

Capilaroscopia, la herramienta diagnóstica que confirma las reacciones de pirólisis en el cuerpo humano

Capillaroscopy, the diagnostic tool that confirms pyrolysis reactions in the human body

Victor Alfonso Abuadili Garza¹

¹Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México

abuadili@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0009-0004-5466-1880>

Correspondencia: abuadili@yahoo.com.mx

Recibido: 17/06/2025

Aceptado: 18/09/2025

Publicado: 20/10/2025

Resumen

Objetivo: Se estudió cómo la capilaroscopia puede ser útil para diagnosticar, en vivo y en tiempo real, las reacciones de pirólisis en el cuerpo humano y su conexión con el síndrome metabólico. El objetivo es prever el daño en los tejidos y ayudar a tomar decisiones preventivas.

Metodología: Se aplicó un diseño cuantitativo, documental y clínico. Se revisó literatura especializada y se implementó la metodología de Valoración Metabólica del Sistema ATDM, combinando bioimpedancia y capilaroscopia en 6031 personas atendidas en México, Estados Unidos, República Dominicana, Guatemala, Puerto Rico y Colombia. Los registros e imágenes se integraron a una plataforma de análisis para describir patrones compatibles con secuencias químicas tipo Ivanov (medio alcalino) y Tishchenko (medio ácido). **Resultados:** Se reconocieron firmas ópticas y morfológicas asociadas a deshidratación de azúcares, formación de compuestos α -carbonílicos y pardeamiento no enzimático. Dichas expresiones se correlacionaron con indicadores de composición corporal por bioimpedancia y con rasgos de resistencia a la insulina. La capilaroscopia funcionó como tamizaje sensible, no invasivo y de bajo costo. Fue capaz de detectar procesos causales vinculados al síndrome metabólico antes de la aparición de signos y síntomas. **Conclusiones:** La combinación de capilaroscopia y bioimpedancia dentro del sistema ATDM ofrece un enfoque que ayuda a prevenir y predecir problemas de salud, y se puede utilizar en atención primaria. Se concluyó que este abordaje permitió documentar y ordenar hallazgos etiológicos en tiempo real y podría apoyar

intervenciones oportunas. También se sugirió realizar mediciones específicas y estudios estadísticos en varios centros para medir el riesgo metabólico particular y confirmar la utilidad del método para predecir resultados en diferentes grupos de personas.

Palabras clave: Diagnóstico, metabolismo, enfermedades metabólicas, circulación sanguínea, pirólisis.

Abstract

Objective: We investigated how capillaroscopy can be useful for diagnosing, in vivo and in real time, pyrolysis reactions in the human body and their connection to metabolic syndrome. The objective is to predict tissue damage and help make preventive decisions. **Methodology:** A quantitative, documentary, and clinical design was applied. Specialized literature was reviewed, and the ATDM System Metabolic Assessment methodology was implemented, combining bioimpedance and capillaroscopy in 6,031 individuals treated in Mexico, the United States, the Dominican Republic, Guatemala, Puerto Rico, and Colombia. The records and images were integrated into an analysis platform to describe patterns consistent with Ivanov-type (alkaline medium) and Tishchenko-type (acidic medium) chemical sequences. **Results:** Optical and morphological signatures associated with sugar dehydration, α -carbonyl compound formation, and non-enzymatic browning were identified. These expressions were correlated with body composition indicators measured by bioelectrical impedance analysis and with features of insulin resistance. Capillaroscopy served as a sensitive, non-invasive, and low-cost screening tool. It was able to detect causal processes linked to metabolic syndrome before the onset of signs and symptoms. **Conclusions:** The combination of capillaroscopy and bioimpedance within the ATDM system offers an approach that helps prevent and predict health problems and can be used in primary care. It was concluded that this approach enabled the documentation and organization of etiological findings in real time and could support timely interventions. It was also suggested to conduct specific measurements and statistical studies at multiple centers to assess the metabolic risk and confirm the method's utility in predicting outcomes across different population groups.

Keywords: Diagnosis, metabolism, metabolic diseases, blood circulation, pyrolysis.

Introducción

El síndrome metabólico reúne obesidad, dislipidemia, hipertensión y resistencia a la insulina. No obstante, la práctica clínica y buena parte de la investigación han tendido a mirar sobre todo los efectos, e incluso las complicaciones de los efectos, más que las causas primeras del proceso patológico (Abuadili Garza, 2019). Esta lógica, como advierte la discusión filosófica y política del conocimiento, puede propiciar un “cientificidio” que desaliente preguntas y rutas novedosas en el campo biomédico (Dussel & Liaudat, 2019; Liaudat & Bilmes, 2024). A ello se suma que los criterios diagnósticos no han sido plenamente unificados (ATPIII, OMS, AACE e IDF), lo que dificulta la comparabilidad y la toma de decisiones (Ramírez-López et al., 2021). Además, la ausencia de una prueba clínica única, accesible y anticipatoria que permita identificar tempranamente el trastorno antes de la aparición de signos y síntomas contribuye a un subdiagnóstico persistente (Abuadili Garza, 2023).

Ante este panorama, se requiere una prueba sencilla, de bajo costo y alto impacto que ayude a detectar causas y no solo efectos, y que traslade el enfoque desde la subjetividad a la medición objetiva mediante patrones, procesos, procedimientos y sistemas reproducibles (Abuadili Garza, 2019; Abuadili Garza, 2023).

En esa dirección, proponemos la capilaroscopia como herramienta no invasiva que permite observar *in vivo* y en tiempo real la microcirculación, el estado tisular y parámetros vinculados al metabolismo. Por su simplicidad y costo, es útil como tamizaje y sirve tanto para un paradigma etiológico (identificación de procesos causales) como para el diagnóstico de estados anómalos relacionados con diversas patologías (Abuadili Garza, 2019; Abuadili Garza, 2023).

Aunque la capilaroscopia se ha usado sobre todo en dermatología, reumatología y angiología, su difusión en otras áreas ha sido limitada por la necesidad de entrenamiento y equipamiento, así como por la escasa estandarización histórica. Sin embargo, la evidencia reciente muestra protocolos claros, indicaciones precisas y un valor agregado para el estudio del paciente en tiempo real (Gómez et al., 2011; Colmenares-Roldán et al., 2016).

Sobre esta base, el autor ha desarrollado la Valoración Metabólica como metodología de consultorio *in situ* dentro del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (ATDM). Se trata de una medición matemática preventiva y predictiva que permite estimar el estado metabólico en tiempo real, generar un “semáforo” de afectación y reconocer causas,

daños tisulares presentes y posibles consecuencias, orientando decisiones oportunas (Abuadili Garza, 2025a; Abuadili Garza, 2025b; Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023).

Con esta aproximación, se ha mostrado que la capilaroscopia facilita la identificación en tiempo real de componentes de la reacción de Maillard y de la condensación no enzimática, la observación de su secuencia por etapas y su correlación con la bioimpedancia clínica. En particular, se sugiere una relación directamente proporcional entre la resistencia a la insulina, estimada por somatometría de bioimpedancia basada en composición corporal, y los procesos de la reacción de Maillard, así como asociaciones con reacciones de pirólisis y con el desequilibrio redox (edad metabólica por bioimpedancia) y marcadores de estrés oxidativo y nitrosativo visibles en capilaroscopia (Abuadili Garza, 2025c; Abuadili Garza, 2025d).

