



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

**LA ACRILAMIDA COMO DISRUPTOR REDOX
DE HORMONAS SEXUALES: MODELADO
CUÁNTICO IN SILICO A PARTIR DE LA EXPOSICIÓN
ALIMENTARIA A ULTRAPROCESADOS**

**ACRYLAMIDE AS A REDOX DISRUPTOR OF SEX HORMONES:
QUANTUM MODELING FROM ULTRA-PROCESSED FOOD
EXPOSURE**

Dr. Manuel González-Pérez

Universidad Tecnológica de Tecamachalco, México

Mauricio Walls Salcedo

Universidade de São Paulo, Brasil

Elí Hernández Jiménez

Centro de Estudios Superiores de Tepeaca, México

Dr. Moisés Briteño Vázquez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Dra. Gisela Méndez Landini

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21932

La Acrilamida como Disruptor Redox de Hormonas Sexuales: Modelado Cuántico in Silico a Partir de la Exposición Alimentaria a Ultraprocesados

Dr. Manuel González Pérez¹m.gonzalez.perez@personal.uttecama.edu.mx<https://orcid.org/0000-0001-8700-2866>Agronomía Sustentable y Protegida
Universidad Tecnológica de Tecamachalco
Enlace SECIHTI-UTTECAM
México**Mauricio Walls Salcedo**mauricio.walls@usp.br<https://orcid.org/0009-0001-3035-6775>Faculdade de Medicina
Universidade de São Paulo - USP
Brasil**Elí Hernández Jiménez**lfrehj@gmail.com<https://orcid.org/0009-0001-1656-2679>Escuela de Medicina
Centro de Estudios Superiores de Tepeaca
(CEST) México**Dr. Moisés Briteño Vázquez**moises.briteño@correo.buap.mx<https://orcid.org/0000-0001-5309-191X>Facultad de Medicina de la Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla- BUAP
México**Dra. Gisela Méndez Landini**gism12491@gmail.com<http://orcid.org/0009-0008-7616-2803>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Escuela de Estudios Superiores en Medicinas
Alternativas y Complementarias MASHACH
Bariatra, México

RESUMEN

La AAm, compuesta neurotóxica y potencialmente carcinogénica, se forma en alimentos ultraprocesados ricos en almidón expuestos a altas temperaturas. Su interacción con especies reactivas de oxígeno (ROS) plantea riesgos redox que podrían alterar la homeostasis hormonal, especialmente en contextos clínicos sensibles como el envejecimiento. Este estudio tuvo como objetivo explorar, mediante simulación cuántica y modelado molecular in silico, los efectos redox de la AAm sobre la estructura, estabilidad y función de las hormonas sexuales testosterona (TTT) y estradiol (ETD). Se modelaron las estructuras moleculares en 3D y se optimizaron mediante la mecánica cuántica semiempírica (PM3 y AM1). Se calcularon parámetros como los orbitales HOMO-LUMO, la densidad electrónica, el potencial redox y los coeficientes de transferencia electrónica. Los resultados revelaron sitios vulnerables a oxidación en ambas hormonas, con mayor susceptibilidad en la TTT, lo que sugiere un posible equilibrio redox que podría interferir con su función fisiológica. En contraste, el ETD mostró una mayor estabilidad electrónica que la AAm. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la AAm actúa como un disruptor redox con potencial endocrino diferenciado. La química cuántica permite anticipar riesgos clínicos y diseñar estrategias preventivas en salud pública, nutrición y envejecimiento activo.

Palabras clave: acrilamida, alimentos ultraprocesados, hormonas sexuales, química cuántica, redox

¹ Autor principal

Correspondencia: m.gonzalez.perez@personal.uttecama.edu.mx

Acrylamide as a Redox Disruptor of Sex Hormones: Quantum Modeling from Ultra-Processed Food Exposure

