TEMA 18: RADICALES LIBRES Y DEFENSA ANTIOXIDANTE

🔷 OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Aquí se introduce un concepto fundamental en bioquímica:

• **Oxidación**: es el proceso por el cual un átomo o molécula **pierde** uno o más electrones. Al perder electrones, la sustancia se **oxida**.

• **Reducción**: es el proceso inverso, donde un átomo o molécula **gana** electrones. Al ganarlos, la sustancia se **reduce**.

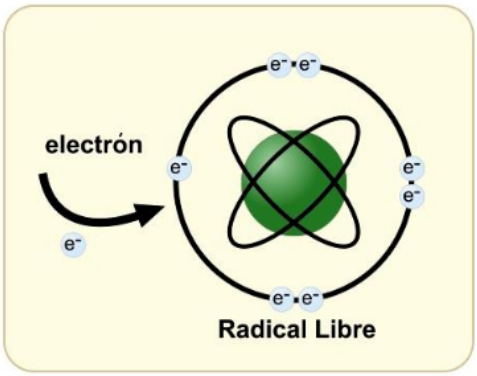


Estos dos procesos siempre ocurren juntos y se conocen como **reacciones redox**: mientras una sustancia se oxida, otra se reduce.

💡 Ejemplo sencillo: si el hierro (Fe) pierde electrones, se oxida. Si el oxígeno los gana, se reduce. Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando el hierro se oxida y se forma óxido (herrumbre).



🔷 ¿QUÉ SON LOS RADICALES LIBRES?



Aquí comienza el núcleo del tema:

• Los **átomos y moléculas** suelen ser **estables** cuando tienen todos sus **electrones emparejados** en la capa más externa (la llamada "capa de valencia").

• Un **radical libre** es un **átomo o molécula con uno o más electrones no emparejados** en esa capa externa.

• Esa **falta de emparejamiento** hace que el radical libre sea **extremadamente inestable y reactivo**, porque tiende a buscar otro electrón que le permita estabilizarse.

💡 Es como una persona que ha perdido a su pareja en un baile y va dando tumbos por la pista tratando de emparejarse con alguien, aunque eso cause desajustes a su alrededor.

🔶 ¿Por qué son peligrosos?

• Porque en su intento de robar un electrón para estabilizarse, **atacan a otras moléculas normales** del cuerpo (como proteínas, lípidos o ADN).

• Así, **las dañan**, y en muchos casos **las convierten también en radicales libres**, generando una especie de "cadena de destrucción".

🔷 AMPLIFICACIÓN DE LOS RADICALES LIBRES

Aquí se explica un fenómeno muy importante: **la reacción en cadena** que pueden provocar los radicales libres. Mira cómo funciona:

1. Un **radical libre roba un electrón** a una molécula estable para estabilizarse él mismo.

2. Pero al hacerlo, **convierte esa molécula estable en otro radical libre**, porque le ha dejado con un electrón desemparejado.

3. Este nuevo radical **buscará estabilizarse también**, robando otro electrón a otra molécula… y así sucesivamente.

Este proceso se llama **amplificación** o **reacción en cadena**. Es muy peligrosa porque puede extender el daño por muchas partes de la célula.

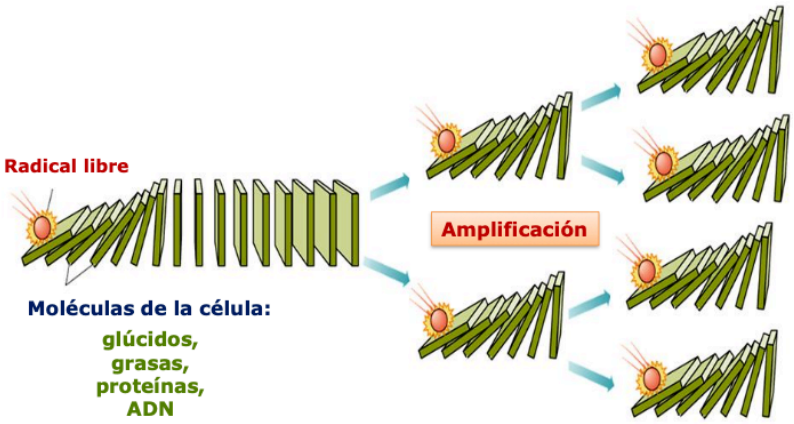
🔸 ¿A quién atacan?

