



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,  
Volumen 8, Número 4.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4)

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LAS INTERACCIONES DEL  
DIÓXIDO DE AZUFRE Y LAS BIOMOLÉCULAS HUMANAS  
ESTRUCTURALES, USANDO QUÍMICA CUÁNTICA**

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF INTERACTIONS BETWEEN  
SULFUR DIOXIDE AND STRUCTURAL HUMAN BIOMOLECULES,  
USING QUANTUM CHEMISTRY

**Dr. Manuel González Pérez**

Universidad Tecnológica de Tecamachalco, México

**Adrian Mundo Álvarez**

Tecnológico Nacional de México

**Yahir Emmanuel Saldaña Rodríguez**

Universidad Autónoma de Guerrero, México

**Diana Laura Pino Dircio**

Tecnológico Nacional de México

**Alexis Yael López Cortés**

Universidad Autónoma de Guerrero, México

**Verónica Hernández Fernández**

Centro de Estudio Superiores de Tepeaca, México

**Olivia Alejandra García-Paz**

Centro de Estudio Superiores de Tepeaca, México

**Edith González Castillo**

Centro de Estudio Superiores de Tepeaca, México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i4.13340](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13340)

## **Análisis de los Efectos de las Interacciones del Dióxido de Azufre y las Biomoléculas Humanas Estructurales, Usando Química Cuántica**

**Dr. Manuel González Pérez<sup>1</sup>**

[m.gonzalez.perez@personal.uttecam.edu.mx](mailto:m.gonzalez.perez@personal.uttecam.edu.mx)  
<http://orcid.org/0009-0001-8700-2866>

Director del proyecto Delfín Enlace  
CONAHACYT  
Universidad Tecnológica de  
Tecamachalco. UTTECAM  
México

**Adrian Mundo Álvarez**

[mundo.adrian06@gmail.com](mailto:mundo.adrian06@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0006-7310-171X>

Departamento de Ingeniería Química y  
Bioquímica. Tecnológico Nacional de México  
IT de Acapulco TecNM/ITA  
Programa Delfín  
México

**Yahir Emmanuel Saldaña Rodríguez**

[yahir\\_1494@hotmail.com](mailto:yahir_1494@hotmail.com)  
<http://orcid.org/0009-0001-4639-985X>

Facultad de ciencias naturales  
Universidad Autónoma de Guerrero, UAGro  
Programa Delfín  
México

**Diana Laura Pino Dircio**

[dianalaurapino2002@gmail.com](mailto:dianalaurapino2002@gmail.com)  
<http://orcid.org/0009-0003-3489-3652>

Departamento de Ingeniería Química y  
Bioquímica. Tecnológico Nacional de México  
IT de Acapulco TecNM/ITA, Programa Delfín  
México

**Alexis Yael López Cortés**

[lopezcortesalexisyael@gmail.com](mailto:lopezcortesalexisyael@gmail.com)  
<http://orcid.org/0009-0005-9618-7846>

Facultad de ciencias naturales  
Universidad Autónoma de Guerrero, UAGro  
Programa Delfín  
México

**Verónica Hernández Fernández**

[veronica.hernandez04@ces-tepeaca.edu.mx](mailto:veronica.hernandez04@ces-tepeaca.edu.mx)  
<http://orcid.org/0009-0004-6609-0691>

Escuela de Medicina  
Centro de Estudio Superiores  
de Tepeaca CEST. Programa Delfín  
México

**Olivia Alejandra García-Paz**

[olijandra911@ces-tepeaca.edu.mx](mailto:olijandra911@ces-tepeaca.edu.mx)  
<http://orcid.org/0009-0004-4890-5682>

Escuela de Medicina  
Centro de Estudio Superiores  
de Tepeaca CEST. Programa Delfín  
México

**Edith González Castillo**

[gonzalezcastilloedith920@ces-tepeaca.edu.mx](mailto:gonzalezcastilloedith920@ces-tepeaca.edu.mx)  
<http://orcid.org/0009-0006-9805-1819>

Escuela de Medicina  
Centro de Estudio Superiores  
de Tepeaca CEST. Programa Delfín  
México

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [m.gonzalez.perez@personal.uttecam.edu.mx](mailto:m.gonzalez.perez@personal.uttecam.edu.mx)

## RESUMEN

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro y de olor fuerte que irrita las mucosas. Su inhalación puede producir diversas lesiones, dependiendo de su concentración en el aire. Se ha prestado especial interés a las alteraciones genéticas que puede inducir en la agricultura y la medicina. Esta investigación in silico tuvo como objetivo analizar los efectos de las interacciones del SO<sub>2</sub> y las Biomoléculas Humanas Estructurales (BHE) mediante química cuántica. Las moléculas se caracterizaron con el software hyperchem. La teoría del Coeficiente de Transferencia de Electrones (CTE) se utilizó para los cálculos cuánticos del HOMO, LUMO, Banda Prohibida (BP) y el Potencial Electrostático (EP). Los resultados coinciden con la mayoría de las investigaciones de vanguardia. El 100% de las interacciones del SO<sub>2</sub> con los aminoácidos (AA) AA-SO<sub>2</sub>; y de las Bases Nitrogenadas (BN) BN-SO<sub>2</sub> son oxidantes. En ningún caso este gas es antioxidante. Se recomienda a la población que intente no exponerse a este gas ya que es difícil de expulsar del cuerpo una vez que se ha introducido.

