

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA****EL ESTRÉS OXIDATIVO EN LA PRÁCTICA DE ENFERMERÍA****OXIDATIVE STRESS IN NURSING PRACTICE****Autores:**

Rocío Castillo Msc <sup>1</sup>

Raquel Salazar-Lugo PhD<sup>2\*</sup>

1. Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de enfermería, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

2. Laboratorio de Proteínas e Inmunotoxicidad, Posgrado de Biología aplicada, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

\* Correo electrónico: [raquelsalazarlugo@gmail.com](mailto:raquelsalazarlugo@gmail.com)

## RESUMEN

El personal de enfermería está expuesto a una gran carga de trabajo físico y psicosocial; éstos son factores estresantes que inciden directamente en la salud de este personal. Estudios demuestran que el estrés ocupacional en este personal incrementa el estrés oxidativo y así, la generación de especies reactivas de oxígeno lo cual puede conducir al envejecimiento prematuro, a las enfermedades neurodegenerativas y al cáncer. El manejo del estrés laboral en el trabajo de enfermería es un factor importante para disminuir la sobrecarga de estrés oxidativo que involucra esta profesión. La capacidad de resiliencia debe ser manejado como un aspecto robusto para poder sobrellevar el estrés oxidativo, con mínimos costos en la salud. Igualmente, cambios en el estilo de vida, como una alimentación saludable que involucre vegetales y frutas y la práctica deportiva también son necesarios para disminuir la carga oxidativa y mejorar la calidad de vida del personal de enfermería.

**Palabras claves:** Estrés oxidativo, enfermería, resiliencia, especies reactivas, burnout, radicales libres, antioxidantes.

## ABSTRACT

The nursing staff is exposed to a great deal of physical and psychosocial stress; these stressors directly affect the health of this staff. Studies show that occupational stress in nursing personnel increases oxidative stress and, consequently, the generation of reactive oxygen species which can lead to premature aging, neurodegenerative diseases and cancer. The management of stress in nursing work is an important factor to reduce the overload of oxidative stress that this profession involves. The resilience capacity should be managed as a robust aspect to cope with oxidative stress, with minimal costs in health. Similarly, changes in lifestyle, such as healthy eating involving vegetables and fruits and sports are also necessary to reduce the oxidative load and improve the quality of life of nurses.

**Key words:** Oxidative stress, nursing, resilience, reactive species, burnout, free radicals, antioxidants.

## Introducción

La presencia de oxígeno molecular libre en la atmósfera es el eje fundamental de la vida sobre la tierra, este elemento permitió la mayor eficiencia en la oxidación de las moléculas combustibles a través de la respiración aeróbica y simultáneamente le permite a la tierra formar, en la estratósfera, una capa de ozono que absorbe la radiación ultravioleta y la vida que lo regenera. El oxígeno influye también grandemente en la evolución de los lípidos, metabolitos secundarios y en la selección de los elementos traza que son críticos para mantener el tráfico de electrones dentro del organismo<sup>1, 2</sup>. La gran mayoría de los organismos que se encuentran en la tierra tienen una dependencia con el oxígeno para mantenerse con vida; son las plantas las responsables de producir el oxígeno molecular como un subproducto de desecho de un complejo proceso celular denominado fotosíntesis<sup>3</sup>.

La reactividad del oxígeno es manejada por reacciones de transferencia de electrones o reacciones redox lo cual conduce a la formación de productos altamente estables tales como  $H_2O_2$ ,  $CO_2$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_2PO_4$ . Sin embargo, las reacciones abióticas del oxígeno involucran la formación de intermediarios no estables tales como  $H_2O_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  y  $SO_2$ <sup>4</sup>. El oxígeno tiene un alto potencial redox, es un aceptor de electrones y es un agente fuertemente oxidante; durante su proceso de reducción y debido a su naturaleza química el oxígeno no acepta los dos electrones simultáneamente (debido a que sus electrones se encuentran desapareados y en orbitales X antienlazantes) para completar su capa electrónica externa, esta particularidad hace que se formen intermediarios los cuales son muchos más reactivos que el oxígeno molecular; estos intermediarios son llamados especies reactivas del oxígeno (ERO)<sup>5, 6</sup>.

Debido a que el oxígeno juega un rol central en el metabolismo de los organismos aeróbicos, estos no están exentos de la formación de esas especies reactivas, las cuales se producen durante los procesos bioquímicos en los que ocurre la utilización de este elemento para la generación de energía, Sin embargo, los organismos se defienden de la formación de estas especies reactivas, ya que poseen una maquinaria bioquímica enzimática y no

enzimática que les permite controlar la generación de las mismas. Existe un equilibrio entre la formación de las ERO (prooxidantes) y su degradación por la maquinaria antioxidante celular. El estrés oxidativo es el desbalance entre la formación de estos prooxidantes y la capacidad de los antioxidantes de mantenerlos a concentraciones muy bajas, produciéndose un incremento de los primeros; como consecuencia de esto, se producen múltiples cambios en la célula que pueden al final conducir al daño y a la muerte celular<sup>7</sup>.

Se han realizado numerosos trabajos que demuestran el papel fundamental del estrés oxidativo en la generación de enfermedades. El conocimiento cada vez más profundo de los procesos vitales que permiten la vida ha permitido identificar cómo esta condición puede afectar de una manera negativa los diferentes procesos bioquímicos<sup>8</sup>.

En esta revisión se van a discutir algunos aspectos de este proceso haciendo hincapié en la actividad relacionada con la práctica de la enfermería, cuyo trabajo se asocia con un gasto energético tanto físico como mental muy alto; así como exposición a diferentes ambientes estresantes que van desde biológicos, radiaciones y químicos hasta la presión mental generada por la práctica.

## Métodos

Se realizó una revisión sistémica de documentos, que incluyó artículos originales y de revisión publicados en los últimos diez años (2008 al 2018) en Pubmed, Science Direct, SciELO y google académico, utilizando los mismos descriptores en español e inglés para las cuatro bases con las principales palabras clave: estrés oxidativo (oxidative stress), enfermería (nurses/nursing) y síndrome de Burnout (burnout syndrome) y depresión (depression) y resiliencia (resilience). Se identificaron y revisaron 600 artículos de los que fueron escogidos 80, porque reunían los conceptos esenciales para complementar la revisión. En líneas generales, se incluyeron artículos que reunían los siguientes criterios: 1) que el documento sea original en su producción y organización; 2) que estén orientados al estrés oxidativo y relaciones con estrés laboral y patologías; y uno de los criterios más importantes es: 3) que la orientación hacia estudios de estrés oxidativo hay

sido realizada en el personal de enfermería. Se incluyeron algunos artículos clásicos del tema tratado, cuyo periodo de publicación es anterior a la revisión.