Los radicales libres pueden atacar a cualquier tipo de molécula celular:

- **Glúcidos** (azúcares)
- **Grasas** (especialmente los lípidos de membrana)
- **Proteínas**
- **Ácidos nucleicos** (como el ADN)

🔸 En la Imagen vemos el esquema que ilustra esa cascada de daños:

- Se ve un radical libre atacando una molécula (por ejemplo, un lípido o proteína).
- Esa molécula queda convertida en otro radical, que ataca a la siguiente.
- Se produce así una "reacción en cadena" o **efecto multiplicador** del daño.



💬 En resumen: un solo radical libre puede dar origen a **una cascada de reacciones** que dañan múltiples componentes celulares.

🔹 ALTERACIONES EN LOS LÍPIDOS DE MEMBRANA

Esto es uno de los objetivos más vulnerables de los radicales libres: los **lípidos de membrana**.

🔸 ¿Qué son los lípidos de membrana?

- Las **membranas celulares** están formadas principalmente por una **bicapa lipídica**, es decir, una doble capa de **fosfolípidos**.
- Estos fosfolípidos contienen **ácidos grasos poliinsaturados**, que tienen varios dobles enlaces en su estructura.
- Esos dobles enlaces son **puntos débiles**, lo que los hace muy vulnerables al ataque de los radicales libres.

🔸 ¿Qué pasa cuando son atacados?

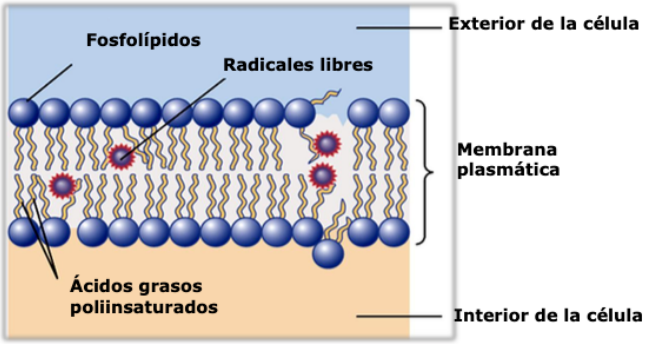
- Los radicales libres **oxidan** estos ácidos grasos, rompiendo o alterando sus enlaces químicos.
- Esto provoca **daños graves en la membrana**, como:
- **Pérdida de permeabilidad selectiva** (entra y sale lo que no debería).
- **Pérdida de integridad estructural** (la célula se puede romper o deformar).

🧠 Una célula con la membrana dañada **no puede controlar lo que entra o sale**, y eso compromete su supervivencia.

🔸 **En la Imagen vemos representada**

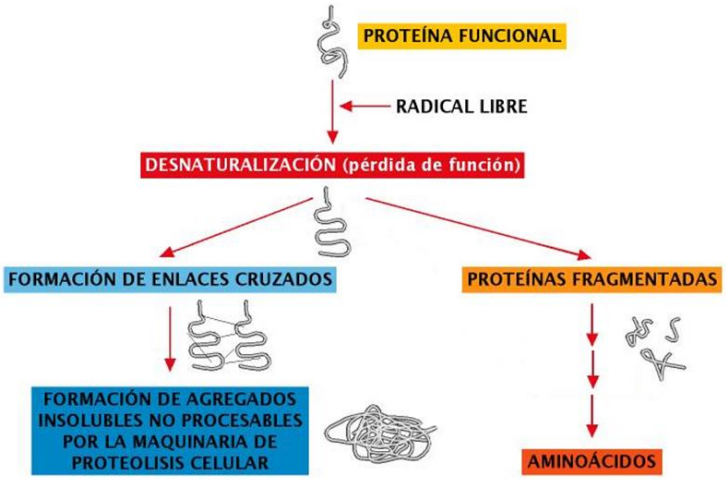
• Una membrana con fosfolípidos, mostrando sus colas con dobles enlaces.

• Se indica cómo los **radicales libres** los atacan, afectando tanto al **interior como al exterior celular**.



🔹 ALTERACIONES EN LAS PROTEÍNAS

Los **radicales libres también atacan a las proteínas**. Veamos cómo.



🔸 **¿Qué hacen los radicales libres a las proteínas?**

• **Oxidan aminoácidos** específicos dentro de la cadena proteica.

• **Rompen enlaces** peptídicos o modifican la forma de la proteína.

