

# ANTIOXIDANTES Y POLIFENOLES



**GATORADE  
SPORTS  
SCIENCE  
INSTITUTE**

*El contenido de esta presentación es proporcionado por GSSI, una división de PepsiCo, Inc. Cualquier opinión o interpretación científica expresada en esta presentación son del autor y no necesariamente representan la posición o política de PepsiCo, Inc.*

# ANTIOXIDANTES



**¿Qué es un antioxidante?**

**¿Ayuda a mejorar el  
rendimiento?**

# PRIMERO: Oxidantes

---

***\*Primero, necesitamos comprender lo que es un oxidante para poder entender los antioxidantes***

¿Qué es un OXIDANTE?

Cualquier átomo/molécula que **“roba/acepta”** electrones de otras moléculas

- Moléculas que promueven la oxidación

¿Qué es la oxidación?

- La eliminación de electrones

*Nota:* es un término relativo que depende del estado de reducción que está alcanzando. Las sustancias químicas siempre funcionan como "PARES REDOX"

# Es posible que hayas escuchado hablar de...

---

## Especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés):

"Una forma de oxígeno o una molécula rica en oxígeno que actúa como un potente oxidante o reductor."

Oxidantes que contienen oxígeno (matriz: superóxido)

---

## Especies reactivas de nitrógeno (RNS, por sus siglas en inglés):

Oxidantes que contienen nitrógeno (matriz: óxido nítrico (NO, por sus siglas en inglés))

\***NO** puede considerarse un nitrógeno reactivo o una especie reactiva de oxígeno, pero generalmente se conoce como un RNS.



No es muy reactivo, excepto con metales.

# ¿Qué es un antioxidante?

"Sustancia que previene o retrasa la oxidación."

Por lo general, los antioxidantes previenen o limitan las acciones de los **radicales libres** mediante la eliminación de su electrón que no está apareado, convirtiéndolos así en algo mucho menos reactivo.

# ¿Qué es un radical "libre"?

**Cualquier átomo (o átomo dentro de una molécula) con al menos un electrón que no esté apareado en su capa exterior/orbital**

*¿Por qué queremos limitar sus acciones?*

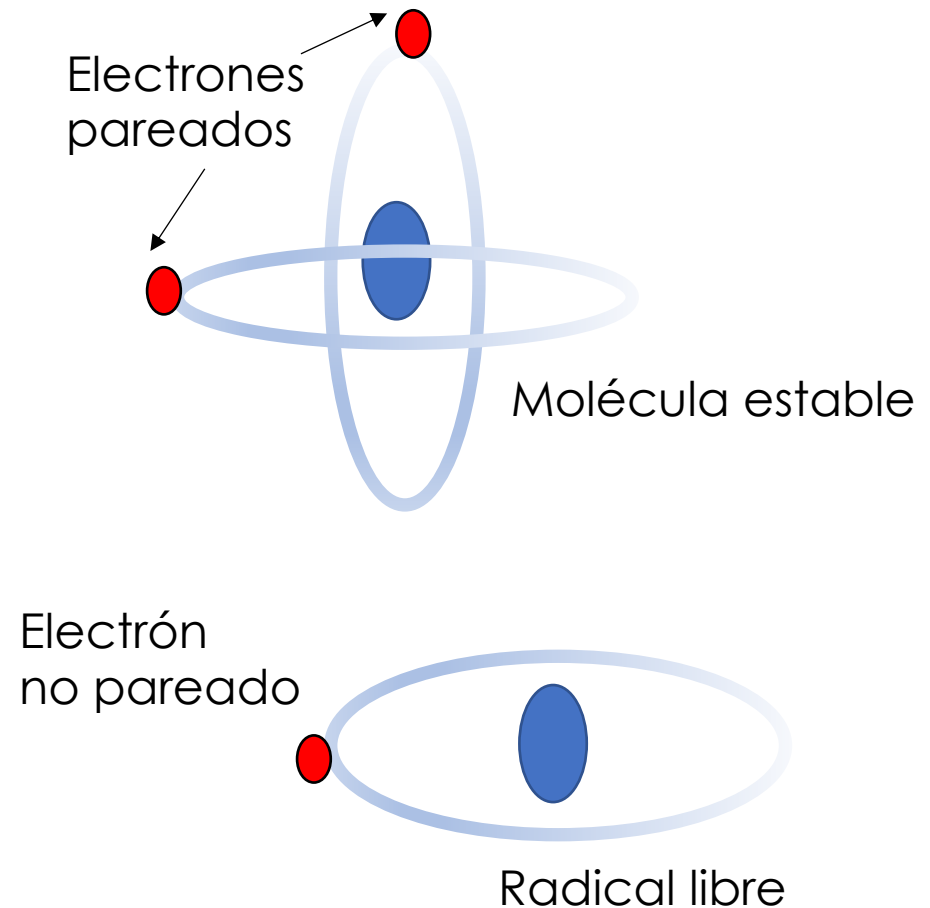
- Son muy reactivos
- Los radicales libres dañan las membranas (lípidos), proteínas, y ADN
- Pueden resultar en mutaciones