Objetivo del estudio. Identificar *in vivo* y en tiempo real, mediante capilaroscopia, los procesos histopatológicos que desencadenan el síndrome metabólico, con énfasis en las reacciones de pirólisis en el organismo humano.

Hipótesis

1. Es posible identificar *in vivo* y en tiempo real, mediante capilaroscopia, reacciones bioquímicas de pirólisis en el cuerpo humano.
2. Los procesos metabólicos identificados por capilaroscopia se relacionan intrínsecamente con el síndrome metabólico.

Hipótesis nula

1. Si no se pueden identificar mediante capilaroscopia, *in vivo* y en tiempo real, las reacciones de pirólisis en el cuerpo humano.
2. Si no existe una relación intrínseca con el síndrome metabólico.

Revisión de la literatura

La pirólisis (del griego *pyro*, 'fuego', y *lysis*, 'ruptura') es la descomposición química de materia orgánica y otros materiales (excepto metales y vidrios) causada por calentamiento en ausencia de oxígeno (y de halógenos). Implica cambios simultáneos, irreversibles, en la

composición química y en el estado físico y, en las condiciones descritas, no genera dioxinas ni furanos.

Las reacciones de pirólisis constituyen un proceso complejo que transforma sustratos orgánicos para producir mezclas de productos sólidos, líquidos y gaseosos, y se emplean ampliamente para obtener solventes, combustibles y otras sustancias a partir de biomasa (Bhandari, Lamsal, & Adhikari, 2021). Estudios recientes matizan la definición y describen escenarios de degradación térmica con oxígeno limitado, en los que coexisten rutas más lentas y múltiples subreacciones (Wang et al., 2020), algo consistente con la diversidad de vías observadas en componentes como la celulosa y la lignina (Kawamoto, 2017).

La complejidad del proceso depende de varios factores (Wang et al., 2020; Kawamoto, 2017):

- Depende del tipo de sustancia que se esté pirolizando. No es lo mismo descomponer azúcar que un aceite, ya que las reacciones serán diferentes.
- Las distintas reacciones de pirólisis comienzan y terminan a temperaturas distintas.
- Varía según qué tan velozmente se caliente la sustancia.
- Depende de si se trata de una sustancia pura o de una
- Mezcla de distintos tipos de sustancias.
- Depende de la humedad de la muestra.

La pirólisis es un caso particular de termólisis: generalmente se calienta el material por encima de su temperatura de descomposición y se rompen enlaces químicos. Los fragmentos pueden convertirse en moléculas más pequeñas o recombinarse para originar productos de mayor masa molecular, incluso sólidos covalentes amorfos (Kawamoto, 2017).

Clases operativas de pirólisis según el régimen térmico y el tiempo de residencia

Pirólisis ultralenta o de caramelización. Se origina en ambientes tisulares por reacciones de acidez celular en ausencia de oxígeno y presencia de nitrógeno, a 28–35 °C. Predominan transformaciones de azúcares, con paso de hexosas (por ejemplo, glucosa) a pentosas. Es un proceso muy lento, de 15 a 60 días.

En el medio externo se observa al freír alimentos o calentar azúcares para formar caramelos, con 150–300 °C. Los aceites o líquidos añadidos actúan como catalizadores y el proceso dura de 20–45 minutos hasta varias horas.

Pirólisis lenta o carbonización. Usada desde hace siglos para producir carbón vegetal a partir de madera. Es un proceso lento (hasta 48 h) que alcanza ~500 °C.

Pirólisis intermedia o convencional. Con calentamiento más rápido, la reacción ocurre en 5–10 minutos. Se utiliza para convertir residuos (aserrín, restos de alimentos o cloacales) en combustibles secundarios.

Pirólisis rápida. Las muestras se calientan a 425–600 °C en segundos y los productos se enfrían rápidamente con agua para maximizar el bioaceite.

Pirólisis flash o muy rápida. Similar a la rápida pero más intensa: en menos de 0,5 s la sustancia supera 1000 °C, con mayor rendimiento de bioaceite.

Pirólisis al vacío. Se realiza en vacío durante 2–30 s, con calentamiento medio y temperaturas de hasta ~400 °C. El producto principal es el bioaceite.

Estudios recientes abordan las reacciones desde la termodinámica (entalpía, entropía y energía libre) y reconocen que los efectos estéricos y de carga pueden conducir a control cinético mediante barreras de activación (Ivanov, Wagenpfahl, Deibel, & Matysik, 2017). En otros escenarios, la dinámica se gobierna por el transporte difusional de especies muy reactivas — por ejemplo, radicales libres hacia la zona de reacción (Ivanov et al., 2017; Salikhov, Molin, Sagdeev, & Buchachenko, 1984).

Los radicales libres son especies con uno o más electrones desapareados y reactividad notable. Su participación en reacciones orgánicas se consolidó a mediados del siglo XX y su generación en sistemas biológicos se reconoció posteriormente (Di Meo & Venditti, 2020). Durante años prevaleció una visión predominantemente dañina, suficiente para procesos conservadores del espín (sin cambio de multiplicidad) (Di Meo & Venditti, 2020; Steiner & Ulrich, 1989). Sin embargo, si durante la reacción cambia la multiplicidad, aplican reglas de espín y pueden observarse efectos de campo magnético y efectos isotópicos magnéticos, además de polarizaciones de espín electrónico y nuclear: es el ámbito de la química de espín (Ivanov et al., 2017; Salikhov et al., 1984; Steiner & Ulrich, 1989; Hayashi, 2004).

Para acortar la distancia entre lo molecular y la clínica, se requiere un conocimiento básico de los mecanismos que gobiernan la identidad celular a través de la activación selectiva de genes. La expresión diferencial permite sintetizar proteínas necesarias para funciones biológicas y responder a estímulos internos y externos (Gutiérrez Gómez et al., 2019). En paralelo, se han descrito reacciones electroquímicas de carbohidratos útiles para la síntesis selectiva de derivados (reducciones y oxidaciones de grupos hidroxilo, glicosilaciones), con paralelos conceptuales en sistemas vivos (Matsumoto & Nokami, 2024).

Cuando los radicales libres no son neutralizados por los sistemas de defensa, se asocian con numerosas condiciones patológicas (Di Meo & Venditti, 2020). No obstante, hoy se reconoce que los sistemas vivos también aprovechan su reactividad en procesos fisiológicos críticos (Matsumoto & Nokami, 2024). En este marco, radicales de hidrógeno pueden actuar como intermedios en degradaciones térmicas de carbohidratos, con reacciones en cadena durante la ruptura de enlaces por calor o radiación (Singh et al., 2024).

La caramelización (pirólisis ultralenta) en el organismo se observa cuando un monosacárido o disacárido supera su punto de fusión o se calienta en presencia de catalizadores ácidos o básicos. Alteraciones locales de espín y campos electromagnéticos se han propuesto como moduladores de rutas, facilitando secuencias reactivas sin requerir aumentos macroscópicos de temperatura comparables a entornos industriales (Abuadili Garza, 2025; Abuadili Garza, 2023; Singh et al., 2024). En aplicaciones tecnológicas, el color caramelo se produce por cocción controlada de carbohidratos con coadyuvantes (ácidos, álcalis, compuestos con sulfito o amonio) para intensificar el pardeamiento (Hayashi, 2004; Singh et al., 2024).

