

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**FUNCIÓN PULMONAR CON RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN A BIOMASA EN
MUJERES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2, EN ÁREAS RURALES DE
GUATEMALA**

MONOGRAFÍA

Presentada a la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Médicas de
la Universidad de San Carlos de Guatemala

Daysi Amarilis López Gómez
Jaquelinne Michelle Santizo Cotuc
Josué Daniel Guerra Coy

Médico y Cirujano

Guatemala, octubre de 2021



Orden de impresión

COORDINACIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN COTRAG 2021



El infrascrito Decano y la Coordinadora de la Coordinación de Trabajos de Graduación -COTRAG-, de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hacen constar que los estudiantes:

- | | | |
|--------------------------------------|-----------|---------------|
| 1. DAYSI AMARILIS LÓPEZ GÓMEZ | 201010330 | 1913762990310 |
| 2. JAQUELINNE MICHELLE SANTIZO COTUC | 200910045 | 2390236840101 |
| 3. JOSUÉ DANIEL GUERRA COY | 201021331 | 1593999390101 |

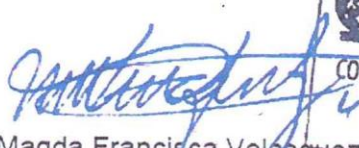
Cumplieron con los requisitos solicitados por esta Facultad, previo a optar al título de Médico y Cirujano en el grado de licenciatura, habiendo presentado el trabajo de graduación, en modalidad de monografía titulado:

FUNCIÓN PULMONAR CON RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN A BIOMASA EN MUJERES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2, EN ÁREAS RURALES DE GUATEMALA

Trabajo asesorado por el Dr. Héctor Domingo Cabrera y revisado por la Dra. Ana Eugenia Palencia, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firma y sella la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, el veinticinco de octubre de dos mil veintiuno


Dra. Magda Francisca Velásquez Tohom
Coordinadora




Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva, PhD
Decano



FACULTAD DE
CIENCIAS MÉDICAS
Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva
DECANO

Vo.Bo.



Autorización

COORDINACIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COTRAG 2021



La infrascrita Coordinadora de la COTRAG de la **Facultad de Ciencias Médicas, de la Universidad de San Carlos de Guatemala**, HACE CONSTAR que los estudiantes:

- | | | | |
|----|-----------------------------------|-----------|---------------|
| 1. | DAYSÍ AMARILIS LÓPEZ GÓMEZ | 201010330 | 1913762990310 |
| 2. | JAQUELINNE MICHELLE SANTIZO COTUC | 200910045 | 2390236840101 |
| 3. | JOSUÉ DANIEL GUERRA COY | 201021331 | 1593999390101 |

Presentaron el trabajo de graduación en la modalidad de Monografía, titulado:

FUNCIÓN PULMONAR CON RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN
A BIOMASA EN MUJERES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2,
EN ÁREAS RURALES DE GUATEMALA

El cual ha sido revisado y aprobado por la **Dra. Mónica Ninet Rodas González**, profesora de esta Coordinación, al establecer que cumplen con los requisitos solicitados, se les **AUTORIZA** continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, el veinticinco de octubre del año dos mil veintiuno.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Dra. Magda Francisco Velásquez
Tohom

Coordinadora

COORDINACIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COTRAG 2021

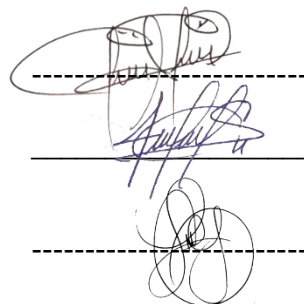
Guatemala, 25 de octubre del 2021

Doctora
Magda Francisca Velásquez Tohom
Coordinadora de la COTRAG
Presente

Dra. Velásquez:

Le informamos que nosotros:

1. DAYSI AMARILIS LÓPEZ GÓMEZ
2. JAQUELINNE MICHELLE SANTIZO COTUC
3. JOSUÉ DANIEL GUERRA COY



Presentamos el trabajo de graduación en la modalidad de MONOGRAFÍA titulada:

**FUNCIÓN PULMONAR CON RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN
A BIOMASA EN MUJERES CON DIABETES MELLITUS TIPO 2,
EN ÁREAS RURALES DE GUATEMALA**

Del cual el asesor y la revisora se responsabilizan de la metodología, confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

FIRMAS Y SELLOS PROFESIONALES

Asesor: Dr. Héctor Domingo Cabrera



Dr. Héctor Cabrera J.
Neumología.
Col. 5977

Revisora: Dra. Ana Eugenia Palencia



Dra. Ana Eugenia Palencia
Médico y Cirujano
Colegiado No. 5931

Reg. de personal 20040392

DEDICATORIAS

Daysi Amarilis López Gómez

Dedico a Dios, porque siempre fue el que me dio fuerza sobre todas las cosas, a mis padres, Sebastián López y María Gómez, por ser un pilar y por su amor incondicional, por apoyarme en esta gran decisión de ser médica; a mis hermanas Nanci, Carla, Lesli y Celeste, por ser mis cómplices, por su amor y apoyo emocional; a mis sobrinas Katherine y Elizabeth. A Jorge, Katy y Josesito Dostal, por su gran amor y por ser una segunda familia y mi segundo pilar en la vida. A Brayan Zimmer, por su apoyo incondicional y darme esta oportunidad de ser médica, a mis amigos de la Universidad que estuvieron siempre a mi lado. A mis compañeros de trabajo de graduación. ¡Gracias por estar acá y confiar en mí!

Jaquelinne Michelle Santizo Cotuc

Dedico este logro que con esfuerzo y perseverancia llego a cumplir, primero, a Dios por darme fuerza para finalizar este largo trayecto que desde joven decidí recorrer con el fin de servir y ayudar. A mi madre Ester Cotuc, por ser el pilar en mi vida, darme el amor y el apoyo diario a través de los años, por sus desvelos y sus madrugadas junto a mí. A mi padre Eddy Santizo, por apoyarme en mi sueño. A mis hermanos Gabriela y Emanuel, por el aliento por seguir. A mis compañeros y amigos que la vida me dio con el pasar de los años y a mis compañeros de trabajo de graduación, con quienes culmino esta etapa para iniciar una nueva como excelentes profesionales.

Josué Daniel Guerra Coy

Primero agradezco a Dios por guiarme en estos años, con tantas dificultades, a culminar con mi sueño y así honrar a mi familia siendo un profesional, con la vocación de ayudar y aliviar al más necesitado.

Dedico este trabajo a mi casa de estudio, Universidad San Carlos de Guatemala, porque a donde me dirija me llenará de orgullo el alma mencionar que soy egresado de sus aulas.

Al mismo tiempo le dedico este trabajo a mis padres, hermanos y cuñado, en especial a mi querido padre, que desde los cielos se llena de regocijo y sé que con euforia me dice que está orgulloso de mí.

A mi novia, porque cada día me motivó con sabiduría y amor a seguir adelante, a no darme por vencido con mi sueño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: por guiarnos y tomar nuestras manos durante todo este camino, darnos fortaleza en cada momento, principalmente en los de mayor dificultad, por dotarnos de sabiduría, fuerza, valentía y paciencia.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de Medicina: por todas las enseñanzas y por proveernos las herramientas necesarias para nuestra formación profesional.

A nuestra revisora de la coordinación de trabajos de graduación -COTRAG-: Dra. Mónica N. Rodas G. por brindarnos el conocimiento y orientación sobre el trabajo de graduación.

A nuestro asesor: Dr. Héctor Domingo Cabrera Juárez, neumólogo, por todo el apoyo y conocimiento brindado en el desarrollo del presente trabajo de graduación,

A nuestra revisora: Dra. Ana Eugenia Palencia Alvarado por brindar el apoyo en las revisiones del trabajo de graduación.

Índice

Prólogo	II
Introducción	III
Objetivos	IV
Métodos y Técnicas	V
Capítulo 1. Función pulmonar y Diabetes Mellitus tipo 2	1
Capítulo 2. Función pulmonar Y exposición a biomasa	12
Capítulo 3. Análisis.....	20
Conclusiones.....	26
Recomendaciones.....	27
Referencias bibliográficas	28
Anexos	35

De la responsabilidad del trabajo de graduación:

El autor o autores es o son los únicos responsables de la originalidad, validez científica, de los conceptos y de las opiniones expresados en el contenido del trabajo de graduación. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Coordinación de Trabajos de Graduación, la Facultad de Ciencias Médicas y la Universidad de San Carlos de Guatemala. Si se llegara a determinar y comprobar que se incurrió en el delito de plagio u otro tipo de fraude, el trabajo de graduación será anulado y el autor o autores deberá o deberán someterse a las medidas legales y disciplinarias correspondientes, tanto de la Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de San Carlos de Guatemala como de las otras instancias competentes, que así lo requieran.

Prólogo

Aunque fue difícil el camino, están llegando a una de sus metas, el haber finalizado esta monografía de compilación sobre la función pulmonar en relación con el índice de exposición a biomasa en mujeres con diabetes tipo II en áreas rurales, que en un principio fue planteado como un trabajo de tesis, pero como bien se sabe, la pandemia nos vino a cambiar todo, pero no por ello, el esfuerzo y dedicación que han tenido en dicho trabajo.

Lamentablemente en nuestro país ha ido en aumento el problema de la Diabetes Mellitus, se tiene problemas graves de desnutrición en la niñez y problemas de sobrepeso y obesidad en la juventud y adultez, sobre todo, en las mujeres. Y aunado a ello tenemos un gran porcentaje de nuestra población viviendo en la pobreza y pobreza extrema especialmente en el área rural, cuyos habitantes tienen en su mayoría la biomasa como fuente de combustible y la mujer es quien está en mayor exposición, por el rol que juega dentro de los hogares.

Todo ello hace que la función pulmonar se vea alterada y muchas veces ignorada, hasta que el daño muchas veces ya es irreversible, he ahí la importancia de esta monografía, el demostrarnos que debemos estar atentos y llevar un control integral a las pacientes diabéticas y, sobre todo, cuando está aunado a la exposición a la biomasa.

Este trabajo consta de tres capítulos, en el primero trata sobre la función pulmonar y la Diabetes Mellitus, el capítulo dos sobre la función pulmonar y la exposición a la biomasa y en el último hacen un análisis sobre la exposición a biomasa en pacientes diabéticos tipo II.

Esta monografía es muy interesante, por lo que invito a leerla con detenimiento.

Ana Eugenia Palencia Alvarado.

Introducción

La Diabetes Mellitus tipo 2 (DM2) es una enfermedad crónica, degenerativa, que va en constante aumento en Guatemala, es la segunda enfermedad no transmisible en el país con mayor incidencia y aumento exponencial.^{1,2} Presenta complicaciones causadas por la hiperglucemia crónica y alteración metabólica, que pueden afectar los tejidos de los diferentes órganos, lo que se asocia con anormalidades fisiológicas y estructurales, incluyendo trastornos del sistema respiratorio.³⁻⁶

Existen factores de riesgo que sumados a la patología de la DM2 aumentan el daño pulmonar, tal es el caso del uso de biomasa en los hogares, siendo esto un problema a nivel mundial. La biomasa utilizada como fuente de energía derivada de la combustión de materia orgánica entre los cuales se encuentran la leña, el carbón, estiércol, hojas de árboles, papel, cartón, entre otros; para generar calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación, fuente de ingreso económico y su principal uso en cocinas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2018, reportó que la biomasa es utilizada por más de más de 3 billones de personas en sus hogares, en especial la madera de los bosque de la región.⁷

Según este antecedente se analizó la importancia entre la relación que existe en la función pulmonar y exposición a biomasa en pacientes femeninas con diabetes mellitus tipo 2 que viven en áreas rurales de Guatemala. Según la Organización Panamericana de la salud (OPS) en el año de 2017, menciona que aproximadamente el 64% de la población guatemalteca utiliza la biomasa como fuente principal de abastecimiento energético, y el 88.3% de esta población se encuentran en las áreas rurales, por lo que es de sumo interés el estudio, debido que el humo producido por la combustión de biomasa es un factor que predispone a desarrollar diferentes problemas respiratorios y sobre todo entre personas con comorbilidades como la DM2, como se describe anteriormente.⁸

Para la compilación de datos con información de base científica, se utilizó medios físicos y electrónicos, con los cuales se logra desarrollar los temas fundamentales de esta investigación, para responder la interrogante ¿Cuál es la relación de la exposición a biomasa y la función pulmonar en mujeres con Diabetes Mellitus tipo 2 en las áreas rurales en Guatemala? Se describe el patrón espirométrico en pacientes con la enfermedad de DM2 de base, por lo que se explora la función pulmonar y la Diabetes Mellitus Tipo 2. Además de la permanente problemática de la contaminación del aire en los hogares, se expone la función pulmonar y exposición a biomasa.