**Palabras clave:** dióxido de azufre, proteínas, ADN, ARN, química cuántica

*Artículo recibido 10 julio 2024*  
*Aceptado para publicación: 15 agosto 2024*



# **Analysis of the Effects of Interactions Between Sulfur Dioxide and Structural Human Biomolecules, Using Quantum Chemistry**

## **ABSTRACT**

Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) is a colorless gas with a powerful odor that irritates mucous membranes. Inhalation can cause various lesions, depending on its concentration in the air. Special interest has been paid to the genetic alterations it can induce in agriculture and medicine. This *in silico* research aimed to analyze the effects of the interactions of sulfur dioxide and structural human biomolecules (SHB) using quantum chemistry. The molecules were characterized with hyperchem software. The electron transfer coefficient (ETC) theory was used for quantum calculations of the HOMO, LUMO, Band Gap (Bg), and Electrostatic Potential (EP). The results coincide with most of the state-of-the-art research. 100% of the interactions of SO<sub>2</sub> and amino acids (AAs) AA-SO<sub>2</sub>; and of Nitrogenous Bases (NB) NB-SO<sub>2</sub> are oxidizing. In no way is this gas an antioxidant. The public is advised to try not to expose themselves to this gas as it is tough to expel from the body once it has been introduced.

**Keywords:** sulfur dioxide, proteins, DNA, RNA, quantum chemistry



## INTRODUCCIÓN

### SO<sub>2</sub>.

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, con un olor muy fuerte e irritante de las mucosas, cuya inhalación puede producir diversas lesiones, dependiendo de sus concentraciones en el aire. (Manosalva Fonseca, 2020); (Romero Taboada, 2024) En los campos de la agricultura y la medicina se le ha prestado un interés especial a las alteraciones genéticas que puede inducir. El impacto ambiental que ocasiona el SO<sub>2</sub> puede ser evaluado de diversas maneras, mediante métodos que valoran su efecto en la salud humana, la vegetación, la cadena trófica, la calidad de los materiales, etc. (Varona et al, (2007); (Borregaard, 2001). Sin duda alguna, el efecto del elemento químico sobre el material genético ocupa un lugar preferente en la evaluación del nivel de contaminación que ocasiona, debido a que el daño genético es considerado un grave problema ambiental, ya que es responsable de la ruptura de los equilibrios intra e inter-poblacionales, la introducción de novedades que en muchos casos son perjudiciales, la variedad de enfermedades y la accidentabilidad.

### Relación SO<sub>2</sub> y BHE

En lo concerniente a la salud humana, la exposición del ser humano a este contaminante ha demostrado su toxicocinética, mostrando una rápida absorción por inhalación, dependiente de la concentración. Esto puede manifestarse en irritación ocular, en la faringe y en las vías respiratorias. Las moléculas de SO<sub>2</sub> inhaladas, que serán absorbidas pasivamente, podrán unirse a la parte húmeda de las estructuras anatomopatológicas de la región afectada. Luego, se disociarán y se mezclarán con el agua existente allí, para posteriormente combinarse con moléculas proteicas a través de reacciones de disolución y disociación. Esto puede llevar a la formación de ácido sulfúrico en áreas con humedad intrínseca. (Quispe Chilo & Yucra Ccosaña, 2021); (Maren, Cadete y Romero, 2020)

Sin embargo, (Chen et al, 201); (Wang y Du, 2014); (Cai y Wang, 2021) revisan los efectos biológicos del SO<sub>2</sub> en los mamíferos. Ellos llegan a la conclusión que el SO<sub>2</sub> puede tener un papel doble en la regulación de los efectos fisiológicos y pato fisiológicos en los mamíferos. Sus efectos tóxicos, que incluyen daño oxidativo, daño al ácido desoxirribonucleico (ADN) e inflamación. Por otro lado, estudios recientes han demostrado que el SO<sub>2</sub> puede generarse de forma endógena en los mamíferos.

El SO<sub>2</sub> endógeno tiene efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antihipertensivos y anti aterogénicos y regula el tono vascular y la función cardíaca en los mamíferos, destacaron que el SO<sub>2</sub> podría ser una nueva molécula de señalización gaseosa endógena involucrada en la regulación de las funciones cardiovasculares.