• Esto puede causar:

• **Pérdida de función enzimática** si la proteína es una enzima.

• **Mal plegamiento**, que impide que la proteína actúe correctamente.

• **Marcaje para destrucción**, ya que el organismo detecta la proteína como "defectuosa".

🧠 Las proteínas son como herramientas celulares: si se dañan, la célula pierde funciones vitales.

🔸 **Importancia**

• Este tipo de daño está implicado en **muchas enfermedades degenerativas**, como el Alzheimer o el Parkinson, donde se acumulan **proteínas oxidadas o mal plegadas**.

🔹 ALTERACIONES EN LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

Uno de los daños más delicados que pueden causar los radicales libres es el ataque al **ADN**, que es el material genético de la célula.

🔸 **¿Cómo dañan al ADN?**

• **Atacan las bases nitrogenadas** (adenina, guanina, etc.) y los **azúcares** que forman la estructura del ADN.

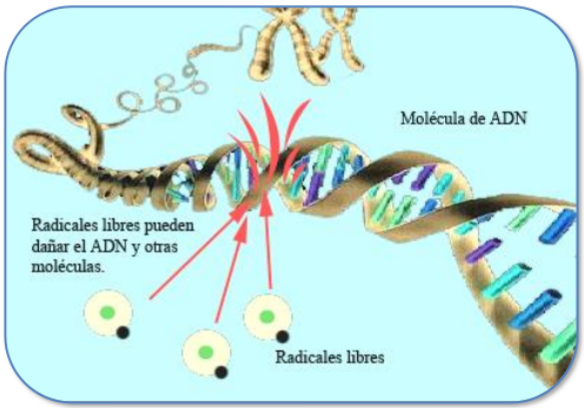
• Este ataque puede alterar la estructura química del ADN, haciéndolo ilegible o defectuoso.

🔸 **Consecuencias del daño:**

1. **Roturas en las hebras de ADN**: el ADN está formado por dos cadenas enrolladas (doble hélice). Los radicales libres pueden causar cortes en una o ambas hebras.
2. Si el daño es **ligero**, las células pueden repararlo.
3. Pero si es **muy grande o frecuente**:
   - Se pueden generar **mutaciones** (cambios permanentes en la secuencia del ADN).
   - O incluso puede provocar la **muerte celular**, si el daño es irreparable.

⚠️ Las mutaciones causadas por radicales libres están relacionadas con el **cáncer** y el **envejecimiento celular**.

🔶 En la **Imagen** vemos una representación del ADN siendo atacado, probablemente con roturas en la hélice y moléculas reactivas alrededor.



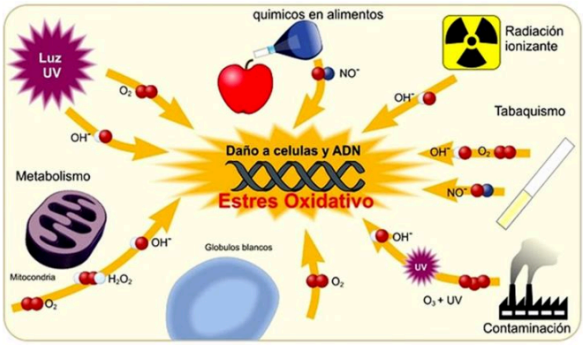
🔷 ¿DE DÓNDE PROCEDEN LOS RADICALES LIBRES?

El **origen de los radicales libres** puede ser de dos tipos:

🔶 **1. Origen exógeno (externo):**

• Proceden del **medio ambiente**. Algunos ejemplos comunes:

- **Radiación UV** del sol
- **Contaminación atmosférica**
- **Humo del tabaco**
- **Metales pesados**
- **Medicamentos** o sustancias tóxicas
- **Pesticidas**



Estos factores externos pueden generar radicales libres al interactuar con las células del cuerpo.

🔶 **2. Origen endógeno (interno):**

• Se **forman dentro del propio organismo**, principalmente como **subproductos del metabolismo celular normal**.

• El cuerpo, al realizar sus funciones vitales (por ejemplo, producir energía), genera accidentalmente radicales libres.

• El proceso más importante en el que se generan es el de la **respiración celular**, que veremos en las próximas hojas.

🧠 Es decir, incluso sin contaminación ni tóxicos, **nuestro cuerpo ya produce radicales libres** de manera natural y constante.