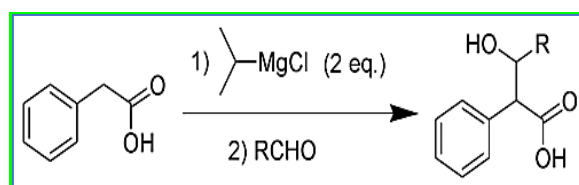
En el contexto biológico, se ha planteado que ciertas reacciones con rasgos de pirólisis tisular ocurren bajo acidez celular, degradación de materia orgánica y calentamiento progresivo, en condiciones de bajo oxígeno y presencia de nitrógeno e hidrógeno, sin combustión ni intermediarios enzimáticos (Abuadili Garza, 2025; Abuadili Garza, 2023). De forma específica, la transformación de hexosas en pentosas se vincula con deshidratación y formación de α -carbonilos (por ejemplo, derivados de furfural) con firmas ópticas y pigmentos difusos detectables (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025).

Progresión química de Ivanov (medio alcalino). La reacción de Ivanov describe la reacción de dianiones derivados del ácido arilacético (reactivos de Ivanov) con electrófilos, principalmente compuestos carbonílicos (por ejemplo, hexosas como la glucosa) o isocianatos. Recibe su

nombre por el químico orgánico búlgaro Dimitri Ivanov Popov. Estos reactivos responden frente a numerosos electrófilos, como aldehídos, isocianatos, cetonas y halocinatos (Zimmerman & Traxler, 1957) (Figura 1).

Figura 1

Reacción de Ivanov



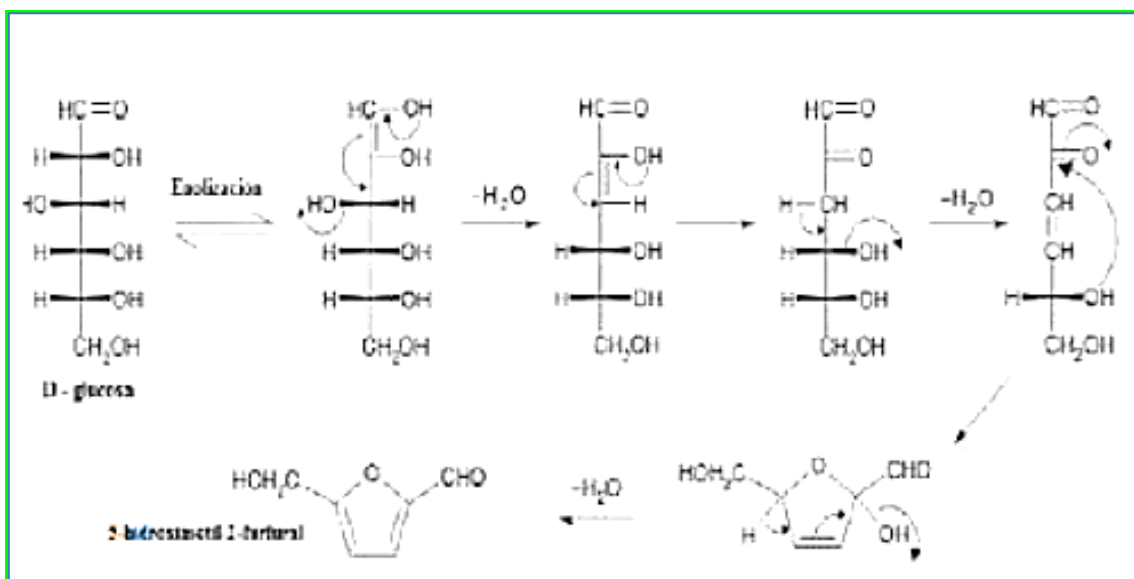
El producto no suele descarboxilarse de forma espontánea, aunque puede ocurrir con determinados sustratos. La reacción procede a través de un estado de transición: una colisión entre moléculas reactantes puede o no culminar en reacción, según la energía cinética relativa, la orientación y la energía interna de las moléculas. Incluso si los reactivos forman una “supermolécula”, ello no garantiza productos; pueden revertir a reactivos si la colisión es de baja energía (Blicke, Raffelson, & Barna, 1952).

La evolución hacia productos de Ivanov solo se producirá cuando se alcance ese punto crítico (máximo de energía de la coordenada de reacción). En el cuerpo humano se ha propuesto un paralelismo mecanístico: una condensación aldólica de carbohidratos (conversión de hexosa a pentosa) en medio alcalino, con bajo oxígeno y presencia de nitrógeno. La primera etapa incluye la conversión de D-glucosa a 1,2-enediol (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025).

Si el medio alcalino persiste, se favorece la deshidratación del azúcar y la formación de α -carbonilos, entre ellos derivados de furfural, detectables por firmas ópticas (fluorescencia con densidad óptica alrededor de 280 nm) y biorefectancia asociada a pigmentos amarillo-ocre con adhesión difusa a tejidos (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025) (Figura 2).

Figura 2

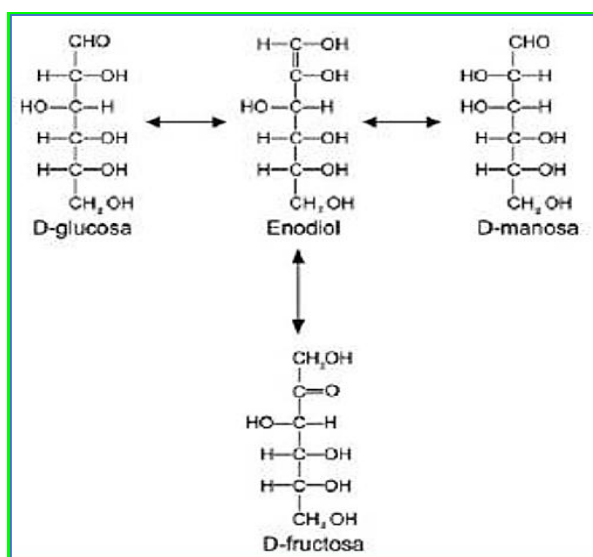
Derivados de furfural obtenidos por la reacción de Ivanov



La tercera etapa se asocia a la transformación de Lobry de Bruyn, en la que se descarboxila un carbono de la hexosa (glucosa o manosa) para convertirse en una pentosa (fructosa), mediante una descarboxilación acompañada de reducción en medio alcalino; macroscópicamente puede observarse una compacción con aspecto viscoso o “chicloso” (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025) (Figura 3).