### **Casos preocupantes en la genética**

(Meng, King y Bai; 2004) estudiaron, los efectos dañinos del ADN de los derivados del SO<sub>2</sub> en las células de varios órganos: cerebro, pulmón, corazón, hígado, estómago, bazo, timo, médula ósea y riñón de ratones machos. Estos estudios muestran que los derivados del SO<sub>2</sub> pueden causar daño al ADN en múltiples órganos de ratones y que los derivados del SO<sub>2</sub> son agentes sistémicos que dañan el ADN, no solo en el sistema respiratorio. Se ha sugerido que la exposición a los derivados del SO<sub>2</sub> presenta un riesgo potencial para el ADN en múltiples órganos de los mamíferos y podría estar relacionada con la carcinogénesis u otras enfermedades relacionadas con el daño del ADN. Investigaciones recientes han demostrado que el SO<sub>2</sub> y sus derivados pueden inducir un aumento en las frecuencias de aberraciones cromosómicas, intercambios de cromátidas hermanas y micronúcleos en células de mamíferos y causar daño oxidativo en múltiples órganos de ratones machos y hembras. En conjunto, estos datos sugieren que el SO<sub>2</sub> y sus derivados son agentes tóxicos sistémicos.

Bai y Meng (2005). Estudiaron ratas Wistar macho alojadas en cámaras de exposición y las trataron con atmósferas de SO<sub>2</sub> con la finalidad de estudiar si hubo apoptosis y mutación genética. Ellos llegaron a la conclusión que la exposición al SO<sub>2</sub> podría modificar la expresión de genes relacionados con la apoptosis y sugieren que el SO<sub>2</sub> puede inducir la apoptosis en el hígado de ratas y puede estar relacionado con algunas enfermedades relacionadas con la apoptosis.

González-Santiago et al 2021 evaluaron los efectos citotóxicos y genotóxicos en adultos jóvenes sanos expuestos a diferentes niveles de contaminación del aire e identificar áreas con tasas de contaminación del aire por encima de los límites regulatorios. Sus resultados sugieren que la exposición a altos niveles de contaminación del aire en adultos jóvenes sanos tiene un efecto sobre la integridad celular y nuclear y por ende en la salud humana, ya que las áreas con mayor contaminación del aire mostraron un aumento en la citotoxicidad, específicamente en los marcadores tempranos y tardíos de muerte celular.

Meng y Zang (2002) investigaron la inducción de aberraciones cromosómicas (AC) en células de médula ósea de ratón por inhalación de SO<sub>2</sub>. Concluyeron que, a bajas concentraciones, SO<sub>2</sub> indujo solo AC de tipo cromátida, mientras que, a altas concentraciones, SO<sub>2</sub> indujo tanto AC de tipo cromátida como de tipo cromosómico.

La inhalación de SO<sub>2</sub> redujo los índices mitóticos de las células de la médula ósea. Los resultados implican que la inhalación de SO<sub>2</sub> puede inhibir las mitosis y aumentar las frecuencias de AC de las células de la médula ósea y que es un agente clastogénico y genotóxico. La exposición prolongada a la contaminación por SO<sub>2</sub> en bajas concentraciones en el medio ambiente puede ser un riesgo potencial de inducción de daño citogenético in vivo en humanos.

## **BHE**

El cuerpo del ser humano o de cualquier otro ser vivo está formado principalmente por cuatro tipos de moléculas de gran tamaño que se encuentran por todo el organismo. Son las proteínas, los aminoácidos, los glúcidos, los lípidos y los ácidos nucleicos (Moreno-Londoño, 2021).

Las proteínas o aminoácidos son fundamentales para el cuerpo humano, presentes en todos los órganos, tejidos, células, sub células y sistemas. Su estructura se compone de largas cadenas de moléculas, ya sea de la misma clase o de diferentes clases, plegadas de manera estable (Giraldo y Herrera2022). En esta investigación solo se analizan los aminoácidos como ladrillos que forman a las proteínas y las bases nitrogenadas que componen a los ácidos nucleicos.