Objetivos

Objetivo general

Describir la relación de la función pulmonar y la exposición a biomasa en mujeres con diabetes mellitus tipo 2, en áreas rurales de Guatemala.

Objetivos específicos

1. Describir el patrón espirométrico en personas con DM2.
2. Definir los riesgos de la exposición a biomasa en la salud.
3. Describir la relación de la exposición a biomasa y el daño en la función pulmonar.

Métodos y técnicas

Tipo de estudio

Monografía de compilación.

Diseño de investigación

Descriptivo.

Descriptores

Se utilizaron los descriptores de ciencias de la salud (DesCS) “Neumología”, “Diabetes Mellitus TIPO 2”, “Espirometría”, “Biomasa”, “Función pulmonar”, de esta misma manera se utilizan los homólogos en inglés (MeSH) “*Diabetes Mellitus and Lung*”, “*Pulmonary Function*”, “*Air Pollution*”, revistas, informes científicos, publicaciones oficiales y actas de congresos. Estos descriptores se relacionan por medio de operadores booleanos “AND” y “OR” para recuperación o búsqueda de información de los términos anteriores.

Selección de fuentes de información

Se seleccionaron fuentes de datos cuantitativos y cualitativos, se utilizaron buscadores bibliográficos y de bases de datos: PubMed, Elsevier, Intramed, ScienceDirect Electronic, Ncbi, PubReader, BMC, ResearchGate, PMC (PubMed Central) y Google Académico, así también se consultaron libros de información médica. Además, se buscaron documentos como boletines, fuentes nacionales como el portal del Ministerio de Salud Pública y asistencia Social de Guatemala, el Ministerio de Energía y Minas de la república de Guatemala. Además, se utilizó la búsqueda avanzada de Google, utilizando el comando de filetype: pdf para que únicamente se mostraran documentos específicos en formato PDF.

Selección del material por utilizar

En los resultados de las búsquedas, se recopila información de 14 ensayos clínicos, donde los descriptores utilizados fueron “Diabetes mellitus” AND “Lung Function” OR “Air pollution”; 7 meta análisis, descriptores utilizados “Diabetes mellitus 2” AND “Pulmonary function” OR “spirometric test” AND “biomass fuels”; 5 revisiones sistémicas de estudios de cohortes, descriptores utilizados “Pulmonary Function test” AND “Spirometry”; 7 estudios de casos y controles, descriptores utilizados “Diabetes Mellitus” AND “air pollution” OR “biomass” “Pulmonary Function”; 3 informes de ponencias en congresos, descriptores utilizados “Contaminación” “Diabetes mellitus” AND “Función pulmonar” OR “uso de biomasa” 1 libro de neumología clínica;

1 libro de medicina; 2 notas descriptivas de páginas de OMS y OPS; 3 informes de instituciones nacionales.

Criterios en la búsqueda de los documentos de información primaria

- Idioma: español e inglés
- Años de publicación: se utilizó información de estudios desde 2008 hasta el 2020.
- Diseño de los estudios de investigación: se hizo revisión bibliográfica de estudios tanto cuantitativos como cualitativos.
- Tipo de estudio de investigación: se utilizaron estudios de diseño transversal, de grupos de casos y controles, y metaanálisis.
- Descriptores utilizados DesCS: “Neumología”, “Diabetes Mellitus TIPO 2”, “Espirometría”, “Biomasa”, “Función pulmonar”, de esta misma manera se utilizan MeSH “Diabetes Mellitus and Lung”, “Pulmonary Function”, “Air Pollution”, revistas, informes científicos, publicaciones oficiales y actas de congresos. Estos descriptores se relacionan por medio de operadores booleanos “AND” y “OR” para recuperar o buscar información que contengan los términos de búsqueda. Además, se utilizó el buscador Google avanzado para filtrar filetype: pdf con los descriptores además agregando el comando de metaanálisis, debido que estos son fuentes de mayor importancia en los datos buscados de la monografía.

Criterios en la búsqueda de los documentos de información secundarias

Se utilizaron libros, manuales y artículos de opinión, que presenten información necesaria para lograr los objetivos planteados, que estén en inglés o español.

Procesamiento de análisis

Se revisaron bibliografías que contengan datos actualizados y sean accesibles, que respondan a las interrogantes de la investigación por lo que se realizó una base de datos con las bibliografías utilizadas para organizar la información obtenida, colocando en columna: el nombre, los descriptores utilizados, tipo de estudio, idioma y buscador, para realizar las matrices de datos según descriptores (DeCS y MeSH) y según tipo de investigación (ver tabla anexo 1 y 2). Para la realización de la matriz de datos según tipo de investigación se empleó la interpretación de los tipos de estudio, para obtener un análisis claro y una mejor decisión sobre la calidad y nivel de evidencia científica. Para tener un mejor orden se utiliza gestor bibliográfico Zotero que es de acceso gratuito.

Capítulo 1. Función pulmonar y Diabetes Mellitus tipo 2

SUMARIO

- Función pulmonar
- Antecedentes
- Patogenia
- Espirometría y DM2

La función pulmonar se ve afectada durante el desarrollo de la Diabetes Mellitus, los principales causantes del deterioro de la función son dos factores que favorecen el patrón restrictivo; encontrando que la exposición prolongada a hiperglucemia sanguínea aumenta proporcionalmente las posibilidades de glucosilación no enzimáticamente en tejido conjuntivo, y el segundo es el daño microvascular del pulmón relacionado con DM2.⁹

1.1 Función pulmonar

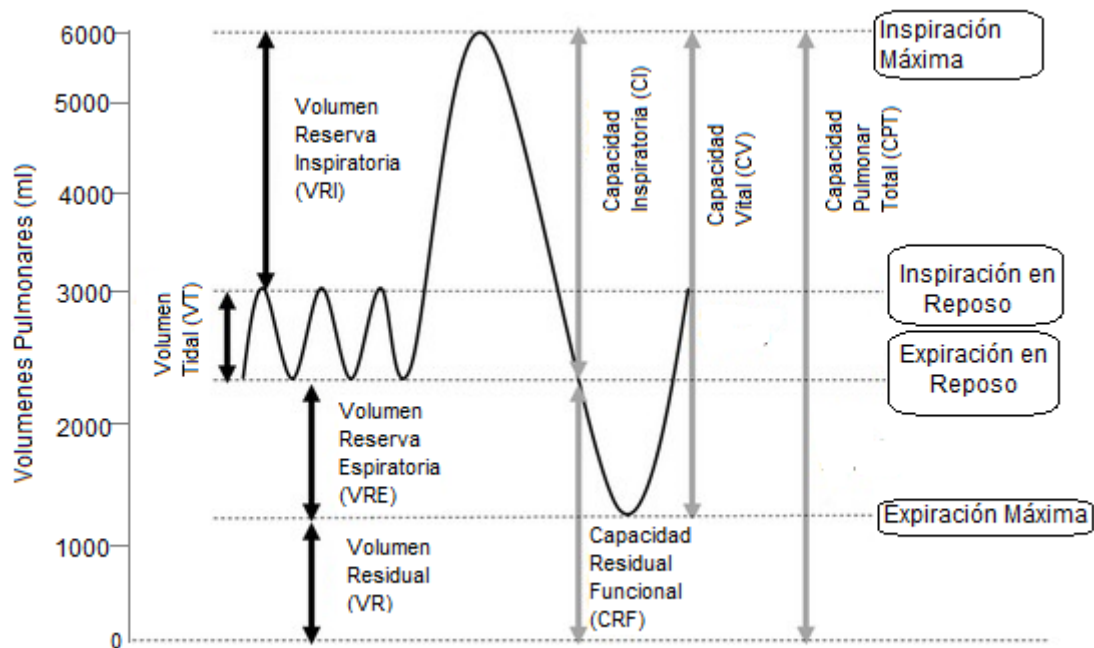
Los pulmones son uno de los principales órganos del cuerpo humano, encargados del intercambio gaseoso entre el oxígeno (O_2) del medio ambiente que llega a las áreas distales del pulmón y por medio de la difusión simple cambia el O_2 por el dióxido de carbono (CO_2) que produce nuestro cuerpo mediante los alvéolos a los capilares, oxigenando la sangre. Esta es una de las razones de la importancia de su estudio con diversas patologías y el daño que puede producir a nivel pulmonar de los pacientes.^{3-5,9}

1.1.1 Ventilación pulmonar

El movimiento de gas inspirado y el gas que es exhalado y expulsado del pulmón se llama ventilación. Los pulmones son órganos torácicos. Entre sus elementos se encuentra los alveolos y capilares propiamente dicho, es aquí donde se lleva el intercambio de gases oxígeno y dióxido de carbono. Para comprenderlo se deben tener en cuenta conceptos básicos como los volúmenes y capacidades pulmonares, las cuales se encuentran en la tabla No.1. La suma de los volúmenes se denomina volumen máximo, el cual se encarga de producir expansión pulmonar o la denominada inhalación y exhalación. En la figura No. 1 se puede observar el aproximado de cada volumen.^{10,11}

- Volumen corriente (Vc): volumen de aire que se inspira o se espira durante cada respiración normal.
- Volumen de reserva inspiratoria (VRI): es el volumen extra de aire que se puede inspirar desde un volumen corriente y por arriba de los valores de este, cuando la persona realiza una inspiración forzada.
- Volumen de reserva espiratoria (VRE): volumen adicional máximo que logre espirar el paciente mediante una espiración forzada al finalizar una espiración a volumen corriente normal.
- Volumen residual (VR): se le denomina así al volumen de aire que queda en los pulmones, al finalizar la espiración.^{10,11}

Figura 1. Flujo de volúmenes y capacidades pulmonares



Fuente: Modificación de *The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements* volume measurements. Multidiscip Respir Med 12, 3 (2017).¹¹

Tabla No. 1. Capacidades pulmonares

	Definición	Volumen aprox.
Capacidad inspiratoria (CI) Vc+VRI	Capacidad de aire que se puede inspirar, expandiendo los pulmones hasta su máxima capacidad. Iniciando con una espiración normal	3500 ml
Capacidad Residual Funcional (CRF) VRE+ VR	Es la cantidad de aire que queda en los pulmones al finalizar una espiración normal	2300 ml
Capacidad Vital (CV) VRI+Vc+VRE o CI+VRE	Es la cantidad máxima de aire que puede expulsar una persona desde los pulmones después de una inspiración máxima y posterior realizar una espiración máxima.	4600 ml
Capacidad Pulmonar Total (CPT) CV+VR	Es el volumen máximo que el paciente pueda expandir los pulmones con el máximo esfuerzo posible.	5800 ml