## **NOTA:**

**¡Los radicales se producen como parte del metabolismo normal y son necesarios para la vida!**

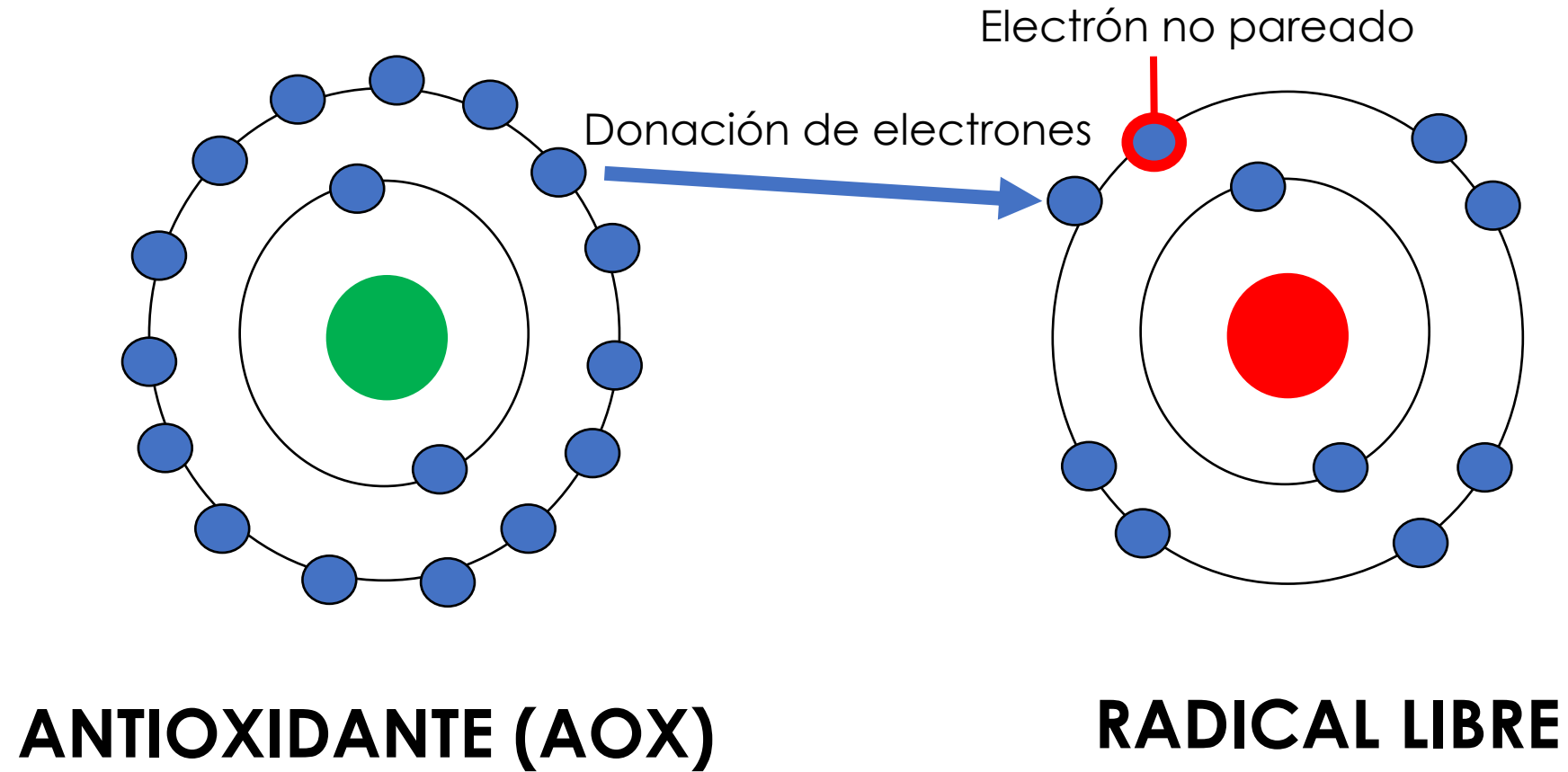
*Cantidades excesivas de radicales son perjudiciales debido a su reactividad.*