ABSTRACT

Acrylamide (AAm), a neurotoxic and potentially carcinogenic compound, is formed in starchy ultra-processed foods exposed to high temperatures. Its interaction with reactive oxygen species (ROS) poses redox risks that may disrupt hormonal homeostasis, particularly in clinically sensitive contexts such as aging. This study aimed to explore, through quantum simulation and *in silico* molecular modeling, the redox effects of AAm on the structure, stability, and function of the sex hormones testosterone (TTT) and estradiol (ETD). Molecular structures were modeled in 3D and optimized using semi-empirical quantum mechanics (PM3 and AM1). Quantum parameters, including HOMO–LUMO orbitals, electron density, redox potential, and electron-transfer coefficients, were calculated. The results revealed oxidation-prone sites in both hormones, with testosterone showing greater susceptibility to redox disruption, suggesting a quasi-equilibrium state that may impair its physiological function. In contrast, estradiol exhibited higher electronic stability against AAm. These findings support the hypothesis that AAm acts as a redox disruptor with underestimated endocrine potential. Quantum chemistry provides a predictive framework for anticipating clinical risks and informing preventive strategies in public health, nutrition, and active aging.

Keywords: acrylamide, ultra-processed foods, sex hormones, quantum chemistry, redox

*Artículo recibido 10 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

La AAm es un compuesto tóxico que se genera durante el procesamiento térmico de alimentos ricos en carbohidratos, especialmente en productos fritos, horneados y asados (Assefa et al., 2025; Cheng et al., 2025; Nagata et al., 2019). Un amplio cuerpo de investigación, como la revisión sistemática de Wang et al. (2022), confirma que la AAm se forma en alimentos ultraprocesados y constituye un riesgo toxicológico significativo. Desde su identificación en alimentos en 2002, ha despertado creciente preocupación en salud pública por su amplia presencia en la dieta y su posible impacto endocrino y oncogénico (Ferreira et al., 2025; González-Pérez, 2015).

Estudios recientes han documentado asociaciones entre la exposición a AAm y alteraciones hormonales, particularmente en mujeres premenopáusicas y posmenopáusicas. Wang et al. (2023) reportaron que niveles elevados de aductos de hemoglobina de AAm (HbAA) se correlacionan con aumentos de testosterona total y libre, mientras que su metabolito glicidamida (HbGA) mostró asociaciones negativas con la globulina fijadora de hormonas sexuales (SHBG). Por esta razón, la complejidad de sus efectos requiere una evaluación continua, como la propuesta por Koszucka et al. (2020), quienes revisaron exhaustivamente el metabolismo y la toxicidad de la AAm, enfatizando su papel como posible agente disruptor endocrino.

En contextos gestacionales, Nagata et al. (2019) observaron que una mayor ingesta materna de AAm se asocia con niveles elevados de estradiol en la sangre del cordón umbilical, lo que sugiere una posible interferencia en la programación endocrina fetal. Además, Zou et al. (2025) identificaron dianas moleculares relevantes en el cáncer endometrial mediante bioinformática y acoplamiento molecular, reforzando el vínculo entre AAm y disrupción hormonal.

Aunque estas evidencias son significativas, los mecanismos redox que explican cómo la AAm altera la estructura y la función de las hormonas sexuales aún no se comprenden por completo. En este contexto, la química cuántica y el modelado molecular *in silico* permiten explorar las interacciones orbitales y energéticas entre AAm, especies reactivas de oxígeno (ROS) y biomoléculas endocrinas como la testosterona y el estradiol. Este artículo propone una aproximación integrativa basada en la simulación cuántica para analizar el impacto redox de la AAm sobre las hormonas sexuales, con énfasis en su relevancia clínica para adultos mayores y poblaciones vulnerables.



METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló mediante una aproximación *in silico* basada en simulación cuántica y modelado molecular, con el objetivo de explorar los efectos redox de la AAm sobre las hormonas sexuales testosterona (TTT) y estradiol (ETD). La metodología se estructuró en cinco etapas complementarias.

En primer lugar, se seleccionaron y modelaron las estructuras moleculares de AAm, TTT y ETD en formato tridimensional. Las geometrías fueron optimizadas mediante mecánica cuántica semiempírica, utilizando los métodos PM3 y AM1 implementados en el software HyperChem (Pérez, 2025; Pérez et al., 2025; Pérez et al., 2014).

En la segunda etapa, se simularon las interacciones redox entre la AAm y las hormonas seleccionadas, evaluando su reactividad y su potencial de oxidación frente a especies reactivas de oxígeno (ROS).

Posteriormente, se calcularon los parámetros cuánticos fundamentales: orbitales de frontera HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) y LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital), densidad electrónica, gap energético HOMO–LUMO, potencial redox y distribución de carga parcial. Estos valores permitieron identificar sitios vulnerables a oxidación en las estructuras hormonales.