- **Fuente:** Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology - 13th Edition.¹⁰

1.2 Antecedentes

En la revista médica publicada por *American College of Chest Physicians*, CHEST, publicada en 2010, se describe el metaanálisis *Pulmonary Function in Diabetes* incluye 40 estudios que detallan la función pulmonar en pacientes con DM tipo 1 y 2, en el cual predominan los estudios con DM2. Los resultados brindan la relación que existe entre la disminución moderada de la función pulmonar y la patología de DM2 en los que predomina un patrón restrictivo pulmonar. En consenso se determinó que existen dos factores que favorecen el patrón restrictivo: el primero es la exposición prolongada a hiperglucemia sanguínea la cual aumenta proporcionalmente las posibilidades de glucosilación no enzimáticamente en tejido conjuntivo, y el segundo es el daño microvascular del pulmón relacionado con DM2.⁹

Así mismo, en 2020 se realiza el estudio de metaanálisis *Pulmonary function test in type-2 diabetes* en donde se concluye que la DM2 se asocia con el deterioro de la función pulmonar, se demuestra que VEF₁ y VCF se encuentran disminuidos, mientras que el cociente de VEF₁/VCF no se encuentra alterado. Concluyen que la pérdida de VEF₁ y VCF es aproximado de 300 ml, tomando en cuenta estos dos metaanálisis con respecto al daño pulmonar que puede causar la DM2, y esta última es una patología que día a día va e irá en aumento, por lo que es importante su estudio.¹²

Durante el año 2013 en India, se publicó el estudio de tipo retrospectivo transversal comparativo titulado *Pulmonary Function Test in Type 2 Diabetics and Non-Diabetic People*, el cual hace énfasis en que uno de los órganos diana que sufre daño por microangiopatía secundaria a DM2 es el pulmón. En este se realizan pruebas de función pulmonar en un grupo de pacientes diabéticos y un grupo de controles entre los 40-65 años. Se utilizó un apareamiento entre ambos grupos según sexo, edad e índice de masa corporal (IMC), ejecutando la espirometría, obteniendo datos de CVF, VEF₁ y relaciones VEF₁/CVF, analizadas en el programa EPI INFO, con resultados que evidencian una significativa reducción de esta prueba en pacientes con DM2. Obtienen una disparidad entre la VEF₁ de los pacientes con DM2 y los controles, de 0.4656 lt. Asimismo una reducción del CVF de 0.927 lt, mientras que la relación VEF₁/CVF se encuentra aumentada en el grupo de pacientes con DM2 evidenciando así, un patrón restrictivo.¹²

India ha presentado diversidad de estudios, en el mismo año 2013 se publicó el estudio titulado *Study of Pulmonary Function Test in Type 2 Diabetes Mellitus: Case Control Study*, estudio dirigido a la determinación de la influencia en base a la duración y severidad de DM2 con relación a la función pulmonar y la microangiopatía. Fue realizado en un grupo de 30 pacientes con DM y un grupo control con apareamiento en edad y sexo, siendo previamente elegidos, según criterios de inclusión y exclusión, con lo que se realizó prueba de función pulmonar a través de espirometría entre ambos grupos. Se demuestra que, de todos los casos, 22 pacientes presentan patrón restrictivo, 2 patrón obstructivo y el resto un patrón mixto con ausencia de sintomatología respiratoria. De esta manera se describen patrones patológicos y disminución de la CVF y VEF₁ asociada a la duración de la enfermedad.¹³

Según el artículo publicado en el año 2014 de la Universidad Estatal de Lagos, Nigeria, titulado: *Correlates of Abnormal Pulmonary Function Tests in Persons with Type 2 Diabetes Mellitus* se determinó que el patrón ventilatorio en pacientes con DM2 fue relacionado con los factores edad y tiempo de exposición de la enfermedad. Se utilizó una muestra de 200 pacientes con una edad media de $59,6 \pm 11,30$ años, con una media de $30 \pm 7,78$ años de duración de la enfermedad. De la muestra estudiada 114 (57%) de ellos presentaron un patrón ventilatorio anormal con defecto restrictivo.¹⁴

Primero, para la muestra se definió como factor de exclusión el uso de tabaco, exposición al polvo, antecedentes médicos de asma, enfermedad obstructiva crónica pulmonar (EPOC), insuficiencia cardíaca y DM2 diagnosticada según los valores de glucosa preprandial ≥ 126 mg/dl (7.0 mmol/l) o glucosa plasmática al azar ≥ 200 mg/dl (11,1 mmol/l). Al igual si la edad de presentación clínica era menor a 30 años se diagnosticaron como DM1 excluyéndose del estudio.¹⁴

Seguidamente los valores espirométricos obtenidos en el estudio se relacionaron con la clasificación: “normales” si $VEF_1/CVF \geq$ al 70%, defecto ventilatorio obstructivo si $FEV1/FVC \leq$ del 70%, defecto respiratorio restrictivo si la relación de $VEF_1/CVF \geq$ del 70% más una proporción de CVF obtenida/ CVF predicha $<$ al 80%; defecto ventilatorio mixto si el $VEF_1/CVF <$ al 70% y la relación entre la CVF obtenida y la CVF predicha $<$ al 80%”.¹⁴

Asimismo, determina que la edad de los pacientes se relaciona con valores anómalos de función pulmonar VEF_1 y CVF; además el factor con mayor significancia con la función pulmonar anormal es la hipertensión (odds ratio=0.39, $P = 0.009$).¹⁴

El estudio desarrollado en el Hospital y Centro de Investigación de Tamil Nadu en India, por el Dr. Anandhalaksmi S., titulado: *Intercambio de gases alveolares y función pulmonar en pacientes con Diabetes Mellitus tipo II*, publicado en el año 2013, tuvo como objetivo determinar los cambios que se producen en el sistema respiratorio, secundarios a la hiperglucemia sanguínea, por lo que realizó un estudio de casos y controles. Los primeros 30 pacientes son con DM2 de 30 a 60 años y los últimos 30, pacientes no diabéticos que presentaran las mismas edades.¹⁵

Se concluye que la función pulmonar medida en parámetros como CVF, VEF₁, PEFR, PIF, FIVC, CPT y alveolar, demostró que el intercambio de gases se ve disminuido en pacientes con DM2 que asemeja a un patrón restrictivo respiratorio. Ya que los cambios sistémicos en el organismo por niveles elevados de glucosa en sangre se atribuyen a procesos bioquímicos en las proteínas de la membrana basal de los órganos. Progresivamente los cambios que se producen son de tipo no enzimático de glucosilación de las proteínas en las cuales encontramos el colágeno, elastina, entre otras. Por lo que, el engrosamiento de la membrana basal acompañado de la microangiopatía a nivel de los alvéolos, disminuye los diferentes volúmenes pulmonares.¹⁵

El artículo *Diabetes and Lung* del Acta Médica Colombiana publicado en el año 2008, hace una recopilación de diversos estudios, entre los que destaca que la DM2 es una enfermedad sistémica que involucra prácticamente a todos los órganos incluyendo los pulmones; estos representan mayor susceptibilidad a cambios por microangiopatía. Se ha demostrado en estudios *post mortem* el engrosamiento de la membrana basal capilar y el epitelio alveolar en pacientes con antecedente médico de DM2.¹⁶

Este artículo hace referencia a que, según el análisis espirométrico de un grupo conformado por 3 254 de personas, la disminución de la función pulmonar incluyendo la capacidad vital, flujos, capacidad de difusión, elastancia y reducción en el volumen capilar, se da mayormente en pacientes fumadores actuales, en comparación con exfumadores. Sugiere que la inflamación ocasionada por el humo del cigarrillo es un factor determinante de estos resultados. Concluye en que la disfunción pulmonar en un porcentaje mayor de los pacientes es de tipo subclínico, logrando así no brindar la importancia debida al estudio de la funcionalidad pulmonar por medio de la espirometría, pues al ser este un estudio no invasivo que brinda datos certeros de la función pulmonar, puede orientar sobre la microangiopatía sistémica secundaria a DM2 y su progresión.¹⁶

En la misma edición del Acta Médica Colombiana del 2008, publican el estudio transversal de casos y controles titulado: *Diabetes Mellitus tipo 2 y deterioro de la función pulmonar*. En el cual se estudiaron 262 personas diabéticas y 262 no diabéticas, la muestra de diabéticos fue seleccionada de los pacientes que consultaron a la Asociación Colombiana de Diabetes. Se excluyeron a pacientes con enfermedades del colágeno ya

que pueden cursar con niveles elevados en sangre de reactantes de fase aguda o citoquinas. Otros criterios de exclusión fueron pacientes con fibrosis quística, antecedentes de herida o traumatismo de tórax, mujeres gestantes y pacientes con deformación maxilofacial.¹⁷

Los pacientes diabéticos y los controles evidenciaron diferencias en los resultados de CVF siendo menor en diabéticos, con una mayor relación VEF_1/CVF , este resultado es estadísticamente significativo sin ajustar a otras variables, confirmando los hallazgos sobre disminución en función pulmonar, las cuales se asocia con el bajo control neurológico en diabéticos.¹⁷

1.3 Patogenia

En diferentes estudios realizados se ha evaluado la fisiopatología que ocurre en el deterioro a nivel pulmonar en relación con la diabetes. Se han identificado varios mecanismos potenciales: microangiopatía de los capilares alveolares o arteriolas pulmonares, inflamación crónica de bajo grado, neuropatía autonómica que afecta músculos respiratorios, pérdida de retroceso elástico secundario a la glicosilación de colágeno del parénquima pulmonar, resistencia a la insulina inducida por hipoxia, entre otros, que se siguen estudiando (figura No. 2).^{3,4,18,19}

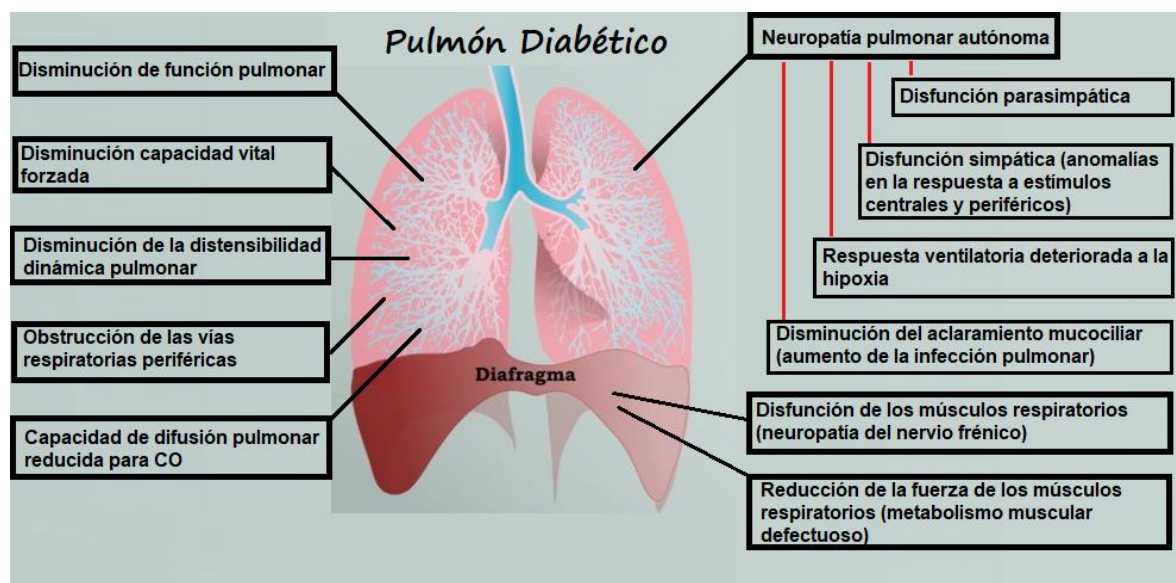


Figura 2. Anomalías del tracto respiratorio en pacientes con diabetes mellitus, imagen modificada y traducida inglés -español.¹⁹

