

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

INTERACCIÓN MOLECULAR ENTRE HORMONAS ANDROGÉNICAS Y PROTEÍNAS CLAVE EN SARCOPENIA: UN ENFOQUE QUÍMICO-CUÁNTICO. PARTE I

MOLECULAR INTERACTIONS BETWEEN ANDROGENIC HORMONES AND KEY PROTEINS IN SARCOPENIA: A QUANTUM CHEMICAL APPROACH. PART I

Manuel González Pérez

Universidad Tecnológica de Tecamachalco-UTTECAM, Enlace SECIHTI, México

Moisés Briteño Vázquez

Facultad de Medicina de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-BUAP, México

Javier Romero Bravo

Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Servicio Médico, México

Patricia Ruíz Hernández

Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Servicio Médico, México

Andrea Lizbeth Luna Ruiz

Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Servicio Médico, México

Rubén Abiud Villafuerte Salcedo

Instituto Tecnológico de Orizaba, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19464

Interacción Molecular entre Hormonas Androgénicas y Proteínas Clave en Sarcopenia: Un Enfoque Químico-Cuántico. Parte I

Manuel González Pérez¹m.gonzalez.perez@personal.uttecam.edu.mx<https://orcid.org/0000-0001-8700-2866>Universidad Tecnológica de Tecamachalco-
UTTECAM, Enlace SECIHTI
México**Moisés Briteño Vázquez**moises.briteno@correo.buap.mx<https://orcid.org/0000-0001-5309-191X>Facultad de Medicina de la Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla-BUAP
México**Javier Romero Bravo**medico@uttecam.edu.mx<https://orcid.org/0009-0001-9896-2173>Universidad Tecnológica de Tecamachalco,
Servicio Médico
México**Patricia Ruíz Hernández**paty.88anje@gmail.com<https://orcid.org/0009-0007-7033-5550>Universidad Tecnológica de Tecamachalco,
Servicio Médico
México**Andrea Lizbeth Luna Ruiz**andrea.lizbeth98@gmail.com<https://orcid.org/0009-0005-0923-238X>Universidad Tecnológica de Tecamachalco,
Servicio Médico
México**Rubén Abiud Villafuerte Salcedo**ruben.vs@orizaba.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-9993-5599>Instituto Tecnológico de Orizaba
México

RESUMEN

La sarcopenia (SCP), definida por la pérdida progresiva de masa y función muscular en adultos mayores, ha sido estrechamente vinculada a desequilibrios hormonales, particularmente en relación con la testosterona (TTT) y su metabolito más activo, la dihidrotestosterona (DHT). Esta investigación emplea química cuántica computacional para explorar el papel de TTT y DHT como posibles agentes terapéuticos en el tratamiento de la SCP y en la promoción de la ganancia muscular en la vejez. En esta primera parte del estudio, se realiza la caracterización molecular de ambas hormonas; la segunda parte abordará las proteínas implicadas en su acción. Se utilizó el software HyperChem con el método semiempírico PM3, ajustando el simulador para calcular los orbitales frontera (HOMO y LUMO) y el potencial electrostático (PE). A partir de estos parámetros se estimó el coeficiente de transferencia electrónica (CTE), el cual reveló diferencias sutiles entre TTT y DHT. La TTT mostró menor rigidez vibracional y mayor flexibilidad en la transferencia electrónica entre centros activos, mientras que la DHT presentó un resorte cuántico más rígido y una conformación más estable. Estas diferencias podrían influir en la eficiencia de acoplamiento electrónico y en la dinámica de interacción con el receptor androgénico, aportando una nueva perspectiva desde la teoría de transferencia electrónica de valencia (TEV).

Palabras clave: testosterona, dihidrotestosterona, sarcopenia, química cuántica, ganancia muscular

¹ Autor principal.

