

Citotoxicidad de saborizantes en cigarrillos electrónicos y tabaco convencional

Cytotoxicity of flavorings in electronic cigarettes and conventional tobacco

Recepción: 08 de julio 2026 | **Aprobación:** 04 de agosto de 2026 | **Publicación:** 10 de septiembre de 2026

Elizabeth Patricia Molina Vidal 
ilemolina Vidal@gmail.com
Universidad Católica de Cuenca
Cuenca, Ecuador

Juan Guillermo López Tinitana  
juan.lopezt@ucacue.edu.ec
Universidad Católica de Cuenca
Cuenca, Ecuador

Samira Anabel Muñoz Romero 
samiramuro@gmail.com
Universidad Católica de Cuenca
Cuenca, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.26871/ceus.v8i2.310>

Resumen

La introducción masiva de los cigarrillos electrónicos ha generado una percepción errónea de seguridad frente al consumo de tabaco tradicional, lo que representa una problemática de salud pública actual debido a la exposición a aditivos químicos. El objetivo general de esta revisión bibliográfica es analizar de forma exhaustiva la citotoxicidad de los saborizantes y sus productos de degradación térmica en los cigarrillos electrónicos, comparando sus efectos con los del tabaco convencional. La metodología desarrollada consistió en una revisión narrativa mediante la búsqueda de artículos científicos recientes

en bases de datos como PubMed, Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Los principales resultados evidencian que el calentamiento de los e-líquidos altera su composición química, generando compuestos carbonílicos tóxicos y partículas metálicas. Sustancias aromatizantes como el diacetilo y el mentol inducen estrés oxidativo, daño celular directo, inflamación pulmonar y disfunción endotelial. El impacto de estos hallazgos subraya que, si bien los cigarrillos electrónicos carecen de alquitrán, presentan riesgos patológicos con perfiles toxicológicos distintos, desmintiendo la total inocuidad del vapeo. Las conclusiones más relevantes establecen que los cigarrillos electrónicos generan efectos adversos significativos en la salud respiratoria y cardiovascular, por lo que requieren mayor investigación a largo plazo y estrategias rigurosas de prevención.

Palabras clave: aldehídos, E-cigarrillos, estrés oxidativo, toxicidad pulmonar, vapeo.

Abstract

The massive introduction of electronic cigarettes has generated a false perception of safety compared to traditional tobacco consumption, representing a current public health issue due to exposure to chemical additives. The general objective of this literature review is to exhaustively analyze the cytotoxicity of flavorings and their thermal degradation products in electronic cigarettes, comparing their effects with those of conventional tobacco. The methodology developed consisted of a narrative review by searching for recent scientific articles in databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect. The main results show that heating e-liquids alters their chemical composition, generating toxic carbonyl compounds and metallic particles. Flavoring substances such as diacetyl and menthol induce oxidative stress, direct cellular damage, pulmonary inflammation, and endothelial dysfunction. The impact of these findings emphasizes that, although electronic cigarettes lack tar, they present pathological risks with distinct toxicological profiles, debunking the complete harmlessness of vaping. The most relevant conclusions establish that electronic cigarettes generate significant adverse effects on respiratory and cardiovascular health, thus requiring more long-term research and rigorous prevention strategies.

Keywords: aldehydes, E-cigarettes, oxidative stress, pulmonary toxicity, vaping.

1. Introducción

Los cigarrillos electrónicos han ganado popularidad en los últimos años debido a la percepción de que representan una alternativa más segura que el cigarrillo convencional, estos dispositivos generan un aerosol mediante el calentamiento de líquidos compuestos por propilenglicol, glicerina vegetal, nicotina y saborizantes. Sin embargo, la evidencia actual indica que el proceso de calentamiento puede modificar la composición química de estos ingredientes y generar nuevas sustancias potencialmente tóxicas. Además, la composición final del aerosol depende tanto de las

características del líquido como de las condiciones de funcionamiento del dispositivo (1).

Los saborizantes constituyen uno de los principales atractivos de los cigarrillos electrónicos, especialmente entre adolescentes y adultos jóvenes; no obstante, diversos estudios han demostrado que estos compuestos pueden contribuir significativamente a la toxicidad del aerosol (2). En particular, se ha observado que ciertos sabores, como canela y avellana, producen mayores efectos citotóxicos que otros, sugiriendo que la composición

química de los aditivos influye en la respuesta biológica inducida por el vapeo (3).

La exposición a aerosoles de cigarrillos electrónicos se ha asociado con disminución de la viabilidad celular, aumento del estrés oxidativo y activación de respuestas inflamatorias en células del epitelio respiratorio, estos efectos se relacionan con la producción de especies reactivas de oxígeno y mediadores proinflamatorios capaces de alterar la función celular (4). Aunque algunos estudios reportan menor toxicidad en comparación con el humo de combustión del tabaco, los aerosoles saborizados continúan mostrando efectos biológicos potencialmente perjudiciales (5).

Además, se ha descrito que la exposición a aerosoles de cigarrillos electrónicos puede alterar la función endotelial, aumentar el estrés oxidativo vascular y favorecer cambios tempranos relacionados con el riesgo cardiovascular. Estos hallazgos han generado preocupación debido a que dichas alteraciones pueden aparecer incluso en personas jóvenes sin enfermedad cardiovascular conocida (6). Estos antecedentes justifican la necesidad de analizar la evidencia científica disponible, mediante una revisión bibliográfica, sobre la toxicidad comparativa entre los aerosoles de cigarrillos electrónicos saborizados y el humo del tabaco convencional, con énfasis en los subproductos generados por la degradación térmica de los saborizantes.