🔷 RADICALES LIBRES DE ORIGEN ENDÓGENO: LA MITOCONDRIA

La **Mitocondria**, que es el orgánulo responsable de producir la mayor parte de la energía de la célula en forma de **ATP**.

🔶 **¿Qué ocurre en la mitocondria?**

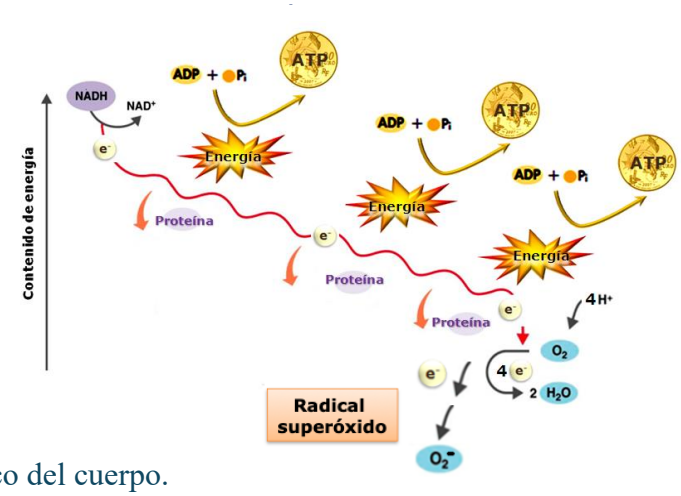
• En ella se lleva a cabo la **respiración celular aerobia**, en la cual:
• Se degradan nutrientes (como la glucosa).
• Se utiliza oxígeno (O_2) como **aceptor final de electrones**.
• Y se forma **agua (H_2O)** al final del proceso, junto con ATP.

🔸 **Pero no todo el oxígeno se convierte en agua…**

• Entre el **1% y el 3% del oxígeno** que entra en este proceso **no se reduce completamente**.

• Ese oxígeno "escapado" da lugar a **radicales libres**, especialmente:

• El **radical superóxido (O_2•–)**, que es muy reactivo.



🧠 Por eso se dice que **la mitocondria, a la vez que da vida (energía), también genera moléculas peligrosas** como subproducto inevitable.

Aquí vemos el proceso dentro de la mitocondria, indicando cómo se forma el radical superóxido cuando el oxígeno no se convierte del todo en agua.

• **La formación de ATP en la mitocondria** es el principal proceso energético del cuerpo.

En él, el **oxígeno debería reducirse completamente a agua**, pero:

• Entre el **1% y el 3% del oxígeno no sigue el camino completo**.

• Ese oxígeno "incompleto" genera el **radical superóxido (O_2•–)**.

Este radical es **el primer paso** para la formación de otros **radicales más agresivos**, como el **peróxido de hidrógeno (H_2O_2)** y el **radical hidroxilo (•OH)**, que suelen aparecer en etapas posteriores.

🧠 Aunque esta producción es normal, si no se controla bien o si aumenta por alguna razón (estrés, envejecimiento, enfermedades…), puede volverse muy peligrosa para la célula.

🔹 LA PARADOJA DEL OXÍGENO

Esta es una idea fascinante y crucial:

🔸 **El oxígeno: ¿amigo o enemigo?**

• El oxígeno (O_2) es **esencial para la vida** tal como la conocemos:

  • Nos permite obtener **grandes cantidades de energía** al final de la respiración celular.

  • Gracias a ello, la vida pudo evolucionar hacia formas **más complejas**.

🔸 **Pero también es tóxico**

• El oxígeno tiene un **lado oscuro**: al participar en reacciones metabólicas, puede dar lugar a **radicales libres**, que son **moléculas peligrosas** para nuestras células.

🔸 **Un poco de historia evolutiva**

• Hace unos **2.000 millones de años**, unas bacterias primitivas empezaron a **producir oxígeno** mediante fotosíntesis.

• Esto transformó la atmósfera terrestre, que pasó de ser **reductora** a **oxidante**.

• Las formas de vida posteriores **tuvieron que adaptarse** al nuevo entorno rico en oxígeno.

🔸 **Conclusión de la paradoja**

• El oxígeno es vital porque nos permite producir ATP de manera eficiente.

• Pero esa eficiencia energética tiene un coste: **el riesgo constante de daño oxidativo**.

• Por eso, el organismo ha desarrollado **sistemas antioxidantes** para neutralizar estos efectos nocivos (tema que probablemente continúa después de esta hoja).