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

Molecular Interactions Between Androgenic Hormones and Key Proteins in Sarcopenia: A Quantum Chemical Approach. Part I

ABSTRACT

Sarcopenia (SCP), characterized by the progressive loss of muscle mass and function in older adults, has been closely associated with hormonal imbalances, particularly involving testosterone (TTT) and its more active metabolite, dihydrotestosterone (DHT). This study employs computational quantum chemistry to investigate the role of TTT and DHT as potential therapeutic agents for treating SCP and promoting muscle gain in aging populations. In this first part, we focus on the molecular characterization of both hormones; the second part will address the proteins affected by their action. The HyperChem software was used with the semi-empirical PM3 method, and the simulator was fully parameterized to calculate frontier orbitals (HOMO and LUMO) and electrostatic potential (EP). Based on these quantum descriptors, the electron transfer coefficient (ETC) was estimated, revealing subtle differences between TTT and DHT. Testosterone exhibited lower vibrational rigidity and greater flexibility in electronic transitions between active centers, whereas DHT showed a stiffer quantum spring and higher conformational stability. These distinctions may influence electronic coupling efficiency and the dynamics of interaction with the androgen receptor, offering a novel perspective through the lens of valence electron transfer theory (VETT).

Keywords: testosterone, dihydrotestosterone, sarcopenia, quantum chemistry, muscle gain

*Artículo recibido 24 julio 2025
Aceptado para publicación: 27 agosto 2025*



INTRODUCCIÓN

La SCP representa uno de los desafíos clínicos más relevantes en el envejecimiento, asociado con la fragilidad en adultos mayores y se diagnostica en ellos como una disminución de la fuerza muscular, la masa muscular y la velocidad al caminar entre otras características funcionales, contribuyendo a una disminución significativa en la calidad de vida (Petermann-Rocha et al., 2022). La TTT desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de las funciones físicas y mentales en los hombres. La disminución de TTT relacionada con la edad está estrechamente relacionada con la SCP y el deterioro muscular (Ide, 2023) (Pearson, 2021). Estudios previos (Korczak et al., 2023) han evidenciado la disminución de TTT como factor predisponente, sin embargo, el análisis profundo de sus interacciones cuánticas con tejidos blanco sigue siendo escaso.

Esta propuesta busca articular mecanismos hormonales con modelos de dinámica molecular, vinculando principios de la química cuántica al metabolismo muscular.

TTT y DHT: estructura y dinámica molecular.

La TTT presenta una configuración cíclica que permite interacciones flexibles con receptores nucleares. Su perfil vibracional depende del entorno redox.

La DHT es un derivado mediante reducción enzimática por 5α -reductasa. Presenta mayor afinidad por el receptor androgénico (AR) y una topología electrónica más compacta, lo que le confiere mayor potencia anabólica. (Swerdloff, 2017)

Mecanismos de acción hormonal en el músculo

Activación del AR en células musculares → transcripción de genes anabólicos.

Regulación de la síntesis proteica mediante incremento de factores de crecimiento.

Inhibición de rutas catabólicas a través de modulación de la ubiquitina-proteasoma.

Los andrógenos son hormonas esteroides anabólicas que ejercen su función uniéndose al receptor de andrógenos (AR), además de que se ha establecido que la deficiencia de AR en los músculos de las extremidades altera la organización miofibrilar del sarcómero y disminuye la fuerza muscular (Ghaibour et al., 2023).

Hipótesis cuántica: Las diferencias en el espectro vibracional entre TTT y DHT determinan su capacidad de acoplamiento y duración del efecto biológico. La coherencia vibracional podría influir en la eficacia



de señalización intracelular.

SCP y desequilibrio hormonal

Disminución de TTT con la edad → reducción de estímulos anabólicos.

Alteración en el metabolismo mitocondrial y aumento de especies reactivas de oxígeno (ROS).

Interacción de ROS con el receptor androgénico → reducción de sensibilidad y transducción hormonal.

A medida que envejecemos, se produce una pérdida de masa y fuerza del músculo esquelético relacionada con la edad, conocida como SCP, provocando una disminución de la movilidad y la independencia, así como un aumento del riesgo de otras morbilidades y mortalidad (McCormick & Vasilaki, 2018). Se ha postulado que la reducción de los niveles séricos de TTT relacionada con la edad provoca reducciones en la masa muscular magra, la densidad mineral ósea y otras afecciones físicas que perjudican el rendimiento físico y disminuyen la calidad de vida (Alemany, 2022). La TTT interactúa directamente con el receptor de andrógenos, expresado en los mionúcleos y las células satélite, y también se asocia indirectamente con el metabolismo muscular a través de diversas citocinas y moléculas (Shigehara et al., 2022).