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica narrativa con el propósito de analizar la evidencia científica disponible sobre los efectos citotóxicos de los saborizantes degradados térmicamente en cigarrillos electrónicos y compararlos con los efectos producidos por el humo del tabaco convencional. La búsqueda de información (Figura 1) se llevó a cabo en bases de datos científicas reconocidas tales como PubMed, Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Se

emplearon palabras clave en inglés y español relacionadas con el tema de estudio, tales como: electronic cigarettes, e-cigarettes, vaping, flavorings, cytotoxicity, oxidative stress, inflammation, endothelial dysfunction, diacetyl, menthol y tobacco smoke, combinadas mediante operadores booleanos AND y OR.

Se incluyeron artículos científicos publicados en los últimos cinco años, disponibles en inglés o español, que abordaran la toxicidad de los cigarrillos electrónicos saborizados, la formación de compuestos tóxicos derivados de la degradación térmica de los saborizantes, los efectos citotóxicos e inflamatorios sobre el sistema respiratorio y las alteraciones cardiovasculares asociadas al vapeo. También se consideraron revisiones sistemáticas y estudios clásicos de alta relevancia cuando aportaban información fundamental para comprender los mecanismos.

4. Desarrollo

5.1. La química de la degradación térmica y formación de compuestos tóxicos

La degradación térmica es uno de los principales procesos responsables de la formación de compuestos tóxicos en los cigarrillos electrónicos, durante el calentamiento del líquido, compuesto principalmente por propilenglicol, glicerina, nicotina y saborizantes, ocurren reacciones químicas que transforman estos ingredientes originales en nuevas sustancias; como consecuencia, el aerosol inhalado presenta una composición química mucho más compleja que la del líquido inicial, incluyendo numerosos productos de reacción y degradación que no estaban presentes antes de la vaporización (1). La naturaleza y cantidad de estos compuestos dependen de factores como la temperatura alcanzada, la potencia del dispositivo y la composición del líquido utilizado (7).

Entre los principales productos generados por la degradación térmica se encuentran

diversos compuestos carbonílicos, como formaldehído, acetaldehído, acroleína, glicoxal y metilglicoxa; estos compuestos se forman durante la descomposición de los solventes utilizados en los líquidos de vapeo y son relevantes debido a sus efectos tóxicos sobre el sistema respiratorio. La evidencia muestra que la formación de estos carbonilos contribuye significativamente a la carga tóxica del aerosol, ya que muchos de ellos poseen propiedades irritantes y pueden participar en mecanismos de estrés oxidativo y daño celular (1,8).

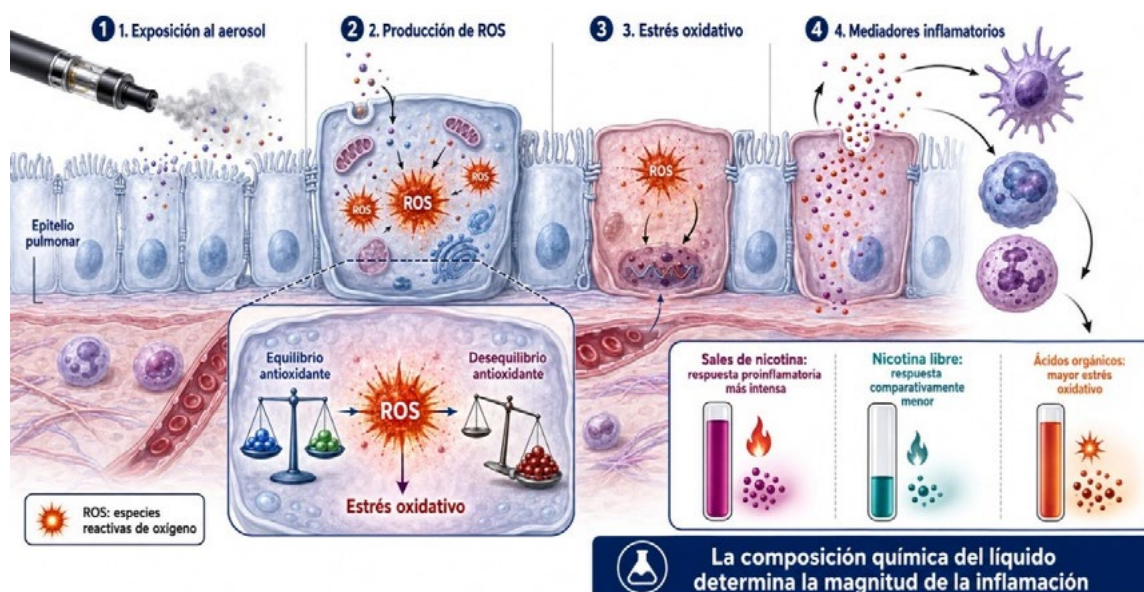
Además de los solventes, los saborizantes también pueden sufrir transformaciones químicas durante el calentamiento y generar productos secundarios adicionales (3). Asimismo, los aerosoles pueden contener partículas metálicas liberadas por componentes internos del dispositivo, aumentando la complejidad química de la exposición (9). Todos los productos de degradación se han asociado con procesos de inflamación, estrés oxidativo y lesión celular observados en estudios experimentales, lo que sugiere que los efectos adversos del vapeo no dependen únicamente

de los ingredientes originales, sino también de las sustancias formadas durante la generación del aerosol (1).

5.2. Citotoxicidad Directa y Respuesta Inflamatoria

La citotoxicidad asociada al vapeo se produce cuando los componentes del aerosol alteran la viabilidad y función normal de las células respiratorias (Imagen 1); estudios in vitro han demostrado que la exposición de células epiteliales pulmonares a aerosoles de cigarrillos electrónicos puede reducir significativamente la viabilidad celular y aumentar la liberación de lactato deshidrogenasa (LDH), un marcador de daño celular (10). En particular, los aerosoles compuestos por propilenglicol (PG) y glicerina vegetal (VG) mostraron una disminución de hasta el 50 % en la viabilidad celular, sugiriendo que incluso los componentes básicos de los líquidos de vapeo pueden inducir efectos citotóxicos, además, se observó que estos efectos aumentaban con concentraciones más elevadas de PG (3).