Después de la lectura fueron excluidos los artículos que no entraban en los criterios estipulados e igualmente, disertaciones y tesis fueron excluidas de esta revisión. Se consideraron los criterios de calidad propuestos por Moher et al<sup>9</sup> y Urrutía y Bonfill<sup>10</sup> para los artículos analizados y/o incluidos.

### **Radicales libres y especies reactivas del oxígeno**

Un radical o radical libre es una especie química (orgánica inorgánica), caracterizada por poseer uno o más electrones desapareados; es extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo y de vida media muy corta (milisegundos). No todas las especies reactivas que resultan de las reacciones del oxígeno son radicales libres, algunas como el peróxido de hidrógeno no es un radical libre pero si es una especie del oxígeno sumamente reactiva. De 1-3% del oxígeno capturado por los pulmones es convertido en especies reactivas. En general, a las especies del oxígeno reactivas ya sean o no radicales libres se les llama especies reactivas del oxígeno (ERO).

Los radicales libres son átomos y moléculas con uno o más electrones desapareados en su último orbital, haciéndolos altamente inestables con la capacidad de atacar, inespecíficamente, a diferentes biomoléculas, con la finalidad de alcanzar una configuración electrónica estable; por otro lado, los no radicales incluyen aquellas moléculas que forman radicales libres con gran facilidad<sup>11</sup>. Tales especies pueden clasificarse según su núcleo funcional, el cual puede estar conformado por átomos de oxígeno, nitrógeno, azufre, hierro, cobre, entre otros; dando origen a diferentes tipos de especies reactivas, siendo las del oxígeno, las comúnmente formadas, debido a la participación de este elemento en el proceso aeróbico celular. Las especies reactivas del oxígeno incluyen, a su vez, al anión superóxido, el radical hidroxilo, derivados de compuestos orgánicos (peroxilo y alcoxilo), peróxido de hidrógeno y oxígeno singlete todas, estas ERO son formadas durante los diferentes procesos vitales<sup>12</sup>.

### **Manejo del oxígeno y de sus especies reactivas por los seres vivos**

El manejo del oxígeno por las células aeróbicas es totalmente controlado por la

maquinaria molecular y enzimática antioxidante. Por tal motivo, las células han aprovechado la formación de estas ERO para su supervivencia, desarrollando sistemas moleculares de señalización y defensa celular en las cuales estas moléculas juegan un rol de mensajeros. Las ERO regulan el crecimiento, la apoptosis o muerte celular y participan en procesos de señalización celular; mientras que a nivel de sistema contribuyen a la regulación de la presión sanguínea, a la función cognitiva e inmune <sup>13, 14</sup>.

La participación de ERO en los procesos vitales que mantienen la vida indica que estas moléculas son parte importante en el desarrollo de la misma; sin la generación de ERO la célula no podría funcionar normalmente. De tal forma que las ERO y otros radicales libres, por ejemplo los generados por el nitrógeno, están asociados con todos los procesos que ocurren en el organismo; el ejemplo más significativo es el papel que estas moléculas juegan en la fagocitosis siendo así uno de los más importantes sistemas antimicrobianos que posee el organismo para defenderse de bacterias <sup>15</sup>.

La manera como moderados y bajos niveles de EROS modulan la actividad biológica es a través de activación de ciertas rutas de señalización celular y por modificaciones directas de proteínas. Esta modulación es llevada a cabo a través de sistemas de señalización celular en el cual enzimas claves conocidas como factores de transcripción son activadas para que se unan a receptores en el ADN y se inicie un proceso de transcripción de genes que van a ser importantes en esos procesos celulares <sup>13, 16, 17</sup>.

Durante el proceso de respiración celular se están generando ERO que van a ser empleados por la célula como moléculas señalizadoras y van a promover la proliferación celular y la sobrevivencia. Todo este proceso es estrictamente controlado por la maquinaria antioxidante celular para evitar que dañen las membranas celulares y las proteínas.

### **Sistemas antioxidantes desarrollados por el organismo.**

La integridad de la célula es necesaria para la vida y por lo tanto debe ser mantenida; para esto los organismos han desarrollado sistemas de defensa antioxidante para contrarrestar el estrés generado por los procesos metabólicos que involucran la generación de ERO que pueden atacar sus

propias estructuras, acelerando el proceso de muerte.

Un antioxidante es cualquier sustancia que a bajas concentraciones, comparado con el sustrato oxidable, retarda o previene significativamente la oxidación de ese sustrato. El organismo presenta mecanismo antioxidante a nivel celular y extracelular, de manera general se pueden clasificar los antioxidantes celulares en dos categorías: los que son de naturaleza enzimática como las enzimas superóxido dismutasa<sup>18</sup>, catalasa<sup>19</sup>, Glutathion peroxidasa<sup>20</sup> y Glutathion reductasa<sup>21</sup> y de naturaleza no enzimáticas en los que destacan moléculas de bajo peso molecular que atrapan ERO y ERN (Especies reactivas de nitrógeno) como el glutatión<sup>22</sup> y la ubiquinona<sup>23</sup>; pequeñas proteínas como las tioredoxinas<sup>24</sup> así como también moléculas generadas durante ciertos procesos metabólicos entre estas el ácido úrico y la bilirrubina<sup>25, 26, 27, 28</sup>. Recientemente se le ha encontrado un alto poder antioxidante a la albúmina (tabla 1)<sup>29, 30</sup>.

Existen también proteínas con funciones ya definidas que también actúan como moléculas antioxidantes bajo ciertas condiciones fisiológicas, dentro de estas están: la ferritina, la transferrina, las haptoglobinas, la hemopexina y la metalotioneína<sup>31</sup>. Así como proteínas que protegen a las biomoléculas contra el daño oxidativo por otros mecanismos. Ejemplo de estas son las proteínas de choque térmico localizadas en el retículo endoplásmico, el periplasma y el citoplasma<sup>32, 33</sup>.