También se producen por procesos fuera del metabolismo normal (Por ej. radiación, fumar, contaminantes, herbicidas, pesticidas)



# ¿Cómo es que los antioxidantes reducen los radicales libres?

---



# ¿Qué sucede durante el ejercicio?

---

El músculo esquelético continuamente produce ROS y NO

- ↑ dramáticamente durante el ejercicio
- Contracciones repetitivas ↑ el contenido de ROS

Amortiguado por antioxidantes endógenos en el músculo:

- Superóxido dismutasa (SOD)
- Catalasa

La mayor vía antioxidante en el músculo:

- Glutación/sistema de glutación peroxidasa
  - Amortigua una serie de especies oxidantes

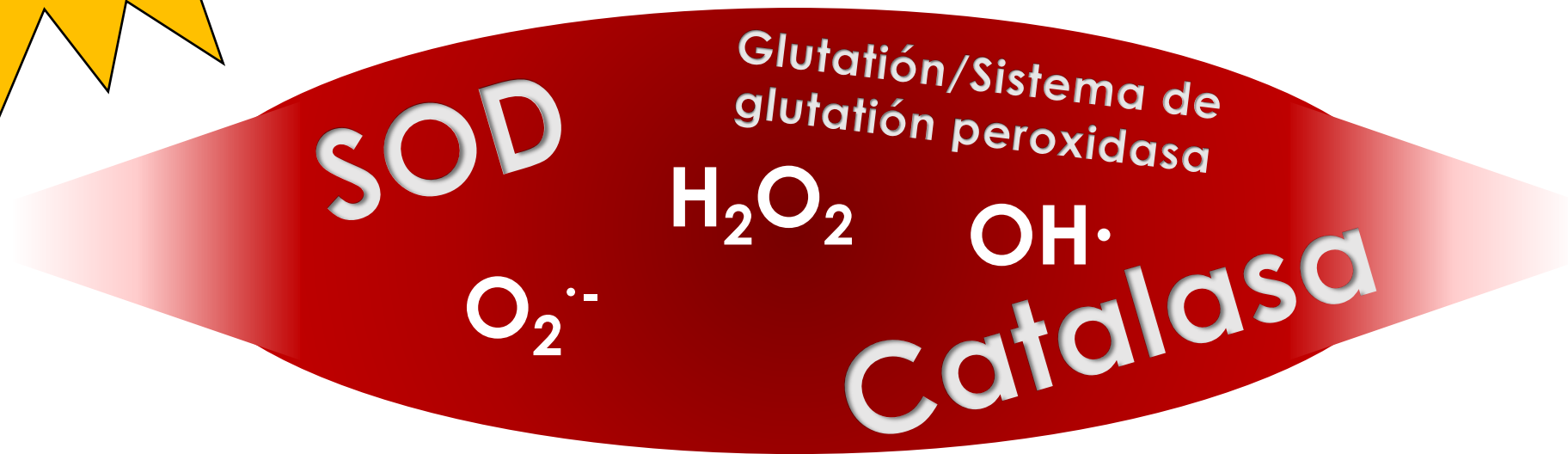
# Generación de ROS durante el ejercicio



↑ NO

↑ ROS

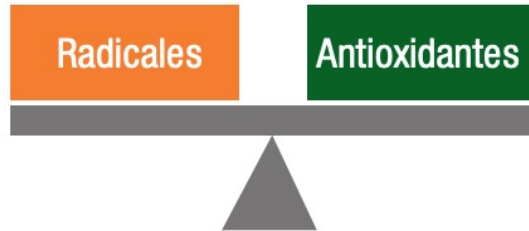
Compartimentos  
citoplasmáticos, intersticiales e  
intravasculares