Imagen 1. Respuesta inflamatoria y estrés oxidativo

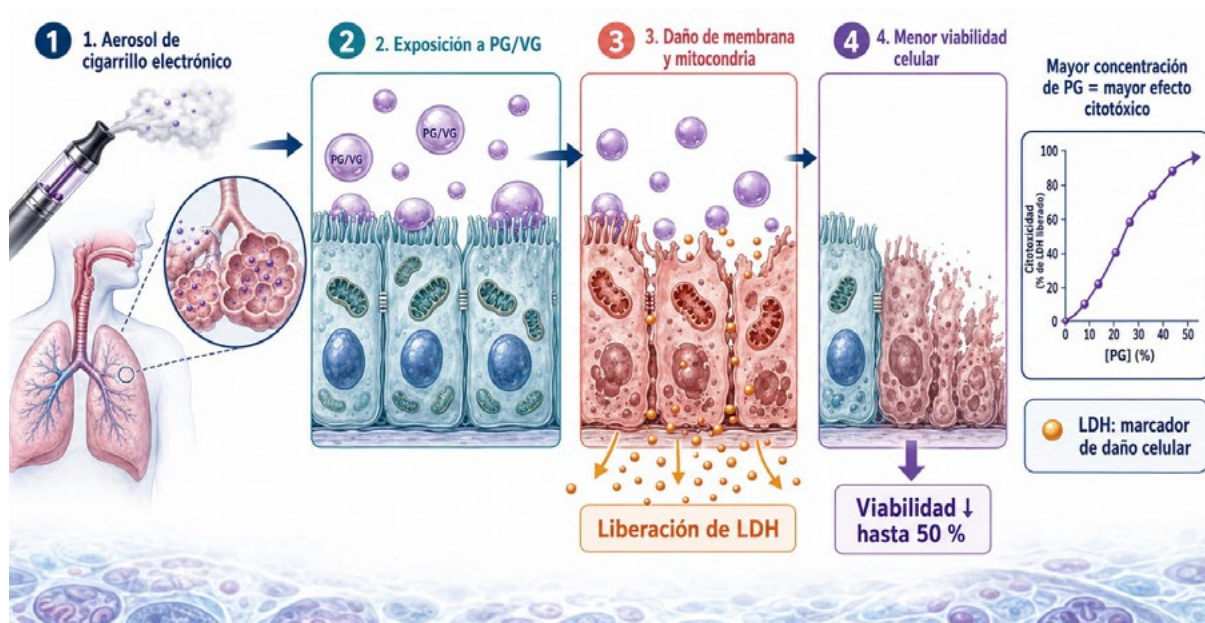


Referencia: Autoría propia basada en referencias (3, 10).

La respuesta inflamatoria constituye otro mecanismo importante de toxicidad, la exposición al aerosol puede estimular la producción de mediadores inflamatorios y especies reactivas de oxígeno, favoreciendo un estado de estrés oxidativo en las células pulmonares (10). Un estudio encontró que la nicotina en forma de sales generó una respuesta proinflamatoria

más intensa que la nicotina en forma libre, mientras que algunas combinaciones con ácidos orgánicos incrementaron adicionalmente el estrés oxidativo. Estos hallazgos sugieren que la composición química del líquido influye directamente en la magnitud de la inflamación inducida por el vapeo (4).

Imagen 2. Citotoxicidad directa asociada al vapeo



Referencia: Autoría propia basada en referencias (4, 10).

Los saborizantes también pueden desempeñar un papel relevante en la citotoxicidad y la inflamación, en modelos celulares pulmonares tridimensionales se observó que aerosoles con sabores de canela y avellana provocaron mayores efectos tóxicos que los de tabaco-vainilla (3). De manera similar, otro estudio que evaluó 53 sabores diferentes identificó que algunos compuestos aromatizantes, especialmente los relacionados con canela, producían disminución de la viabilidad celular y aumento de marcadores de lesión celular (11). Estos resultados indican que la toxicidad no depende únicamente de la nicotina, sino también de los aditivos utilizados para conferir sabor.

Lo expuesto sugiere que la mayor toxicidad atribuida a dichos saborizantes no solo depende de su presencia en el e-líquido, sino también de las características químicas de los compuestos que los conforman; sin embargo, los mecanismos moleculares implicados aún no han sido completamente esclarecidos (3,8). Para los saborizantes de canela, se propone la participación del canal TRPA1 con posible vía relacionada con la respuesta al estrés oxidativo, aunque su bloqueo farmacológico no redujo la citotoxicidad, lo que indica que otros mecanismos también podrían contribuir al daño celular (8). Por otro lado, el saborizante de avellana, a pesar de su elevada citotoxicidad, los estudios disponibles no identificaron

el compuesto responsable ni la ruta bioquímica específica que explica dicho efecto (3).

Aunque diversos estudios coinciden en que los cigarrillos electrónicos suelen ser menos citotóxicos que el humo del cigarrillo convencional, esto no significa que sean inocuos; una evaluación comparativa mostró que el humo del tabaco generó un daño celular considerablemente mayor; sin embargo, los aerosoles de cigarrillos electrónicos aún fueron capaces de inducir alteraciones celulares, estrés oxidativo y respuestas inflamatorias detectables. Por ello, la exposición repetida y prolongada podría contribuir al desarrollo de daño pulmonar crónico incluso en ausencia del humo tradicional (5).