Figura 3

Transformación de Lobry de Bruyn en la tercera etapa de la reacción de Ivanov

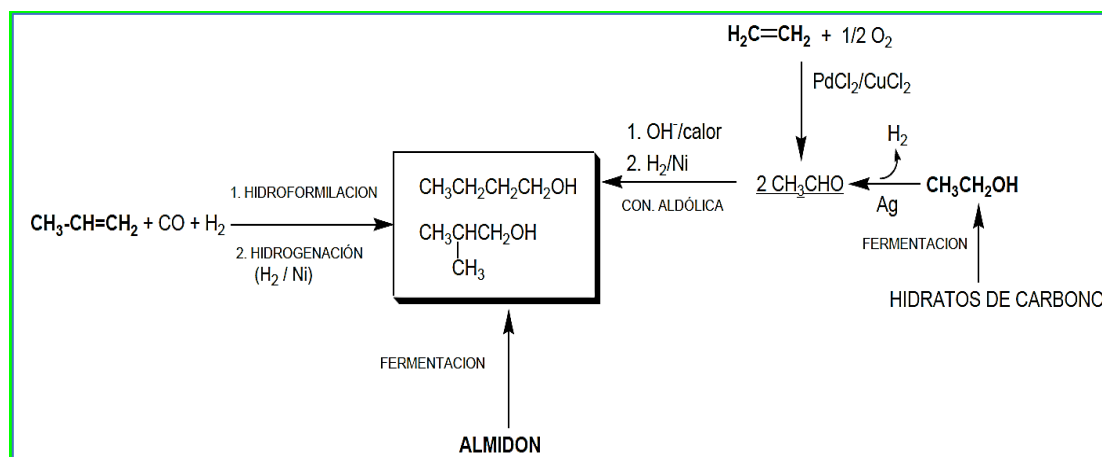


Progresión química de Tishenko (medio ácido). La reacción de Tishchenko, descrita en 1906, consiste en la condensación, mediada por un ácido de Lewis, de dos equivalentes de un aldehído para formar un éster. En 1990 se informó una variante relevante, la reacción de Evans–Tishchenko (Ralston & Hulme, 2012). La reacción de Tishchenko implica la dimerización de aldehídos hacia ésteres simétricos con amplias aplicaciones en síntesis orgánica; la variante Evans–Tishchenko, catalizada por SmI_2 , produce monoésteres de 1,3-antidiol, con múltiples usos en la síntesis de productos naturales (Dhanya, Shilpa, Saranya, & Anilkumar, 2020).

En el marco propuesto para carbohidratos, la reacción se origina tras condensación aldólica y lleva a la formación de almidón, con participación de procesos de hidrogenación, hidroformilación, fermentación, enolización y pirólisis. Aunque pueden darse en medio alcalino o ácido, se postula que la mayoría ocurre en medio ácido, con bajo oxígeno y presencia de nitrógeno (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025) (Figura 4).

Figura 4

Reacción de Tishchenko por aldolización de carbohidratos



Tras la formación del enol en medio ácido, y en condiciones de oxígeno bajo y nitrógeno presente, se propone una secuencia de eliminación donde se protoniza el ion hidróxido ($-\text{OH}$) y se expulsa agua. Esta deshidratación puede acompañarse de descarboxilación cuando hay un grupo carboxilo activado bajo control termodinámico local. El resultado es un incremento de la temperatura microambiental y el avance de la pirólisis: las enolizaciones de azúcares ocurren rápidamente, abundan fragmentaciones y oxidaciones, se acelera el pardeamiento y puede observarse cristalización de furfuraldehído (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025).

Estas sustancias residuales, con longitudes de onda características, deberían ser observables en tiempo real. Existen pruebas diagnósticas para detectar sujetos en riesgo de trastornos metabólicos crónicos, aunque rara vez se emplean con fines preventivos. La tecnología actual permite identificar causas muchos años antes de los primeros signos clínicos. De allí la propuesta del Sistema de Diagnóstico Metabólico Aplicado (Sistema ATDM) para evaluación en tiempo real del síndrome metabólico, con el objetivo de intervenir sobre causas y revertir tendencias o limitar complicaciones (Abuadili Garza, 2019; Ramírez-López, Aguilera, Rubio, & Aguilar-Mateus, 2021).

Como advierte Enrique Dussel, no basta con descubrir algo nuevo; importa para qué se descubre. En salud pública, repetir estrategias preventivas sin impacto perpetúa un cientificidio que impide adoptar avances orientados a las causas profundas de la enfermedad (Dussel & Liaudat, 2019).

Metodología

El presente artículo adopta un enfoque cuantitativo, documental y proposicional, con un estudio exploratorio, descriptivo, explicativo, proposicional y predictivo. En una primera fase, se realizó una revisión bibliográfica en PubMed, Google Scholar, Latindex y otros metabuscadores para caracterizar los procesos de pirólisis ultralenta y explorar su posible implicación en el cuerpo humano (Bhandari, Lamsal, & Adhikari, 2021; Wang et al., 2020; Kawamoto, 2017).

Para el trabajo clínico se empleó la metodología de Valoración Metabólica, desarrollada dentro del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM) (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023). Para contrastar las hipótesis se efectuó una evaluación clínica con bioimpedancia y capilaroscopia en 6031 personas (ambos sexos, sin restricción de edad ni estado de salud) en México, Estados Unidos, República Dominicana, Guatemala, Puerto Rico y Colombia. La capilaroscopia se utilizó como técnica no invasiva para la observación *in vivo* de la microcirculación y del estado tisular (Gómez, Urquijo, Mela, & Pittana, 2011; Colmenares-Roldán, Vélasquez-Franco, & Mesa-Navas, 2016).

Los resultados de las Valoraciones Metabólicas se integraron en un expediente clínico y las imágenes se incorporaron a una plataforma de *big data* del Sistema ATDM, con el objetivo de identificar mediante capilaroscopia signos compatibles con reacciones de pirólisis ultralenta en

el cuerpo humano. Se documentó la imagenología obtenida y se describió la progresión de las rutas químicas de Ivanov y Tishchenko, para analizar su posible implicación en el síndrome metabólico (Abuadili Garza, 2019; Abuadili Garza, 2025a; Abuadili Garza, 2025b; Abuadili Garza, 2025c; Abuadili Garza, 2025d).

Resultados

Mediante la metodología del Sistema ATDM, se aplicaron pruebas de bioimpedancia y capilaroscopia a participantes de ambos sexos y de todas las edades en México, Estados Unidos, República Dominicana, Guatemala, Puerto Rico y Colombia, generando un atlas imagenológico. Tras la selección y depuración de registros se identificaron los siguientes hallazgos capilaroscópicos relacionados con reacciones de pirólisis en el organismo.

Consideración general. Capilaroscópicamente, la manifestación de estas reacciones depende del medio tisular. La degradación de una hexosa (por ejemplo, glucosa) a pentosa (por ejemplo, fructosa o manosa) varía según el pH del tejido en el momento de la observación (Abuadili Garza, 2020; Abuadili Garza, 2023; Abuadili Garza, 2025a) (Figura 5).

Figura 5

Indicador de acidez celular

INDICADOR DE ACIDÉZ CELULAR			
PATRONES CAPILAROSCÓPICOS			
REACCIONES DE PIRÓLISIS			
			
REACCIÓN DE IVANOV (MÉDIO ALCALINO)	PIRÓLISIS ALCALINA	REACCIÓN DE TISHCHENKO (MÉDIO ÁCIDO)	PIRÓLISIS ÁCIDA

Así, se reconocen dos trayectorias principales:

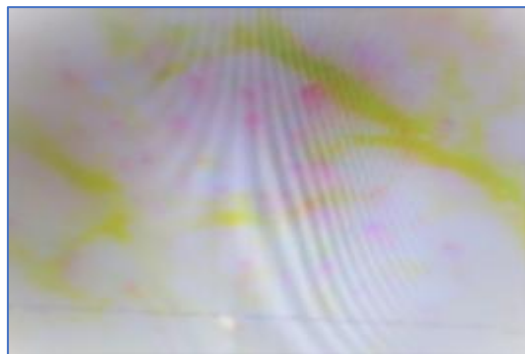
Progresión química de Ivanov (medio alcalino). Como se describió, la reacción de Ivanov comprende tres etapas mecanísticas clásicas que, en este marco, se emplean como paralelismo para describir patrones tisulares.