1.3.1. Angiopatía diabética

Como se ha mencionado anteriormente la función principal de los pulmones es facilitar el intercambio de gases al torrente sanguíneo del entorno externo. El oxígeno se transporta a través de los alveolos hacia la red capilar para ingresar al sistema arterial y realizar el intercambio con el dióxido de carbono a través de difusión, para la perfusión de los tejidos. La barrera de gases en el torrente sanguíneo es extremadamente delgada y tienen un área entre 0.3 μm en algunos lugares.^{15,19,20}

La DM2 presenta trastornos a nivel microvascular y macrovascular con efectos debilitantes en diversos órganos. La red alveolocapilar (superficie=140 m^2) en el pulmón es una unidad microvascular, ya que la red vascular pulmonar recibe todo el gasto cardiaco y constituye el mayor órgano microvascular del cuerpo puede ser afectada por microangiopatía sistémica, la cual consiste en el engrosamiento de las paredes de los vasos pequeños con el estrechamiento luminal.^{3,13,19-21}

Según el metaanálisis “*Pruebas de función pulmonar en diabetes tipo 2*”, la alteración de la estructura de la microcirculación capilar altera la perfusión pulmonar y cambia la relación que existe en la ventilación/perfusión, lo que explicaría la reducción de la capacidad de difusión de los pulmones para el monóxido de carbono en pacientes con DM2. La microangiopatía en los alveolos puede restringir los volúmenes y capacidades pulmonares.^{19,20,20,21}

Sin embargo, debido a su gran reserva se puede tolerar una pérdida sustancial de la red microvascular sin desarrollar disnea. Como resultado, la alteración de la microangiopatía pulmonar generalmente permanece poco reconocida clínicamente, por lo que sus estudios son escasos.^{3,20,21}

1.3.2 Neuropatía autónoma

La neuropatía que se sufre por DM2 puede afectar a todo el sistema autónomo, las cuales afectan las fibras vasomotoras, visceromotoras y sensoriales que inervan cada órgano del cuerpo humano.³ La neuropatía autónoma, según los diversos estudios, ha demostrado que se caracteriza por la denervación neuro adrenérgica del pulmón y los

músculos respiratorios, la cual explica la disfunción pulmonar observada en pacientes con DM2.^{3,19,19,22}

Esto se debe junto a un aumento del catabolismo de proteínas ya que hay una disminución de la fuerza de los músculos respiratorios y trastornos metabólicos que conduce a la neuropatía del nervio frénico, lo cual causa parálisis diafragmática, provocando cambios en la función pulmonar del diabético.^{5,22}

La neuropatía pulmonar autónoma en pacientes diabéticos da como resultado respuesta ventilatoria alterada y por consecuente hipoxia, además de alteración pulmonar, lo que da como conduce a anomalías en la respuesta ventilatoria a los estímulos centrales y periféricos. La neuropatía pulmonar autónoma reduce el aclaramiento mucociliar y hace que el pulmón sea propenso a las infecciones pulmonares en pacientes diabéticos.^{3,19,20,22}

1.3.3 Engrosamiento de membrana basal alveolar

Se han realizado estudios histológicos en los que se ha encontrado que la lámina basal del capilar endotelial y epitelio alveolar era significativamente más gruesa en los diabéticos que en sujetos control, estos cambios se presentan en una disminución de difusión pulmonar debido al engrosamiento y cambios fibróticos. Esta fibrosis causa disminución en la elasticidad pulmonar reducida y puede disminuir los volúmenes pulmonares en pacientes con DM2.^{12,20,22}

1.3.4 Cambios bioquímicos

Se han planteado diversos mecanismos bioquímicos para explicar el daño pulmonar observado en los pacientes con DM2. La hiperglucemia de larga duración desencadena la regulación positiva de una variedad de vías que están potencialmente involucradas en la lesión pulmonar diabética: el estrés oxidativo, la glucación no enzimática de proteínas, las vías del poliol y la producción de sorbitol, las vías NF-Kb y la activación de proteína cinasa C; provocando cambios en los pulmones y reduciendo los antioxidantes.^{5,19}

- **Estrés oxidativo**

El estrés oxidativo aumenta la glucosilación no enzimática y la pérdida de la capacidad antioxidante puede causar disfunción endotelial pulmonar y engrosamiento del

intersticio pulmonar con DM2. Esto se produce por hiperglucemia de larga duración, lo que provoca un exceso de especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno lo que no pueden ser superadas por los antioxidantes, provocando así daño en el ADN, los lípidos y las proteínas.^{5,19}

- Vía de poliol

La hiperglucemia disminuye los niveles de nicotinamida adenina dinucleótido (NAD⁺) mediante la activación de la vía de poliol y la sobreactivación de la poli (ADP-ribosa) - polimerasa (PARP), es concebible que el nivel de NAD⁺ reducido en el pulmón diabético puede agravar el daño celular y tisular.^{5,19}

- Glucosilación de proteínas no enzimáticas

La glucosilación no enzimática se acelera por el estrés oxidativo y los niveles altos de aldosis. La hiperglucemia intracelular a través de la reacción de Maillard no enzimática que hacen surgir los productos finales de glucación avanzada, que son un grupo heterogéneo de proteínas, lípidos y ácidos nucleicos modificados. La formación y acumulación de estas proteínas están involucradas en la patogenia de las complicaciones vasculares diabéticas.^{5,19}

1.4 Espirometría y DM2

La espirometría es una prueba básica para evaluar la función pulmonar, por medio de ella se registra el volumen de oxígeno que inhalan y dióxido de carbono que exhalan los pulmones, este determina el tamaño de los pulmones y bronquios.^{10,23,24}

Este estudio permite medir el volumen y flujo de aire, la capacidad vital forzada, el máximo volumen espiratorio, posterior a realizar una inspiración máxima y la aceleración con la que se puede movilizar el FVC.^{11,23,23} El VEF₁ es la cantidad de aire que puede sacar un individuo en un segundo después de realizar la espiración máxima forzada. El VEF₁ y el cociente de VEF₁/FVC son los parámetros que se utiliza para medir las obstrucciones al flujo aéreo.^{10,23}

Según diferentes estudios realizados, entre estos 2 metaanálisis *Pulmonary function in diabetes* y *Pulmonary function tests in type 2 diabetes*, publicados en el 2010 y 2020 respectivamente, en la espirometría se encontraron cambios significativos en los

parámetros de los valores de VCF Y VEF_1 que se encuentran disminuidos en pacientes diabéticos, en comparación con los pacientes que no son diabéticos de la misma edad y sexo, presentando una reducción de casi 10% en ambas pruebas, excepto el cociente de VEF_1/VCF . El metaanálisis “*Pulmonary function tests in type-2 diabetes. A meta-analysis*”, 2020, en los pacientes con DM2 se observó el deterioro funcional de aproximadamente 300 ml.^{9,20}

Los valores disminuidos de VCF, VEF_1 y el valor normal de VEF_1/VCF muestran un patrón restrictivo de enfermedad pulmonar en los diabéticos, los cuales, según estudios realizados y analizados, los pacientes con DM2 tienen un deterioro pulmonar restrictivo y los niveles glucémicos y la duración pulmonar son los principales causantes de la patología pulmonar.^{3,9,19-22}

Por lo que se logra concluir que la duración de la DM2 y las hiperglucemias crónicas en pacientes ocasiona alteración de la elasticidad de la microvasculatura, además de generar fibrosis por el engrosamiento del epitelio alveolar, lo que produce una disminución de la acumulación de aire en la inspiración, evidenciando así un patrón predominantemente restrictivo demostrado en la espirometría, en la cual se encuentran los parámetros de los valores de VCF Y VEF_1 disminuidos en estos pacientes.

Capítulo 2. Función pulmonar Y exposición a biomasa

SUMARIO

- Epidemiología
- Biomasa
- Combustible de biomasa
- Exposición a biomasa en la salud
- Función pulmonar y exposición a biomasa

El combustible de biomasa es cualquier material vegetal o animal que es quemado como combustible (madera, carbón, estiércol seco, pasto, entre otros). En los hogares de las áreas rurales de Guatemala el uso de combustible de biomasa, más común es la leña, como fuente principal de energía utilizada para uso doméstico, debido a los recursos económicos escasos y la limitación para tener otra fuente de energía. (2,25,26) Entendiendo que las partículas generadas al momento de la combustión del material orgánico forman adherencia dependiendo de su tamaño, en el trayecto del tracto respiratorio, y de esta manera propician la disminución de las funciones pulmonares, donde la alteración obstructiva es leve y donde la declinación del VEF₁ y VCF se evidencia.²⁷⁻²⁹

2.1 Epidemiología

El suministro de energía primaria de la biomasa y la más utilizada a nivel mundial es la biomasa leñosa en general, debido que es el 90% de la energía obtenida de todas las formas de biomasa anualmente. Según la OMS en la actualización de 2016, aproximadamente 3 mil millones de personas cocinan con combustibles en fuegos abiertos y estufas ineficientes. En algunos países, alrededor del 70% de la población rural la utiliza como fuente de energía.^{7,26,30}

Además, cada año va en aumento la muerte prematura en personas con enfermedades atribuibles a la contaminación del aire, con un aproximado de 7 millones de muertes, del cual más del 60% se debe a la contaminación de humo en el hogar por prácticas ineficientes, a casi 4,3 millones de personas que mueren se les asociada a esta causa.³¹

Se han realizado diferentes estudios en diversos países en los que se encuentra la tabla de porcentajes que realizó la OMS, acerca de los hogares a nivel mundial que utilizan combustibles sólidos en las regiones con mayor porcentaje, así se encuentran con extensas áreas rurales y se les considera como las más pobres entre estas figuran África subsahariana, el área sudoeste de Asia y región del pacífico occidental.³²

En las regiones de América Latina y del Caribe, Haití es el país que más consume biomasa en los hogares, el 95% de la población utiliza leña. Santa Lucía y Guatemala, se encuentra en segunda y tercera posición en la tabla de porcentaje de la OMS, con un 63% y 62%, respectivamente.³²

- **Guatemala**

Según el Informe Estadístico de la Dirección General de Energía de 2017, sobre el consumo de energía en el país, la fuente energética de mayor consumo fue la leña, con un 55.96% en todo el territorio. En los hogares de las áreas rurales el uso de leña es la fuente principal de energía utilizada para uso doméstico, casi en su totalidad, en un 88%, esto se debe a los recursos económicos escasos, por lo que existen limitaciones para tener otra fuente de energía, como la electricidad o gas. En las áreas urbanas se utiliza de forma selectiva por lo que es menor al compararla con el área rural, con un 29.1% de la población.^{2,25,26}

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambios Climáticos, realiza el estudio donde se toma a 126 hogares de 16 comunidades de los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla, los resultados obtenidos a través de las encuestas indicaron que el 97.4% de los hogares del estudio utilizan los recursos energéticos de la leña. El 59.1% de las familias lo utilizó para todas las actividades del hogar.³³

2.2 Biomasa

La biomasa se refiere a todos aquellos recursos que provienen de organismos vegetales producto del ciclo del carbón y desechos orgánicos de animales o seres humanos; es utilizable como fuente de energía mediante un proceso biológico, espontaneo o provocado. Las fuentes más abundantes de la biomasa vegetal a nivel mundial son los bosques que existen en la tierra.^{26,32}