5.3. Toxicidad específica de los saborizantes

Los saborizantes utilizados en los cigarrillos electrónicos no son compuestos biológicamente inertes y pueden contribuir significativamente a la toxicidad de los aerosoles inhalados (12). Entre los compuestos más estudiados se encuentran el diacetilo y la 2,3-pentandiona, sustancias pertenecientes al grupo de las dicetonas α , empleadas principalmente para conferir sabores cremosos, dulces o similares a mantequilla. Aunque estos compuestos son considerados seguros para su consumo por vía oral, la exposición inhalatoria se ha asociado con lesiones respiratorias severas (13). Diversas investigaciones han relacionado la inhalación crónica de estas sustancias con el desarrollo de bronquiolitis obliterante, una enfermedad pulmonar obstructiva irreversible caracterizada por inflamación y fibrosis de los bronquiolos, conocida popularmente como "pulmón de las palomitas de maíz" (14). Estudios recientes continúan identificando la presencia de diacetilo y compuestos relacionados en líquidos y aerosoles de cigarrillos electrónicos saborizados, lo que mantiene vigente la preocupación sobre sus efectos respiratorios a largo plazo (15).

Por otra parte, los saborizantes mentolados y los agentes refrigerantes sintéticos, como el WS-23, han adquirido una creciente relevancia debido a su amplia utilización en dispositivos de vapeo modernos (16). El mentol actúa sobre los receptores TRPM8, generando una sensación de frescura que puede disminuir la percepción de irritación respiratoria y favorecer inhalaciones más profundas y frecuentes. Investigaciones experimentales han demostrado que la exposición a mentol y WS-23 puede alterar la función del epitelio respiratorio, reduciendo la motilidad de los cilios encargados del aclaramiento mucociliar. Esta alteración compromete uno de los principales mecanismos de defensa pulmonar, favoreciendo la acumulación de partículas y microorganismos en las vías respiratorias (17).

Además, estudios recientes sugieren que tanto el mentol como los agentes refrigerantes sintéticos inducen estrés oxidativo y respuestas inflamatorias en células pulmonares humanas, caracterizadas por un incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno y la liberación de citocinas proinflamatorias (18). Estos mecanismos podrían contribuir al desarrollo de daño tisular, hipersensibilidad pulmonar y disfunción respiratoria, incluso en ausencia de nicotina (19). Por tanto, la evidencia disponible indica que la toxicidad de los cigarrillos electrónicos no depende únicamente de la nicotina o de los productos de degradación térmica, sino también de los propios saborizantes utilizados, los cuales pueden ejercer efectos biológicos adversos sobre el sistema respiratorio y cardiovascular (14).

5.4. Comparación toxicológica entre cigarrillos electrónicos y tabaco convencional

Tradicionalmente, los cigarrillos electrónicos han sido promocionados como una alternativa menos perjudicial que el tabaco convencional debido a la ausencia de combustión y, por consiguiente, de algunos compuestos altamente tóxicos presentes en el humo del tabaco, como

el alquitrán y el monóxido de carbono (20). Sin embargo, la reducción de ciertos tóxicos no implica la ausencia de riesgos para la salud. Estudios recientes han demostrado que los aerosoles generados por los cigarrillos electrónicos contienen una compleja mezcla de sustancias potencialmente dañinas, incluyendo aldehídos, compuestos orgánicos volátiles, radicales libres, partículas ultrafinas y metales pesados liberados por los componentes del dispositivo (12). Estas sustancias pueden inducir estrés oxidativo, inflamación sistémica y daño celular, mecanismos que también se observan en la exposición al humo de tabaco convencional (21).

Una diferencia importante entre ambos productos radica en la naturaleza de los contaminantes inhalados; mientras que el humo del tabaco contiene miles de productos derivados de la combustión, los cigarrillos electrónicos pueden liberar nanopartículas metálicas provenientes de las resistencias de calentamiento (22). Metales como níquel, cromo, plomo, cobre y estaño han sido identificados en concentraciones variables en aerosoles de vapeo, especialmente cuando se utilizan líquidos saborizados con características químicas que favorecen la corrosión de las bobinas (23). Debido a su reducido tamaño, estas partículas

ultrafinas pueden penetrar profundamente en los pulmones, atravesar la barrera alveolar y alcanzar la circulación sistémica, facilitando su distribución hacia órganos distantes como el cerebro, el corazón y los riñones (21).

La evidencia reciente sugiere que la exposición repetida a estos metales puede contribuir a procesos neuroinflamatorios, alteraciones de la función endotelial y daño cardiovascular temprano (24). Asimismo, algunos estudios experimentales han señalado que las nanopartículas metálicas presentes en el aerosol del vapeo pueden generar una elevada producción de especies reactivas de oxígeno y afectar la función mitocondrial celular (12). Aunque el tabaco convencional continúa asociándose con una carga tóxica global superior debido a la gran cantidad de carcinógenos y productos de combustión que contiene, los cigarrillos electrónicos saborizados presentan riesgos toxicológicos particulares que no están presentes en el tabaquismo tradicional (21). Por ello, la evidencia actual respalda que ambos productos poseen perfiles de toxicidad diferentes, pero potencialmente relevantes para la salud respiratoria, cardiovascular y neurológica, especialmente cuando el uso se inicia a edades tempranas o se mantiene de forma crónica (25).

Tabla 1. Comparación toxicológica entre cigarrillos electrónicos saborizados y el tabaco convencional.