### **Desbalance oxidativo**

La alteración de la homeostasis bioquímica producido por estresores psicológicos, fisiológicos o ambientales conduce al desarrollo de enfermedades. Un estresor es cualquier estímulo percibido por el cuerpo y que altera la homeostasis metabólica hasta llegar a producir un cambio que pudiese ser negativo o positivo para el organismo. El impacto fisiológico de estos estresores y la habilidad de adaptación del cuerpo determina de qué manera y que sistema fisiológico del cuerpo afecta, como por ejemplo, el crecimiento, el desarrollo y la productividad. Dependiendo de la intensidad y tiempo de contacto con el estresor, el organismo podría recuperarse del estrés a que ha

estado sometido o podría resultar afectado su metabolismo conduciendo a un desbalance energético y como consecuencia de esto, se reduce su mecanismo adaptativo llegando a hacerse susceptible a la enfermedad <sup>34</sup>.

Por tal motivo, el estrés es considerado una de las etiologías básicas de la enfermedad; son muchas las situaciones que conducen a una situación de estrés dentro de estas destacan el frío, el calor, la hipoxia, el ejercicio físico o la malnutrición. Algunas de estas condiciones ambientales señaladas pueden ser las responsables del estrés agudo, que fácilmente puede ser identificado, pero también en el caso de la malnutrición; por ejemplo, es responsable del estrés crónico que resulta más difícil de identificar y que a la larga puede degenerar en alguna patología. El estrés crónico altera la neuroarquitectura y la función límbica y potencia el estrés oxidativo<sup>35</sup>. El estrés oxidativo es un incremento incontrolado de estas ERO de tal forma que sobrepasen los mecanismos de control celular y más que favorecer al organismo comienzan a dañar a las macromoléculas de la célula conduciéndola a la enfermedad y de mantenerse, a la muerte <sup>35, 37</sup>.

El impacto del estrés oxidativo en el organismo va a depender del tipo de oxidante que está provocando el estrés, del sitio en donde está ocurriendo, de la intensidad del mismo, así como de la capacidad de la célula para activar su maquinaria de defensa antioxidante y de la habilidad de los sistemas de reparación para reparar el daño generado por el impacto de las ERO sobre las moléculas que conforman la célula. Bajo condiciones ambientales que permitan la generación crónica de ERO, estas moléculas pasan a ser un peligro para la célula por su capacidad de dañar las estructuras celulares y es así como se les involucra en el desarrollo de varias patologías, como por ejemplo, la diabetes, el cáncer o enfermedades neurodegenerativas (tabla 2)<sup>38, 39, 40</sup>. El daño inducido por ERO directamente sobre moléculas como proteínas, lípidos y ADN o indirectamente a través de su participación en el proceso inflamatorio podría la vía que explique la relación entre ERO-enfermedad, ya que todas estas enfermedades, cursan con cuadros inflamatorios crónicos<sup>41</sup>.

Por otro lado, existe una intrínseca y dual relación del estrés oxidativo con el sistema inmune; positivamente, las ERO participan activamente en la

respuesta inmune, como por ejemplo, en el estallido respiratorio que precede la respuesta fagocítica o negativamente, provocan daño por la exacerbación de la respuesta inmune<sup>42</sup>. Estudios han demostrado que una disminución o deficiencia en los mecanismos antioxidantes puede hacer a una persona susceptible a severas infecciones de hongos y bacterias<sup>43</sup>. Sumado a esto, se conoce que los primeros pasos en el desarrollo del cáncer, son el resultado de daño oxidativo acumulado que pueden afectar el ADN<sup>44</sup>.

Otro aspecto a considerar en relación al estrés oxidativo es el proceso de envejecimiento en el cual hay un declive progresivo en las funciones de los órganos que trae como consecuencia el desarrollo de enfermedades relacionadas con la edad. El proceso de envejecimiento se le relaciona con el declive del sistema antioxidante sobre todo iniciado a nivel de la mitocondria lo cual va a traer como consecuencias la producción acumulativa de ERO, con daño mitocondrial y una escalada en cadena de reacciones que finalmente va a dañar las estructuras celulares y por ende de los tejidos<sup>45</sup>. Células como las cerebrales las cuales son altamente dependientes del metabolismo aeróbico, son altamente sensibles al daño oxidativo generado por el envejecimiento por lo cual se podrían producir enfermedades neurodegenerativas relacionadas con la vejez<sup>45</sup>.

### **Ambiente psicosocial y el estrés oxidativo en la práctica de la enfermería**

El personal de enfermería está expuesto a una gran carga de trabajo físico y psicosocial debido a que su trabajo conlleva a realizar largos turnos que resultan en una sobrecarga de trabajo; éstos son factores estresantes, en la práctica de enfermería, que inciden en el trabajo y directamente en la salud de este personal<sup>46</sup>. Los altos niveles de cansancio emocional incrementan el riesgo de sufrir el síndrome de burnout, el cual es un tipo de estrés laboral, que conduce a un estado de agotamiento físico, emocional o mental que tiene consecuencias en la autoestima, y está caracterizado por un proceso paulatino, por el cual las personas pierden interés en sus tareas, el sentido de responsabilidad y pueden hasta llegar a profundas depresiones<sup>47</sup>.

Un estudio realizado en personal de enfermería que trabaja en cuidados

primario determinó que mostraron un alto nivel de cansancio emocional; este factor puede llevar a incrementar el riesgo de sufrir el síndrome de Burnout, así como de ansiedad y depresión<sup>48, 40, 50</sup>. Se ha reportado que personal de enfermería que trabaja en las salas de cuidados intensivos presenta 14,29% el síndrome de burnout y de éstos, 10,98% manifiestan síntomas de depresión encontrándose una asociación significativa entre burnout y depresión, lo cual hace suponer que enfermeras con burnout tienen una mayor posibilidad de que se potencien los síntomas de depresión<sup>51</sup>. Otro estudio reporta que se observó una afectación significativa en los índices de ansiedad, depresión, calidad del sueño, disminución en el proceso de atención y un delineamiento en la capacidad psicomotora en enfermeras que trabajaban en el área de cuidados intensivos, igualmente en aquellas que trabajan en el área oncológica siendo la edad, la experiencia laboral y la sobrecarga de trabajo algunos de los factores que pueden contribuir para el desarrollo del síndrome de Burnout<sup>49, 50, 51, 52</sup>.