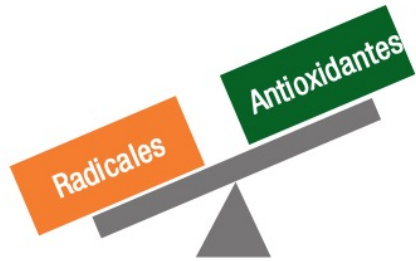
Amortiguado por:

- AOX endógeno: SOD y Catalase
- Glutathione/sistema de glutathione peroxidase

## Balance Redox



## Estrés Oxidativo



## Estrés Reductivo

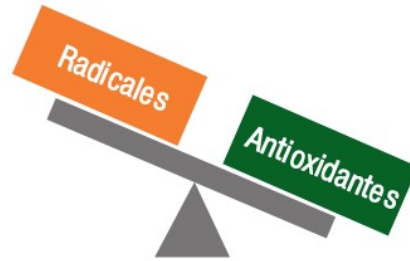


Figura 1. Ilustración de la relación entre radicales (es decir, oxidantes) y antioxidantes en la determinación del balance redox (equilibrio entre oxidantes y antioxidantes). Se debe tener en cuenta que un aumento de radicales o antioxidantes puede resultar en una alteración del balance redox. Creado a partir de Powers et al. (2004).

- El ejercicio puede alterar **“el balance redox”** y resultar en estrés oxidativo
  - *El desbalance entre la producción de radicales y los antioxidantes musculares*
  - Las células musculares contienen antioxidantes endógenos para buscar radicales
- *Los episodios regulares de ejercicio de resistencia resultan en un aumento de las enzimas antioxidantes endógenas en los músculos esqueléticos entrenados*
  - Mejora de la capacidad de proteger contra el estrés oxidativo inducido por el ejercicio en los músculos esqueléticos
  - Los atletas de resistencia altamente entrenados tienen sistemas de amortiguamiento endógenos bien adaptados

# Mecanismos de estrés oxidativo

---

- Los oxidantes elevados interrumpen la regulación de potasio
  - ↓ Bomba  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en músculo esquelético
  - ↑ concentración de  $\text{K}^+$
- Oxidantes asociados al ejercicio:
  - Limitan la biodisponibilidad de NO circulante
  - Restringen el flujo sanguíneo
  - Disminuyen los cambios en los índices hematológicos
- Estrés oxidativo:
  - Reduce en el ejercicio de resistencia
    - Regulación y perfusión de  $\text{K}^+$
- Oxidantes elevados:
  - ↓ oxidación de grasa y glucosa circulante mientras ↑ Lactato

# Mecanismos antioxidantes

---

*Los antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos previenen la oxidación iniciada por ROS:*

- Previenen la formación de ROS
- Buscan metabolitos reactivos y los convierten en moléculas menos reactivas
- Unen catalizadores de iones metálicos de transición y previenen la iniciación de reacciones de radicales libres
  - Por ej. cobre a hierro
- Prevención de la abstracción continua del hidrógeno de cadenas de ácidos grasos
- Proporcionan un entorno favorable
  - Funcionamiento eficaz de otros antioxidantes
  - Regeneración de moléculas antioxidantes no enzimáticas