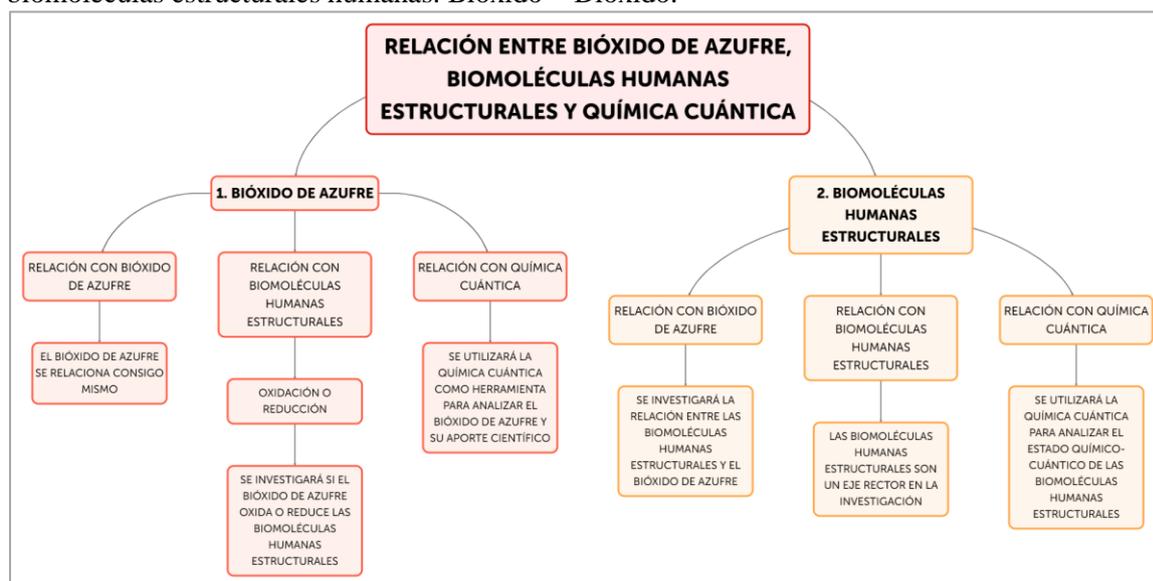
## **METODOLOGÍA**

En las figura 1 y 2, se muestra el mapa conceptual de la metodología de la investigación para este artículo. La figura 1 representa la parte esencial de esta investigación.

Primero se caracteriza la molécula del SO<sub>2</sub> en silico con la herramienta software Hyperchem. Se hace énfasis en su carácter oxidativo y reductor (antioxidante).

En segundo lugar se hace lo mismo con las biomoléculas (proteínas) que utilizan a los aminoácidos como ladrillos de construcción y las bases nitrogenadas que se utilizan para formar los ácidos nucleicos.

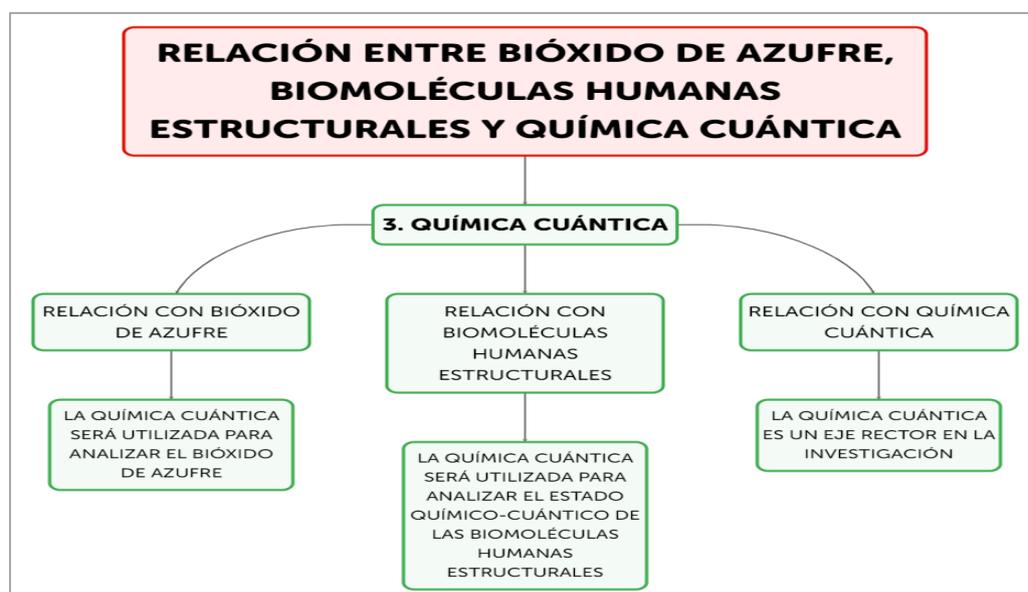
**Figura 1.** Diagrama de árbol de los temas involucrados en esta investigación entre el SO<sub>2</sub> y las biomoléculas estructurales humanas. Bióxido = Dióxido.



La figura 2. Como tercer momento de la investigación se hace una ordenación tomada de dos en dos tanto de los aminoácidos como de las bases nitrogenadas. Esta ordenación se hace para contabilizar la cantidad de interacciones en las que interviene el SO<sub>2</sub> como oxidante o antioxidante tanto de los tejidos proteicos como de los ácidos nucleicos ADN y ARN. (González-Pérez & Sánchez, 202)

No se colocan aquí los parámetros de programación ni las ecuaciones resueltas por razones de espacio, pero si hay algún interés por éstas, favor de contactar al director de este proyecto. (González-Pérez, M. (2017)

**Figura 2.** Diagrama de árbol de la planeación de las interacciones como una ordenación estadística tomada de dos en dos y su carácter óxido-reductor entre el SO<sub>2</sub>, las proteínas y los ácidos nucleicos.