2.3 Combustible de biomasa

El combustible de biomasa es cualquier material vegetal o animal que es quemado como combustible (madera, carbón, estiércol seco, pasto y entre otros), en los hogares. La biomasa que más utilizada a nivel mundial es la madera o leña, principalmente en los hogares de los países en desarrollo con el propósito de lograr calefacción y de cocinar, así el resultado es la contaminación en los hogares.^{26,31,32}

2.4 Exposición a biomasa en la salud

2.4.1 Índice de exposición a biomasa

Se considera a persona expuesta por el humo de biomasa si lo ha utilizado durante más de 6 meses de su vida. El índice de exposición de humo intradomiciliar de biomasa se mide con el cálculo de horas expuestas multiplicado por los años expuestos. Y se interpreta de la siguiente manera: riesgo ausente <200 horas/año y riesgo presente ≥200 horas/año para desarrollar enfermedad obstructiva crónica, siendo de carácter objetivo por información brindada por la persona que se va a evaluar.^{26,30,31}

2.4.2 Componentes del combustible de biomasa

La principal forma de daño que presenta el humo de la quema de biomasa en los hogares resulta principalmente en la contaminación del aire, esto por el aumento de las partículas finas en el ambiente, afectando la salud de la población vulnerable que permanece en el interior de los hogares, la cual es un factor importante en el riesgo para desarrollar diversas enfermedades respiratorias no transmisibles: enfermedad pulmonar crónica (EPOC), accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, asma, tuberculosis, entre otros.^{7,27,28}

El humo de leña constituye una mezcla compleja y variable de partículas dominadas por orgánicos, hollín y partículas alcalinas de ceniza inorgánicas; estas tres partículas son diferentes en forma, diámetro, solubilidad y composición química. Estas diferencias fisicoquímicas dañan varios aspectos en la deposición pulmonar, el aclaramiento y los efectos celulares.^{27,28,30}

Según el diámetro aerodinámico las partículas finas del ambiente se pueden clasificar en: ultrafinas, finas y gruesas. Las partículas ultrafinas miden $\leq 0,1 \mu\text{m}$ las cuales se depositan en los alveolos. A las partículas que miden $\leq 2,5 \mu\text{m}$ se les denomina finas, estas son ligeras y pueden permanecer suspendidas en el aire durante periodos más prolongados y son de fácil depósito en el tracto respiratorio, especialmente en vías respiratorias pequeñas. Estas partículas están relacionadas con el estrés oxidativo y el daño inducido por inflamación del sistema respiratorio.^{7,27,28}

Las partículas gruesas tienen un diámetro de aproximadamente $2,5$ a $10 \mu\text{m}$, se depositan en vías respiratorias grandes, las cuales pueden llegar a ser más de 100 veces superiores a la concentración en 24 horas recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la OMS.^{7,27,28}

Las partículas que son liberadas en el aire a través de la quema de biomasa son numerosas, heterogéneas y se ha demostrado que constan de más de 200 compuestos diferentes, entre ellos el monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, entre otros; provocando diferentes respuestas, siendo estos los más importantes.^{27,28,32}

- Monóxido de carbono (CO): produce reducción de la capacidad del sistema circulatorio en el transporte de oxígeno, lo que provoca daño y agravamiento de enfermedades cardiovasculares.
- Dióxido de carbono (CO₂): provoca asfixia, irritación del tracto respiratorio.
- Dióxido de nitrógeno (NO₂): en altas concentraciones causa daño en los pulmones y los problemas de infecciones respiratorias.
- Compuestos orgánicos volátiles: producen irritación en los ojos, piel y tractos respiratorios, dolores de cabeza, fatiga y cáncer.
- Alérgenos: producen alergias.^{27,32}

2.4.3 Mecanismo

Los mecanismos por los cuales el humo que produce la quema de biomasa, en especial el de la leña, causa efectos sobre la salud de los seres humanos los cuales son similares a los que produce el humo de tabaco y las partículas generadas por la combustión de procesos patógenos. Los estudios de exposición controlada en humanos informan que la inhalación a corto plazo de humo de leña induce efectos inflamatorios leves, incluida la

inflamación de las vías respiratorias distales, aumento del estrés oxidativo y reclutamiento de células inmunitarias.^{27,28}

- **Estrés oxidativo**

El estrés oxidativo es el desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad de las células para desintoxicar intermediarios reactivos o reparar daño celular causado por ROS. Con la que contaminación del aire aumenta el nivel de ROS, lo resulta en daño en los componentes celulares, incluido las proteínas, los lípidos y el ADN.^{27,28}

El estrés oxidativo en las vías respiratorias y alveolos conduce a la estimulación y activación de los macrófagos alveolares y a la lesión del revestimiento epitelial, que, a su vez, atrae a las células inflamatorias de la circulación. Los macrófagos alveolares cargados con partículas de carbono del humo pueden contribuir al aumento de riesgo de infecciones del tracto respiratorio. El material particulado del humo que provoca los daños en macrófagos de los alveolos disminuye el sistema inmunitario innato y aumenta la susceptibilidad a las infecciones.^{7,27,28}

La generación de ROS provoca el inicio de reacciones en cadena de radicales libres que finalmente llegan al núcleo celular y dañan el ADN, inducen al aumento de cáncer en el pulmón y otros cánceres.^{27,28}

2.4.4 Efectos respiratorios:

- **Infección del tracto respiratorio inferior**

Las infecciones del tracto respiratorio inferior (IRA) es uno de los principales diagnósticos, mayormente en niños menores de 5 años, en la tasa de morbilidad y mortalidad en países en vía de desarrollo donde el uso de biomasa es la principal fuente de energía doméstica. Esto por el daño en el mecanismo de defensa del tracto respiratorio, como la disminución de la mucosa en el aclaramiento ciliar y la función de los macrófagos alveolares, que proporcionan plausibilidad biológica en la asociación entre la exposición del humo de biomasa y el riesgo de IRA en niños. Además, existe de 2 a 3 veces mayor riesgo de padecer esta patología, en comparación con aquellos niños no expuestos al humo.^{27,28,32}

- **Tuberculosis**

La exposición al humo de biomasa de forma constante altera la función de los macrófagos alveolares y ocasiona que los pulmones sean propensos a infecciones, entre ellos *Mycobacterium tuberculosis*.^{27,28,32}

- **Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)**

EPOC es la cuarta causa de mortalidad a nivel mundial, causando más de 3 millones de muertes al año, de la cual una de cada cuatro de las muertes por EPOC en adultos de países de bajo y mediano ingreso económico se debe a la exposición a la contaminación del aire doméstico por humo de biomasa.^{27,28,32}

- **Cáncer de pulmón**

El cáncer es la séptima causa de muerte a nivel mundial, según la OMS el 11% de estas muertes se atribuye a la exposición a carcinógenos que son producidos por la contaminación del humo intradomiciliario, por lo que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer concluyó que las emisiones de la combustión doméstica del carbón son carcinógenos de grado 1, mientras que la combustión de biomasa son de grado 2A. El riesgo de presentar cáncer de pulmón para las mujeres es mayor debido a su papel dentro de los quehaceres domésticos, como el de cocinar.^{27,28,32}

- **Otras enfermedades respiratorias**

La exposición de partículas de biomasa también está asociada con la enfermedad intersticial denominada enfermedad pulmonar de Hut, la cual se caracteriza por contaminación de carbono, moléculas de polvo y fibrosis mixta de polvo.³⁴ Además estos componentes nocivos aumentan el proceso de inflamación a nivel pulmonar, el cual aumenta las crisis de pacientes que presentan Hiperreactividad bronquial, y además aumentan los casos de niños que debutan con sibilantes tempranos, esto por estar en constante exposición al humo de biomasa sobre todo en espacios cerrados. También aumenta o agrava los síntomas de tos, flemas, sibilancias y opresión de pecho.^{27,35}

2.5 Función pulmonar y exposición a biomasa

Se han realizado diferentes estudios a nivel mundial, se menciona en el *Health effect of biomass fuel smoke*, del libro *Environmental emissions* sobre la relación que existe sobre el uso de biomasa y contaminación en el aire del hogar, identificando que es riesgo

de alta significancia sobre la salud, principalmente generando efectos a nivel cardiovascular y respiratoria. Menciona además que el combustible a base de biomasa es principalmente utilizado por mujeres, aun en países desarrollados. En los casos estudiados la función pulmonar presenta alteración de origen obstructivo, el cual es leve y donde la declinación del VEF₁ y VCF es menor, tiene un promedio una reducción de un 7,62% y 25.78% en el porcentaje de VEF₁/CVF. ²⁷⁻²⁹

El estudio realizado en nuestro país, Guatemala en mujeres del área rural, publicado en 2014, *Effects of woodsmoke exposure on airway inflammation in rural guatemalan women*, con respecto a la exposición al humo de biomasa, sobre todo de leña, se realiza un estudio transversal, con prueba de esputo y espirometría, teniendo 2 grupos comparativos, de mujeres que usaban chimeneas en casa y el otro que todavía usaba fuego abierto, teniendo como mayor expresión génica de múltiples mediadores de inflamación y MMP-9, que es un medidor potencial de la remodelaciones las vías respiratorias las del último grupo, además este grupo que cocina aun con fuego abierto presento prevalencia de una obstrucción leve del flujo de aire en la espirometría.³⁶

Comparando el estudio *Lung function in rural guatemalan women before and after a chimney stove intervention to reduce wood smoke exposure*, publicada en 2015, de *Guarnieri et al.* donde participaron 306 mujeres del área rural, en un estudio de exposición aleatoria a la exposición a la biomasa, con un seguimiento aproximado de 5 a 6 años. En donde un grupo recibe una estufa de leña con chimenea al inicio de la investigación, y el otro grupo recibe la estufa al finalizar la prueba, comparando el humo en el interior de los hogares, de la cuales la espirometría realizada no hubo diferencia significativa entre ambos grupos, los cuales presentaron disminución de VEF₁.³⁷

En ambos estudios de Guatemala las mujeres se asoció con un aumento de síntomas respiratorios, como: tos, flemas, sibilancias y opresión de pecho, pero en el estudio de *Guarnieri, y at.* presento disminución del síntoma de sibilancia al utilizar chimeneas.