**Recuerda: \*El ENTRENAMIENTO deportivo aumenta los niveles de enzimas antioxidantes**

# ROS contribuye a la fatiga

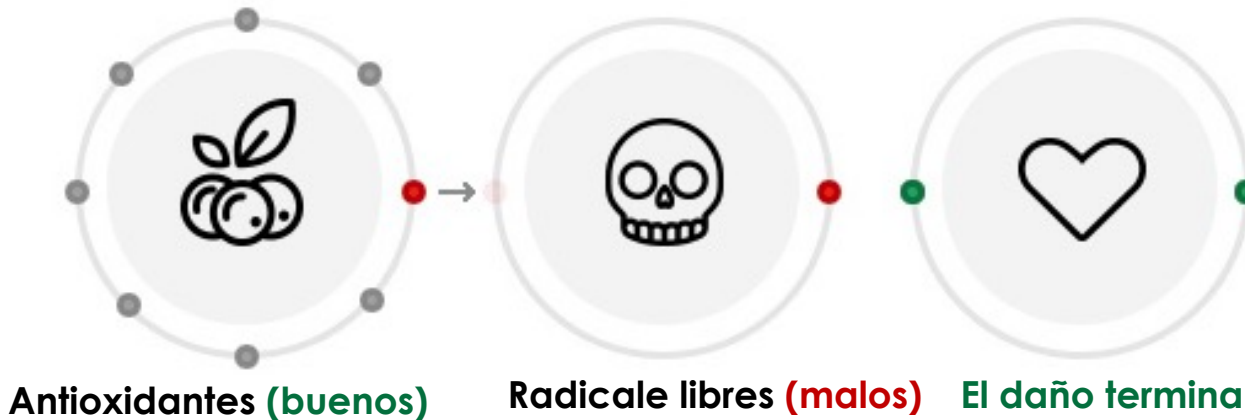
---

*A pesar de estos mecanismos de protección, las altas tasas de producción de ROS pueden exceder la capacidad antioxidante de las miofibrillas, promoviendo el estrés oxidativo y disminuyendo la fuerza de la contracción muscular*

**Entonces, ¿por qué no suplementar antioxidantes?**

# ¿Los antioxidantes son buenos y los radicales malos?

***La dicotomía familiar de que los radicales libres son malos, y los antioxidantes son buenos, es omnipresente en la cultura popular. Los atletas creen que los antioxidantes mejoran el rendimiento.***



Los antioxidantes dan un electrón extra al radical libre.

Causados por la contaminación, radiación UV, rayos X, estrés, ejercicio extenuante, y otros factores.

Es neutralizado, la cadena de radicales libres termina. El átomo se vuelve estable.

<https://www.drinkbai.com/whats-inside>

**¿Es verdad?**

# ¿Tiene sentido o no?

*¿Los atletas deben suplementar con antioxidantes?*

## ¿Por qué podría beneficiarlos?

- Pueden captar radicales libres durante la actividad
- Pueden ser importantes en aquellos que tengan deficiencias

## ¿Por qué podría ser perjudicial?

- No está demostrado que mejoren el rendimiento
- Pueden mitigar la respuesta al entrenamiento

SSE #138



# Suplementación de antioxidantes y ejercicio

---

## **Muchos antioxidantes no mejoran el rendimiento en el deporte**

- Incluyendo: Vitamina C, Vitamina E, Resveratrol, Coenzima Q10, Quercetina
- Hay poca evidencia de que la suplementación mejore la fuerza o el ejercicio de resistencia
- Aumentan los marcadores de antioxidantes sin efectos ergogénicos
- Podrían atenuar biomarcadores para estrés oxidativo durante el ejercicio
- Por lo general, el rendimiento en el ejercicio no se ve afectado, a veces deteriorado

# Hallazgos de investigaciones de NAC

---

El fármaco N-acetilcisteína (NAC) se opone efectivamente al estrés oxidativo cuando es administrado sistémicamente y está aprobado para su uso en humanos (olores, efectos secundarios leves)

## **\*Primer antioxidante demostrado para inhibir la fatiga muscular experimental**

- Eficaz en las contracciones submáximas, pero no durante las contracciones casi máximas
  - **Demostración: Los oxidantes contribuyen a la fatiga de baja frecuencia pero no de alta**
- NAC no altera la recuperación a corto plazo de la fuerza, inmediatamente después de la fatiga muscular
  - **Demostración: Oxidantes no influyen en la recuperación de la fatiga**
- NAC aumenta la resistencia del ciclista
  - Prueba de tiempo hasta la falla
- Retrasa fatiga en repetidos episodios de ejercicio dañino

# Hallazgos en la investigación de nitratos de la dieta

---

- Pueden aumentar la eficiencia del ejercicio y mejorar el rendimiento
- Los mecanismos incluyen:
  - Mayor suministro de ATP a través de la respiración mitocondrial alterada
  - Utilización más eficiente de ATP durante la contracción muscular
- Aumentan la biodisponibilidad de derivados de NO
  - Promueven la señalización de NO
- La flora bucal convierte el nitrato en nitrito
  - A través de la nitrato reductasa bacteriana
- El nitrito circulante se convierte en NO
- Sistema nervioso central
  - Modulación de la función cortical