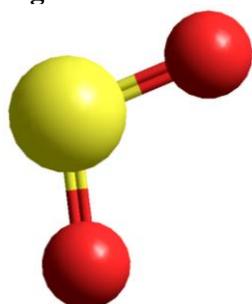
Como metodología específica se usó la teoría del coeficiente de transferencia publicada en 2017 por el director de este proyecto.

$CTE = \frac{BP}{PE}$	Ecuación 1
$BP =  HOMO - LUMO $	Ecuación 2
$PE =   - E + E  $	Ecuación 3
Donde:	
CTE = Coeficiente de Transferencia de Electrones. En radios de Bohr [ $a^{\circ}$ ].	
BP = Banda Prohibida en [eV].	
PE = Potencial Electrostatico. En [ $\frac{eV}{a^{\circ}}$ ]	

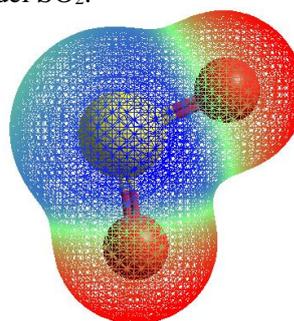
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4, se muestra la caracterización cuántica de la molécula del SO<sub>2</sub>. A) Diseño molecular Hyperchem: S = amarillo, O = rojo. B) Potencial electrostático Positivo= azul, Negativo = rojo, Neutro = verde. C) HOMO (verde +, violeta -). D) LUMO (verde +, violeta -).

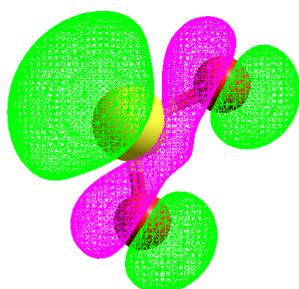
**Figura 4.** Caracterización cuántica de la molécula del SO<sub>2</sub>.



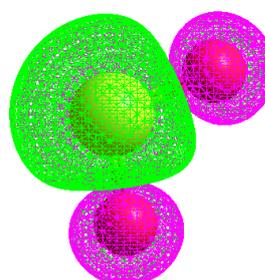
A) SO<sub>2</sub>. Hyperchem



B) SO<sub>2</sub>. Potencial Electrostatico



C) SO<sub>2</sub>. HOMO



D) SO<sub>2</sub>. LUMO

En la Tabla 1, se muestran los resultados de las interacciones químico cuántico de las sustancias puras. Esta tabla se asemeja a un pozo cuántico. Abajo se ubican las interacciones más fuertes y más probables (más afines químicamente). Arriba se tienen las interacciones menos fuertes y menos probables (menos afines).

El SO<sub>2</sub> ocupa el lugar número 1 del pozo cuántico, esto significa que el SO<sub>2</sub> es una sustancia de acción prolongada, es decir, muy difícil de expulsar del cuerpo. En medicina se dice que es un medicamento de acción prolongada.

Se observa que las moléculas de guanina y citocina se localizan en lugar 2 y 3 de la tabla.

Hacemos notar que se consideró el uracilo y su tautómero. U1 es cetónico, U2 es hidroxilado. Nótese que el U2 es más afin con sus moléculas de la misma especie (sustancia pura) que el U1.