🧠 Esta dualidad es lo que se llama la **paradoja del oxígeno**: imprescindible para vivir, pero también una fuente interna de peligro.

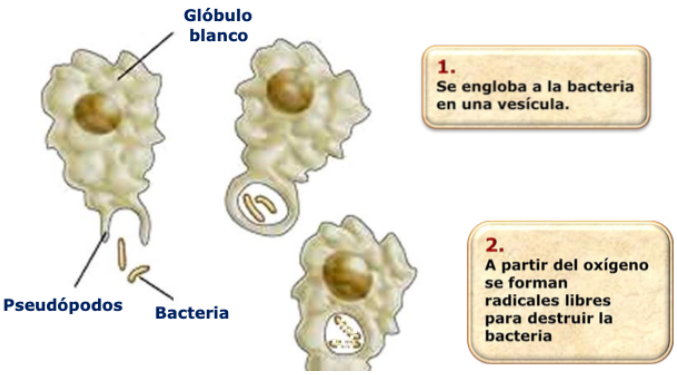
🔷 RADICALES LIBRES DE ORIGEN ENDÓGENO: CÉLULAS FAGOCÍTICAS

• Algunas **células del sistema inmunitario**, como los **glóbulos blancos fagocíticos** (neutrófilos y macrófagos), también **producen radicales libres**.

• Estas células **engloban** a bacterias o agentes patógenos (proceso llamado **fagocitosis**) formando una vesícula.

• Dentro de esa vesícula se **liberan radicales libres** para **destruir al invasor**.

• Pero **parte de esos radicales pueden escapar**, causando daño a las células vecinas.



🧠 Es una defensa natural, pero si no está bien controlada, contribuye al estrés oxidativo y al daño celular.

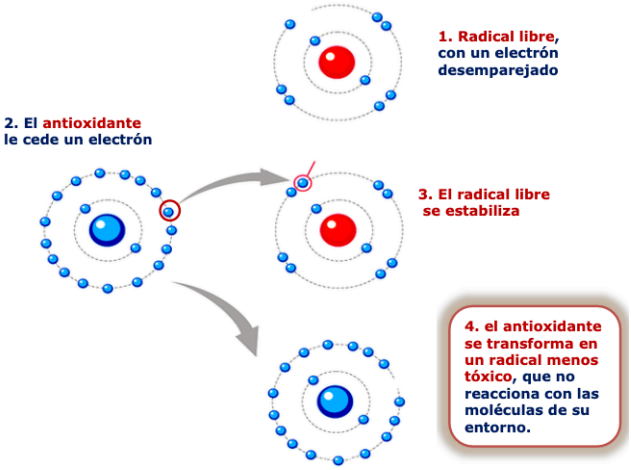
🔷 ELIMINACIÓN DE RADICALES LIBRES: ANTIOXIDANTES

Aquí empieza la parte dedicada a las **defensas antioxidantes**.

• Los **antioxidantes** son sustancias químicas que **previenen o ralentizan** la oxidación de otras moléculas.

• **Mecanismo de acción**:

1. Un **radical libre** tiene un electrón desemparejado.
2. El **antioxidante** le cede un electrón.
3. El radical se estabiliza.
4. El antioxidante se transforma en un **radical menos tóxico**, que **no reacciona** con otras moléculas.



🔧 Es como si el antioxidante apagara un fuego pequeño antes de que se convierta en incendio.

🔷 ESTRÉS OXIDATIVO

• El equilibrio es clave: nuestro cuerpo genera radicales libres y tiene antioxidantes para neutralizarlos.

• Cuando **la producción de radicales supera la capacidad del sistema antioxidante**, se produce **estrés oxidativo**.

⚖️ Salud = producción y eliminación en equilibrio.
❌ Enfermedad = más producción que eliminación.

El estrés oxidativo es el responsable del envejecimiento celular y muchas enfermedades crónicas.

🔹 PROCESOS ASOCIADOS AL DAÑO OXIDATIVO: ENVEJECIMIENTO DE LA PIEL

• Con el paso del tiempo, las **defensas antioxidantes del cuerpo** pierden eficacia.
• Esto permite que los radicales libres **dañen proteínas estructurales** como el colágeno o la elastina de la piel.
• Resultado: **envejecimiento cutáneo**, pérdida de elasticidad y aparición de arrugas. Por lo que a medida que aumenta la **concentración de radicales libres**, se **acelera ese envejecimiento celular**.