# Mensajes para llevar a casa: NAC y NO

---

## ***Antioxidantes del tiol (Como NAC) y los nitratos dietéticos parecen mejorar el ejercicio de resistencia***

- Seguros para el uso humano
  - Dosis de laboratorio
  - Ambos eficaces como una sola dosis poco antes del ejercicio
  - Ambos trabajan a través de mecanismos redox
- Los tioles no son prácticos para un uso generalizado
- Los tioles preservan la función contráctil de las miofibrillas
  - El ejercicio de amortiguación induce ROS
- Los nitratos dietéticos aumentan la eficiencia del ejercicio
  - Aumenta las acciones de NO sobre el metabolismo mitocondrial, la distribución del flujo sanguíneo, o ambos

# Riesgos de suplementación con dosis altas

---

- ROS son mensajeros intermedios importantes en las vías de apoptosis
  - Los antioxidantes podrían inhibir la apoptosis
    - Mecanismo de defensa necesario para inhibir el desarrollo tumoral/células mutadas
- Evita la eliminación efectiva de las células dañadas
- Efectos secundarios de la ingesta excesiva de vitaminas
- Puede perjudicar las adaptaciones al entrenamiento inducidas por el ejercicio del atleta

# ¡La suplementación con dosis altas puede doler!

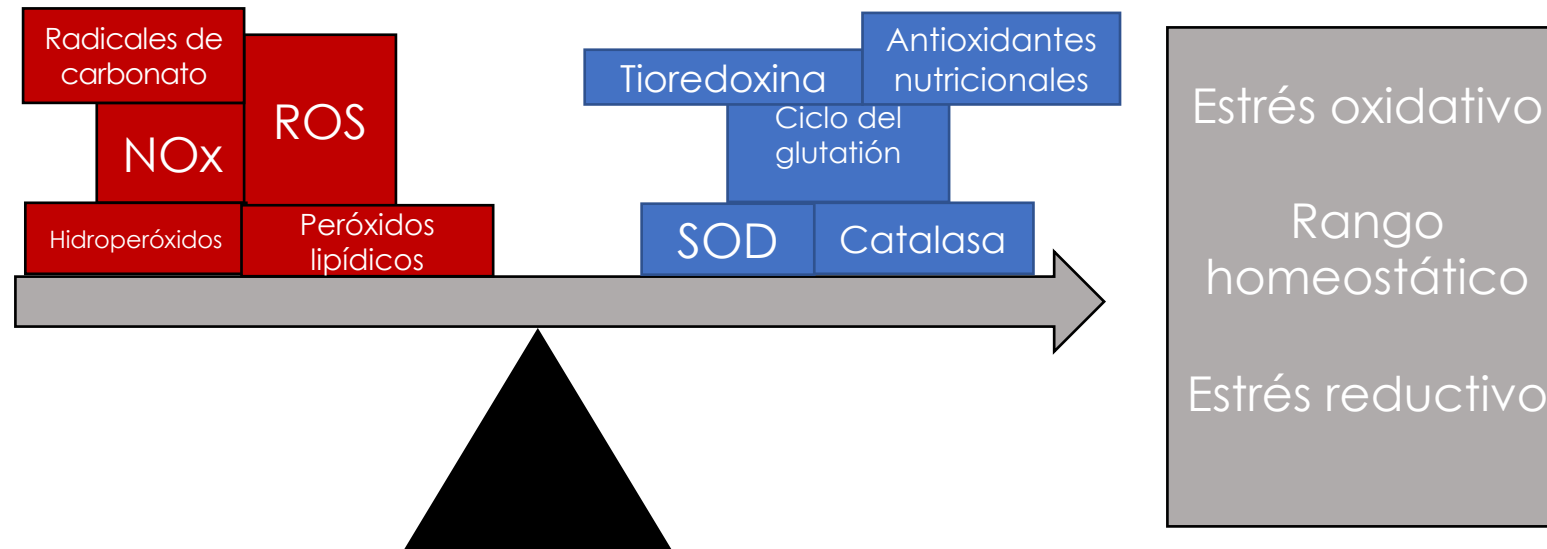
---

*En parte, la recuperación muscular del ejercicio está mediada por la señalización oxidante*