**Tabla 1.** Cálculos. Pozo cuántico. Orden descendente de la afinidad química. Sustancias puras.

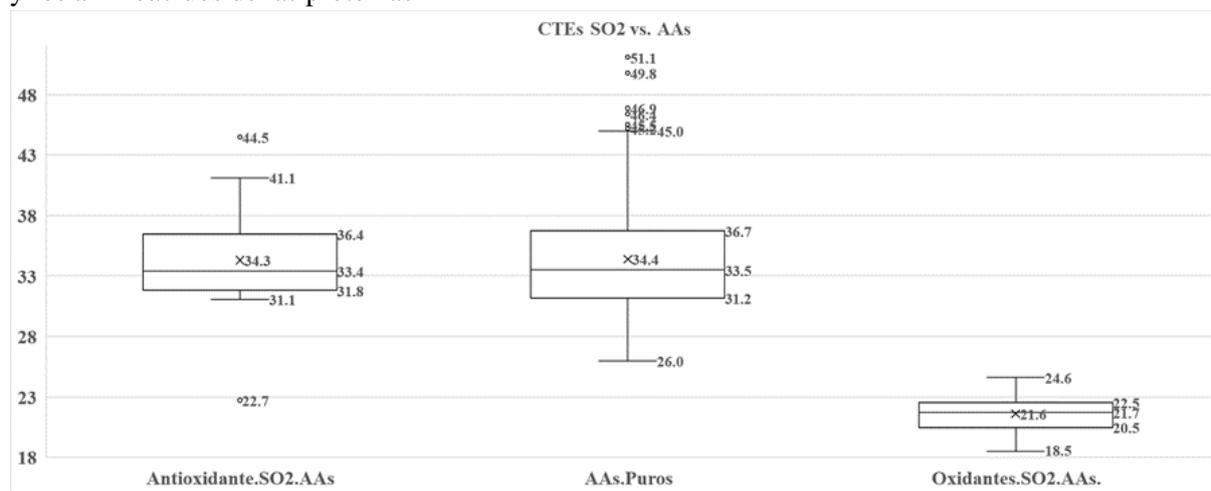
N	Reductor	Oxidante	HOMO	LUMO	BP	E-	E+	EP	CTE
27	Val	Val	-9.914	0.931	10.845	-0.131	0.109	0.240	45.188
26	Ala	Ala	-9.879	0.749	10.628	-0.124	0.132	0.256	41.515
25	Leu	Leu	-9.645	0.922	10.567	-0.126	0.130	0.256	41.279
24	Phe	Phe	-9.553	0.283	9.836	-0.126	0.127	0.253	38.879
23	Gly	Gly	-9.902	0.902	10.804	-0.137	0.159	0.296	36.500
22	Ser	Ser	-10.156	0.565	10.721	-0.108	0.198	0.306	35.037
21	Cys	Cys	-9.639	-0.236	9.403	-0.129	0.140	0.269	34.956
20	Glu	Glu	-10.374	0.438	10.812	-0.111	0.201	0.312	34.655
19	Ile	Ile	-9.872	0.972	10.844	-0.128	0.188	0.316	34.316
18	Thr	Thr	-9.896	0.832	10.728	-0.123	0.191	0.314	34.167
17	Gln	Gln	-10.023	0.755	10.778	-0.124	0.192	0.316	34.108
16	Asp	Asp	-10.370	0.420	10.790	-0.118	0.204	0.322	33.509
15	Asn	Asn	-9.929	0.644	10.573	-0.125	0.193	0.318	33.249
14	Lys	Lys	-9.521	0.943	10.463	-0.127	0.195	0.322	32.495
13	Pro	Pro	-9.447	0.792	10.238	-0.128	0.191	0.319	32.095
12	Trp	Trp	-8.299	0.133	8.431	-0.112	0.155	0.267	31.577
11	U1	U1	-9.710	-0.511	9.199	-0.126	0.171	0.297	30.973
10	T	T	-9.441	-0.475	8.966	-0.123	0.169	0.292	30.705
9	Tyr	Tyr	-9.056	0.293	9.349	-0.123	0.193	0.316	29.584
8	His	His	-9.307	0.503	9.811	-0.169	0.171	0.340	28.855
7	A	A	-8.654	-0.213	8.441	-0.140	0.156	0.296	28.517
6	Met	Met	-9.062	0.145	9.207	-0.134	0.192	0.326	28.243
5	U2	U2	-9.910	-0.415	9.495	-0.147	0.202	0.349	27.206
4	Arg	Arg	-9.176	0.558	9.734	-0.165	0.199	0.364	26.742
3	C	C	-9.142	-0.344	8.798	-0.174	0.161	0.335	26.263
2	G	G	-8.537	-0.206	8.331	-0.150	0.172	0.322	25.873
1	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	-10.552	-1.530	9.022	-0.149	0.248	0.397	22.726

En la figura 5 se muestran las interacciones de óxido-reducción del SO<sub>2</sub> y los aminoácidos que componen a todas las proteínas. Se observan tres diagramas. El diagrama de la izquierda representa a todas las interacciones antioxidantes o reductoras del SO<sub>2</sub> y los aminoácidos que componen a las proteínas. El diagrama del centro representa a todas las interacciones de los aminoácidos en su secuencia genética lineal se cualquier proteína. El diagrama de la derecha representa a todas las interacciones oxidantes del SO<sub>2</sub> y los aminoácidos que componen a las proteínas.

En el pozo cuántico, el diagrama de la derecha (interacciones oxidantes) se ubica como el más bajo de los tres. Esta ubicación nos indica que el SO<sub>2</sub> es 100% oxidante de los aminoácidos del cuerpo humano. Se ve una interacción de 22.7 a°, esta interacción es del SO<sub>2</sub> puro, por lo tanto, se reafirma que el SO<sub>2</sub> es muy difícil de eliminar del cuerpo. Además de la toxicidad oxidante para todos los aminoácidos.

Suprimiendo la interacción 22.7 a°, se observa que no hay intersección entre los dos diagramas de la izquierda y del centro. Esta falta de intersección reafirma nuevamente que el SO<sub>2</sub> es 100% oxidante de los aminoácidos que componen a las proteínas.