La disfunción mitocondrial puede contribuir a la patogénesis de la SCP: en roedores, se observa una reducción de la masa mitocondrial dependiente de la edad, un cambio en la morfología y una fragmentación mitocondrial que precede a la desorganización sarcomérica (Christian & Benian, 2020).

La acumulación de mitocondrias dañadas debido a alteraciones relacionadas con la edad en cualquiera de los procesos de control de calidad mitocondrial (CCM), como la proteostasis, la biogénesis, la dinámica y la mitofagia, puede contribuir a la disminución de la masa muscular y la fuerza asociada con el envejecimiento (Tian et al., 2023). Los metabolitos de la TTT podrían influir en la generación de ROS mitocondriales, además de aumentar su capacidad respiratoria, se ha demostrado que la TTT aumenta las ROS en las células musculares induciendo las vías c-Src y PI3K/Akt, activando la producción de NAD(P)H oxidasa, las mitocondrias, la ciclooxigenasa 2 (COX-2) y la xantina oxidasa (Tostes et al., 2016).

METODOLOGÍA

Se utilizó el software hyperchme para todos los cálculos cuánticos. El método cuántico que se parametrizó es el semiempírico PM3. En primer término, se dibujaron las moléculas tanto de la TTT



como la DHT. A continuación se caracterizó cada una de las moléculas calculado: 1) Energía total de enlaces (energía libre de Gibbs) para determinar cuál de las dos moléculas presenta mayor estabilidad en condiciones estándares. 2) HOMO y LUMO correspondiente a los orbitales moleculares de “valencia”. 3) Con estos valores, se calculó la BP de cada uno de los compuestos. 4) Después, se calcularon los sendos potenciales electrostáticos. 5) Por último, se dividió la BP entre el PE para obtener el coeficiente de transferencia de electrones (CTE). Con estos parámetros se determinaron muchas características de aplicación metabólica de ambas moléculas. Además se usó la ecuación de Morse (vibración) parametrizada y adaptada con los cálculos cuánticos. Estas diferencias energéticas, derivadas de la adaptación cuántica de la ecuación de Morse, ofrecerán una perspectiva molecular que complementa los datos bioquímicos tradicionales. La visualización permitirá inferir cómo pequeñas variaciones estructurales pueden traducirse en grandes diferencias funcionales en el metabolismo. (González, 2025) (González et al., 2024)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

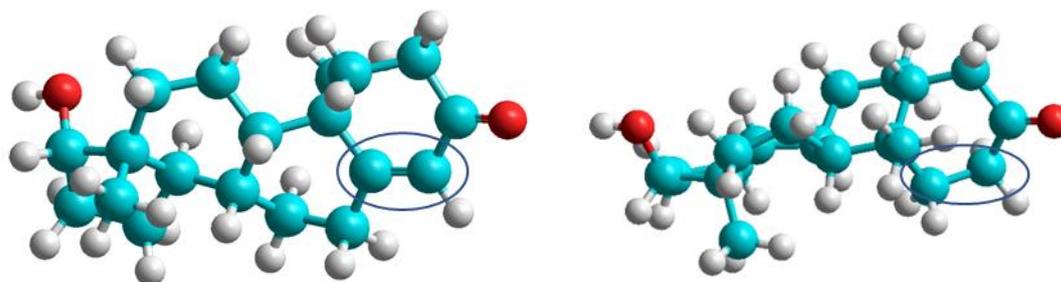
La caracterización de HOMO (en este caso de valencia) Figuras 1B y 1E

Interpretación de los valores de la energía de enlace.

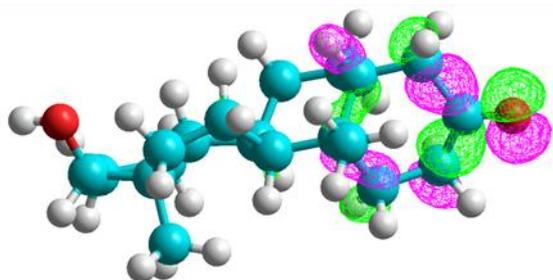
En la tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización cuántica de la TTT y la DHT. La primera comparación fue entre las energías total de enlace. Figura 1A y 1D. Esta energía se calcula como la sumatoria de los enlaces formados o destruidos de cada molécula ensamblada a partir de sus elementos que las conforman. Es notable que la DHT presenta menor energía (-5,053.6150 kcal/mol o -213.7 eV), por lo tanto es más estable que la TTT (-4,930.26.50 kcal/mol o 216.1 eV) en condiciones estándares.