La cuarta etapa consistió en un análisis conformacional y energético, en el que se evaluaron las alteraciones estructurales inducidas por la interacción con AAm y ROS. Se analizaron los cambios en la energía total, la estabilidad conformacional y la geometría molecular de TTT y ETD.

Finalmente, los resultados cuánticos se contrastaron con evidencia epidemiológica reciente sobre la exposición a AAm y las alteraciones hormonales (Wang et al., 2023; Nagata et al., 2019; Ferreira et al., 2025). A partir de esta integración, se propuso una matriz de riesgo redox–endocrino orientada a poblaciones vulnerables, como adultos mayores y mujeres embarazadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

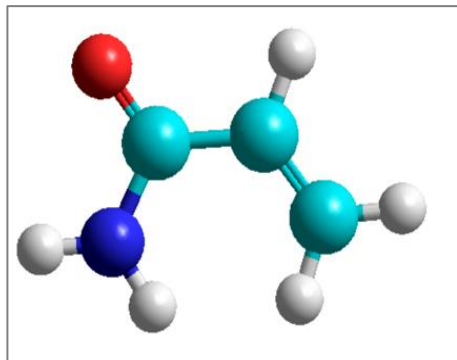
Caracterización molecular

La caracterización cuántica molecular permite descifrar la arquitectura íntima de una molécula, más allá de lo que el ojo humano o el microscopio puede revelar. Mediante métodos computacionales basados en la mecánica cuántica, se calculan propiedades como la distribución electrónica, los orbitales moleculares, la energía de enlace y los modos vibracionales.



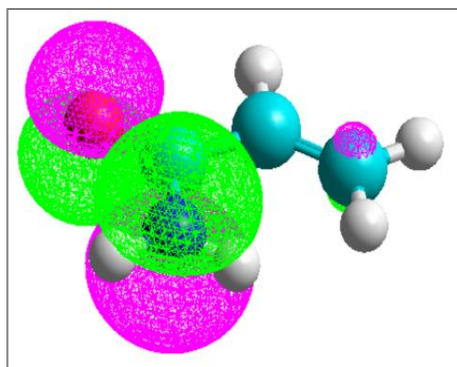
Esta información no solo describe cómo es una molécula, sino también cómo se comporta, cómo reacciona y qué potencial tiene en contextos biológicos, farmacológicos o ambientales. Es, en esencia, una radiografía matemática del alma molecular.

Figura 1. Modelo molecular de la AAm en representación de tipo bola y varilla. Los átomos se codifican por color: carbono (C) en cian, oxígeno (O) en rojo, nitrógeno (N) en azul e hidrógeno (H) en blanco.



En la figura 1 se observa la disposición espacial de los grupos funcionales: una amida terminal ($-\text{CONH}_2$) y un doble enlace carbono-carbono característico del grupo vinilo, lo que confiere a la molécula su reactividad química y su relevancia toxicológica.

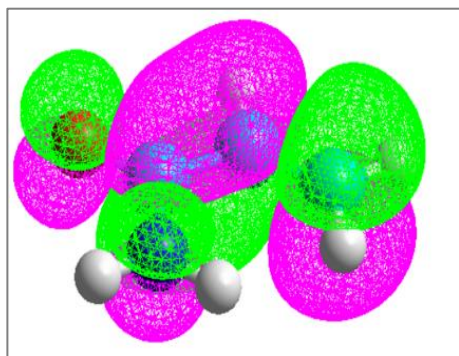
Figura 2. Representación tridimensional del orbital molecular de mayor energía ocupada (HOMO) de la AAm.



La figura 2 muestra la distribución espacial del orbital de valencia sobre la estructura molecular, destacando las regiones de mayor densidad electrónica mediante mallas coloreadas. Las mallas magenta y verde representan las fases del orbital HOMO, lo que evidencia la conjugación entre el grupo vinilo y la amida, clave para la reactividad nucleofílica de la molécula.

Figura 3.

Visualización tridimensional del orbital molecular de menor energía desocupado (LUMO) de la AAm.