El estrés laboral característico del síndrome de burnout conduce a la formación excesiva de ERO y por consiguiente de estrés oxidativo. Dado a que estos ERO se forman en el citosol, mitocondrias, lisosomas, peroxisomas y membranas plasmáticas bajo condiciones fisiológicas y patológicas, pueden iniciar una cascada de reacciones que inducen la peroxidación lipídica que daña directamente las membranas biológicas. El estrés oxidativo crónico al que está expuesto el personal de enfermería se asocia directamente a diferentes patologías dentro de las que destacan la diabetes, la fatiga crónica, aterosclerosis, las enfermedades neurodegenerativas, la artritis rematoidea y osteoartritis las enfermedades cardiovasculares, retinopatías isquémicas y el cáncer; todas ellas cursan con altos niveles de estrés oxidativo (tabla 2)<sup>53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60</sup>. Datos epidemiológicos muestran que personas que trabajan en turnos nocturnos, lo cual es típico del trabajo de enfermería, tienen un alto riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, principalmente los hombres y cáncer de seno, las mujeres<sup>51, 62, 63, 64</sup>.

Otros factores de riesgos que se asocian igualmente con el estrés oxidativo al que está expuesto el personal de enfermería son el riesgo biológico y químico, factores fisiológicos o de sobrecarga física, sanitarios, físicos, mecánicos o de

riesgo de accidentes, psicosociales. En un estudio realizado en México con personal de enfermería de diversos hospitales expuesto al manejo y preparación de drogas antineoplásicas se encontró un incremento de marcadores de estrés oxidativo al compararlo con personal de enfermería no expuesto a este tipo de drogas<sup>65</sup>; resultado similar fue encontrado en personal de enfermería de la India que trabajan con drogas antineoplásicas<sup>66</sup>.

Personal de enfermería con un alto estrés ocupacional muestran una disminución de su capacidad antioxidante<sup>67</sup>. También se ha reportado que el estrés oxidativo afecta de igual modo tanto al personal de enfermería que trabaja turnos diurnos y nocturnos como quienes trabajan en unidades de cuidados intensivos (UCI) y en servicio ordinario (OS). El mayor grado de estrés oxidativo es observado al final del turno y se relaciona con el nivel de ansiedad que se incrementa al final del trabajo<sup>68, 69, 70</sup>.

Los niveles de malonaldehído, un marcador oxidativo de daño en las membranas celulares se incrementa no solo con el manejo y preparación de drogas antineoplásicas<sup>66</sup>, sino con la edad, siendo estos valores más elevados en el personal de enfermería que trabaja turnos nocturnos, en aquellas que son casadas, en las que no practican ningún tipo de deportes y las que no consumen frutas ni granos<sup>71</sup>.

Se ha reportado que los niveles de 8-hydroxydeoxyguanosine urinario (8-OH-dG) un marcador de daño oxidativo del ADN, se incrementa en el personal de enfermería que trabaja por turno en relación con aquel que trabaja en tiempo parcial. Igualmente, aquel personal que mostró estados depresivos más altos, presentan mayores niveles de excreción de este metabolito. Otro dato importante de este estudio fue que se encontró una correlación positiva entre los niveles de 8-OH-dG del personal de enfermería en el grupo de edades de 35-45 años<sup>72</sup>. Este resultado es altamente significativo ya que justo es la edad más productiva laboralmente y también se demuestra que la relación intrínseca entre el nivel de ansiedad que puede ser el resultado de largas guardias, exceso de trabajo, agotamiento, entre otros factores personales, puede conducir a la depresión en este personal y sugieren la relación entre el estrés oxidativo y estas patologías.

El incremento del estado de ansiedad y depresión observado en el personal de enfermería sugiere que uno de los órganos que está sometido a una sobrecarga de estrés oxidativo es el cerebro. Esto debe ser considerado con sumo cuidado ya que numerosos desórdenes del sistema nervioso central tienen como rasgo característico un desbalance oxidativo incrementándose el daño oxidativo sobre todo en enfermedades neurodegenerativas tales como enfermedad de Alzheimer, Parkinson, desórdenes cerebrovasculares y desórdenes psiquiátricos. Esto indica que ERO juega un rol crucial en la patofisiología del sistema nervioso central y que la acumulación de ERO incrementa la susceptibilidad del daño cerebral, altera la morfología del cerebro y produce neuroinflamación y muerte neuronal<sup>73, 74, 75</sup>. De estos estudios se puede concluir que el estrés ocupacional en el personal de enfermería incrementa el estrés oxidativo y por consiguiente se incrementa la generación de EROs lo cual puede conducir al envejecimiento prematuro, a las enfermedades neurodegenerativas y al cáncer.

### **Importancia del manejo del estrés oxidativo en la práctica de enfermería**

El manejo del estrés laboral en el trabajo de enfermería es un factor importante para disminuir la sobrecarga de estrés oxidativo que involucra esta profesión. Un aspecto importante a considerar como es la capacidad de resiliencia de este personal. Que debe ser manejado como un aspecto robusto para poder sobrellevar con mínimos costos en la salud. La resiliencia puede disminuir el estrés oxidativo generado por la práctica de la enfermería, al tener una actitud positiva y saber enfrentar de una manera menos estresante emocionalmente situaciones adversas que involucran, en gran parte, las emociones sumado al ambiente de trabajo<sup>76</sup>.

Algunos autores manifiestan que se deben implementar medidas organizacionales que permitan reducir el estrés; dentro de estas, la realización de programas de manejo del estrés, escenarios de simulación exposición a situaciones de estrés, entre otros<sup>77, 78, 79</sup>. Así mismo, es importante una constante ayuda psicológica que de herramientas de este tipo para el manejo del estrés emocional, el cual es uno de los factores que inciden grandemente en el desarrollo de estrés oxidativo ya que involucra uno de los órganos

aeróbicos más propenso a recibir el impacto de los radicales libres del oxígeno, como lo es el cerebro. Finalmente, cambios en el estilo de vida como una alimentación saludable que involucre vegetales y frutas y la práctica deportiva también son necesarios para mejorar la calidad de vida del personal de enfermería.