Figura 1. Caracterización cuántica de las dos moléculas en cuestión.

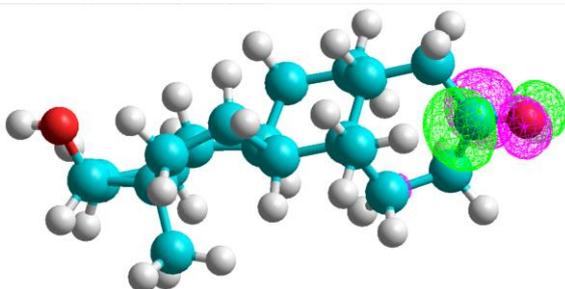
TTT. A) Energía de enlace -4,930.2650 kcal/mol (- 213.7 eV) DHT. D) Energía de enlace - 5,053.6150 kcal/mol (-219.1 eV)



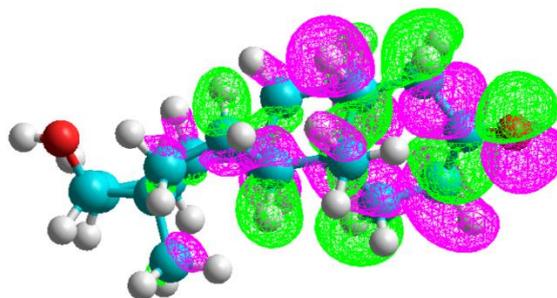
B) HOMO -10.3657 eV (-239.1 kcal/mol)



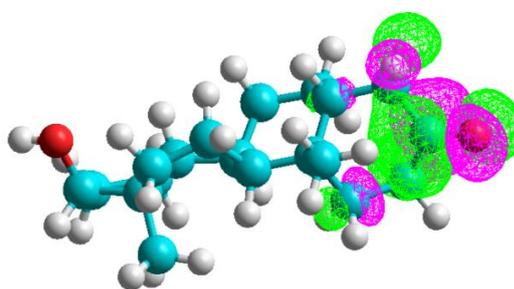
C) LUMO +0.9160342 eV (-21.1 kcal/mol)



E) HOMO -9.3998443 eV (-216.6 kcal/mol)



F) LUMO -0.03738533 eV (-0.8619 kcal/mol)



La caracterización de HOMO (en este caso de valencia) Figuras 1B y 1E

Interpretación de los valores HOMO

El HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) representa el orbital más alto ocupado por electrones en una molécula. Su energía indica cuán fácilmente puede ceder electrones:

- Más negativo → más difícil ceder electrones → menos reactivo (más estable frente a oxidación)
- Menos negativo → más fácil ceder electrones → más reactivo

Tabla 1. Comparación HOMO entre las dos moléculas.

Molécula	HOMO (eV)	Tendencia a ceder electrones	Reactividad	Estabilidad frente a oxidación
TTT	-10.3657	Menor	Menos reactiva	Más estable
DHT	-9.3998443	Mayor	Más reactiva	Menos estable

La caracterización de LUMO (en este caso de valencia) Figuras 1C y 1F

Interpretación de los valores LUMO

- Más negativo → orbital más bajo en energía → más fácil aceptar electrones → más reactivo como aceptor
- Menos negativo → menos favorable para aceptar electrones → menos reactivo como aceptor

Comparación entre moléculas TTT y DHT

Tabla 2. Comparación de las dos moléculas LUMO.

Molécula	LUMO (eV)	Tendencia a ceder electrones	Reactividad	Estabilidad frente a oxidación
TTT	+0.9160342	Menor	Menos reactiva	Más estable
DHT	-0.03738533	Mayor	Más reactiva	Menos estable

La caracterización de BP

La BP representa la energía mínima necesaria para promover un electrón desde el HOMO al LUMO.

En química molecular:

- BP grande → molécula más estable, menos reactiva electrónicamente.
- BP pequeña → molécula más reactiva, más propensa a participar en procesos electrónicos (como transferencia de carga, interacción con receptores, etc.).