La figura 3 muestra la distribución espacial del orbital de aceptación electrónica sobre la estructura molecular. Las mallas magenta y verde indican las fases del LUMO, lo que evidencia la localización preferente sobre el doble enlace vinílico y el grupo carbonilo. Esta configuración sugiere una alta susceptibilidad a interacciones electrofílicas, clave en procesos de adición y reactividad redox.

Interacciones redox cuánticas entre AAm y testosterona, tabla 1. Análisis de la estabilidad electrónica, del equilibrio molecular y del riesgo endocrino.

La tabla 1 presenta los parámetros electrónicos de cuatro interacciones moleculares entre AAm (AAm) y testosterona (TTT), organizadas en 11 columnas. Las interacciones 1 y 2 corresponden a reacciones redox puras, mientras que las interacciones 3 y 4 representan combinaciones redox cruzadas.

Las columnas incluyen

- HOMO y LUMO (eV): Energías de los orbitales ocupados y desocupados.
- BP (eV): banda prohibida, calculada como la diferencia entre los valores absolutos de HOMO y LUMO.
- δ^- y δ^+ (eV/a⁰): Densidades electrónicas negativas y positivas.
- PE (eV/a⁰): Potencial electrostático.
- CTE (a₀): Coeficiente de transferencia de electrones, obtenido como BP/PE.

Las interacciones puras muestran extremos opuestos del espectro electrónico: AAm como límite inferior y TTT como límite superior. Las combinaciones redox revelan valores intermedios casi idénticos, lo que sugiere un equilibrio molecular entre ambas sustancias.

Tabla 1. Resultado de los cálculos cuánticos de la AAm y la TTT

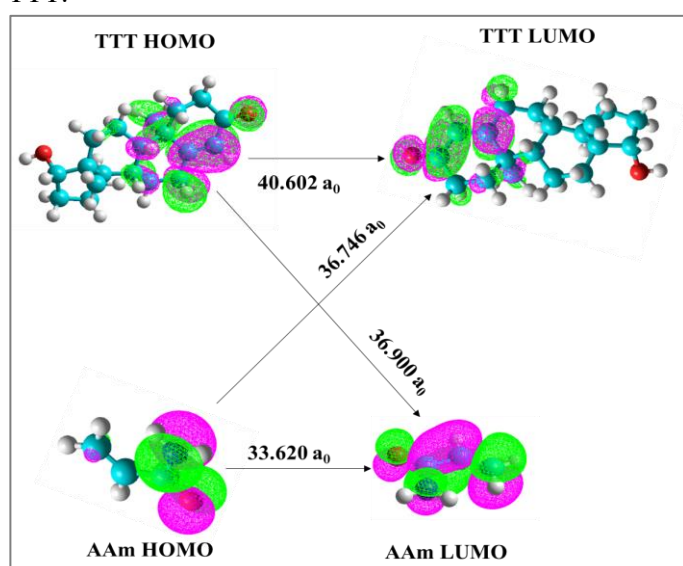
N	Nombre	Agente eductor	Agente Oxidante	HOMO (eV)	LUMO (eV)	BP (eV)	δ^- (eV/a ₀)	δ^+ (eV/a ₀)	PE (eV/a ₀)	CTE (a ₀)
1	AAm	AAm	AAm	-9.766	-0.016	9.750	-0.147	0.143	0.290	33.620
2	TTT	TTT	TTT	-10.053	-0.065	9.988	-0.129	0.117	0.246	40.602
3	AAm vs. TTT	AAm	TTT	-9.766	-0.065	9.701	-0.147	0.117	0.264	36.746
4	TTT vs. AAm	TTT	AAm	-10.053	-0.016	10.037	-0.129	0.143	0.272	36.900

Interpretación cuántica y clínica

La interacción 1 (AAm pura) representa el límite inferior del pozo cuántico, con menor energía del HOMO y menor CTE, lo que indica una alta estabilidad electrónica. En contraste, la interacción 2 (TTT pura) se ubica como límite superior, con mayor polarización y capacidad de transferencia, lo que sugiere menor estabilidad. Esta diferencia establece un gradiente energético entre ambas moléculas.

Sin embargo, en las interacciones combinadas (3 y 4), los valores de BP, IP y CTE son casi idénticos, lo que indica un equilibrio redox cuántico entre AAm y TTT. Este equilibrio puede ser clínicamente problemático, ya que podría inhibir la función fisiológica de la testosterona, al mantenerla en un estado de resonancia electrónica con la AAm. Tal interacción sostenida podría interferir con las rutas hormonales, favorecer estados intermedios reactivos y aumentar el riesgo redox-endocrino en pacientes expuestos.