- Los antioxidantes pueden atenuar:
  - Eventos de señalización
  - Mecanismos de reparación
- Pueden disminuir las respuestas del entrenamiento al ejercicio
  - ↓ biogénesis mitocondrial
  - ↓ sensibilidad a la insulina
- Una dosis puede:
  - ↓ vasodilatación inducida por el ejercicio
  - Inhibir los aumentos de proteínas de choque térmico (HSPs, por sus siglas en inglés) después del ejercicio

# ¡Es un equilibrio!

**¡ROS son necesarias!** Las ROS juegan un papel importante en el rol de la regulación de vías de señalización que se requieren para promover las adaptaciones del músculo esquelético, en respuesta al ejercicio y la actividad física



# ROS: Una nueva visión

---

**VISIÓN ANTIGUA:** ROS son productos secundarios del metabolismo y sólo tienen efectos perjudiciales sobre la función muscular

**NUEVA VISIÓN:** Hay ROS específicas que se generan de manera controlada por las fibras músculo esqueléticas, en respuesta a estímulos fisiológicos, y ¡juegan papeles importantes en las adaptaciones fisiológicas del músculo a contracciones que resultan en la adaptación muscular!

# Micronutrientes como antioxidantes

---

Las vitaminas que actúan como antioxidantes incluyen:

Vitamina A

Vitamina C

Vitamina E

Beta caroteno

## **Vitamina E:**

- Buscador de radicales libres
- Previene la iniciación y propagación de la peroxidación lipídica en las membranas celulares
- Mantiene la estabilidad de la membrana

## **Vitamina C:**

- Capaz de regenerar vitamina E en la cascada antioxidante

# Micronutrientes como antioxidantes

---

## Minerales

Varios minerales son componentes de enzimas antioxidantes implicadas en la defensa de los radicales libres:

- Selenio
  - Cofactor de glutatión peroxidasa
  - Influye en el enfriamiento de ROS
- Cobre
- Manganeso

# Polifenoles



# Polifenoles

---

Un compuesto que contiene más de un grupo fenólico de hidroxilo

Captan peróxido, superóxido, y radicales de NO

**Flavonoides** son una subclase de polifenoles que incluyen:

- Flavanoles, flavanones, y antocianidinas
- Contienen grupos fenólicos de hidroxilo unidos a sus estructuras de anillo que dan actividad antioxidante

**Nombra alimentos que  
contengan polifenoles**

# Polifenoles: Consumo

---

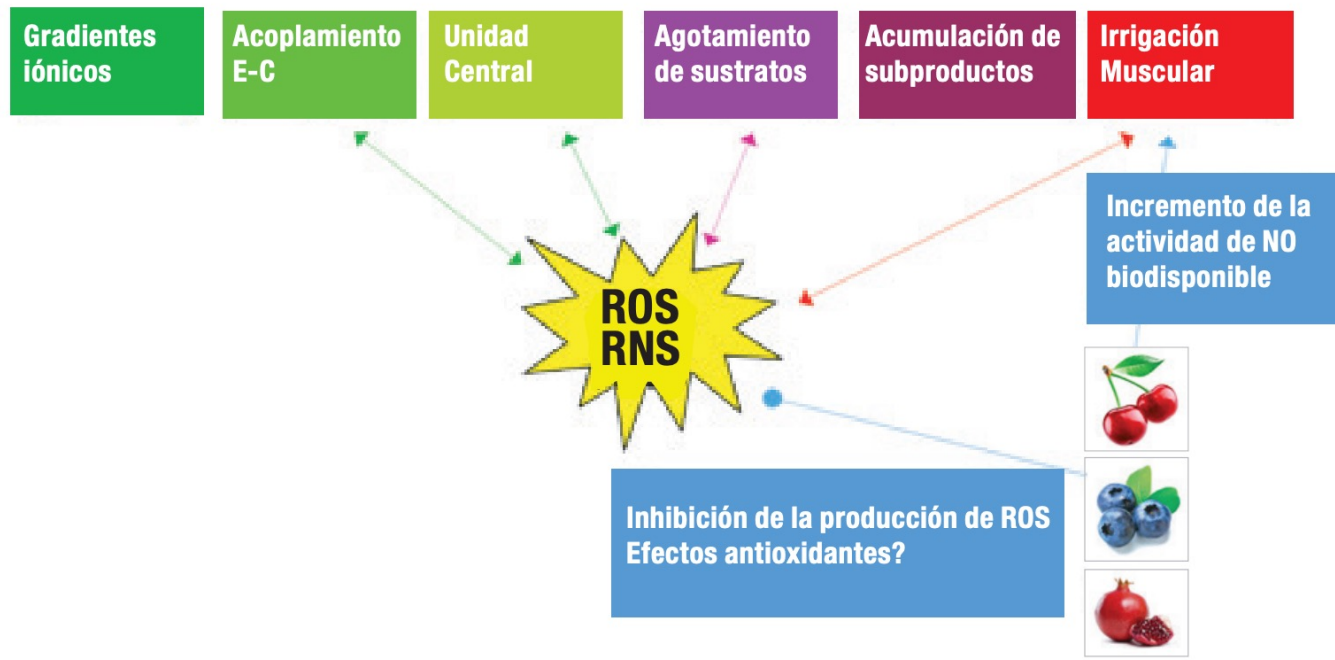
- Se pueden clasificar en flavonoides y no flavonoides
- Las fuentes de alimentos ricas en polifenoles incluyen:
  - Cebollas
  - Manzanas
  - Té
  - Vino tinto
  - Uvas rojas
  - Fresas
  - Frambuesas
  - Arándanos azules
  - Arándanos
  - Ciertas nueces
- La ingesta promedio de polifenoles no ha sido determinada
  - Los Holandeses estiman comer 23 mg/día de flavonas y flavanoles
  - Pequeñas cantidades podrían tener efectos significativos