Etapas 1: Condensación aldólica. Normalmente, se presenta en carbohidratos simples una transformación de una hexosa a una pentosa, generalmente en un medio alcalino, en presencia

de hipoxia e isquemia de los tejidos (poco oxígeno) y con presencia de radicales de nitrógeno, donde la primera reacción es la conversión de una d-glucosa, que se transforma en 1,2-enediol. Capilaroscópicamente, se observa como una mancha irregular de bordes no confluentes, no elevada, y que se ve como parte del tejido de color amarillento.

Figura 6

Etapa 1 de la pirólisis alcalina en el cuerpo humano



Etapa 2: Carboxilación. De continuar el medio alcalino, se generará una deshidratación del azúcar y se produce una formación de compuestos α -carbonílicos, como lo son los derivados del furfural, mismos que capilaroscópicamente se observan los productos de Ivanov, que son también derivados del furfural, mismos que pueden determinarse mediante la medición óptica de fluorescencia, con una densidad óptica en el rango ultravioleta de 280 nm y una bioreflectancia del pigmento de color amarillo-ocre; pigmento que se adhiere de forma difusa a los tejidos (Figura 7).

Figura 7

Etapa 2 de la pirólisis alcalina en el cuerpo humano

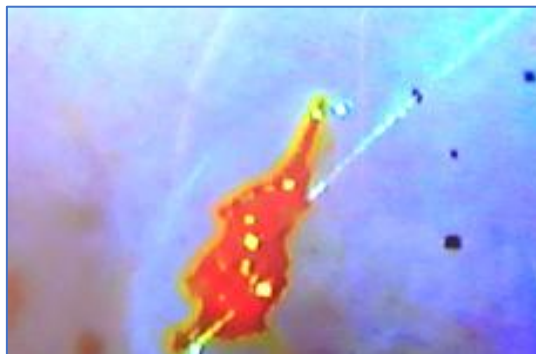


Etapa 3: Condensación alcalina. Se plantea una descarboxilación con reducción en medio alcalino que convierte la hexosa (glucosa o manosa) en pentosa (fructosa). Macroscópicamente,

se aprecia una masa viscosa de tono anaranjado-amarillento, compatible con la fase final de la secuencia alcalina (Figura 8).

Figura 8

Etapas 3 de la pirólisis alcalina en el cuerpo humano



En ese orden de ideas, es claro que mediante la prueba de capilaroscopia puede identificarse cada una de las etapas de la pirólisis alcalina en el cuerpo humano, la cual tiene una progresión de reacciones químicas para formar los “cuerpos de Ivanov”, que a continuación se describen en la siguiente Figura 9:

Figura 9

Progresión química de Ivanov. Se observan las tres etapas de la progresión química

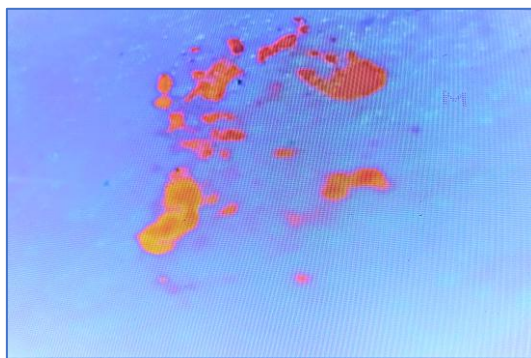


Progresión química de Tishchenko (medio ácido). Como se describió, la reacción de Tishchenko se asume aquí como modelo mecanístico de tres etapas para reacciones en medio ácido en sistemas de carbohidratos complejos.

Etapa 1: Condensación aldólica. En carbohidratos complejos (por ejemplo, almidones), la condensación inicial ocurre con deshidrogenación y pérdida de H_2 y electrones, generando una reacción termogénica ultralenta que conduce a la formación de un enol en medio ácido (Figura 10).

Figura 10

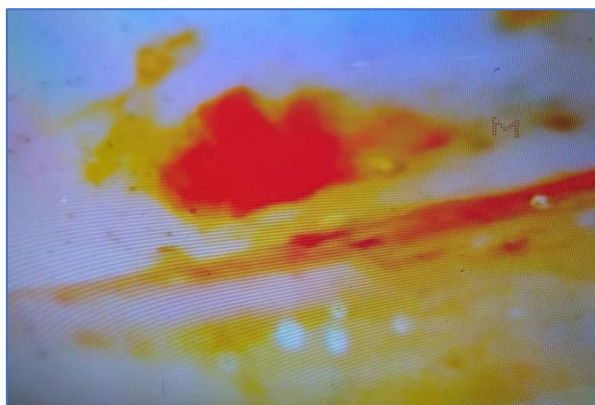
Etapa 1 de la reacción de pirólisis en medio ácido



Etapa 2: Deshidratación enólica. Después de que se formó el enol (en un ambiente ácido), como no hay oxígeno y hay nitrógeno, el ion hidróxido ($-OH$) se protona y se libera agua. Lo que capilaroscópicamente nos da como resultado un cambio de bioreflectancia, de un color naranja amarillento, primero hacia rojo claro, y luego, al deshidratarse, hacia café ocre (Figura 11).

Figura 11

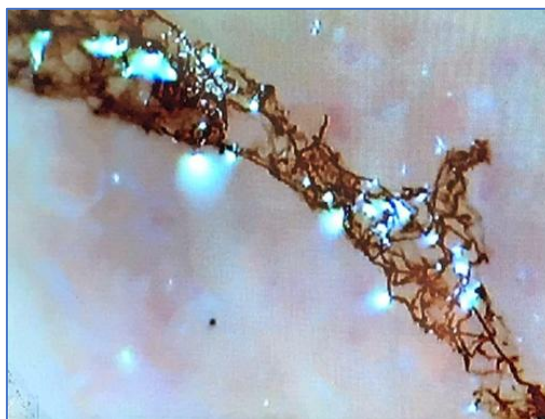
Etapa 2 de la reacción de pirólisis en medio ácido



Etapa 3. Descarboxilación por enolización: Posteriormente, esta deshidratación va acompañada de una descarboxilación, cuando está presente el grupo carboxilo activado bajo un ciclo de control termodinámico, lo que hace que se aumente la temperatura y se desarrolle la pirólisis, donde los azúcares presentan reacciones de enolización que ocurren rápidamente, abundan los productos de fragmentación y oxidación y, como resultado, el pardeamiento es más rápido, y crean una cristalización del furfuraldehído, lo que genera una red de cristales de color café-ocre alrededor del tejido (Figura 12).

Figura 12

Etapa 3 de la reacción de pirólisis en medio ácido



En síntesis, la capilaroscopia permite identificar las etapas de la progresión ácida y ordenar los hallazgos de forma operativa (Figura 13).