### **Discusión, Consideraciones y Aplicación**

Las evidencias encontradas en la literatura, señalan que el ambiente psicosocial al que está expuesto el personal de enfermería se asocia al estrés ocupacional y estos dos aspectos pueden influir en la generación excesiva de especies reactivas de oxígeno; como consecuencia, se produciría un desequilibrio en la homeostasis redox del organismo. Debido a que la exposición al estrés laboral es crónica, el desequilibrio oxidativo podría conducir al desarrollo de algunas patologías de las cuales, las más comunes serían la diabetes mellitus tipo 2, enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares y el cáncer.

Son recientes y escasos los trabajos realizados en los que se hacen determinaciones del estado oxidativo en el personal de enfermería empleando biomarcadores bioquímicos; destacan la determinación de malonaldehído (MDA) el cual es un indicador de oxidación lipídica<sup>65, 66, 71, 80</sup> y la determinación de algunas enzimas antioxidantes como sueroxido dismutasa y la glutatión peroxidasa<sup>65, 67, 71</sup>. Indiferentemente de los biomarcadores que han sido usados, los trabajos revisados reportan que el personal de enfermería que trabaja en ambientes tales como área de cuidados intensivos<sup>71</sup>, manejo de drogas antineoplásicas<sup>65, 66</sup>, cambios de guardia<sup>68, 69, 70</sup>, entre otros, muestra un desbalance en el estado oxidativo. En resumen, el personal de enfermería que trabaja en un ambiente inadecuado ya sea físico, psicosocial o de exposición química puede ver afectado su estado oxidativo.

Los resultados reportados demuestran que es necesario e importante hacer un seguimiento del estado redox de modo preventivo, de forma que se puedan implementar medidas que disminuyan el estrés laboral. La determinación de biomarcadores redox en el personal de enfermería es un aspecto novedoso e importante a considerar, como pruebas tempranas que contribuya a mejorar el

estado de salud de este personal.

## Conclusiones

Monitorizar el estado redox en el personal de enfermería empleando biomarcadores redox es recomendable. El diagnóstico del estado oxidativo contribuiría a la toma de medidas que involucren intervenciones en la práctica de la enfermería, así como en los estilos de vida, con el fin de minimizar el desarrollo de patologías que se relacionen con el estrés oxidativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdul Rahman H, Abdul-Mumin K, Naing L. Psychosocial Work Stressors, Work Fatigue, and Musculoskeletal Disorders: Comparison between Emergency and Critical Care Nurses in Brunei Public Hospitals. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*. 2017; 11(1): 13-18. <https://doi.org/10.1016/j.anr.2017.01.003>
2. Aburn G, Gott M, Hoare K. What is resilience? An Integrative Review of the empirical literature. *J Adv Nurs*. 2016; 72(5): 980-1000. <https://doi.org/10.1111/jan.12888>
3. Adeoye O, Olawumi J, Opeyemi A, Christiania O. Review on the role of glutathione on oxidative stress and infertility. *JBRA Assist Reprod*. 2018; 22(1): 61-66.
4. Allen JF. Why chloroplasts and mitochondria retain their own genomes and genetic systems: Colocation for redox regulation of gene expression. *PNAS* 2015; 112(33): 10231-238. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500012112>
5. Anraku M, Chuang VT, Maruyama T, Otagiri M. Redox properties of serum albumin. *Biochim Biophys Acta*. 2013; 1830(12): 5465-72. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.04.036>
6. Assies J, Mocking RJT, Lok A, Ruh\_e HG, Pouwer F, Schene AH. Effects of oxidative stress on fatty acid and one-carbon metabolism in psychiatric and cardiovascular disease comorbidity. *Acta Psychiatr Scand* 2014; 130: 163-180. <https://doi.org/10.1111/acps.12265>
7. Bala A, Mondal C, Haldar PK, Khandelwal B. Oxidative stress in inflammatory cells of patient with rheumatoid arthritis: clinical efficacy of dietary antioxidants. *Inflammopharmacol*. 2017; 25(6): 595-607.

<https://doi.org/10.1007/s10787-017-0397-1>

8. Barahona A, Guerron A, Tixicuro E, R Salazar-Lugo, Ácido úrico, bilirrubina y tioles como indicadores del estado oxidativo en adultos evaluados nutricionalmente. *Saber*. 2017; 29 (2): 1-10.
9. Bartz RR, Piantadosii CA. Clinical review: Oxygen as a signaling molecule. *Critical Care* 2010; 14: 234-43. <https://doi.org/10.1186/cc9185>
10. Bellanti F, Romano AD, Lo Buglio A, Castriotta V, Guglielmi G, Greco A, Serviddio G et al. Oxidative stress is increased in sarcopenia and associated with cardiovascular disease risk in sarcopenic obesity. *Maturitas*. 2018; 109: 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.12.002>
11. Benhar M. Roles of mammalian glutathione peroxidase and thioredoxin reductase enzymes in the cellular response to nitrosative stress. *Free Radic Biol Med*. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.028>
12. Beyfuss K, Hood DA. A systematic review of p53 regulation of oxidative stress in skeletal muscle. *Redox Rep*. 2018; 23(1): 100-117. <https://doi.org/10.1080/13510002.2017.1416773>
13. Bolisetty S, Jaimes E. Mitochondria and Reactive Oxygen Species: Physiology and Pathophysiology *Int. J. Mol. Sci*. 2013; 14: 6306-44.
14. Campese VM, Ye S, Zhong H, Yanamadala V, Ye Z, Chiu J. Reactive oxygen species stimulate central and peripheral sympathetic nervous system activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2004; 287: H695-H703. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00619.2003>
15. Cao L, Tian H, Zhang Q, Zhu X, Zhan Y, Su J, Xu T et al. Effect of occupational stress on oxidation/antioxidant capacity in nurses. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2014; 32(2): 100-3.
16. Cárdenas-Rodríguez N, Pedraza-Chaverri J. Especies reactivas de oxígeno y sistemas antioxidantes: aspectos básicos *Edu Quím* 2006; 17(2): 164-173.
17. Casado A, Castellanos A, López-Fernández ME, Ruíz R, Aroca CG, Noriega F. Relationship between oxidative and occupational stress and aging in nurses of an intensive care unit. *Age (Dordr)*. 2008; 30(4): 229-36. <https://doi.org/10.1007/s11357-008-9052-5>
18. Cassagnes LE, Chhour M, Perio P, Sudor J, Gayon R, Ferry G et al. Oxidative stress and neurodegeneration: the possible contribution of