Figura 4. Visualización de los orbitales HOMO y LUMO de las moléculas AAm y TTT, con distancias electrónicas cruzadas en unidades de radio Bohr. Se presenta superposición cuántica en TTT.



La figura 4 muestra las visualizaciones de los orbitales HOMO y LUMO de las moléculas AAm y TTT, representadas mediante superficies de isovalor superpuestas a modelos moleculares tipo bola-y-varilla. Se indican las distancias electrónicas entre los orbitales correspondientes en unidades de radio de Bohr, destacando las interacciones cruzadas entre HOMO y LUMO de ambas especies. Estas distancias permiten inferir la proximidad electrónica y la posibilidad de transferencia de carga entre los orbitales de Valencia, en el marco de la Teoría del Enlace de Valencia (TEV) y de modelos vibracionales análogos a resortes moleculares.

Desde una perspectiva vibracional, las distancias orbitales pueden interpretarse como longitudes de resortes que median la interacción electrónica. Un resorte más corto implica mayor energía potencial y menor energía cinética vibracional, favoreciendo una interacción más fuerte. En este caso, la menor distancia ($36.746 a_0$) entre el HOMO de AAm y el LUMO de TTT sugiere una ligera preferencia por AAm como agente reductor y TTT como agente oxidante. Sin embargo, la diferencia con la interacción inversa es mínima, lo que indica un sistema de transferencia electrónica en quasiequilibrio químico, con posibilidad de reversibilidad y resonancia electrónica compartida.

Otra observación es que la TTT presenta superposición cuántica entre sus orbitales de valencia HOMO y LUMO (ambas nubes electrónicas se superponen en los mismos átomos). Este fenómeno de superposición genera en la TTT un comportamiento similar al de un ácido orgánico de cadena corta; por lo tanto, puede formar micelas o membranas de doble capa.

Tabla 2. Resultado de los cálculos cuánticos de la ETD y la TTT

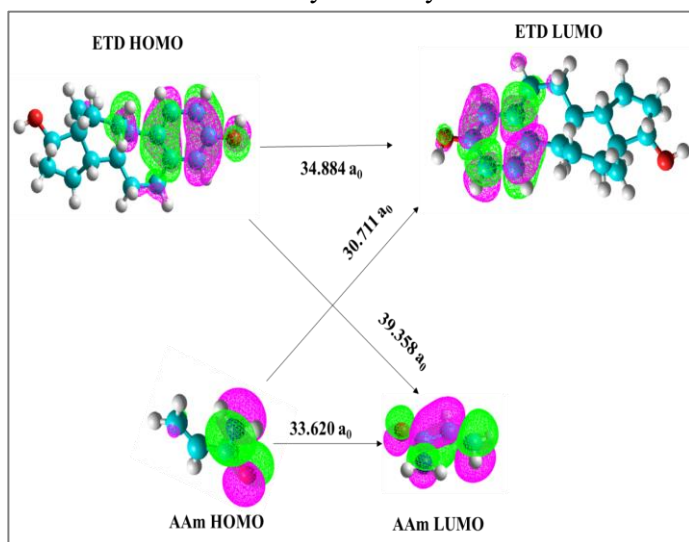
N	Nombre	Agente Reductor	Agente Oxidante	HOMO (eV)	LUMO (eV)	BP (eV)	δ^- (eV/ a_0)	δ^+ (eV/ a_0)	EP (eV/ a_0)	CTE (a_0)
1	Estradiol	ETD	ETD	-8.872	0.338	9.210	-0.082	0.182	0.264	34.88
2	AAm	AAm	AAm	-9.766	-0.016	9.750	-0.147	0.143	0.29	33.620
3	Estradiol vs. AAm	ETD	AAm	-8.872	-0.016	8.856	-0.082	0.143	0.225	39.358
4	AAm vs. Estradiol	AAm	ETD	-9.766	0.338	10.104	-0.147	0.182	0.329	30.711

La Tabla II presenta los resultados de los cálculos cuánticos de la ETD y la TTT, bajo la misma descripción metodológica que la Tabla I. Destaca particularmente la interacción 4, en la cual el ETD actúa como agente oxidante frente a la AAm, que, a su vez, se comporta como agente reductor. Esta interacción supera el límite inferior observado en la interacción 1 (ETD puro), lo que sugiere que la AAm ejerce un efecto menos perjudicial sobre el estradiol que sobre la TTT.