Figura 13

Progresión química de Tishchenko. Se observan las tres etapas



Ejemplos de imágenes de pirólisis obtenidas por capilaroscopia (Figura 14 y 15)

Figura 14

Pirólisis alcalina

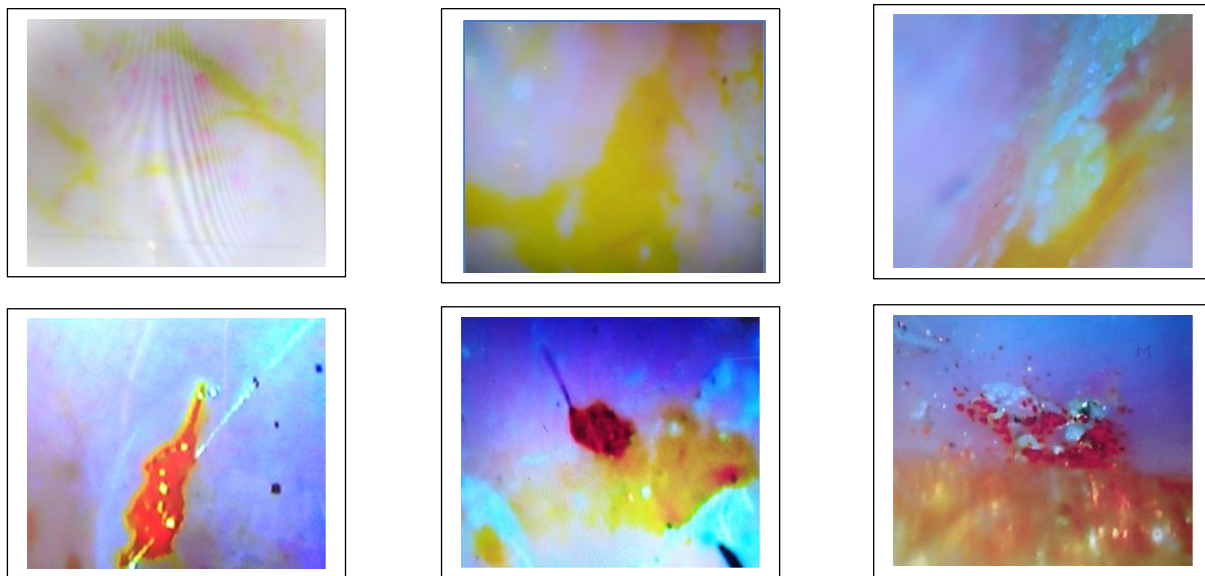
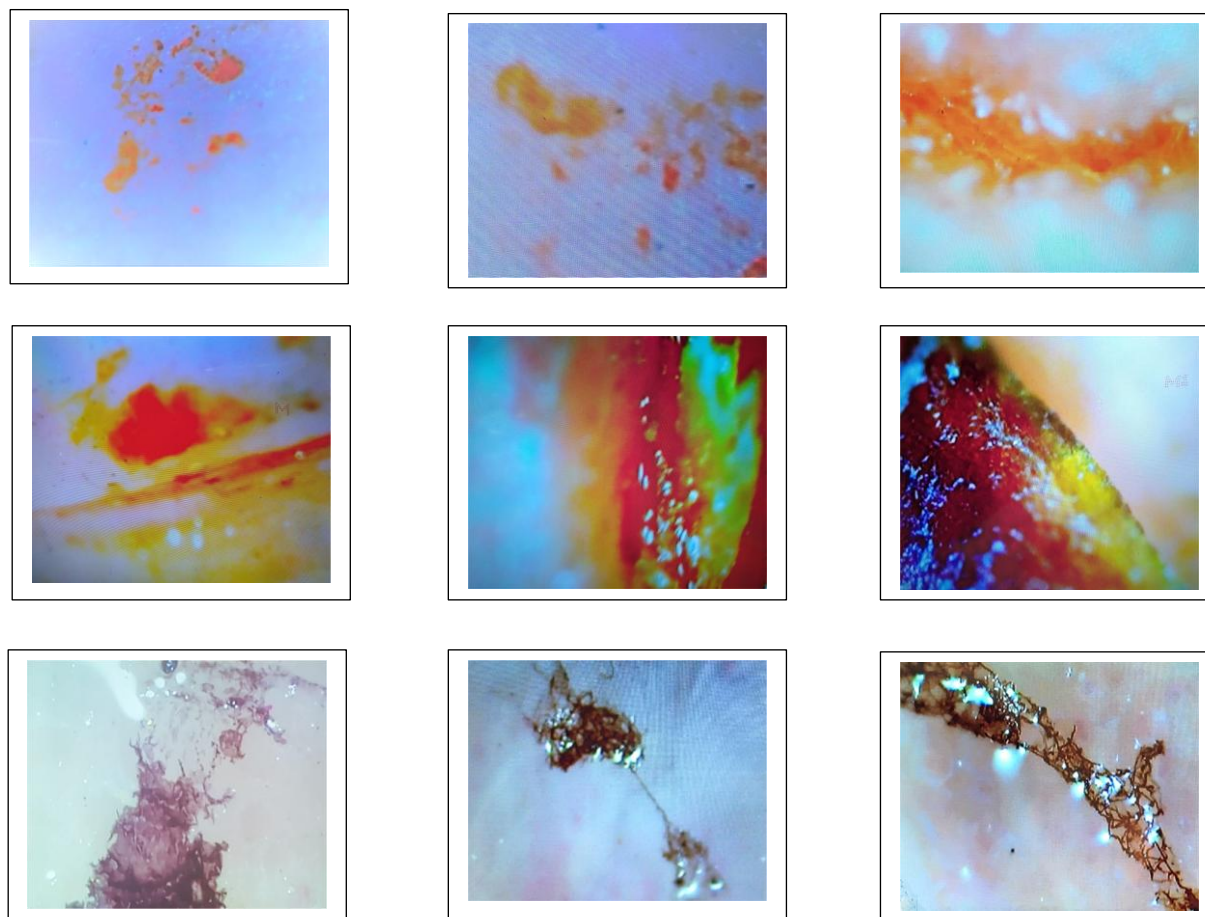