TTT:

$$BP = |\text{HOMO} - \text{LUMO}| = |-10.3657 - (+0.9160342)| = 11.2817342 \text{ eV}$$

DHT:

$$BP = |\text{HOMO} - \text{LUMO}| = |-9.3998443 - (-0.03738533)| = 9.36245897 \text{ eV}$$

Comparación entre TTT y DHT:

Tabla 3. Comparación de las dos moléculas BP.

Molécula	HOMO (eV)	LUMO (eV)	BP (eV)	Interpretación
TTT	-10.3657	+0.916034	11.2817	Muy estable electrónicamente
DHT	-9.3998443	-0.037385	9.3625	Más reactiva electrónicamente



Implicaciones bioquímicas

- La TTT, con una BP más alta, es menos propensa a sufrir excitación electrónica espontánea, lo que puede correlacionarse con una mayor estabilidad estructural.
- La DHT, con una BP más baja, podría tener mayor afinidad por receptores o participar más activamente en procesos bioquímicos que involucren transferencia electrónica.

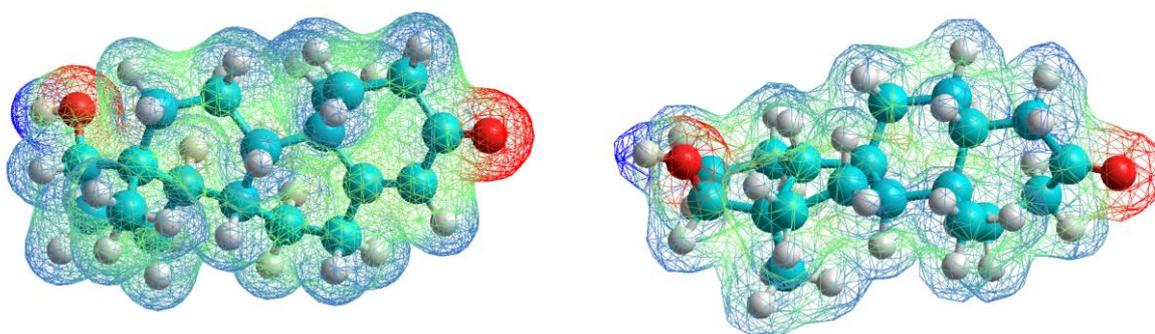
Esto puede ser relevante si se está modelando interacciones con enzimas, receptores hormonales o evaluando susceptibilidad a oxidación/reducción.

Comparación Electroestática y Vibracional entre TTT y DHT

En la figura 2, se presentan los dos mapas del potencial electrostático de cada molécula. Nótese que son casi idénticos.

Figura 2. Mapa del PE de sendas moléculas. La zona verde es neutral

- A) TTT. La zona roja es carga negativa. B) DHT. La zona azul es carga positiva.



La TTT y la DHT presentan diferencias sutiles pero significativas en su perfil electrostático y comportamiento vibracional. Como se muestra en la Tabla 3, TTT exhibe un menor gradiente de potencial electrostático ($|\text{EP}| = 0.246 \text{ eV/a}_0$) en comparación con DHT ($|\text{EP}| = 0.275 \text{ eV/a}_0$), reflejando una mayor polarización interna. Los valores extremos de δ^- y δ^+ también son menos pronunciados en TTT (-0.129 y $+0.117$) que en DHT (-0.105 y $+0.170$), lo que sugiere una distribución de carga más contrastante.

Este perfil electrostático podría favorecer interacciones más intensas con el receptor androgénico, especialmente en regiones sensibles a gradientes de carga. Por otro lado, la curva de energía vibracional obtenida mediante la adaptación de la ecuación de Morse revela que DHT (figura 3) posee un mínimo

más profundo y una pendiente más pronunciada, lo que indica una mayor rigidez conformacional y menor flexibilidad vibracional.

Tabla 4. Comparación de las dos moléculas PE.

Molécula	d-	d+	EP (eV/a ₀)	Interpretación
TTT	-0.129	+0.117	0.246	Valor absoluto
DHT	-0.105	+0.170	0.275	Valor absoluto

Esta dualidad entre intensidad electrostática TTT y estabilidad vibracional DHT podría explicar las diferencias observadas en afinidad y potencia biológica. Mientras TTT podría adaptarse mejor a entornos dinámicos, DHT ofrecería una interacción más estable y específica con el receptor, lo que concuerda con su mayor actividad biológica reportada.

