social en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) fue una experiencia que transformó mi manera de comprender la biología en un contexto aplicado y real. Más allá de los conocimientos técnicos, esta estancia representó un espacio de crecimiento personal, profesional y académico, en el que pude poner en práctica lo aprendido durante la licenciatura y adquirir nuevas habilidades.

El manejo de técnicas de biología molecular, como el cultivo celular y la evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes, me permitió familiarizarme con procedimientos experimentales que antes solo conocía desde lo teórico. Estas herramientas resultaron clave para desarrollar un pensamiento crítico respecto al diseño experimental, la interpretación de resultados y la formulación de hipótesis.

Además, trabajar en un ambiente profesional me permitió desarrollar competencias interpersonales importantes, como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, el

seguimiento de protocolos con responsabilidad y la capacidad de adaptación frente a situaciones inesperadas en el laboratorio.

La investigación sobre la respuesta celular a la contaminación atmosférica también impactó mi sensibilidad hacia los problemas ambientales que enfrentamos actualmente. Me motivó a comprometerme aún más con el estudio de los efectos de los contaminantes en la salud humana, y a considerar la investigación científica como una herramienta fundamental para incidir en la salud pública y en la generación de políticas ambientales.

Este servicio social fue una experiencia integral que reforzó mi vocación como bióloga, despertó mi interés por la toxicología ambiental y confirmó mi deseo de contribuir al conocimiento científico con responsabilidad, ética y compromiso social.

## **8. CONCLUSIÓN**

El Servicio Social constituye una fase fundamental en la formación profesional de los estudiantes universitarios, pues les permite integrar y aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la academia en contextos reales que contribuyen de manera tangible al bienestar de la sociedad. A través de esta experiencia, los estudiantes desarrollan habilidades técnicas, científicas y humanas que fortalecen su perfil profesional, al mismo tiempo que adquieren una mayor conciencia del impacto que su labor puede tener en la comunidad y el entorno.

En el caso específico del proyecto realizado, que evaluó la respuesta antioxidante en células pulmonares humanas expuestas a material particulado PM<sub>2.5</sub>, el Servicio Social permitió generar información valiosa que contribuye a comprender mejor los efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la salud respiratoria. Esta información es de gran relevancia, ya que la contaminación del aire es una problemática creciente que afecta a millones de personas en México y el mundo, y está estrechamente relacionada con enfermedades crónicas y agudas que representan una carga significativa para los sistemas de salud pública.

Además, el Servicio Social impulsó el desarrollo de competencias técnicas avanzadas, como la implementación de técnicas de biología molecular, y promovió el trabajo colaborativo en equipos interdisciplinarios. Estos aprendizajes fortalecen la preparación de los futuros biólogos para integrarse con éxito en ámbitos científicos, académicos o de salud, en donde su contribución pueda incidir positivamente en la mejora de las condiciones ambientales y sanitarias.

Asimismo, esta experiencia promovió en los estudiantes un sentido de responsabilidad social y compromiso ético, alentándolos a utilizar sus conocimientos y habilidades no solo para el progreso científico, sino también para la solución de problemas reales que afectan a comunidades vulnerables. De esta manera, el Servicio Social se convierte en un espacio donde la educación superior cumple un papel activo en la construcción de una sociedad más justa, equitativa y sostenible.

En conclusión, el Servicio Social representa una oportunidad invaluable para que los estudiantes contribuyan al desarrollo científico y social, al tiempo que consolidan su formación integral. Su impacto trasciende lo individual, pues beneficia directamente a la sociedad mediante la generación de conocimiento aplicado, la promoción de la salud pública y el fortalecimiento de la conciencia ambiental. Por ello, es indispensable reconocer y valorar esta etapa como un pilar para la formación de profesionales competentes y comprometidos, capaces de afrontar los retos actuales y futuros en beneficio del bienestar colectivo y el desarrollo sostenible del país.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

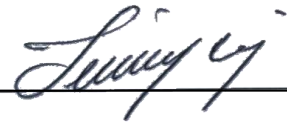
1. International Agency for Research on Cancer. Cancer Today. Global Cancer Observatory 2020. IARC, WHO, 2020. Disponible en: <http://bit.ly/3bsvutw>
2. International Agency for Research on Cancer. Cancer Today. México. Global Cancer Observatory 2020. IARC, WHO, 2020. Disponible en: <http://bit.ly/3qLjSbg>
3. Secretaría de Salud. Comunicado de Prensa 144. Tabaquismo, principal causa de cáncer de pulmón. DGCS, SSA, 2017. Disponible en: [https://www.gob.mx/salud/prensa/144\\_tabaquismo-principal-causa-de-cancer-de-pulmon?idiom=es-MX](https://www.gob.mx/salud/prensa/144_tabaquismo-principal-causa-de-cancer-de-pulmon?idiom=es-MX)
4. Rojas-Martínez R, Escamilla-Núñez C, Meza R, et al. Mortalidad por cáncer de pulmón en México, 1990 a 2016: efecto edad-periodo-cohorte. Salud Pública Mex. 2019;61:230-239. Disponible en: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/9962>

## **10. Vo Bo DE LOS ASESORES.**



**Dra. María del Carmen Monroy Dosta**

N° Eco. 28806  
Adscripción Unidad Xochimilco



**Dr. Jesús Valencia Cervantes**

Departamento de Investigación en  
Toxicología y Medicina Ambiental

Instituto de Enfermedades Respiratorias  
Ismael Cosío Villegas