- quinone reductase 2. *Free Radic Biol Med.* 2018; S0891-5849(18): 30105-9.
19. Çelik S, Taşdemir N, Kurt A, İlgezdi E, Kubalas Ö. Fatigue in Intensive Care Nurses and Related Factors. *Int J Occup Environ Med.* 2017; 8(4): 199-206. <https://doi.org/10.15171/ijoem.2017.1137>
20. Cobley JN, Fiorello ML, Bailey DM. 13 reasons why the brain is susceptible to oxidative stress. *Redox Biol.* 2018; 15: 490-503. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2018.01.008>
21. Čolak E, Žorić L, Radosavljević A, Ignjatović S. The Association of Serum Iron-Binding Proteins and the Antioxidant Parameter Levels in Age-Related Macular Degeneration. *Curr Eye Res.* 2018; 15: 1-7. <https://doi.org/10.1080/02713683.2018.1437452>
22. Delgado C1, Upton D, Ranse K, Furness T, Foster K. Nurses' resilience and the emotional labour of nursing work: An integrative review of empirical literature. *Int J Nurs Stud.* 2017; 70: 71-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.02.008>
23. Dröge W. Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function. *Physiol Rev* 2002; 82(1): 47-95. <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2001>
24. Duhoux A, Menear M, Charron M, Lavoie-Tremblay M, Alderson M, Interventions to promote or improve the mental health of primary care nurses: a systematic review. *J Nurs Manag.* 2017; 25(8): 597-607. <https://doi.org/10.1111/jonm.12511>
25. de Bari L, Favia M, Bobba A, Lassandro R, Guerra L, Atlante A. Aberrant GSH reductase and NOX activities concur with defective CFTR to pro-oxidative imbalance in cystic fibrosis airways. *J Bioenerg Biomembr.* 2018. <https://doi.org/10.1007/s10863-018-9748-x>
26. de Paiva LC, Canário ACG, de Paiva China ELC, Gonçalves AK. Burnout syndrome in health-care professionals in a university hospital. *Clinics (Sao Paulo).* 2017; 72(5): 305-09. [https://doi.org/10.6061/clinics/2017\(05\)08](https://doi.org/10.6061/clinics/2017(05)08)
27. Eman AS, Ebrahim SM. Psychosocial work environment and oxidative stress among nurses. *J Occup Health* 2018; 60: 182-191. <https://doi.org/10.1539/joh.17-0186-OA>
28. Fali T, Vallet H, Sauce D. Impact of stress on aged immune system compartments: Overview from fundamental to clinical data. *Exp Gerontol.*

- 2018; S0531-5565(17): 30782-9.
29. Falkowski PG, Godfrey LV. Electrons, life and the evolution of Earth's oxygen cycle. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2008; 363: 2705-2716. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0054>
30. Fei Y, Sun L, Yuan C, Jiang M, Lou Q, Xu Y. CFTR ameliorates high glucose-induced oxidative stress and inflammation by mediating the NF- $\kappa$ B and MAPK signaling pathways in endothelial cells. *Int J Mol Med.* 2018. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3547>
31. Fumis RRL, Junqueira GA, de Fátima NA, Vieira JM. Moral distress and its contribution to the development of burnout syndrome among critical care providers. *Ann Intensive Care.* 2017; 7(1): 71-80. <https://doi.org/10.1186/s13613-017-0293-2>
32. Gómez-Oliván LM, Miranda-Mendoza GD, Cabrera-Galeana PA, Galar-Martínez M, Islas-Flores H, Sanjuan-Reyes N, et al. Oxidative stress induced in nurses by exposure to preparation and handling of antineoplastic drugs in Mexican hospitals: a multicentric study. *Oxid Med Cell Longev.* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/858604>
33. Gopoju R, Panangipalli S, Kotamraju S. Metformin treatment prevents SREBP2-mediated cholesterol uptake and improves lipid homeostasis during oxidative stress-induced atherosclerosis. *Free Radic Biol Med.* 2018; 118: 85-97. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.02.031>
34. Gromadzińska J, Peplonska B, Sobala W, Reszka E, Wasowicz W, Bukowska A et al. Relationship between intensity of night shift work and antioxidant status in blood of nurses. *Int Arch Occup Environ Health.* 2013; 86(8): 923-30. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0828-7>
35. Hennig P, Garstkiewicz M, Grossi S, Di Filippo M, French LE, Beer HD. The Crosstalk between Nrf2 and Inflammasomes. *Int J Mol Sci.* 2018; 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijms19020562>
36. Hersch RK, Cook RF, Deitz DK, Kaplan S, Hughes D, Friesen MA et al. Reducing nurses' stress: A randomized controlled trial of a web-based stress management program for nurses *Appl Nurs Res.* 2016; 32: 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2016.04.003>
37. Hulsegge G1, Gupta N2, Proper KI3, van Lobenstein N4, IJzelenberg W5,

- Hallman DM6, Holtermann A7, van der Beek AJ4. Shift work is associated with reduced heart rate variability among men but not women. *Int J Cardiol.* 2018; 258: 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.01.089>
38. Ikwegbue PC, Masamba P, Oyinloye BE, Kappo AP. Roles of Heat Shock Proteins in Apoptosis, Oxidative Stress, Human Inflammatory Diseases, and Cancer. *Pharmaceuticals (Basel).* 2017; 11(1). <https://doi.org/10.3390/ph11010002>
39. Ishihara I, Nakano M, Ikushima M, Hara Y, Yoshimine T, Haraga M et al. Effect of work conditions and work environments on the formation of 8-OH-dG in nurses and non-nurse female workers. *J UOEH.* 2008; 30(3): 293-308. <https://doi.org/10.7888/juoeh.30.293>
40. Jongin L, Tae-Won J, In-Ah Y, Jungsun P, Jaechul S. The relationship between night work and breast cancer. *Ann Occup Environ Med.* 2018; 30: 11-20. <https://doi.org/10.1186/s40557-018-0221-4>
41. Kang DH. Oxidative stress, DNA damage, and breast cancer. *AACN Clin Issues.* 2002; 13(4): 540-9. <https://doi.org/10.1097/00044067-200211000-00007>
42. Klein SD, Bucher HU, Hendriks MJ, Baumann-Hölzle R, Streuli JC, Berger TM et al. Sources of distress for physicians and nurses working in Swiss neonatal intensive care units. *Swiss Med Wkly.* 2017; 147: w14477-82.
43. Kumari S, Badana AK, Malla R. Reactive Oxygen Species: A Key Constituent in Cancer Survival. *Biomark Insights.* 2018. <https://doi.org/10.1177/1177271918755391>
44. Lee J, Ma K, Moulik M, Yechoor V. Untimely oxidative stress in  $\beta$ -cells leads to diabetes - Role of circadian clock in  $\beta$ -cell function. *Free Radic Biol Med.* 2018; pii: S0891-5849(18): 30077-7.
45. Liu JJ, Green P, Mann J, Rapoport SI, Sublette E. Pathways of Polyunsaturated Fatty Acid Utilization: Implications for Brain Function in Neuropsychiatric Health and Disease. *Brain Res.* 2015; 0: 220-246. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.11.059>
46. Machado DA, Figueiredo NMA, Velasques LS, Bento CAM, Machado WCA, Vianna LAM. Cognitive changes in nurses working in intensive care units. *Rev Bras Enferm.* 2018; 71(1): 73-79. <https://doi.org/10.1590/0034-7167->