Figura 15

Pirólisis ácida



Discusión

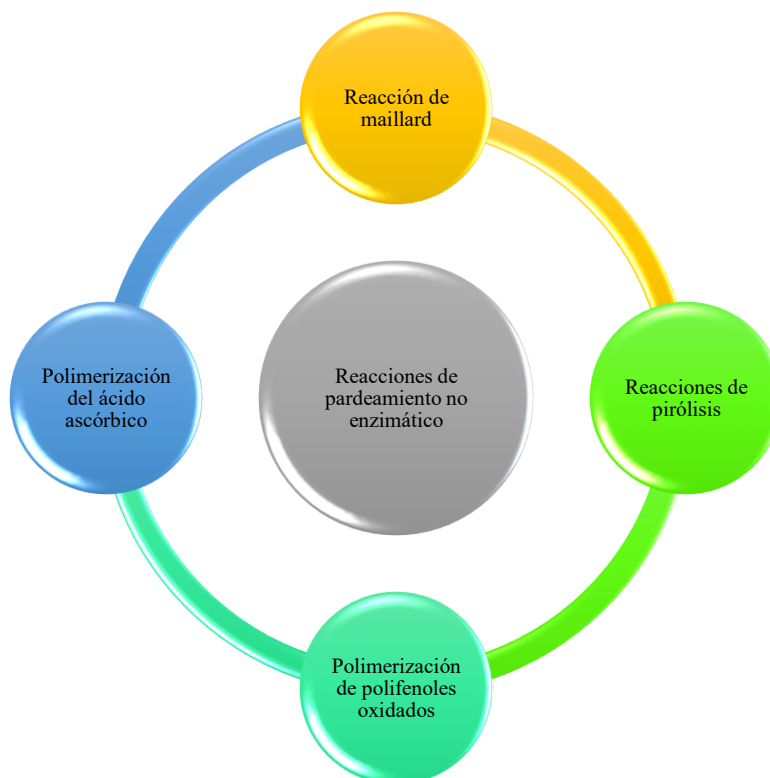
Con base en los resultados, corresponde señalar que las hipótesis se cumplieron cabalmente. Mediante la Valoración Metabólica, con pruebas de bioimpedancia y capilaroscopia en el marco del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), fue posible identificar que las reacciones de pirólisis en medio ácido y medio alcalino forman parte de la acidez celular vinculada con las causas de las enfermedades y que se relacionan de forma directa con los procesos de resistencia a la insulina y a la leptina presentes en el síndrome metabólico, incluso antes de la aparición de signos y síntomas clínicos (Abuadili Garza, 2019; Dussel & Liaudat, 2019; Abuadili Garza, 2020, 2023, 2025c, 2025d). Estos hallazgos refuerzan la pertinencia de un enfoque preventivo y predictivo (Abuadili Garza, 2020, 2023, 2025c, 2025d).

El estudio permitió comprender mejor las reacciones de pirólisis y confirmó la hipótesis de su ocurrencia en el organismo humano. Gracias a la capilaroscopia dentro del modelo ATDM, fue posible documentarlas imagenológicamente, así como secuenciar las reacciones de Ivanov y Tishchenko y analizar su implicación en el síndrome metabólico desde una perspectiva causa-efecto (Abuadili Garza, 2019; Dussel & Liaudat, 2019; Abuadili Garza, 2020, 2023, 2025c, 2025d). Ello aporta elementos para entender los procesos fisiopatológicos y bioquímicos subyacentes bajo una visión preventiva y predictiva.

Las reacciones de pardeamiento no enzimático incluyen la reacción de Maillard (glicación) (Abuadili Garza, 2025d), las reacciones de pirólisis (caramelización) y la polimerización de derivados del ácido ascórbico o de polifenoles oxidados. Tanto la pirólisis como la reacción de Maillard constituyen conjuntos complejos de transformaciones que inician con la apertura del anillo hemiacetalico de azúcares reductores y la enolización, dando lugar a pigmentos de naturaleza coloidal que se acumulan en tejidos (Abuadili Garza, 2025d) (Figura 16).

**Figura 16**

Interrelación de los procesos bioquímicos que generan el pardeamiento no enzimático

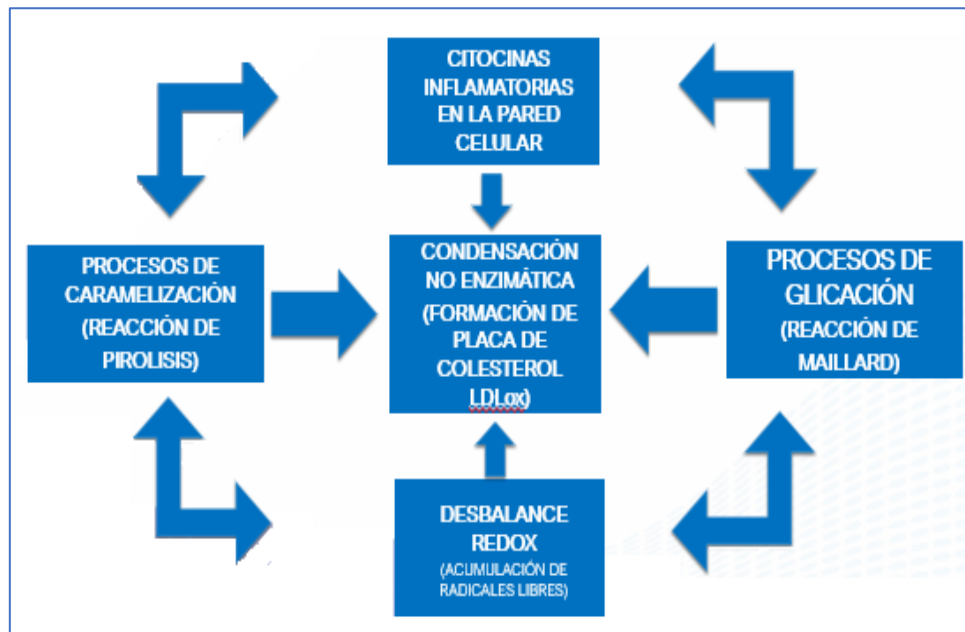


Los efectos del pardeamiento no enzimático tienen relevancia clínica: disminuye la solubilidad proteica al modificarse aminoácidos esenciales (por ejemplo, L-lisina) y vitaminas como el ácido ascórbico; se generan metabolitos potencialmente tóxicos; aumenta la hipoxia tisular por cambios en el manejo de CO₂ y se favorece la acidez celular. En este contexto, las reacciones de pardeamiento no enzimático alteran propiedades químicas y fisiológicas de las proteínas. Los aminoácidos, unidades de las cadenas polipeptídicas, participan en la formación del enlace peptídico entre el carboxilo de un aminoácido y el amino del siguiente; una vez formada la cadena, solo permanece como tal el grupo amino terminal del primer residuo.

Otros componentes del pardeamiento no enzimático, relacionados con reacciones de pirólisis, incluyen la presencia de citocinas inflamatorias en la pared celular y radicales libres de distinta naturaleza: oxígeno en etapas iniciales y nitrógeno en fases intermedias y finales, además de procesos de condensación no enzimática implicados en la formación de lipoproteínas de baja densidad (Figura 17).

Figura 17

Interrelación de procesos de pardeamiento no enzimático y formación de LDLox



Si correlacionamos estos hallazgos causales con las estadísticas habituales, confeccionadas desde un paradigma centrado en el efecto, se observa que el síndrome metabólico podría estar subestimado. Faltan estudios que lo conecten de forma directa con sus causas. En este punto, el presente trabajo resulta pionero y ofrece una base para reevaluar la carga real del trastorno desde una óptica etiológica.

En conjunto, los resultados son consistentes con las hipótesis y permiten afirmar que las reacciones de pirólisis son identificables por capilaroscopia en condiciones clínicas controladas, lo que abre la puerta a intervenciones preventivas orientadas a la causa y no solo al efecto.

Conclusiones

La capilaroscopia es un elemento de diagnóstico NO invasivo, en tiempo real, de bajo costo y alto impacto, fácil de realizar, incluso en el mismo consultorio médico o en jornadas o brigadas de salud, en cualquier parte del mundo, que no requiere de consumibles. Actualmente, se está ampliando su uso a diferentes ramas de la medicina, tomando un principal auge bajo un modelo preventivo-predictivo.

Este estudio pionero, bajo los criterios del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), ha permitido identificar mediante la capilaroscopia

las reacciones de pirólisis, tanto en medio ácido como en medio alcalino, y la secuenciación de las reacciones de Tishchenko y de Ivanov, así como establecer su participación en la génesis del síndrome metabólico.