Característica	Cigarrillo electrónico saborizado	Tabaco convencional
Mecanismo de generación	Calentamiento de líquidos (aerosolización)	Combustión del tabaco
Alquitrán	Ausente	Presente
Monóxido de carbono	Ausente o mínimo	Elevado
Aldehídos (formaldehído, acetaldehído, acroleína)	Presentes por degradación térmica	Presentes por combustión
Metales pesados	Níquel, cromo, plomo, cobre, provenientes de las resistencias	Cadmio, arsénico, plomo y otros derivados del tabaco

Partículas ultrafinas	Elevadas	Elevadas
Estrés oxidativo	Presente	Presente
Inflamación pulmonar	Presente	Presente
Citotoxicidad celular	Moderada a elevada, dependiendo del saborizante	Elevada
Disfunción endotelial	Demostrada en estudios recientes	Bien establecida
Riesgo cardiovascular	Evidencia creciente	Bien establecido
Riesgo carcinogénico	Aún en estudio	Claramente demostrado
Toxicidad asociada a saborizantes	Sí (mentol, diacetilo, WS-23, cinamaldehído)	No constituye el principal mecanismo tóxico
Efectos neurológicos potenciales	Asociados a nanopartículas metálicas y nicotina	Asociados principalmente a nicotina y tóxicos de combustión

Referencia: Autoría propia basada en referencias (12,20,25).

5.5. Disfunción endotelial y riesgo cardiovascular temprano

La exposición a aerosoles de cigarrillos electrónicos puede producir alteraciones tempranas en la función endotelial, uno de los primeros eventos en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares; diversos estudios han demostrado que el vapeo reduce la biodisponibilidad de óxido nítrico, molécula esencial para mantener la relajación vascular y el flujo sanguíneo normal. Como consecuencia, los vasos sanguíneos pierden parte de su capacidad para dilatarse adecuadamente, favoreciendo cambios vasculares que pueden preceder a la aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares (6).

La disfunción endotelial inducida por el vapeo se relaciona estrechamente con el aumento del estrés oxidativo y la inflamación vascular, la inhalación de aerosoles genera especies reactivas de oxígeno que dañan las células endoteliales y promueven la liberación de mediadores inflamatorios (10). Estos cambios favorecen la rigidez arterial, alteraciones de la función vascular y el inicio de procesos

ateroscleróticos que tradicionalmente se asocian con enfermedad cardiovascular (6).

Además de los efectos celulares, se han observado cambios fisiológicos agudos tras el uso de cigarrillos electrónicos, estudios clínicos reportan incrementos transitorios de la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la actividad del sistema nervioso simpático después del vapeo (6). Estos efectos son atribuibles principalmente a la nicotina, que estimula la liberación de catecolaminas y aumenta la carga de trabajo cardiovascular, aunque estas alteraciones son temporales, la exposición repetida podría contribuir al desarrollo de daño vascular a largo plazo (26).

La evidencia actual sugiere que los cigarrillos electrónicos no están exentos de riesgo cardiovascular, aunque en general producen menos sustancias tóxicas que los cigarrillos convencionales, diversos estudios han encontrado marcadores tempranos de lesión vascular, inflamación y disfunción endotelial en usuarios de vapeadores. Estos hallazgos indican que el uso crónico de estos dispositivos podría favorecer la aparición de enfermedades cardiovasculares incluso antes de que se desarrollen síntomas clínicos evidentes (27).

5.6. Daño al ADN, genotoxicidad y potencial carcinogénico

La citotoxicidad inducida por los cigarrillos electrónicos no solo compromete la viabilidad celular, sino que también puede favorecer procesos de genotoxicidad asociados con el desarrollo de cáncer (11). Diversos estudios han demostrado que la exposición a los aerosoles del vapeo incrementa biomarcadores de daño al ADN, incluyendo rupturas de cadena simple y doble, oxidación de bases nitrogenadas y formación de micronúcleos, alteraciones que reflejan inestabilidad genómica (16). Además, algunos compuestos generados durante la degradación térmica de los líquidos, como los aldehídos reactivos, son capaces de formar aductos con el ADN e interferir con los mecanismos de reparación del material genético (25). La persistencia de estas lesiones favorece la acumulación de mutaciones somáticas, consideradas uno de los eventos iniciales en la transformación maligna de las células (30).

Aunque la evidencia epidemiológica sobre la asociación entre cigarrillos electrónicos y cáncer aún continúa en desarrollo debido a su introducción relativamente reciente, la evidencia experimental disponible demuestra la activación de mecanismos biológicos estrechamente relacionados con la carcinogénesis (25). Entre ellos destacan la alteración de las vías de reparación del ADN, la disregulación del ciclo celular, la inhibición de la apoptosis de células dañadas y las modificaciones epigenéticas que alteran la expresión génica sin cambiar la secuencia del ADN (27). Estos cambios favorecen la supervivencia y proliferación de células con daño genético acumulado. En contraste, el tabaco convencional posee una relación causal ampliamente establecida con múltiples neoplasias debido a la presencia de numerosos carcinógenos; sin embargo, los hallazgos actuales indican que los cigarrillos electrónicos tampoco están

exentos de potencial carcinogénico, especialmente cuando la exposición es prolongada y repetitiva (30).

6. Discusión

Los hallazgos de Cao et al. (20), evidencian que los cigarrillos electrónicos saborizados no constituyen una alternativa exenta de riesgos para la salud. Aunque inicialmente fueron promovidos como dispositivos potencialmente menos dañinos que el tabaco convencional debido a la ausencia de combustión, la evidencia actual demuestra que la generación de aerosoles mediante calentamiento produce compuestos tóxicos capaces de inducir estrés oxidativo, inflamación y daño celular.