[2016-0513](#)

47. Mahboob M, Rahman MF, Rekhadevi PV, Sailaja N, Balasubramanyam A, Prabhakar PV et al. Monitoring of oxidative stress in nurses occupationally exposed to antineoplastic drugs. *Toxicol Int.* 2012; 19(1): 20-4.
48. Mansuri MS, Jadeja SD, Singh M, Laddha NC, Dwivedi M, Begum R. The catalase gene promoter and 5'-untranslated region variants lead to altered gene expression and enzyme activity in vitiligo. *Br J Dermatol.* 2017; 177(6): 1590-1600. <https://doi.org/10.1111/bjd.15681>
49. McBean GJ. Cysteine, Glutathione, and Thiol Redox Balance in Astrocytes. *Antioxid.* 2017; 6(3): 62-672. <https://doi.org/10.3390/antiox6030062>
50. Merati G, Pasquali P, Vergani C, Landi L. Antioxidant activity of ubiquinone-3 in human low density lipoprotein. *Free Radic Res Commun.* 1992; 16(1): 11-7. <https://doi.org/10.3109/10715769209049154>
51. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 2009; 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
52. Morris G, Anderson G, Maes M. Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Hypofunction in Myalgic Encephalomyelitis (ME)/Chronic Fatigue Syndrome (CFS) as a Consequence of Activated Immune-Inflammatory and Oxidative and Nitrosative Pathways. *Mol Neurobiol.* 2017; 54(9): 6806-19. <https://doi.org/10.1007/s12035-016-0170-2>
53. Murlikiewicz Ł, Grzegorzcyk K, Lewicka M, Buczyński A, Rutkowski M. Oxidative stress in colonic adenocarcinoma: An impact on the body's antioxidative status and oxidative protein damage. *Adv Clin Exp Med.* 2018; 27(1): 77-82. <https://doi.org/10.17219/acem/67819>
54. Navarro-Yepes J, Burns M, Anandhan A, Khalimonchuk O, Razo LM, Quintanilla-Vega B et al. Oxidative Stress, Redox Signaling, and Autophagy: Cell Death Versus Survival. *Antioxid Redox Sign,* 2014. <https://doi.org/10.1089/ars.2014.5837>
55. Panieri E, Santoro MM. ROS homeostasis and metabolism: a dangerous liason in cancer cells. *Cell Death and Disease.* 2016; 7e2253-63. <https://doi.org/10.1038/cddis.2016.105>

56. Panth N, Paudel KR, Parajuli K. Reactive Oxygen Species: A Key Hallmark of Cardiovascular Disease. *Adv Med* 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9152732>
57. Patche J, Girard D, Catan A, Boyer F, Dobi A, Planesse C et al. Diabetes-induced hepatic oxidative stress: a new pathogenic role for glycated albumin. *Free Radic Biol Med.* 2017; 102: 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.11.026>
58. Pouvreau C, Dayre A, Butkowski EG, de Jong B, Jelinek HF. Inflammation and oxidative stress markers in diabetes and hypertension. *J Inflamm Res.* 2018; 11: 61-68. <https://doi.org/10.2147/JIR.S148911>
59. Rivera JC, Dabouz R, Noueihed B, Omri S, Tahiri H, Chemtob S. Ischemic Retinopathies: Oxidative Stress and Inflammation. *Oxid Med Cell Longev.* 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3940241>
60. Roche M, Rondeau P, Singh N R, Tarnus E, Bourdon E. the antioxidant properties of serum albumin. *FEBS Letters.* 2008; 582: 1783–87. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2008.04.057>
61. Rozga J, Piątek T, Małkowski P. Reactive Oxygen Species: A Key Constituent in Cancer Survive. *Ann Transplant.* 2013; 18: 205-17.
62. Salazar-Lugo R, Barahona A, Santamaria M, Salas H, Oleas M, Bermeo B. Marcadores de estrés oxidativo y su relación con el estado nutricional en adultos, Ecuador. *ALAN.* 2014; 64(4): 264-270.
63. Schiavone S, Jaquet V, Trabace L, Krause KH. Severe Life Stress and Oxidative Stress in the Brain: From Animal Models to Human Pathology. *Antioxid Redox Signal* 2013; 18: 12-21. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.4720>
64. Sedlank T, Zinder, S. Bilirubin benefits: celular protection by a biliverdin reductase antioxisant cycle. *Pediatrics* 2004; 113: 1776-82. <https://doi.org/10.1542/peds.113.6.1776>
65. Sheng Y, Abreu A, Cabelli D, Maroney MJ, Miller AF, Teixeira M et al. Superoxide Dismutases and Superoxide Reductases *Chem. Rev.* 2014; 114: 3854–3918.
66. Sies H, Berndt C, Jones DP. Oxidative Stress. *Annu Rev Biochem.* 2017; 86: 715-748. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-061516-045037>