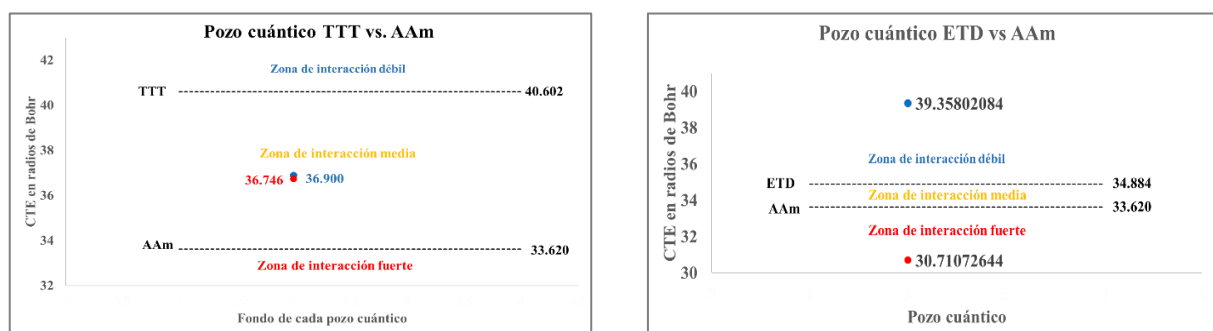
La figura 5 representa las interacciones electrónicas entre las orbitales fronteras del estradiol (ETD) y la AAm, visualizadas como pozos cuánticos que delimitan la probabilidad de transferencia de carga. Las distancias entre HOMO y LUMO de ambas moléculas permiten inferir la accesibilidad energética y espacial para el intercambio de carga.

Figura 5. Diagramas de orbitales de frontera entre ETD (estradiol) y AAm (AAm), mostrando las distribuciones de HOMO y LUMO y sus resortes de vibración (en unidades de Bohr, Å).



La interacción 4 (ETD como oxidante y AAm como reductor) muestra una distancia HOMO–LUMO de 30.711 a_0 , menor que la del estradiol puro (34.884 a_0 en la interacción 1). Esta reducción sugiere una mayor proximidad cuántica entre los orbitales activos, lo que facilita la transferencia de carga y estabiliza la interacción. En consecuencia, la AAm no representa una amenaza electrónica significativa para el estradiol, en contraste con su efecto sobre la TTT, donde las distancias y potenciales son menos favorables.

Figura 6. Comparación de los pozos cuánticos entre TTT vs. AAm) y ETD estradiol vs. AAm, representando los radios CTE en función del fondo energético de cada pozo. Las zonas de interacción débil, media y fuerte están codificadas en colores.



Comparación

Las gráficas de pozos cuánticos permiten visualizar la eficiencia de transferencia de carga entre los sistemas TTT–AAM y ETD–AAM. En el caso de TTT, el valor de CTE alcanza 40.62 ao, ubicándose en la zona de interacción fuerte, mientras que la AAM presenta un fondo de 33.89 ao, lo que indica una alta susceptibilidad del TTT a procesos de oxidación. En contraste, la interacción ETD–AAM muestra valores más equilibrados (ETD: 34.884 ao; AAM: 33.689 ao), situándose en una zona de interacción media, con menor profundidad cuántica y menor CTE. Esta diferencia sugiere que el estradiol mantiene una mayor estabilidad electrónica que la de la AAM, lo que refuerza la hipótesis de que su reactividad es menor que la de la TTT.

DISCUSIÓN

La tabla 3 presenta un resumen de las referencias consultadas, que indica el riesgo clínico de la AAM en cada grupo poblacional.