• Esto afecta a **todo el organismo**, no solo a la piel: órganos, tejidos, sistema nervioso…

🔸 Pero realmente ¿Qué ocurre con la edad?

A medida que envejecemos:
1. **Nuestras células producen menos antioxidantes** de manera natural.
2. Las enzimas antioxidantes (como la superóxido dismutasa, la catalasa o la glutatión peroxidasa) **pierden eficacia**.
3. Esto significa que **los radicales libres se eliminan más lentamente** o incluso **se acumulan**.

🔸 ¿Qué hacen los radicales libres en la piel?

Los radicales libres atacan y dañan estructuras importantes de la piel:
• **Colágeno**: proteína que da firmeza y elasticidad a la piel. Si se oxida, pierde su capacidad de sostén → aparecen arrugas.
• **Elastina**: da flexibilidad. Al oxidarse, se degrada y la piel se vuelve flácida.
• **Membranas celulares**: se vuelven más permeables o se rompen → envejecimiento celular.
• **ADN celular**: puede sufrir mutaciones, lo que acelera el envejecimiento e incluso favorece el desarrollo de cáncer cutáneo.

🔸 Resultado final:

• **Arrugas** y líneas de expresión más marcadas.
• **Pérdida de firmeza y elasticidad**.
• **Manchas y coloración desigual**.
• **Piel más seca, fina y frágil**.

Este proceso se puede **acelerar** si hay:
• Mucha **exposición al sol** (radiación UV genera radicales libres).
• **Contaminación ambiental**.
• Mala alimentación o falta de antioxidantes en la dieta.

🧠 Por eso es tan importante protegerse del sol, mantener una dieta rica en antioxidantes y llevar hábitos de vida saludables.

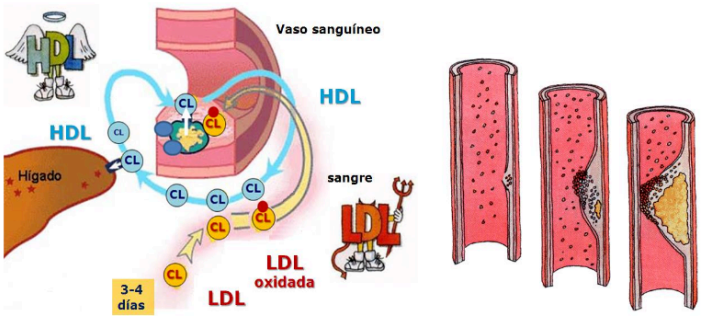
🔹 PROCESOS ASOCIADOS AL DAÑO OXIDATIVO: ATEROSCLEROSIS

Es una **enfermedad cardiovascular crónica** en la que las **arterias se van estrechando** y endureciendo por acumulación de sustancias, como colesterol y lípidos, en sus paredes.
• Los radicales libres oxidan el colesterol LDL (“malo”), que luego se deposita en las paredes arteriales.

• Esto forma placas que **estrechan o bloquean las arterias**, aumentando el riesgo de infarto o ictus.

🔸 **¿Qué papel juegan los radicales libres?**

1. En el torrente sanguíneo circula una lipoproteína llamada **LDL** (colesterol "malo").
2. Los **radicales libres oxidan** estas partículas de LDL.
3. El LDL oxidado es **reconocido por el sistema inmunitario como una amenaza** y es fagocitado por los macrófagos.
4. Estos macrófagos **se transforman en células espumosas** y se acumulan en las paredes de las arterias.
5. Con el tiempo, se forma una **placa de ateroma** que reduce o bloquea el flujo sanguíneo.



🔸 **Consecuencias:**

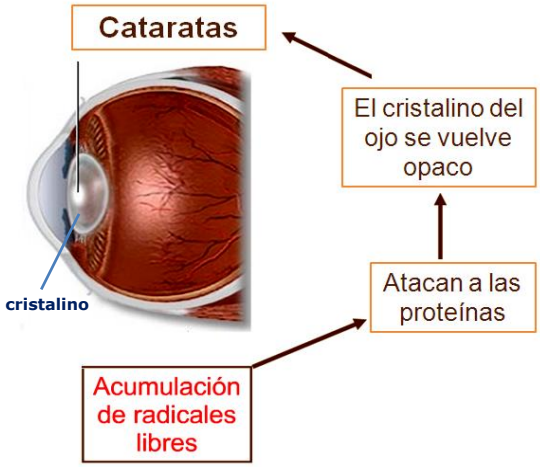
- Si la obstrucción ocurre en arterias coronarias → **infarto de miocardio**
- Si ocurre en arterias cerebrales → **ictus o embolia cerebral**
- Si ocurre en extremidades → **enfermedad arterial periférica**

🧠 Los radicales libres actúan como un "disparador" del daño arterial. Cuanto más LDL oxidado, mayor es el riesgo de sufrir una enfermedad cardiovascular.