En concordancia Margham et al (1), Aleksandr et al. (12), Armas et al. (21), Eshraghian (22) y Li et al (28), describen que la composición química de los aerosoles depende de la presencia de nicotina, de los saborizantes utilizados, de la temperatura de funcionamiento del dispositivo y de las características del e-líquido. Estos autores reportan que el calentamiento del propilenglicol y la glicerina vegetal favorece la formación de aldehídos reactivos, compuestos carbonílicos, compuestos orgánicos volátiles y partículas ultrafinas. Entre los productos identificados destacan formaldehído, acetaldehído y acroleína, sustancias ampliamente reconocidas por su potencial citotóxico y proinflamatorio. Estos hallazgos sugieren que la toxicidad del vapeo no puede atribuirse únicamente a la nicotina, sino también a los productos secundarios generados durante la aerosolización.

Respecto a los efectos celulares, Effah et al. (29), demostraron que los aerosoles de cigarrillos electrónicos inducen alteraciones importantes en células epiteliales respiratorias y endoteliales, incluyendo incremento de especies reactivas de oxígeno, alteración de la función mitocondrial, disminución de la viabilidad celular y aumento en la liberación

de citocinas inflamatorias. Estos resultados coinciden con los reportados por Mercier et al. (10), quienes observaron aumento de marcadores de daño celular tras la exposición a aerosoles de vapeo, y con los hallazgos de Wang et al. (5), que describieron respuestas inflamatorias y alteraciones en los mecanismos de reparación tisular. Aunque Wang et al. (5), encontraron que los aerosoles de vapeo presentan una citotoxicidad inferior a la observada con el humo del cigarrillo convencional, los autores coinciden en que estos productos no están libres de efectos biológicos adversos.

La toxicidad observada también parece estar influenciada por el tipo de saborizante empleado. Effah et al. (3) identificaron una mayor toxicidad en aerosoles con sabores de canela y avellana, mientras que Keyser et al. (2), reportaron que determinados compuestos aromatizantes incrementan el daño celular y las respuestas inflamatorias. De manera similar, Kerasioti et al. (23), señalaron que la composición química específica de los aditivos desempeña un papel determinante en el grado de daño biológico observado.

Entre los saborizantes más estudiados destacan el diacetilo y la 2,3-pentanodiona, compuestos frecuentemente utilizados para conferir sabores dulces o cremosos. Travis et al. (24), relacionaron estas sustancias con lesiones bronquiales y bronquiolitis obliterante. Asimismo, Manchado (30), señala que su presencia en productos de vapeo genera preocupación debido a sus posibles efectos respiratorios a largo plazo, incluyendo neumonía eosinofílica aguda e hiperplasia de neumocitos tipo II. Por otra parte, Aleksandr et al. (12), describieron que el mentol y agentes refrigerantes sintéticos como el WS-23 pueden alterar el aclaramiento mucociliar y favorecer respuestas inflamatorias pulmonares, lo que sugiere que determinados aditivos poseen mecanismos tóxicos propios que pueden actuar independientemente de la nicotina.

La comparación entre cigarrillos electrónicos y tabaco convencional continúa siendo motivo de debate. Farsalinos (25), sostiene que el humo del cigarrillo convencional mantiene una carga tóxica global superior debido a la presencia de numerosos carcinógenos y productos derivados de la combustión. Sin embargo, esta diferencia no implica que los cigarrillos electrónicos sean inocuos. Según Añez et al. (21), el vapeo expone a los usuarios a partículas ultrafinas y metales pesados liberados por los sistemas de calentamiento, incluyendo níquel, cromo y plomo, sustancias relacionadas con toxicidad sistémica, alteraciones cardiovasculares y potencial neurotoxicidad.

En el ámbito cardiovascular, Martínez et al. (31), sugieren que los cigarrillos electrónicos pueden inducir disfunción endotelial mediante mecanismos relacionados con estrés oxidativo e inflamación vascular. De forma similar, Velázquez et al. (32), describieron alteraciones agudas de la función vascular y disminución de la biodisponibilidad de óxido nítrico tras la exposición al aerosol de vapeo. Estos resultados son consistentes con el metaanálisis realizado por Meng et al. (6), quienes reportaron una reducción de la capacidad vasodilatadora y evidencias de disfunción endotelial, considerada una etapa temprana en el desarrollo de aterosclerosis. Asimismo, Travis et al. (24), respaldan la hipótesis de que el uso prolongado de cigarrillos electrónicos podría incrementar el riesgo cardiovascular, especialmente cuando se combina con otros factores predisponentes.

7. Conclusiones

La evidencia científica analizada demuestra que los cigarrillos electrónicos saborizados no constituyen una alternativa inocua al tabaco convencional, ya que la degradación térmica de sus componentes genera una amplia variedad de compuestos tóxicos capaces de inducir

citotoxicidad, estrés oxidativo, inflamación y alteraciones de la función endotelial. Aunque el humo del cigarrillo convencional mantiene una mayor carga global de carcinógenos y productos derivados de la combustión, los aerosoles de los cigarrillos electrónicos presentan perfiles toxicológicos propios relacionados con la presencia de aldehídos, partículas ultrafinas, metales pesados y saborizantes como el diacetilo, el mentol y los agentes refrigerantes sintéticos, los cuales pueden afectar el sistema respiratorio y cardiovascular. En conjunto, los hallazgos disponibles sugieren que el uso prolongado de estos dispositivos representa un riesgo potencial para la salud, especialmente en adolescentes y adultos jóvenes, por lo que es necesario continuar desarrollando investigaciones que permitan esclarecer sus efectos a largo plazo y fortalecer las estrategias de prevención, regulación y educación sanitaria sobre su consumo.