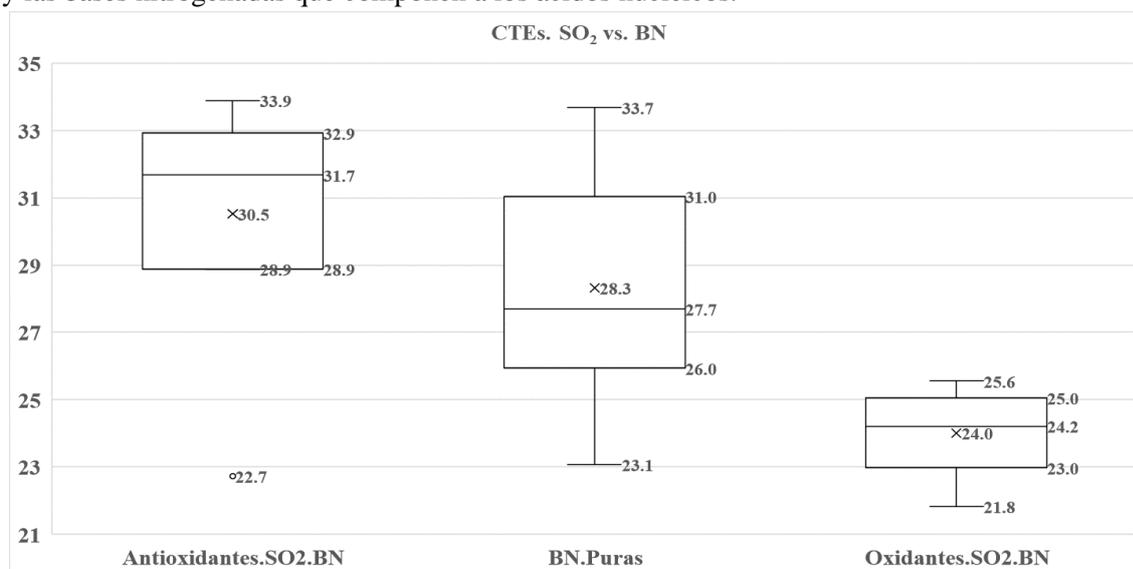
**Figura 5.** Diagrama de bigotes y cajas de las interacciones de óxido-reducción (antioxidante) del SO<sub>2</sub> y los aminoácidos de las proteínas



La figura 6 representa a las interacciones de el SO<sub>2</sub> y las bases nitrogenadas que componen a los ácidos nucleicos ADN y ARN. Se observa una similitud muy cercana. La única diferencia entre ambos resultados es que las interacciones del SO<sub>2</sub> con las bases nitrogenadas tienen una pequeña interacción en cuanto a la oxidación y las combinaciones de las bases nitrogenadas.

Por lo tanto, el SO<sub>2</sub> es 100% oxidante para los genes y en general para el genoma.

**Figura 6.** Diagrama de bigotes y cajas de las interacciones de óxido-reducción (antioxiante) del SO<sub>2</sub> y las bases nitrogenadas que componen a los ácidos nucleicos.



## CONCLUSIONES

### Objetivo

Análisis de los efectos de las interacciones del SO<sub>2</sub> y las BHE, usando química cuántica.

### Hipótesis

1. El SO<sub>2</sub> es muy tóxico para la salud humana y de otros sistemas biológicos.
2. El SO<sub>2</sub> puede ser antioxidante para el cuerpo humano y se puede usar como molécula de señalización.

### Tesis. Hallazgos, descubrimientos.

1. El SO<sub>2</sub> oxida al 100% a los aminoácidos del cuerpo humano y de cualquier sistema biológico. Por lo tanto, es exageradamente dañino para la salud humana y de cualquier sistema biológico.
2. Es casi imposible que el SO<sub>2</sub> sirva como molécula de señalización en sistemas biológicos, se necesitan más estudios exhaustivos para sostener esta hipótesis.

### Corolario. Hallazgos y descubrimientos que no estaban dentro de los objetivos y que se comprobaron por la misma naturaleza de la investigación.

1. El SO<sub>2</sub> es de acción prolongada en el cuerpo. Es muy difícil de eliminar de los sistemas biológicos. Por lo tanto, aunque el sistema se halla dejado de exponer, el SO<sub>2</sub> sigue dentro del sistema causando daños por su oxidación tóxica fuerte y probable.

## **Advertencias**

1. Se hace un llamado a la industria petrolera que expone a sus trabajadores a la fuga de este gas SO<sub>2</sub> en las plantas de procesamiento (endulzadora de gas, Ciudad PEMEX Tabasco y otras).
2. A la población en general para afinar los vehículos que contaminan con este gas. Parece ser que en nuestro país México, los vehículos de carga pesada y de pasajeros no verifican y sigue la contaminación impunemente.