🔹 PROCESOS ASOCIADOS AL DAÑO OXIDATIVO: CATARATA SENIL

¿Qué es una catarata?

- Es una **opacidad del cristalino**, la lente natural del ojo que enfoca la luz sobre la retina.
- En condiciones normales, el cristalino es **transparente**.
- Con el tiempo, o por factores externos, puede volverse **turbio**.



🔸 **¿Qué provoca las cataratas por daño oxidativo?**

1. En el ojo, los **radicales libres** generados por la **radiación ultravioleta (UV)**, la contaminación y el metabolismo oxidan:
   - **Proteínas del cristalino** (cristalinas), que se desnaturalizan y se agregan.
   - **Lípidos de membrana**, afectando la nutrición celular del cristalino.
2. Esto reduce la transparencia del cristalino y da lugar a la formación de cataratas.

🔸 **Consecuencias:**

- Visión borrosa, apagada o con deslumbramientos.
- Sensación de ver a través de una cortina o cristal empañado.
- En fases avanzadas, **pérdida casi total de visión** si no se trata quirúrgicamente.

🔸 **Factores que aumentan el riesgo:**

- Edad avanzada.

• **Exposición solar crónica sin protección ocular**.
• Deficiencia de **antioxidantes** en la dieta.
• Diabetes, tabaquismo, hipertensión.

🧠 En este caso, también es conveniente mantener una dieta rica en antioxidantes y proteger los ojos del sol **para ayudar a retrasar su aparición**.

🔷 **TIPOS DE ANTIOXIDANTES**

Hay dos grandes tipos:

1. **Endógenos**: los fabrica el propio organismo.
2. **Exógenos**: dependen de la alimentación, se consumen y se deben reponer. Incluyen:
   • **Vitaminas**: A, C y E
   • **Minerales**: Selenio, Magnesio, Manganeso y Zinc
   • **Fitoquímicos** (de origen vegetal):
   • Antocianinas
   • Indoles/Tioles
   • Catequinas
   • Isoflavonas

🍇🫐 Estos compuestos están en frutas, verduras, legumbres y té verde, y tienen **efecto protector antioxidante**.

🔷 **CAROTENOS Y VITAMINA A**

• Los **carotenos** son **pigmentos vegetales** de color amarillo-anaranjado o rojizo.
• El **beta-caroteno** es el más abundante e importante en la dieta, y en el cuerpo se transforma en **vitamina A** que es un potente antioxidante.

🔶 **¿Cómo actúan?**

• Neutralizan **radicales libres del oxígeno**, especialmente en la **piel**.
• Se **acumulan en las membranas celulares**, protegiéndolas de la **radiación solar** y el **fotoenvejecimiento**.

🔶 **Alimentos ricos:**

• Beta-caroteno: zanahorias, tomates, pimientos, brécol, espinacas.
• Vitamina A preformada: huevos, lácteos, hígado.

🧠 La cocción rompe las paredes celulares de los vegetales y **mejora la absorción del caroteno**, como se explica en la hoja siguiente.

🔷 **CONSUMO RECOMENDADO DE CAROTENOS Y VITAMINA A**

• Un consumo diario de **0,6 a 1 mg** de carotenos **reduce el riesgo** de enfermedades asociadas a radicales libres.
• Se **absorbe mejor** si los alimentos están cocinados. Ejemplo:
• 100 g de zanahoria cruda → 0,9 mg de caroteno absorbible
• 100 g de zanahoria cocida → 1,2 mg (las paredes celulares se rompen y liberan más caroteno)
• El **exceso de carotenos (suplementos)** puede teñir la piel de color **naranja**, por depósito en membranas celulares (no es tóxico, pero sí llamativo).

🔷 **VITAMINA C**

Características:

• Es un **antioxidante hidrosoluble**, es decir, se disuelve en agua (no en grasa).
• Actúa en la **sangre (plasma)**, neutralizando radicales antes de que lleguen a las células.