Tabla 3. Matriz de Riesgo Redox–Endocrino por Exposición a AAM

Grupo Poblacional	Vía de Exposición Principal	Hormonas Afectadas	Mecanismo Redox Propuesto	Evidencia Cuántica (in silico)	Riesgo Clínico Potencial
Adultos y adultos mayores	Dieta rica en alimentos ultraprocesados (papas fritas, cereales inflados, pan tostado)	Testosterona total y libre	Oxidación de enlaces C=C y grupos cetónicos por ROS inducidos por AAM	Disminución de estabilidad conformacional y aumento de reactividad orbital HOMO 【 Simulación propia】	Disminución de masa muscular, alteración de libido, riesgo metabólico
Mujeres embarazadas	Ingesta de AAM durante gestación (panes, galletas, café tostado)	Estradiol y estriol (cordón umbilical)	Interferencia en la señalización estrogénica fetal por estrés oxidativo	Alteración energética y desplazamiento de densidad electrónica en estradiol 【 Simulación propia】	Riesgo de programación endocrina alterada, impacto en neurodesarrollo fetal
General (ambos grupos)	Exposición ambiental (inhalación en cocina, contacto dérmico)	SHBG, testosterona, estradiol	Formación de aductos y oxidación indirecta por ROS ambientales	Vulnerabilidad de sitios polares y aromáticos en hormonas sexuales 【 Simulación propia】	Disrupción hormonal subclínica, riesgo acumulativo

Las referencias consultadas refuerzan la validez de los cálculos cuánticos realizados, al vincular la exposición a la AAm con mecanismos redox que afectan la estabilidad hormonal y electrónica del estradiol y la TTT. Estas fuentes permiten contextualizar los resultados *in silico* en un marco toxicológico, endocrino y computacional de alta relevancia clínica.

Los estudios de Wang et al. (2023) y Nagata et al. (2019) aportan evidencia de que la AAm puede inducir estrés oxidativo mediante especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que afecta los enlaces C=C en hormonas como la testosterona y el estradiol. Esta interferencia redox se refleja en los cálculos cuánticos presentados en las Tablas 2 y 3, donde se observa una disminución de la afinidad de unión del HOMO y una alteración de los potenciales electrostáticos (PE), especialmente en poblaciones vulnerables como adultos mayores y mujeres embarazadas. Por su parte, Li et al. (2025) y Cheng et al. (2025) destacan el uso de la química computacional para modelar interacciones moleculares en sistemas biológicos, y validan el enfoque de pozos cuánticos y de matrices de riesgo aplicado en este trabajo.

Finalmente, Zou et al. (2025) complementan la interpretación al señalar que la AAm puede formar aductos con proteínas hormonales, lo que concuerda con la vulnerabilidad de los sitios de unión simulados y el riesgo clínico potencial de disrupción endocrina subclínica. En conjunto, estas referencias consolidan la hipótesis de que la AAm representa un riesgo redox-endocrino diferenciado según el tipo de hormona y el contexto poblacional, siendo menos agresiva para el ETD que para la TTT, como lo demuestran los cálculos de CTE, BP y EP.

Para mitigar este riesgo para la salud pública, se requieren estrategias preventivas basadas en evidencia, incluida la reducción de la ingesta de AAm en la dieta. En este sentido, un estudio relevante es el de Mesías et al. (2025), que monitoreó la AAm en cereales para el desayuno y evaluó el impacto de las reformulaciones del mercado, lo que ofrece un camino práctico para reducir la exposición.¹⁶

CONCLUSIONES

Objetivo

Explorar, mediante simulación cuántica y modelado molecular *in silico*, los efectos redox de la AAm sobre la estructura, la estabilidad y la función de las hormonas sexuales testosterona (TTT) y estradiol (ETD). Se cumplió.



Hipótesis

Es probable que la AAm interaccione con los AA del cuerpo humano en forma redox (óxido-reducción)

Tesis. Hipótesis comprobada.

LA AAm, sí, interacciona con los AA del cuerpo humano, pero lo hace en equilibrio dinámico.

Corolario

Se encontró que las interacciones AAm-AA en equilibrio pueden causar muchos problemas de salud a corto y largo plazo.

Futuras investigaciones.