La exposición de la contaminación del aire en el hogar puede provocar pequeñas cicatrices en las vías respiratorias, fibrosis y depósito de pigmentos, por lo tanto, es plausible que estas exposiciones adicionales pueden afectar la función pulmonar y al mismo tiempo, reducir VEF_1 .²⁷⁻²⁹

El estudio *Comparative study on respiratory function among rural woman using biomass fuel and non-biomass fuel: evidence of a cross-sectional survey* concluye que el grupo estudiado de las mujeres que utilizan combustible de biomasa presentan una disminución significativa del VEF_1 , del CVF y del flujo espiratorio máximo (PEFR). Llegando en consenso a determinar que por el uso continuo de biomasa como combustible en los hogares de las áreas rurales, son las mujeres del área rural quienes presentan la mayor exposición al humo, en comparación a las mujeres del área rural, en ellas se genera daño continuo a nivel pulmonar, con inflamación y cicatrización de las vías respiratorias, según el tiempo en horas y años de exposición. Lo que determina que la lesión en las vías respiratorias, al ser evaluadas por medio de la espirometría, será representada por un patrón espirométrico obstructivo, por la limitación del flujo de salida del aire, donde el cociente de VEF_1/CVF es menor al 70%.³⁸

Capítulo 3. Análisis

A nivel mundial la DM2 es un problema que cada día va en aumento, enfermedad crónica degenerativa que, según las estimaciones de la Federación Internacional de Diabetes (FID), hasta el año 2017, 451 millón de personas sufre de esta patología, la cual se espera que aumente en número y porcentaje, y se prevé que para 2045 sea de 693 millones, por lo que es un problema de gran preocupación, debido al daño que causa en el paciente³⁹. Sin una adecuada concientización sobre el problema socioeconómico que genera a nivel de salud pública. Siendo la DM2 una patología que por el mal manejo farmacológico causa diversas complicaciones como la microangiopatía la cual causa daño en la vascularización generalizada, prestando un énfasis a nivel pulmonar, causando la exacerbación de diversas patologías secundarias, además de provocar cambios en la función pulmonar, de carácter restrictivo.^{9,20}

Se observa relación entre el nivel socioeconómico y la prevalencia de las complicaciones de la DM2, los pacientes con nivel socioeconómico bajo son asociados a conductas poco saludables, deficiencia atención médica pública y con poco apego al tratamiento farmacológico, llevando a una alta tasas de complicaciones en la salud. Se ha observado la mayor incidencia de mal manejo y complicaciones en grupos geográficos pobres y de estrato social bajos debido a la pobreza que sufren.¹ En Guatemala presenta una prevalencia aproximada de 2,3 millones de personas diagnosticadas con DM2, que gradualmente va en aumento, debido a que existe una desigualdad en la distribución a los servicios de salud y el poco acceso a los mismos, ocasiona el inadecuado control de esta enfermedad, causando aumento en las complicaciones de esta patología.^{27,28,30,33}

Además de la DM2, existe otros problemas que tienen que ser estudiadas en conjunto con esta patología que causan daño pulmonar, como el daño causado por el humo de biomasa, esto debido que casi la mitad de la población mundial depende del uso de combustible de biomasa y carbón para diferentes usos como: cocinar, calentar y alumbrar, las cuales las personas que lo utilizan quedan a exposición del humo y de las partículas finas que contienen.²⁷

En la actualidad los guatemaltecos que viven en extrema pobreza son los más afectados por estas problemáticas de salud, sumando el hecho que muchos de los hogares de Guatemala dependen del uso de biomasa como fuente de energía primaria, esta es una problemática tanto a nivel nacional como en los hogares a nivel mundial, esta exposición a la contaminación del aire se encuentra entre las diez principales fuentes de riesgos de enfermedad, y la prevalencia más alta se observa en las comunidades más pobres de los países de nivel socioeconómicos bajos y medios, lo que causa millones de muertes prematuras por año. ^{8,27-29,33,}

Estos dos factores son causa de millones de muertes a nivel mundial, debido a que ambas causan efectos nocivos en la salud: siendo los más importantes el daño que genera sobre la salud cardiovascular y respiratoria. Por lo que es importante los estudios debidos que los pacientes en ambos casos pueden producir complicaciones y hasta provocar la muerte prematuramente. ^{7,27}

Según la OMS el 49% de la población en Guatemala viven en el área rural y aproximadamente el 51% en área urbana. En las regiones rurales la tasa de pobreza es sustancialmente más altas que en las regiones urbanas, pero en esta última área un 57% vive en pobreza, lo que complica el acceso de la salud. Según el *Análisis de situación Epidemiológica de enfermedades no transmisibles* del año 2015, refiere que la atención en los servicios de la salud va dirigida a la población ladina en su mayoría comparado con la población maya, lo que provoca más carencias en el acceso a los servicios de salud pública en los pueblos mayas. Además, la entrada económica de la mayoría de familias rurales únicamente alcanza solo para el diario vivir, lo que genera poca inversión en medicamentos necesarios para el tratamiento de patologías no transmisibles, y en consecuencia, que no se controle la enfermedad, provocando daños crónicos a la salud. ¹

Teniendo en cuenta esto se suma el hecho que aproximadamente el 88% de la población rural utiliza la biomasa como medio energético en los hogares guatemaltecos, y un aproximado de 23% de la población urbana lo sigue utilizando. ⁸

Las partículas finas del humo de la biomasa utilizado en los hogares han causado en Guatemala un aproximado de 5,138 muertes anuales, según base de datos de la OMS y la DM2 ocasiona un aproximado de 35 muertes por cada 100,000 guatemaltecos anualmente, es de conocimiento que cada año aumentan los casos de muertes por complicaciones de DM2.⁸ Debido que estos dos problemas permanecen presentes en la población guatemalteca debido al desarrollo del país, es de importancia estudiarlas y realizar trabajos de campo para así tener información que sea de relevancia académica, y permita ayudar a la población en riesgo.

El factor común que tienen la DM2 y el uso continuo de la combustión de biomasa que genera partículas finas de humo es el daño a nivel pulmonar, debido a que ambos tienen mecanismos bioquímicos similares que provocan el deterioro en la fisiología del pulmón. Se han demostrado en diferentes estudios clínicos como el metaanálisis *Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis* realizado en el año 2019, el cual refiere estas partículas finas causan inflamación a nivel de las células llamadas neumocitos que provoca el aumento en los niveles circulantes de marcadores inflamatorios, incluidos la Proteína C reactiva, la interleucina 6 (IL-6) y el fibrinógeno que conduce a que exista aumento a la resistencia a la insulina y el aumento del estrés oxidativo el cual es el factor en común entre ambos, lo que provoca inflamación sistémica crónica.^{6,40,41}

Se han propuesto diferentes vías en la que están presentes las señales inmunitarias innatas en el pulmón secundaria a una inflamación sistémica. Además del daño por la asociación de gases producidos por el humo, como otros factores asociados entre los principales contaminantes del aire.^{40,42-44}

El estrés oxidativo es uno de los principales mecanismos producidos por la DM2, esto porque la hiperglicemia crónica provoca que reduzca el sistema de defensas antioxidantes, provocando aumento del estrés oxidativo, causando daño y muerte celular en diferentes órganos, incluyendo inflamación pulmonar y a nivel sistémico, produce liberación directa de citosinas, alteración de la homeostasis de la glucosa a través de la señalización defectuosa de la insulina en los tejidos, activando las células inmunes en los tejidos adiposos viscerales que potencian la inflamación y el estrés del retículo endoplásmico en el pulmón y en las células alveolares.^{40,41,43}

Además, el estrés oxidativo directo de las células como los macrófagos alveolares, particularmente en condiciones de sobrecarga causadas por la exposición continua de partículas finas del humo, puede liberar citosinas inmunes innatas como IL-1, TNF- α , IL-6 y quimiocinas del pulmón, que incluyen CCL-2 (ligando de quimioquinas 2) y CCL-5 (ligando de quimioquinas 5).^{6,41,42,44}

El estrés oxidativo puede ser crítico en la activación de estas vías, se ha demostrado el papel de la oxidasa NADPH en la inflamación mediada por TLR4 (receptores tipo Toll -4) y Nalp3 (criptirina, inflasoma) que están vinculados a vías de DM2. Se ha demostrado que los Nalp3 detecta una diversidad de componentes de partículas e inducen a la producción de la producción de IL-1.^{6,15,40-44}

La acción pro inflamatoria del TNF- α y de IL-1 se conoce su capacidad para inducir la producción y la liberación de interlucina-8 (IL-8) por las células endoteliales, que tiene una acción quimiotáctica sobre los neutrófilos, debido que su actividad puede extender la respuesta inflamatoria a nivel pulmonar.^{5,20,40,42,43}

Además de estimación del efecto de la exposición a los contaminantes y a las partículas finas del humo de biomasa y sobre la mortalidad asociada a la DM2. En el metaanálisis del año 2014 *Mechanisms In Endocrinology: Main air pollutants and diabetes-associated mortality: a systematic review and meta-analysis*, realiza una evaluación de once estudios que presenta hallazgos sugiriendo que existe un riesgo mayor de mortalidad entre la contaminación del aire asociada a la diabetes, se asoció al aumento de material particulado con diámetro $<2,5 \mu\text{m}$ (PM2.5), material particulado con diámetro $<10 \mu\text{m}$ (PM10), NO₂ y ozono (O₃), los hallazgos presentes sugieren que la exposición a altos niveles de contaminantes del aire está asociada con un mayor riesgo de mortalidad junto a la diabetes mellitus.⁴¹

Se asocia a PM2.5 y el carbón negro del humo disminuye la reactividad vascular en pacientes con DM2. Esta disminución asociada a PM2.5 en la función endotelial fueron mayores en pacientes con niveles altos de hemoglobina A1c y por lo tanto provoca alteraciones en el tono vascular y aumento en la inflamación.^{7,38,39} Se ha demostrado que

la exposición de PM10 conduce a la alteración de la presión arterial, los lípidos sanguíneos y la hemoglobina glucosilada A1c, un marcador del control de glucosa en la sangre.⁴¹

En el metaanálisis del año de 2020 *Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis*, se revisan 86 estudios donde los pacientes diabéticos son más vulnerables a la exposición de los contaminantes del aire, en especial a sus partículas.⁴² Se han realizado estudios (con grupos controles y de estudio) respecto al daño en la función pulmonar en pacientes con DM2 que se encuentran en constante uso de biomasa en los hogares. En ellos se muestra que los pacientes con control inadecuado de glucosa, presentan VEF1 (-90ml) y una CVF (-150 ml) más bajos, y VEF1/CVF elevados.^{6,41,42,44}

Comparando la revisión sistémica *Epidemiology of air pollution and diabetes*, de Thierin and Heinrich, que fue publicada en 2015, presenta que siete de los estudios analizados presentan el doble del riesgo de mortalidad en pacientes con DM2, quienes son más sensibles a los efectos de la contaminación del aire en el ambiente a corto y largo plazo.⁴⁵

Los hallazgos presentados en los metaanálisis realizado sobre la exposición a largo plazo que los contaminantes gaseosos y PM2.5 del humo se asocia al aumento con un mayor riesgo de morbilidad y mortalidad relacionadas con la diabetes, la cual la exposición a PM2.5 se ha asociado al deterioro funcional endotelial, inflamación sistémica elevada, estrés oxidativo, estrés retículo endoplásmico, disfunción del sistema nervioso autónomo y disfunción mitocondrial, teniendo en cuenta que el metaanálisis *Pulmonary function test in type-2 diabetes*, del 2020 y la revisión *Potential biochemical mechanisms of lung injury in diabetes*, de Zheng et al. de 2017 indica estos mismos procesos a nivel pulmonar, pero esto no por las partículas finas, en estos estudios refiere que es causado por la hiperglicemia de la DM2.^{5,20}

India realiza el estudio transversal *Air pollution and respiratory health among diabetic and non-diabetic subjects in Pune*, publicada 2017, con 400 personas con DM2 y 465 personas sanos, investigados por síntomas respiratorios crónicos, y realización de espirometría sobre los efectos nocivos de los contaminantes del aire, presento resultado de prevalencia de sibilancias actuales, síntomas de alergia, opresión torácica, FEV1 / FVC

<70% y asma y EPOC diagnosticados por el médico fue significativamente mayor entre los sujetos diabéticos que entre los no diabéticos, además se asocia a un menor porcentaje de CVF en las pruebas de función pulmonar.⁴⁶

La DM2 y el uso constante de la biomasa en los hogares de guatemaltecos, son dos de los principales problemas de salud que están presentes en el país, debido a su condición sociopolítica y económica, aumenta el riesgo a presentar complicaciones medicas que se traduce a un aumento en la demanda de servicios médicos desde el primer hasta el tercer nivel de atención, generando mayor gasto económico para el MSPAS, por lo que se debe contar con un sistema de recolección y difusión de información clara y concisa que la población en general pueda entender, de esta manera se puede implementar la promoción, prevención y control de forma adecuada.