# Polifenoles

---

| No flavonoides |  | Fuentes                                                      |
|----------------|--|--------------------------------------------------------------|
| Ácido elágico  |  | Fresas, arándanos, frambuesas                                |
| Cumarinas      |  | Pimientos, bok choy (col china), granos de cereales, brócoli |
| Flavonoides    |  | Fuentes                                                      |
| Antocianinas   |  | Frutos rojos                                                 |
| Catequinas     |  | Té, vino                                                     |
| Flavanones     |  | Cítricos                                                     |
| Flavonas       |  | Frutas y verduras                                            |
| Flavanoles     |  | Frutas, verduras, té, vino                                   |
| Isoflavonas    |  | Soya                                                         |

# ¿Protección de polifenol?



**Figura 1.** Mecanismos potenciales de la fatiga inducida por el ejercicio. Los mecanismos de la fatiga siguen siendo controversiales debido a su compleja naturaleza multifactorial y a la especificidad del modo del ejercicio, la intensidad y su duración. Sin embargo, se ha relacionado con el incremento de las especies de oxígeno y nitrógeno reactivo que aparecen durante el ejercicio, sugiriendo que la suplementación con polifenoles pueda ser ergogénica debido a sus propiedades antioxidantes.

≈500 mg/día del total de los flavonoides o

300 mg/día procianidina

- Es poco probable que los fenólicos plasmáticos sean antioxidantes directos *in vivo*
- Puede aumentar la capacidad antioxidante endógena
- Propiedades antiinflamatorias *in vitro*
- Mejora del flujo mediado por la dilatación

SSE #195



# ¿Suplementación con polifenoles?

---

Estudios preliminares sugieren:

- ≈300 mg de polifenol 1 h antes del ejercicio
  - Recreativamente activo
  - Mejora el rendimiento de resistencia
  - Mejora el rendimiento en sprints repetidos
  - Mediado a través de mecanismos vasculares
- Puede mejorar la recuperación de la fuerza muscular y el rendimiento
  - Dosis óptima y mezcla desconocida
  - Consumo sugerido:
    - ≈1200 mg/d Cereza Montmorency o polifenoles de granada durante >3 días antes del ejercicio



# ¿Suplementación con polifenoles?

---

**“La evidencia es insuficiente para hacer recomendaciones a favor o en contra del uso de suplementos de polifenoles (ni polifenoles específicos ni dosis específicas) para atletas recreativos, competitivos o elite.”**

# Resumen

---

## **Antioxidantes:**

Los antioxidantes limitan la acción de los radicales libres

El ejercicio mejora la capacidad antioxidante

Poca o ninguna evidencia para la suplementación

ROS juegan un papel importante en la adaptación al ejercicio

## **Polifenoles:**

Captan radicales

Pueden proporcionar protección a través de múltiples mecanismos

Se necesita más investigación