Sabemos que es necesario hacer una medición casuística y estadística de las reacciones de pirólisis, lo cual este autor se compromete a hacer en un siguiente artículo y poder determinar el grado de riesgo que estas reacciones químicas imponen al metabolismo, y por ende a la génesis del síndrome metabólico.

Referencias

- Abuadili Garza, V. A. (2019). *La nueva perspectiva de la salud: Quitando las diez causas de todas las enfermedades* [Manuscrito registrado, INDAUTOR 03-2019-111110430500-01]. Ciudad de México, México.
- Abuadili Garza, V. A. (2020). *Manual de Aplicación de Técnicas para la Valoración Metabólica (ATVM): Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM)* [Manuscrito registrado, INDAUTOR 03-2020-022411275900-01].
- Abuadili Garza, V. A. (2023). *Manual de Aplicación de Técnicas para la Observación Metabólica (ATOM): Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM)* [Manuscrito registrado, INDAUTOR 03-2023-120413281700-01].
- Abuadili Garza, V. A. (2023). *Manual de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (ATDM): Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM)* [Manuscrito registrado, INDAUTOR 03-2023-120113313900-01].
- Abuadili Garza, V. A. (2025). Capilaroscopia, una nueva manera de entender la salud humana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 11474–11517. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19752

- Abuadili Garza, V. A. (2025). Capilaroscopia: Diagnóstico en tiempo real de la reacción de Maillard y su implicación en la resistencia a la insulina y a la leptina. *Vitalia Revista Científica y Académica*, 6(3), 884–923. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i3.819>
- Abuadili Garza, V. A. (2025). Capilaroscopia: La herramienta diagnóstica de una nueva medicina individualizada basada en evidencias. *Sapiens in Medicine Journal*, 3(3), 1–28. <https://doi.org/10.71068/gp4gja29>
- Abuadili Garza, V. A. (2025). Prevalencia de patrones de valoración metabólica del Sistema ATDM relacionados con el síndrome metabólico: Perspectiva desde las causas de las enfermedades. *Horizon International Journal*, 3(2), 197–226. <https://doi.org/10.63380/hij.v3n2.2025.168>
- Bhandari, T. R., Lamsal, B., & Adhikari, R. (2021). Pyrolyzed human hair: A review on synthesis, characterization and applications. *BIBECHANA*, 18(1), 231–239. <https://doi.org/10.3126/bibechana.v18i1.29601>
- Blicke, F. F., Raffelson, H., & Barna, B. (1952). The preparation of tropic acid. *Journal of the American Chemical Society*, 74(1), 253–253. <https://doi.org/10.1021/ja01121a504>
- Colmenares-Roldán, L. M., Vélasquez-Franco, C. J., & Mesa-Navas, M. A. (2016). Capilaroscopia en la esclerosis sistémica: Una revisión narrativa de la literatura. *Revista Colombiana de Reumatología*, 23(4), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.rcreu.2016.06.005>
- Dhanya, R., Shilpa, T., Saranya, S., & Anilkumar, G. (2020). Recent advances and prospects in the Tishchenko reaction. *ChemistrySelect*, 5(2), 754–763. <https://doi.org/10.1002/slct.201902776>
- Di Meo, S., & Venditti, P. (2020). Evolution of the knowledge of free radicals and other oxidants. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 9829176. <https://doi.org/10.1155/2020/9829176>
- Dussel, E., & Liaudat, S. (2019). “No es nada descubrir algo nuevo, hay que descubrir para qué se descubre”. *Ciencia, Tecnología y Política*, 2(2), 4–12. <https://doi.org/10.24215/26182483e016>

- Gómez, M., Urquijo, P., Mela, M., & Pittana, P. (2011). Capilaroscopia periungueal: Método de estudio e indicaciones. *Archivos Argentinos de Dermatología*, 61, 197–202.
- Gutiérrez Gómez, M. L., et al. (2019). Más allá de las moléculas... Lo que los clínicos desconocen: Acortando brechas. *Universitas Médica*, 60(2). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed60-2.mole>
- Hayashi, H. (2004). *Introduction to dynamic spin chemistry: Magnetic field effects on chemical and biochemical reactions* (Vol. 8). World Scientific. <https://doi.org/10.1142/5316>
- Ivanov, K. L., Wagenpfahl, A., Deibel, C., & Matysik, J. (2017). Spin-chemistry concepts for spintronics scientists. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 8, 1427–1445. <https://doi.org/10.3762/bjnano.8.143>
- Kawamoto, H. (2017). Lignin pyrolysis reactions. *Journal of Wood Science*, 63, 117–132. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1606-z>
- Liaudat, S., & Bilmes, G. (2024). El concepto de científicidio. *Ciencia, Tecnología y Política*, 7(13). <https://doi.org/10.24215/26182483e090>
- Matsumoto, K., & Nokami, T. (2024). Electrochemical transformations of carbohydrates. *Current Opinion in Electrochemistry*, 44, 101457. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2024.101457>
- Ralston, K. J., & Hulme, A. N. (2012). The Evans–Tishchenko reaction: Scope and applications. *Synthesis*, 44(15), 2310–2324. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1316544> denmarkgroup.web.illinois.edu
- Ramírez-López, L. X., Aguilera, A. M., Rubio, C. M., & Aguilar-Mateus, Á. M. (2021). Síndrome metabólico: Una revisión de criterios internacionales. *Revista Colombiana de Cardiología*, 28(1), 60–66. <https://doi.org/10.24875/RCCAR.M21000010>
- Salikhov, K. M., Molin, Y. N., Sagdeev, R. Z., & Buchachenko, A. L. (1984). *Spin polarization and magnetic effects in chemical reactions*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Singh, R. B., Sumbalova, Z., Fátima, G., Mojto, V., Fedacko, J., Tarnava, A., Pokotylo, O., Gvozdjakova, A., Ferenczyova, K., Vlkovicova, J., Kura, B., Kalocayova, B., Zenuch,

- P., & Slezak, J. (2024). Effects of molecular hydrogen in the pathophysiology and management of cardiovascular and metabolic diseases. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, 25(1), 33. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2501033>
- Steiner, U. E., & Ulrich, T. (1989). Magnetic field effects in chemical kinetics and related phenomena. *Chemical Reviews*, 89(1), 51–147. <https://doi.org/10.1021/cr00091a003>
- Wang, Q., Song, H., Pan, S., et al. (2020). Initial pyrolysis mechanism and product formation of cellulose: An experimental and density functional theory (DFT) study. *Scientific Reports*, 10, 3626. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60095-2>
- Zimmerman, H. E., & Traxler, M. D. (1957). The stereochemistry of the Ivanov and Reformatsky reactions. *Journal of the American Chemical Society*, 79(8), 1920–1923. <https://doi.org/10.1021/ja01565a041>

Biografía del autor

Médico Cirujano egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Licenciado en Derecho por la Universidad Mexicana, Master in Health and Business Administration, Doctorado Honoris Causa por su investigación sobre las 10 causas de las enfermedades y nuevas técnicas para el diagnóstico metabólico.

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar. La investigación fue financiada por la Universidad Nacional Autónoma de México y el autor.

Copyright (2025) © Victor Alfonso Abuadili Garza

Este texto está protegido bajo una licencia
[Creative Commons de Atribución Internacional 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