En la mayoría de los hogares las mujeres son las encargadas del área de cocina, y en muchos de ellos no se encuentran adecuadamente ventilados o son fuegos abierto, se encuentran en constante exposición al humo de biomasa en su diario vivir, el metaanálisis *Systematic review and metaanalysis of air pollution exposure and risk of diabetes*, publicado en 2014, por *Janghorbani et al.* y la revisión sistémica de *Thierin and Heinrich* informan un aumento en la prevalencia de diabetes entre las mujeres, pero no entre los hombres, que estuvieron expuestos a niveles más altos de contaminación de gases.⁴⁷

Siendo las mujeres de las áreas rurales las más afectadas en Guatemala, y las que mayor tiempo se exponen a los componentes del humo de la biomasa que es utilizada en los hogares, y desde el punto de vista de salud pública, es importante ampliar los estudios de seguimiento para evidenciar la magnitud del efecto que presenta la contaminación del humo de biomasa en el deterioro de la función pulmonar evaluada con espirometría, en mujeres con DM2, y como el tiempo a exposición aumenta el daño, el cual se calcula mediante la cantidad de años cocinando con biomasa el cual se multiplica por la media aproximada de horas cocinando.

Conclusiones

La exposición a biomasa en pacientes con DM2, en las áreas rurales o en condiciones socioeconómicamente bajas a nivel mundial, presenta deterioro de la función pulmonar, que es causado por microangiopatía de los capilares alveolares o arteriolas pulmonares, inflamación crónica a través del estrés oxidativo, neumopatía autonómica que afecta los músculos respiratorios, pérdida de la elasticidad pulmonar provocada por las hiperglicemias crónicas y el daño de las partículas del humo de biomasa.

Los pacientes con DM2 presentan un patrón restrictivo en las pruebas de función pulmonar, en los resultados de la espirometría presentan valores disminuidos de VCF, VEF_1 y el valor normal de VEF_1/VCF .

La función pulmonar en pacientes con DM2, y en especial en mujeres de áreas rurales que usan constantemente biomasa como fuente de combustión, presenta disminución de los VEF_1 y CVF disminuidos, y VEF_1/CVF elevados, debido a que Guatemala es un país en vías de desarrollo y donde hay más del 88% de la población rural que utiliza la biomasa como medio energético en sus hogares.

El uso de biomasa causa el aumento de probabilidad de padecer diferentes patologías tales como EPOC, cáncer de pulmón, infecciones respiratorias recurrentes, entre otros, por los diversos mecanismos dañinos producidos por los componentes que genera el humo de la combustión de biomasa.

Es notorio que el uso constante de biomasa en las cocinas o interiores de los hogares, cuyas partículas finas de humo pueden producir pequeñas cicatrices en las vías respiratorias, fibrosis y depósitos de pigmento en los pulmones, conduce a la disminución de las funciones pulmonares, alteración obstructiva leve y disminución del VEF_1 y VCF.

Recomendaciones

Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social junto a los Hospitales Nacionales, fortalecer o realizar estrategias de prevención y promoción primaria de la salud en mujeres con DM2 en áreas rurales sobre el daño a nivel pulmonar que causa el humo de biomasa, y concientizar sobre la importancia de llevar un buen control glicémico, para evitar aumento de afecciones pulmonares. Y realizar capacitaciones a los médicos de servicios de consulta externa sobre el uso de espirometría y de la importancia de esta en los pacientes con DM2 con un índice de biomasa alto.

Además, de realizar estudios de investigación epidemiológica en pacientes mujeres con DM2 en áreas rurales que utilizan biomasa en sus hogares, para evaluar la exposición que presentan y el daño pulmonar causado por la contaminación en el aire del hogar debido a la combustión de biomasa.

Que el profesional de la salud indague sobre el uso de biomasa en el hogar, para posteriormente valorar el realizar espirometría para identificar cambios en la función pulmonar. E informar a las mujeres con diagnóstico de DM2 principalmente aquellas que viven en el área rural sobre el impacto negativo que se tiene sobre el uso de fuego abierto dentro de los hogares, y como al ser paciente con DM2 puede acelerarse el daño a nivel pulmonar.

Referencias bibliográficas

1. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Análisis de la situación epidemiológica de enfermedades no transmisibles [en línea]. Guatemala: MSPAS; 2015 [citado 3 Abr 2021]; Disponible en: <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/Publicaciones/Semanas%20Situacional/asis%20ent%202015.pdf>
2. Guatemala. Ministerio de Energía y Minas. Política energética 2019-2050 [en línea]. Guatemala; MEM; 2018 [citado 3 Abr 2021]. Disponible en: <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>
3. Kuziemski K, Słomiński W, Jassem E. Impact of diabetes mellitus on functional exercise capacity and pulmonary functions in patients with diabetes and healthy persons. BMC Endocr Disord [en línea]. 2019 [citado 27 Ago 2020]; 19 (2): 1-8. Disponible en: <https://bmccendocrdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12902-018-0328-1>
4. Almonacid C, Resano M. Afectación pleuropulmonar en las enfermedades endocrinometabólicas. En: Álvarez Sala JL, Casan Clara P, Rodríguez Hermosa JL, Villena Garrido V. Neumología Clínica. 2da ed. Barcelona: Elsevier; 2017: p 562.
5. Zheng H, Wu J, Jin Z, Yan L-J. Potential Biochemical Mechanisms of Lung Injury in Diabetes. Aging Dis. el 1 de febrero de 2017;8(1):7–16.
6. Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, Hoffmann B, Schindler C, Künzli N, et al. Association between Ambient Air Pollution and Diabetes Mellitus in Europe and North America: Systematic Review and Meta-Analysis. Environmental Health Perspectives. mayo de 2015;123(5):381–9.
7. Organización Mundial de la Salud. Contaminación del aire de interiores y salud. [s.l]; OMS; [en línea]. 2018 May. [citado 3 Abr 2021]; Nota descriptiva [aprox. 8 pant.] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
8. Organización Panamericana de Salud. HAP: Perfil Guatemala. [s.l] Informe científico; PAHO [en línea]; 2016 [citado 3 Abr 2020] Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2016/HAP-Perfil-Guatemala-spa.pdf>

9. B Bram van den Borst, Gosker H, Zeegers MP, Schols A. Pulmonary function in diabetes: a metaanalysis. *Chest* [en línea]. 2010 Ago [citado 27 Ago 2019]; 138 (2): 393–406. Disponible en: https://cris.maastrichtuniversity.nl/ws/files/64421833/gosker_2010_pulmonary_function_in_diabetes.pdf
10. Guyton A, Hall J. *Tratado de Fisiología Médica*. 13a ed. Elsevier; 2016.
11. Lutfi MF. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. *Multidiscip Respir Med* [en línea]. 2017 [citado 10 Jul 2020];12 (3): [aprox. 12 pant.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5299792/>
12. Aparna A. Pulmonary function tests in type 2 Diabetics and non-Diabetic people -a comparative study. *J Clin Diagn Res* [en línea]. 2013 [citado 8 Sept 2019]; 7 (8): 1606–08. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3782909/>
13. Yadav A, Gaur KL, Punjabi P, Meena G. Study of pulmonary function tests in type 2 Diabetes Mellitus: Case control study. *IOSR-JDMS* [en línea] 2013 [citado 22 Oct 2019]; 10 (5). 74-77. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267653418_Study_of_Pulmonary_Function_Test_s_in_Type_2_Diabetes_Mellitus_Case_Control_Study
14. Adeyeye O, Ogbera OA, Dada AO, Brodie MA. Correlates of abnormal pulmonary function tests in persons with type 2 Diabetes Mellitus. *J Pulm Respir Med* [en línea]. 2014 [citado 8 Sept 2019]; 5 (1). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277606550_Correlates_of_Abnormal_Pulmonary_Function_Tests_in_Persons_with_Type_2_Diabetes_Mellitus
15. Anandhalakshmi S, Manikandan S, Ganeshkumar P, Ramachandranc C. Alveolar gas exchange and pulmonary functions in patients with type II Diabetes Mellitus. *JCDR* [en línea]. 2013 Sept [citado 6 Sept 2019]; 7 (9); 1874-77. Disponible en: http://www.jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2013&volume=7&issue=9&page=1874&issn=0973-709x&id=3339
16. Giraldo H. Diabetes y pulmón. *Acta Med Col* [en línea]. 2008 Sept [citado 27 Ago 2019]; 33 (3):103–4. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v33n3/v33n3a1.pdf>

17. Dennis RJ, Maldonado D, Rojas MX, Aschner P, Rondón M, Charry L, et al. Diabetes Mellitus tipo 2 y deterioro de la función pulmonar. *Acta Med Col* [en línea] 2008 Sept [citado 9 Abr 2019]; 33 (3): 105-10. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v33n3/v33n3a2.pdf>
18. Sampol G, Lecube A. Diabetes mellitus tipo 2 y pulmón: una relación bidireccional. *Endocrinol Nutr* [en línea]. 2012 Feb [citado 27 Ago 2019]; 59 (2): 95–7. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-endocrinologia-nutricion-12-articulo-diabetes-mellitus-tipo-2-pulmon-S1575092211004256>
19. Kolahian S, Leiss V, Nürnberg B. Diabetic lung disease: fact or fiction? *Rev Endocr Metab Disord* [en línea]. 2019 Oct [citado 3 Abr 2021]; 20 (3): 303–19. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11154-019-09516-w>
20. Díez-Manglano J, Asín Samper U. Pulmonary function tests in type 2 diabetes: a meta-analysis. *ERJ Open Res* [en línea]. 2021 [citado 2 Abr 2021]; 7 (1): 01-21. Disponible en: <https://openres.ersjournals.com/content/erjor/7/1/00371-2020.full.pdf>
21. Zineldin M, Hasan K, Al-Adl A. Respiratory function in type II Diabetes Mellitus. *E J CDT* [en línea] 2015 Ene [citado 8 Abr 2021]; 64 (1). 219-23. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0422763814200367>
22. Almeida R da S, Melo RC de, Chaves MSS, Baptista GM, Margotto SS, Andrade LJ de O. Diabetic pneumopathy. *Br J MHH* [en línea]. 2016 Mar [citado 3 Abr 2021]; 4 (1). 21-28. Disponible en: <https://www5.bahiana.edu.br/index.php/medicine/article/view/791>
23. Vásquez JC, Pérez R. Interpretación de la espirometría en 10 pasos [en línea]. México: ALAT; 2008 [citado 4 Nov 2019] Disponible en: <http://files.residentesrotantes.webnode.es/200000014-46f5d48e93/EspirometriaGuiaBolsillo.pdf>
24. Ranu H, Wilde M, Madden B. Pulmonary function tests. *Ulster Med J* [en línea]. 2011 May [citado 20 Oct 2019]; 80 (2): 84–90. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3229853/>

25. Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. Ginebra: OMS [en línea]. 2018 May [citado 27 Ago 2019]. Nota descriptiva: [Aprox. 18 pant.]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
26. Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. Ginebra: OMS [en línea]. 2018 May [citado 27 Ago 2019]. Nota descriptiva: [Aprox. 18 pant.]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
27. Awopaju O, Health Effect of biomass fuel smoke. En Viskup R; Environmental emissions. Austria: IntechOpen; 2020 [en línea]. [citado 3 Abr 2021]; 295-335. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/environmental-emissions/health-effect-of-biomass-fuel-smoke>
28. Sigsgaard T, Forsberg B, Annesi-Maesano I, Blomberg A, Bølling A, Boman C, et al. Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. Eur Respir J [en línea]. 2015 Dic [citado 3 Abr 2021]; 46 (6):1577–88. Disponible en: <http://erj.ersjournals.com/lookup/doi/10.1183/13993003.01865-2014>
29. Torres-Duque C, Maldonado D, Perez-Padilla R, Ezzati M, Viegli G. Biomass fuels and respiratory diseases: a review of the evidence. En: Forum of International Respiratory Societies (FIRS). ATS J [en línea]. 2008 [citado 4 Ago 2021]; 5: 577-90 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/5226126_Biomass_Fuels_and_Respiratory_Diseases_A_Review_of_the_Evidence
30. Torres-Duque C, García M, González M. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica por humo de leña: ¿un fenotipo diferente o una entidad distinta?; Arch bronconeumol [en línea]. 2016 Ago [citado 9 Abr 2021]. 52 (8); 425-31. Disponible en: <https://www.archbronconeumol.org/es-enfermedad-pulmonar-obstructiva-cronica-por-articulo-S0300289616300655>