Propiedades Cuánticas de Transferencia y Dinámica Electrónica

La transferencia electrónica entre moléculas puede describirse mediante el coeficiente de salto electrónico, expresado en radios de Bohr (a_0), que representa la distancia efectiva que recorre un electrón de valencia desde una molécula donadora (A1) hacia una aceptora (A2), o entre especies distintas (A → B). Este parámetro, derivado de la teoría de transferencia electrónica de valencia (TEV), permite correlacionar la eficiencia del acoplamiento electrónico con la rigidez vibracional del sistema.

En este estudio, se determinaron los radios de transferencia para TTT y DHT, obteniendo los siguientes valores:

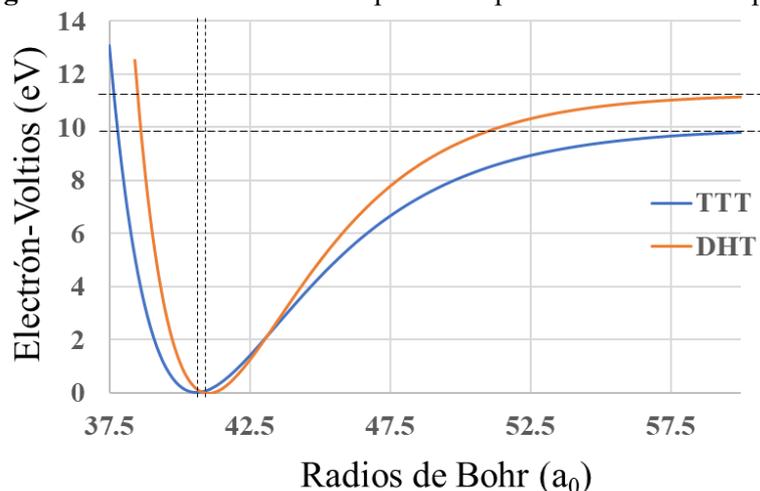
Molécula	Radio (a_0)	Interpretación
TTT	40.018	Menor resorte cuántico de vibración y equilibrio.
DHT	40.602	Mayor resorte cuántico de vibración y equilibrio.

El coeficiente de transferencia electrónica, medido en radios de Bohr, revela diferencias sutiles entre TTT y DHT. La TTT presenta un radio de 40.018 a_0 , lo que indica una menor rigidez vibracional y una mayor flexibilidad en el salto electrónico entre centros activos. En contraste, la DHT exhibe un radio de 40.602 a_0 , asociado a un resorte cuántico más rígido y una mayor estabilidad conformacional. Esta diferencia puede influir en la eficiencia de acoplamiento electrónico y en la



dinámica de interacción con el receptor androgénico, ofreciendo una nueva perspectiva desde la teoría de transferencia electrónica de valencia (TEV).

Figura 3. Ecuación de Morse adaptada con parámetros cuánticos para sendas sustancias (TTT y DHT).



La figura 3 presenta las curvas de energía potencial obtenidas mediante la ecuación de Morse modificada con parámetros cuánticos para la testosterona (TTT, curva azul) y la dihidrotestosterona (DHT, curva naranja). En el eje vertical se representa la energía en electron-voltios (eV), mientras que el eje horizontal muestra la distancia internuclear en radios de Bohr (a_0).

Ambas curvas exhiben un mínimo energético, correspondiente al punto de equilibrio vibracional de cada molécula. Sin embargo, se observan diferencias significativas:

- TTT: La curva azul es más amplia y menos profunda, lo que indica una menor rigidez vibracional y una energía de disociación más baja. Esto sugiere una mayor flexibilidad conformacional, posiblemente relacionada con su menor afinidad por el receptor androgénico.
- DHT: La curva naranja es más estrecha y profunda, reflejando una mayor rigidez molecular y una energía de enlace más alta. Esta característica puede estar vinculada a su mayor potencia biológica y capacidad de formar interacciones más estables con el receptor.