67. Sorce S and Krause K-H. NOX enzymes in the central nervous system: from signaling to disease. *Antioxid Redox Signal* 2009; 11: 2481–2504. <https://doi.org/10.1089/ars.2009.2578>
68. Suoki, A, Cano C, Mengual E, Torres D, Almarza J, León L et al. 2007. Marcadores biológicos de estrés oxidativo. *Arch Venez Farmacol Therapeut*, 26: 93-97.
69. Taverne YJ, Merkus D, Bogers AJ, Halliwell B, Duncker DJ, Lyons TW. Reactive Oxygen Species: Radical Factors in the Evolution of Animal Life: A molecular timescale from Earth's earliest history to the rise of complex life. *Bioessays*. 2018; 40(3). <https://doi.org/10.1002/bies.201700158>
70. Thomas DC, Clare S, Sowerby JM, Pardo M, Juss JK, Goulding DA, et al. Eros is a novel transmembrane protein that controls the phagocyte respiratory burst and is essential for innate immunity. *J Exp Med*. 2017; 214(4): 1111-28. <https://doi.org/10.1084/jem.20161382>
71. Torquati L, Mielke G, Brown WJ, Kolbe-Alexander T. Shift work and the risk of cardiovascular disease. A systematic review and meta-analysis including dose-response relationship. *Scand J Work Environ Health*. 2017. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3700>
72. Ulas T, Buyukhatipoglu H, Kirhan I, Dal MS, Ulas S, Demir ME et al. Evaluation of oxidative stress parameters and metabolic activities of nurse's working day and night shifts. *Rev Esc Enferm USP*. 2013; 47(2): 471-6. <https://doi.org/10.1590/S0080-62342013000200028>
73. Ulas T1, Buyukhatipoglu H, Kirhan I, Dal MS, Eren MA, Hazar A et al. The effect of day and night shifts on oxidative stress and anxiety symptoms of the nurses. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2012; 16(5): 594-9.
74. Urrútia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin (Barc)*. 2010; 135: 507-11. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
75. Van Raamsdonk JM, Vega IE, Brundin P. Oxidative stress in neurodegenerative disease: causation or association? *Oncotarget*. 2017; 8(7): 10777-778. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.14650>
76. Vasconcelos EM, Martino MMF, França SPS. Burnout and depressive symptoms in intensive care nurses: relationship analysis. *Rev Bras Enferm*.

- 2018; 71(1): 135-141. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2016-0019>
77. Wang F1, Yeung KL, Chan WC, Kwok CC, Leung SL, Wu C, Chan EY, Yu IT, Yang XR, Tse LA. A meta-analysis on dose-response relationship between night shift work and the risk of breast cancer. *Ann Oncol.* 2013; 24(11): 2724-32. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdt283>
78. Weigert A, von Knethen A, Fuhrmann D, Dehne N, Brüne B. Redox-signals and macrophage biology (for the upcoming issue of molecular aspects of medicine on signaling by reactive oxygen species. *Mol Aspects Med.* 2018; S0098-2997(17): 30104-8.
79. Ye ZW, Zhang J, Townsend DM, Tew KD. Oxidative Stress, Redox Regulation and Diseases of Cellular Differentiation *Biochim Biophys Acta.* 2015; 1850(8): 1607-21.
80. Zhang QL, Wang W, Jiang Y, A-Tuya, Dongmei, Li LL et al. GRGM-13 comprising 13 plant and animal products, inhibited oxidative stress induced apoptosis in retinal ganglion cells by inhibiting P2RX7/p38 MAPK signaling pathway. *Biomed Pharmacother.* 2018; 101: 494-500. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.02.107>

Antioxidantes enzimáticos	Propiedades
superóxido dismutasa	La función de esta enzima consiste en eliminar el radical superóxido antes de que este reaccione con moléculas

Tabla 1. Principales antioxidantes endógenos del organismo

Antioxidantes enzimáticos	Propiedades
superóxido dismutasa	La función de esta enzima consiste en eliminar el radical superóxido antes de que este reaccione con moléculas biológicas susceptibles <sup>18</sup> .
Catalasa	Su principal función es catalizar la descomposición del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno <sup>19</sup> .
Glutathion peroxidasa	Cataliza la reducción del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a radical hidroperóxido en presencia de glutathion reducido y selenio. La actividad de esta enzima contribuye a proteger a los lípidos de la membrana celular de la peroxidación <sup>24</sup> .
Glutathion reductasa	Cataliza la reducción del glutathion oxidado (GSSG) a glutathion reducido (GSH) <sup>18</sup> ,
Tioredoxinas	Selenoproteína que contribuye a mantener el ambiente reducido de la célula <sup>24</sup> .
Antioxidantes no enzimáticos	
Glutathion	Es un tripéptido (g-glutamyl-cisteinil-glicina), que constituye el compuesto tiólico de bajo peso molecular más abundante en las células de mamíferos. Actúa frente a numerosos compuestos oxidantes, ya que su reducción detoxifica el efecto de las EROS <sup>23, 25</sup> .
Ácido úrico	Atrapa radicales libres, y quela iones metálicos tales como el hierro y el cobre, inhibe el daño producido por el peroxinitrito y actúa como un elemento oxidable capaz de aceptar electrones <sup>25</sup> .
Ubiquinona	También llamado coenzima-Q, Su forma oxidada, el ubiquinol impide que las EROS desencadenen la peroxidación lipídica <sup>25</sup> .
Albúmina	La proteína más abundante de la sangre, actúa atrapando radicales libres <sup>27</sup> .
Bilirrubina	Tiene la capacidad de neutralizar radicales libres evitando la peroxidación de los lípidos <sup>26, 27, 28</sup> .

Tabla 2. Enfermedades que tienen una correlación positiva con el estrés oxidativo.

Enfermedad	Órganos afectado	Etiología
Degeneración macular	ojos	Intermediarios reactivos del oxígeno <sup>52</sup>
Diabetes	multiorganos	Superoxido dismutasa, catalasa glutatión reductas, glutatión peroxidasa, glutatión <sup>53</sup>
Fatiga crónica	multiórgano	Proteína C reactiva <sup>54</sup>
aterosclerosis	Vasos sanguíneos	Sistema NADPH oxidasa reducida <sup>57</sup>
Enfermedades neurodegenerativas	cerebro	ERO <sup>57</sup>
Artritis rematoidea y osteoartritis	coyunturas	ERO <sup>56</sup>
cáncer	multiórgano	Proceso patológico que incluye daño en el ADN y peroxidación lipídica <sup>60</sup>
Enfermedades cardiovasculares	corazón	ERO <sup>61</sup>
Retinopatías isquémicas	ojos	ERO <sup>58, 579</sup>