31. Andronic I, Hernando Martín E. EPOC en relación con la biomasa. En: XII Reunión EPOC: Casos clínicos y comunicaciones: libro de casos clínicos y comunicaciones [en línea]. España: S&H Medical Science Service; 2017. [citado 9 Mar 2021]; 22–25. Disponible en: <https://www.fesemi.org/sites/default/files/documentos/congresos/libro-casos-clinicos-xii-reunion-epoc-2017.pdf>
32. Garcia J, Benchimol J, Gordo P, Filho I, Tonietto R, Gomes F, et al. Quema de leña y carbón en ambientes cerrados: contaminación del aire y riesgos a la salud. [en línea]. Brazil. PUC; 2017 Mar [citado 20 Jun 2020]. Disponible en: https://aiglp.org/src/uploads/2020/11/quema_de_lena.pdf
33. Hernández A, López G, Orrego E. ICC. Consumo de leña 16 comunidades de la parte baja de 4 cuencas en el vértice del Pacífico de Guatemala. Radfia [en línea]. 2009; [actualizado 2016; [citado 20 Dic 2020]; [aprox. 3 pant.] Disponible en: <https://icc.org.gt/es/consumo-de-lena-en-16-comunidades-de-la-parte-baja-de-4-cuencas-en-la-vertiente-del-pacifico-de-guatemala>
34. Dulku G, Gupta N, Perera R, Lam K-V, Weerakkody Y. Hut lung disease: a radiological and pathological correlation. J Med Imaging Case Rep [en línea]. 2017 [citado 14 Sept 2021];01(01); 1-4. Disponible en: <http://medimagingcasereports.com/2017/11/10/hut-lung-disease-a-radiological-and-pathological-correlation/>
35. Adam M, Schikowski T, Carsin AE, Cai Y, et al. Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. ERS J. [en línea]2015. [citado 11 Oct 2021];01(01); 45(1):38–50 Disponible en: doi:10.1183/09031936.00130014
36. Guarnieri MJ, Diaz JV, Basu C, Diaz A, Pope D, Smith KR, et al. Effects of woodsmoke exposure on airway inflammation in rural Guatemalan women. PLOS ONE. [en línea]. 2014 [citado 11 Oct 2021]; 9(3):e88455. [aprox. 9pant.] Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088455>

37. Guarnieri M, Diaz E, Pope D, Eisen EA, et al. Lung function in rural Guatemalan women before and after a chimney stove intervention to reduce wood smoke exposure. *Chest*. [en línea] 2015 Nov [citado 11 Oct 2021]; 148(5): 1184–92. Disponible en: <https://doi.org/10.1378/chest.15-0261>
38. Pial RH, Hashan MR, Ghazy S, et al. Comparative study on respiratory function among rural women using biomass fuel and non-biomass fuel: evidence of a cross-sectional survey in Bangladesh. *Environ Sci Pollut Res*. [en línea] 2020; [citado 11 Oct 2021]; 27(19): 24039–47. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08668-6>
39. Cho NH, Shaw JE, Karuranga S, Huang Y, Fernandes JD da R, Ohlrogge AW, et al. IDF Diabetes atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes Res and Clinical Practice* [en línea]. 2018 Abr [citado 16 Ago 2021]; 138:271–281. Disponible en: [https://www.diabetesresearchclinicalpractice.com/article/S0168-8227\(18\)30203-1/abstract](https://www.diabetesresearchclinicalpractice.com/article/S0168-8227(18)30203-1/abstract)
40. Rajagopalan S, Brook RD. Air Pollution and type 2 Diabetes. *Diabetes* [en línea]. 2012 Dic [citado 4 Ago 2021]; 61 (12): 3037–45. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3501850/>
41. Li C, Fang D, Xu D, Wang B, Zhao S, Yan S, et al. Mechanism in endocrinology: Main air pollutants and diabetes-associated mortality: a systematic review and meta-analysis. *EJE* [en línea]. 2014 Nov [citado 4 Ago 2021s]; 171 (5): [aprox. 16 pant]. Disponible en: <https://eje.bioscientifica.com/view/journals/eje/171/5/R183.xml>
42. Yang B-Y, Fan S, Thiering E, Seissler J, Nowak D, Dong G-H, et al. Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research* [en línea] 2020 Ene [citado 4 Ago 2021]; 180:108817. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935119306140>
43. Rodríguez-Weber FL. Medio ambiente, contaminación y diabetes: ¿son especulaciones? *Med Int Méx*. [en línea] 2016 Sept [citado 4 Ago 2020] 32 (5): 576-79. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2016/mim165j.pdf>

44. Suleiman I, Francis NY. Effect of long-term exposure to wood smoke on fasting blood glucose level and body mass index (BMI) among women in Samaru, Zaria. *Ann. Bio. Sci* [en línea] 2015 [citado 22 Sept 2020]; 3 (1): 25-29. Disponible en: <https://www.imedpub.com/articles/effect-of-long-term-exposure-to-wood-smoke-on-blood-pressure-among-women-in-samaru-zaria.pdf>
45. Thiering E, Heinrich J. Epidemiology of air pollution and diabetes. *Trends Endocrinol Metab.* [en línea] 2015 [citado 11 Oct 2020]; 26(7): 384-394. Disponible en: [doi:10.1016/j.tem.2015.05.002](https://doi.org/10.1016/j.tem.2015.05.002).
46. Khafaie M, Salvi S, Yajnik C, Ojha A, Khafaie B, Gore S. Air pollution and respiratory health among diabetic and non-diabetic subjects in Pune, India-results from the wellcome trust genetic study. *Environ Sci Pollut Res Int.* [en línea] 2017 [citado 11 Oct 2020]; 24(18): 15538-15546. Disponible en: [doi:10.1007/s11356-017-9148-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9148-5)
47. Janghorbani M, Momeni F, Mansourian M. Systematic review and metaanalysis of air pollution exposure and risk of diabetes. *Eur J Epidemiol.* [en línea] 2014 [citado 11 Oct 2020];29(4):231-242. Disponible en: [doi:10.1007/s10654-014-9907-2](https://doi.org/10.1007/s10654-014-9907-2).

Anexos

Tabla No.1. Matriz de datos de buscadores y descriptores en inglés y español con operador booleano utilizados

Buscadores	DesCs	MeSH
PubMed	Diabetes Mellitus AND Función pulmonar	Spirometry AND lung diffusion capacity
	Diabetes Mellitus AND espirometría OR CVF, VF1;	Type II Diabetes Mellitus AND Pulmonary Fuction tests
	Biomasa AND Diabetes Mellitus tipo 2	Type II Diabetes Mellitus AND Spirometry OR FVC, FVC1
	Diabetes Mellitus AND Función pulmonar	Type II Diabetes Mellitus AND air pollution OR biomass
	Diabetes Mellitus AND Función pulmonar	Type II Diabetes Mellitus AND Pulmonary Fuction tests
NCBI	Humo de leña AND Diabetes Mellitus	Type II Diabetes Mellitus AND Spirometry OR FVC, FVC1
		Type II Diabetes Mellitus AND air pollution OR biomass
Google Academic	Diabetes Mellitus AND Función pulmonar	Type II Diabetes Mellitus AND Pulmonary Fuction tests

	Humo de leña AND Diabetes Mellitus AND Función Pulmonar	Type II Diabetes Mellitus AND air pollution OR biomass
	Humo de leña OR Biomasa AND Guatemala	Type II Diabetes Mellitus AND air pollution AND Guatemala
	Contaminación de aire en interiores AND Daño a la salud.	
Elsevier	Diabetes Mellitus AND función Pulmonar	Type II Diabetes Mellitus AND Pulmonary Fuction tests
Springer Link	-----	Diabetes Mellitus AND Lung function
Research Gate	Diabetes Mellitus AND Función pulmonar, AND Espirometría	Diabetes Mellitus AND Lung function

Fuente: elaboración propia.

Tabla Anexa No.2. Matriz de datos de tipos de estudio con descriptores buscados y número de artículos

Tipo de estudio	Descriptores utilizados	Número de Artículos
Revisión sistémica de ensayos clínicos controlados	["Diabetes Mellitus" AND "Lung function"]; ["Type II Diabetes Mellitus" AND "Pulmonary Fuction tests"]; ["Type II Diabetes Mellitus" AND "air pollution" OR "biomass"]	09
Ensayo clínico aleatorios controlados	["Type II Diabetes Mellitus" AND "Pulmonary Fuction tests"]	03
Revisión sistémica de estudios cohortes	["Type II Diabetes Mellitus" AND "Pulmonary Fuction tests"]; ["Type II Diabetes Mellitus" AND "Spirometry" OR "FVC, FVC1"] ["Type II Diabetes Mellitus" AND "air pollution OR biomass"]	06
Ensayo clínico aleatorio baja calidad	["Type II Diabetes Mellitus" AND "Pulmonary Fuction tests"] ["Diabetes Mellitus" AND "Lung function"]	07
Revisión sistémica de casos y controles	["Type II Diabetes Mellitus" AND "air pollution OR biomass"]	01
Casos y controles	["Type II Diabetes Mellitus" AND "air pollution OR biomass"]: ["Diabetes Mellitus" AND "Lung function"]	05
Serie de casos o estudios de cohortes y	["Diabetes Mellitus" AND "Función Pulmonar"]	01

casos y controles baja
calidad

Revista congreso	["Contaminación" AND "Diabetes Mellitus"]; ["Diabetes Mellitus AND función Pulmonar	02
------------------	---	----

Fuente: elaboración propia.

Tabla Anexa No.3. Matriz de literatura gris utilizada

Literatura utilizada	Localización	Total
Nota descriptiva OMS	https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health	1
Informe de estudio PAHO	https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2016/HAP-Perfil-Guatemala-spa.pdf	1
Análisis de la Situación Epidemiológica Guatemala	http://epidemiologia.mspas.gob.gt/files/Publicaciones/Semanas%20Situacional/asis%20ent%202015.pdf	1
Política Energética 2019-2050	https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf	1
Interpretación de la Espirometría en 10 pasos	http://files.residentesrotantes.webnode.es/200000014-46f5d48e93/EspirometriaGuiaBolsillo.pdf	1
Nota Descriptiva OMS	https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health	1
Perfil energético de Guatemala. Informe Científico	http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf	1

	https://www.researchgate.net/publication/5226126_Biomass_Fuels_and_Respiratory_Diseases_A_Review_of_the_Evidence	1
Biomass Fuels and Respiratory Diseases	ahora 29	
Forum of International Respiratory Societies Report		
Libro de casos clínicos y comunicaciones	https://www.fesemi.org/sites/default/files/documentos/congresos/libro-casos-clinicos-xii-reunion-epoc-2017.pdf	1
Informe de investigación	https://icc.org.gt/es/consumo-de-lena-en-16-comunidades-de-la-parte-baja-de-4-cuencas-en-la-vertiente-del-pacifico-de-guatemala/	1
Artículo de opinión	https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2016/mim165j.pdf	1

Fuente: elaboración propia.