## **Estudios futuros**

1. Estudiaremos los efectos del SO<sub>2</sub> en los neurotransmisores.
2. El CO<sub>2</sub> como contaminante y como conservador de alimentos.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Tecnológica de Tecamachalco, al programa Delfín, a la Escuela de Medicina del Centro de Estudio Superiores de Tepeaca , a la Universidad Autónoma de Guerrero y al Tecnológico de Acapulco.

A mis asesorados DELFINES 2024. Siempre he confiado en la juventud, para mí son unos genios, sin distinción de género. Tanto joven varon como jovencitas mujeres SON EL PRESENTE Y EL FUTURO DE MI PATRIA Y DE LA HUMANIDAD, apoyémoslos por favor.

## **Conflicto de intereses**

No hay conflicto de intereses, pero cualquier problema que pueda causar esta investigación es responsabilidad exclusiva del Dr. Manuel González Pérez.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Bai J, Meng Z. Expression of apoptosis-related genes in livers from rats exposed to sulfur dioxide. *Toxicology*. 2005 Dec 15;216(2-3):253-60. doi: 10.1016/j.tox.2005.08.016. Epub 2005 Sep 26. PMID: 16188364.
- Borregaard, N. (2001). Valorización económica de los impactos ambientales en la minería chilena. *Ambiente y Desarrollo*, 17(1), 50-58.
- Cai H, Wang X. Effect of sulfur dioxide on vascular biology. *Histol Histopathol*. 2021 May;36(5):505-514. doi: 10.14670/HH-18-290. Epub 2020 Dec 15. PMID: 33319344.

- Chen SS, Tang CS, Jin HF, DU JB. Sulfur dioxide acts as a novel endogenous gaseous signaling molecule in the cardiovascular system. *Chin Med J (Engl)*. 2011 Jun;124(12):1901-5. PMID: 21740851.
- González-Pérez y Sánchez / *Mexican Journal of Biotechnology* 2020, 5(1):43-53
- González-Pérez, M. (2017). Quantum modeling to determine the carcinogenic potential of aflatoxin B1 produced by *Aspegillus* sp and its metabolic derivate aflatoxin M1. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(2), 255-270.
- González-Pérez, M. (2017). Quantum Theory of the Electron Transfer Coefficient. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(10), 239932.
- González-Santiago AE, Zúñiga-González GM, Gómez-Meda BC, Gutiérrez-Corral FJ, Zamora-Perez AL, Sánchez-Parada MG. Cytogenotoxicity Evaluation of Young Adults Exposed to High Levels of Air Pollution in a Mexican Metropolitan Zone Using Buccal Micronucleus Cytome Assay. *Biomed Res Int*. 2021 Jan 15;2021:6630861. doi: 10.1155/2021/6630861. PMID: 33511205; PMCID: PMC7826217.
- Manosalva Fonseca, J. M. (2020). Combustibles, impacto ambiental y en la salud de trabajadores expuestos a hidrocarburos.
- Maren, K. I., Cadete, A. F., & Romero, J. L. S. (2020). Estimación de riesgos a la salud asociados a cáncer por presencia de benceno en aire en la Refinería Hermanos Díaz. *Monteverdia*, 13(2), 57-66.
- Meng Z, Qin G, Zhang B, Bai J. DNA damaging effects of sulfur dioxide derivatives in cells from various organs of mice. *Mutagenesis*. 2004 Nov;19(6):465-8. doi: 10.1093/mutage/geh058. PMID: 15548758.
- Meng Z, Zhang B. Induction effects of sulfur dioxide inhalation on chromosomal aberrations in mouse bone marrow cells. *Mutagenesis*. 2002 May;17(3):215-7. doi: 10.1093/mutage/17.3.215. PMID: 11971992.
- 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*, ESJ, 10(27), 690.

- Quispe Chilo, R. V., & Yucra Ccosaña, R. D. (2021). Prevención de riesgos a la salud por exposición a contaminantes químicos producidos por asfalto en el proceso de sellado de juntas en los trabajadores de la Municipalidad Provincial de Espinar-2019.
- Romero Taboada, Y. (2024). Modelamiento geoespacial de los niveles de concentración del monóxido de carbono (Co) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la ciudad de Huancavelica y Ascensión-2020.
- Varona, M., Arocha, A., Esquivel, E., & Roche, R. (2007). Grupos electrógenos y su impacto ambiental. *Hig. Sanid. Ambient*, 9(7), 217-221.
- Wang XB, Cui H, Liu X, Du JB. Sulfur dioxide: foe or friend for life? *Histol Histopathol*. 2017 Dec;32(12):1231-1238. doi: 10.14670/HH-11-904. Epub 2017 May 19. PMID: 28524210.
- Wang XB, Du JB, Cui H. Sulfur dioxide, a double-faced molecule in mammals. *Life Sci*. 2014 Mar 11;98(2):63-7. doi: 10.1016/j.lfs.2013.12.027. Epub 2014 Jan 8. PMID: 24412383.