8. Referencias bibliográficas

1. Margham J, McAdam K, Cunningham A, Porter A, Fiebelkorn S, Mariner D, et al. The Chemical Complexity of e-Cigarette Aerosols Compared With the Smoke From a Tobacco Burning Cigarette. *Front Chem.* 30 de septiembre de 2021;9:743060. doi:[10.3389/FCHEM.2021.743060/TEXT](https://doi.org/10.3389/FCHEM.2021.743060/TEXT) PubMed PMID: 34660535.
2. Keyser BM, Leverette R, Wertman J, Shutsky T, McRae R, Szeliga K, et al. Evaluation of Cytotoxicity and Oxidative Stress of Whole Aerosol from Vuse Alto ENDS Products. *Toxics* 2024, Vol 12, Page 129. 4 de febrero de 2024;12(2):129. doi:[10.3390/TOXICS12020129](https://doi.org/10.3390/TOXICS12020129)
3. Effah F, Adragna J, Luglio D, Bailey A, Marczylo T, Gordon T. Toxicological assessment of E-cigarette flavored E-liquids aerosols using Calu-3 cells: A 3D lung model approach. *Toxicology.* 1 de diciembre de 2023;500:153683. doi:[10.1016/J.TOX.2023.153683](https://doi.org/10.1016/J.TOX.2023.153683) PubMed PMID: 38013136.
4. Wang Q, Lucas JH, Pang C, Zhao R, Rahman I. Tobacco and menthol flavored nicotine-free electronic cigarettes induced inflammation and dysregulated repair in lung fibroblast and epithelium. *Respiratory Research* 2023 25:1. 10 de enero de 2024;25(1):23-. doi:[10.1186/S12931-023-02537-9](https://doi.org/10.1186/S12931-023-02537-9) PubMed PMID: 38200492.
5. Wang L, Wang Y, Yang X, Duan K, Jiang X, Chen J, et al. Cytotoxicity and cell injuries of flavored electronic cigarette aerosol and mainstream cigarette smoke: A comprehensive in vitro evaluation. *Toxicol Lett.* 1 de febrero de 2023;374:96-110. doi:[10.1016/J.TOXLET.2022.12.012](https://doi.org/10.1016/J.TOXLET.2022.12.012) PubMed PMID: 36572074.
6. Meng XC, Guo XX, Peng ZY, Wang C, Liu R. Acute effects of electronic cigarettes on vascular endothelial function: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Prev Cardiol.* 27 de marzo de 2023;30(5):425-35. doi:[10.1093/EURJPC/ZWAC248](https://doi.org/10.1093/EURJPC/ZWAC248) PubMed PMID: 36316290.
7. Jaegers NR, Hu W, Weber TJ, Hu JZ. Low-temperature (< 200 °C) degradation of electronic nicotine delivery system liquids generates toxic aldehydes. *Scientific Reports* 2021 11:1. 8 de abril de 2021;11(1):7800-. doi:[10.1038/s41598-021-87044-x](https://doi.org/10.1038/s41598-021-87044-x) PubMed PMID: 33833273.
8. McAdam K, Waters G, Moldoveanu S, Margham J, Cunningham A, Vas C, et al. Diacetyl and Other Ketones in e-Cigarette Aerosols: Some Important Sources and Contributing Factors. *Front Chem.* 23 de septiembre de 2021;9:742538. doi:[10.3389/FCHEM.2021.742538/TEXT](https://doi.org/10.3389/FCHEM.2021.742538/TEXT)
9. Sussman RA, Sipala FM, Ronsisvalle S, Soulet S. Analytical methods and experimental quality in studies targeting carbonyls in electronic cigarette aerosols. *Front*

- Chem. 9 de agosto de 2024;12:1433626. doi:10.3389/FCHEM.2024.1433626/TEXT
10. Mercier C, Pourchez J, Leclerc L, Forest V. In vitro toxicological evaluation of aerosols generated by a 4th generation vaping device using nicotine salts in an air-liquid interface system. *Respiratory Research* 2024 25:1. 5 de febrero de 2024;25(1):75-. doi:10.1186/S12931-024-02697-2 PubMed PMID: 38317149.
 11. Effah F, Elzein A, Taiwo B, Baines D, Bailey A, Marczylo T. In Vitro high-throughput toxicological assessment of E-cigarette flavors on human bronchial epithelial cells and the potential involvement of TRPA1 in cinnamon flavor-induced toxicity. *Toxicology*. 1 de septiembre de 2023;496:153617. doi:10.1016/J.TOX.2023.153617 PubMed PMID: 37595738.
 12. Stefaniak AB, LeBouf RF, Ranpara AC, Leonard SS. Toxicology of flavoring- and cannabis-containing e-liquids used in electronic delivery systems. *Pharmacol Ther*. 1 de agosto de 2021;224:107838. doi:10.1016/J.PHARMTHERA.2021.107838 PubMed PMID: 33746051.
 13. Kanwal R, Kullman G, Piacitelli C, Boylstein R, Sahakian N, Martin S, et al. Flavours and lung disease. *J Occup Environ Med*. 2022;48(2):149-57. doi:10.1097/01.JOM.0000194152.48728.FB PubMed PMID: 16474263.
 14. Hernandez ML, Burbank AJ, Alexis NE, Rebuli ME, Hickman ED, Jaspers I, et al. Electronic Cigarettes and Their Impact on Allergic Respiratory Diseases: A Work Group Report of the AAAAI Environmental Exposures and Respiratory Health Committee. *J Allergy Clin Immunol Pract*. 2021;9:1142-51. doi:10.1016/j.jaip.2020.12.065
 15. Yang X, Che W, Zhang L, Zhang H, Chen X. Chronic airway inflammatory diseases and e-cigarette use: a review of health risks and mechanisms. *European Journal of Medical Research* 2025 30:1. 1 de abril de 2025;30(1):223-. doi:10.1186/S40001-025-02492-9
 16. Muthumalage T, Friedman MR, McGraw MD, Ginsberg G, Friedman AE, Rahman I. Chemical Constituents Involved in E-Cigarette, or Vaping Product Use-Associated Lung Injury (EVALI). *Toxics* 2020, Vol 8, Page 25. 3 de abril de 2021;8(2):25. doi:10.3390/TOXICS8020025
 17. Rebuli ME, Rose JJ, Noel A, Croft DP, Benowitz NL, Cohen AH, et al. The E-cigarette or Vaping Product Use-Associated Lung Injury Epidemic: Pathogenesis, Management, and Future Directions: An Official American Thoracic Society Workshop Report. *Ann Am Thorac Soc*. 1 de enero de 2023;20(1):1-17. doi:10.1513/ANALSATS.202209-796ST PubMed PMID: 36584985.
 18. Casey AM, Muise ED, Crotty Alexander LE. Vaping and e-cigarette use. Mysterious lung manifestations and an epidemic. *Curr Opin Immunol*. 1 de octubre de 2021;66:143. doi:10.1016/J.COI.2020.10.003 PubMed PMID: 33186869.
 19. Cha SR, Jang J, Park SM, Ryu SM, Cho SJ, Yang SR. Cigarette Smoke-Induced Respiratory Response: Insights into Cellular Processes and Biomarkers. *Antioxidants*. 1 de junio de 2023;12(6):1210. doi:10.3390/ANTIOX12061210 PubMed PMID: 37371940.
 20. Cao Y, Wu D, Ma Y, Ma X, Wang S, Li F, et al. Toxicity of electronic cigarettes: A general review of the origins, health hazards, and toxicity mechanisms. *Science of The Total Environment*. 10 de junio de 2021;772:145475. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2021.145475 PubMed PMID: 33770885.
 21. Añez A, Nicolle P, Duarte TC, Lozada Velázquez O, Medina S, Gabriel A, et al. EL CIGARRILLO ELECTRÓNICO COMO FACTOR DE RIESGO PARA

- ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES EN ADOLESCENTES. 2024.
22. Eshraghian EA, Al-Delaimy WK. A review of constituents identified in e-cigarette liquids and aerosols [Internet]. 2021. doi:[10.18332/tpc/131111](https://doi.org/10.18332/tpc/131111)
 23. Kerasioti E, Veskoukis AS, Skaperda Z, Zacharias A, Poulas K, Lazopoulos G, et al. The flavoring and not the nicotine content is a decisive factor for the effects of refill liquids of electronic cigarette on the redox status of endothelial cells. *Toxicol Rep*. 1 de enero de 2021;7:1095-102. doi:[10.1016/J.TOXREP.2020.08.029](https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2020.08.029)
 24. Travis N, Knoll M, Cook S, Oh H, Cadham CJ, Sánchez-Romero LM, et al. Chemical Profiles and Toxicity of Electronic Cigarettes: An Umbrella Review and Methodological Considerations. *Int J Environ Res Public Health*. 1 de febrero de 2023;20(3):1908. doi:[10.3390/IJERPH20031908/S1](https://doi.org/10.3390/IJERPH20031908/S1) PubMed PMID: 36767274.
 25. Farsalinos K. EN DEFENSA DE LOS SABORIZANTES EN LA REDUCCION DEL DAÑO POR TABACO, PARA SALVAR VIDAS. 2021.
 26. Poudel R, Li S, Hong H, Zhao J, Srivastava S, Robertson RM, et al. Catecholamine levels with use of electronic and combustible cigarettes. *Tob Induc Dis*. 14 de agosto de 2024;22(August):1-12. doi:[10.18332/TID/190687](https://doi.org/10.18332/TID/190687)
 27. Zong H, Hu Z, Li W, Wang M, Zhou Q, Li X, et al. Electronic cigarettes and cardiovascular disease: epidemiological and biological links. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* 2024 476:6. 20 de febrero de 2024;476(6):875-88. doi:[10.1007/S00424-024-02925-0](https://doi.org/10.1007/S00424-024-02925-0) PubMed PMID: 38376568.
 28. Li Y, Burns AE, Tran LN, Abellar KA, Poindexter M, Li X, et al. Impact of e-Liquid Composition, Coil Temperature, and Puff Topography on the Aerosol Chemistry of Electronic Cigarettes. *Chem Res Toxicol*. 21 de junio de 2021;34(6):1640-54. doi:[10.1021/ACS.CHEMRESTOX.1C00070](https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMRESTOX.1C00070) PubMed PMID: 33949191.
 29. Effah F, Taiwo B, Baines D, Bailey A, Marczylo T. Pulmonary effects of e-liquid flavors: a systematic review. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*. Taylor and Francis Ltd.; 2022. p. 343-71. doi:[10.1080/10937404.2022.2124563](https://doi.org/10.1080/10937404.2022.2124563) PubMed PMID: 36154615.
 30. Manchado A. Daño pulmonar agudo en el parénquima pulmonar asociado al consumo de cigarrillo tradicional vs. Cigarrillo electrónico. *AlfaPublicaciones*. 30 de junio de 2023;5(2.1):146-62. doi:[10.33262/APV5I2.1.372](https://doi.org/10.33262/APV5I2.1.372)
 31. Martínez-Larenas MV, Montañez-Aguirre ÁA, González-Valdelamar CA, Fraga-Duarte M, Cossío-Rodea G, Vera-López JC, et al. Efectos fisiopatológicos del cigarro electrónico: un problema de salud pública. *Neumol Cir Torax*. 1 de abril de 2022;81(2):121-30. doi:[10.35366/108498](https://doi.org/10.35366/108498)
 32. Velázquez López A, Erandi González Garnica A, Del Carmen M, Robelo R. Estudio del efecto de vapeadores y cigarrillos electrónicos en la salud de la población adolescente. *JÓVENES EN LA CIENCIA*. 24 de noviembre de 2025;37:1-15. doi:[10.15174/JC.2025.4999](https://doi.org/10.15174/JC.2025.4999)