Este estudio puede extrapolarse a otras hormonas, tanto sexuales como no sexuales, tanto femeninas como masculinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Assefa, D., Dessalegn, E., & Abegaz, K. (2025). Effect of endemic dietary herb extracts on mitigating acrylamide formation and sensory attributes of potato chips through repeated frying cycles. *Scientific Reports*, 15(1), 33464. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09276-5>
- Cheng, L. H., Chen, M. J., Tseng, T. P., Huang, L. J., Lin, C. H., Lai, C. H., Yeh, S. H., Brimblecombe, P., & Hsu, H. T. (2025). The hidden hazard in kitchen environment: A preliminary study of health risks associated with inhaling acrylamide during French fries frying. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 305, 119200. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.119200>
- Ferreira, C. L. P., Piedade, A. B. S., da Costa, D. S., Braga, P. A. C., de Faria, R. A. P. G., & Bragotto, A. P. A. (2025). Acrylamide in vegetable snacks by LC-MS/MS: In-house analytical method validation and application to commercial samples from Brazil. *Food Additives & Contaminants: Part A - Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/19440049.2025.2576661>
- González-Pérez, M. (2015). Applied quantum chemistry: Analysis of the rules of Markovnikov and anti-Markovnikov. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 5(5), 1–6.
- González-Pérez, M. (2017). Quantum theory of the electron transfer coefficient. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(10), 239932.



- Karaaslan, M. M., & Basaran, B. (2025). Cardiovascular health behaviour, acrylamide exposure and health risk assessment of adolescents. *BMC Public Health*, 25(1), 3302. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-24053-9>
- Koszucka, A., Nowak, A., & Nowak, I. (2020). Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1677–1692. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1588223>
- Li, Y., Jia, W., Wan, X., Li, Y., Zhang, L., Ao, Y., Jiao, J., & Zhang, Y. (2025). Human biomonitoring of acrylamide in Chinese population: New daily exposure and risk assessment linking dietary food intake with internal urinary metabolite exposure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c11445>
- Mesías, M., García, A., & Morales, F. J. (2025). Two decades of monitoring acrylamide in breakfast cereals: Impact of market reformulation and compliance with EU regulation. *Food Chemistry: X*, 31, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103039>
- Nagata, C., Konishi, K., Wada, K., Tamura, T., Goto, Y., Koda, S., Mizuta, F., & Iwasa, S. (2019). Maternal acrylamide intake during pregnancy and sex hormone levels in maternal and umbilical cord blood and birth size of offspring. *Nutrition and Cancer*, 71(1), 77–82. <https://doi.org/10.1080/01635581.2018.1524018>
- Navruz-Varlı, S., Aksu, S., & Çergel, E. (2025). What do we know about acrylamide levels in rice and rice products? A general overview. *Food Chemistry: X*, 31, 103041. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103041>
- Pérez, M. G. (2025). Diseño y aplicación de la teoría cuántica del coeficiente de transferencia de electrones entre moléculas. Parte 1. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 8546–8560.
- Perez, M. G., Barrera, F. A. G., Diaz, J. F. M., Torres, M. G., & Oglesby, J. M. L. (2014). Theoretical calculation of electron transfer coefficient for predicting the flow of electrons by PM3, using 20 amino acids and nicotine. *European Scientific Journal*, 10(27), 1–10.



- Pérez, M. G., Betanzos, L. B., Reyes, S. T., Martínez, I. V., Arenas, B. A. M., García, D. I. Z., & Rosas, K. T. (2025). El papel de la cebolla en el tratamiento de enfermedades a través de sus componentes principales (quercetina y alicina) usando química cuántica *in silico*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 6935–6949.
- Ravichandran, G., Lakshmanan, D. K., & Raju, K. (2019). Food advanced glycation end products as potential endocrine disruptors: An emerging threat to contemporary and future generation. *Environment International*, 123, 486–500. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.038>
- Wang, R., Deng, X., Ma, Q., & Ma, F. (2023). Association between acrylamide exposure and sex hormones among premenopausal and postmenopausal women: NHANES, 2013–2016. *Journal of Endocrinological Investigation*, 46(8), 1533–1547. <https://doi.org/10.1007/s40618-022-01976-3>
- Wang, S., Li, Y., Wang, Y., Zhang, Y., & Dong, M. (2022). Acrylamide in food: A systematic review on its formation, exposure, and mitigation strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(31), 8825–8840. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1937987>
- Zou, Y., Lu, S., Han, S., & Zhao, R. (2025). A comprehensive bioinformatics evaluation uncovers a possible oncogenic role of acrylamide in endometrial cancer. *Discover Oncology*, 16(1), 1801. <https://doi.org/10.1007/s12672-025-03612->