CONCLUSIONES

Las diferencias energéticas derivadas de la parametrización cuántica de la ecuación de Morse permiten una descripción precisa del perfil de energía potencial asociado a modos vibracionales específicos, particularmente en enlaces funcionales relevantes. Esta modelación revela cómo perturbaciones

estructurales sutiles —como desplazamientos en distancias de enlace o variaciones torsionales localizadas— inducen cambios no lineales en la energía vibracional, lo que puede traducirse en modulaciones significativas de la reactividad, afinidad de unión o reconocimiento molecular. La visualización de estos gradientes energéticos, en función de coordenadas internas, proporciona una herramienta analítica para vincular la dinámica conformacional con propiedades biofuncionales, integrando la mecánica cuántica con la bioquímica estructural.

Trabajos para la parte II. Una de las hipótesis importante es cómo interaccionan tanto la TTT como la DHT con los receptores androgénicos y con algunas hormonas o l.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemaný, M. (2022). The Roles of Androgens in Humans: Biology, Metabolic Regulation and Health.

In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 23, Issue 19). MDPI.

<https://doi.org/10.3390/ijms231911952>

Christian, C. J., & Benian, G. M. (2020). Animal models of sarcopenia. In *Aging Cell* (Vol. 19, Issue

10). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/accel.13223>

Ghaibour, K., Schuh, M., Souali-Crespo, S., Chambon, C., Charlot, A., Rizk, J., Rovito, D., Rerra, A.

I., Cai, Q., Messaddeq, N., Zoll, J., Duteil, D., & Metzger, D. (2023). Androgen receptor coordinates muscle metabolic and contractile functions. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 14(4), 1707–1720. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13251>

González, P.M, (2024). Análisis in silico de las interacciones químico-cuánticas de los aminoácidos del Factor nuclear kappa-B y el ácido Zoledrónico. *Ciencia latina*. Vol. 8 Núm. 5 (2024).

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14770

González, P.M, Méndez, L.G, Villafuerte, SRA (2025). Análisis de las Interacciones Químicas-Cuánticas in Silico de la Finasterida y los Neurotransmisores y su Papel en la Psicopatología.

Ciencia latina. Vol. 9 Núm. 1 (2025). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.15953

Ide, H. (2023). The impact of testosterone in men's health. *Endocrine Journal*, 70(7), 655–662.

<https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ22-0604>

Korzak, J., Mardas, M., Litwiniuk, M., Bogdański, P., & Stelmach-Mardas, M. (2023). Androgen Deprivation Therapy for Prostate Cancer Influences Body Composition Increasing Risk of



- Sarcopenia. *Nutrients*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/nu15071631>
- McCormick, R., & Vasilaki, A. (2018). Age-related changes in skeletal muscle: changes to life-style as a therapy. In *Biogerontology* (Vol. 19, Issue 6, pp. 519–536). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10522-018-9775-3>
- Pearson, T., Wendowski, O., & Powell, P. P. (2021). Enhanced small neutral but not branched chain amino acid transport after epigenetic sodium coupled neutral amino acid transporter-2 (SNAT2) cDNA expression in myoblasts. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 12(3), 811–822. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12707>
- Petermann-Rocha, F., Balntzi, V., Gray, S. R., Lara, J., Ho, F. K., Pell, J. P., & Celis-Morales, C. (2022). Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. In *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle* (Vol. 13, Issue 1, pp. 86–99). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12783>
- Shigehara, K., Kato, Y., Izumi, K., & Mizokami, A. (2022). Relationship between Testosterone and Sarcopenia in Older-Adult Men: A Narrative Review. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 11, Issue 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm11206202>
- Swerdloff, R. S., Dudley, R. E., Page, S. T., Wang, C., & Salameh, W. A. (2017). Dihydrotestosterone: Biochemistry, physiology, and clinical implications of elevated blood levels. In *Endocrine Reviews* (Vol. 38, Issue 3, pp. 220–254). Endocrine Society. <https://doi.org/10.1210/er.2016-1067>
- Tian, X., Lou, S., & Shi, R. (2023). From mitochondria to sarcopenia: role of 17 β -estradiol and testosterone. In *Frontiers in Endocrinology* (Vol. 14). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1156583>
- Tostes, R. C., Carneiro, F. S., Carvalho, M. H. C., & Reckelhoff, J. F. (2016). Reactive oxygen species: players in the cardiovascular effects of testosterone. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 310, 1–14. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00392.2014.-Androgens>