• También **regenera la vitamina E** oxidada.

🔶 **Funciones:**
• Formación de **colágeno** (para ligamentos, huesos, tendones).
• Refuerza el sistema inmunitario.
• Evita enfermedades carenciales como el **escorbuto**.

🔶 **Fuentes:**
• Frutas: limón, naranja, kiwi, piña.
• Verduras: tomate, brécol, pimiento, patata.

🔶 **Dosis recomendada:**
• **90 mg/día** para adultos.
• **125 mg/día para fumadores**, ya que sufren más estrés oxidativo.

⚠️ La vitamina C **se destruye con el calor, el aire y el tiempo**.

🔷 VITAMINA C Y EL RESFRIADO

• En los años 60, **Linus Pauling** afirmó que la vitamina C podía **curar el resfriado común**.
• Estudios rigurosos posteriores demostraron que:
  • **No previene** el resfriado común en general.
  • **Una excepción** puede ser en los resfriados que se pueden desarrollar después de ejercicios de resistencia en condiciones extremas (maratones, esquí, etc.) En esos casos puede r**educir ligeramente los síntomas** y acorta **un poco** su duración.



🔷 VITAMINA E

• Es **liposoluble** y se encuentra en las **membranas celulares**.
• Funciones:
  • **Antioxidante** que protege las membranas.
  • **Previene la oxidación del colesterol LDL**, protegiendo frente a **aterosclerosis**.
  • Protege la **vitamina A**.
  • Se añade a alimentos grasos para que no se enrancien.
• Fuentes: aceites vegetales (oliva, girasol, soja), semillas, frutos secos (almendras, nueces).
• Dosis recomendada: **15 mg/día**.
• Se **destruye con el calor**.

🔷 MINERALES CON FUNCIÓN ANTIOXIDANTE

Estos minerales no neutralizan radicales por sí mismos, pero:
• Son **cofactores esenciales** de **enzimas antioxidantes** que sí lo hacen.

Los principales minerales son:
• **Selenio**: pipas de girasol, carne, pescado, ajo.
• **Magnesio**: frutos secos, cereales, legumbres.
• **Manganeso**: frutos secos, cereales integrales, legumbres, yema de huevo, verduras de hoja verde.
• **Zinc**: mariscos (sobre todo ostras), carne magra, leche, queso, cereales, frutos secos.

🔷 FITOQUÍMICOS

• Son **sustancias naturales presentes en las plantas**, no esenciales, pero si **beneficiosas**.
• Participan en:

• Crecimiento de la planta
• Defensa frente a patógenos
• En el ser humano:
• Ayudan a **reducir el estrés oxidativo**
• Pueden tener **efectos protectores** frente a enfermedades

Antocianinas	Están ligadas al color morado de arándanos, moras negras, lombarda, granadas, fresas, uva.
Indoles /Tioles	Ricos en AZUFRE. Favorecen la producción de enzimas antioxidantes internas
Catequinas	Presentes en el te verde
Isoflavonas	Presentes en la soja y preparados

🔷 CÓMO AYUDAR A LAS DEFENSAS ANTIOXIDANTES (HÁBITOS SALUDABLES)

✓ **Qué hacer**:

• Comer a diario frutas y verduras **frescas, variadas y de distintos colores**.
• Usar **aceite de oliva virgen extra**.
• **Cocinar con mesura**, evitando frituras agresivas.
• Hacer ejercicio físico, **pero moderado y constante**.
• Consumir (con moderación) **té, café, chocolate negro y vino tinto** por sus fitoquímicos beneficiosos

❌ **Qué evitar**:

• Inhalación de productos químicos (productos de limpieza, humo de coches, tabaco).
• **Exposición excesiva al sol** sin protección.
• Alimentos cocinados con **aceites sobrecalentados o reutilizados**.
• Consumo frecuente de **barbacoas**.
• Ejercicio físico **repentino y extenuante,** sobre todo sin preparación.
• Situaciones prolongadas de **estrés**.

🔷 ¿MÁS ANTIOXIDANTES ES SIEMPRE MEJOR?

No. Dos y dos no siempre son cuatro.

• Dentro de un alimento hay **interacciones complejas** entre antioxidantes y otros componentes que **potencian su efecto** (esto es lo recomendable).
• En cambio, los antioxidantes **aislados en suplementos** pueden ser:
• **Menos eficaces**
• Incluso **dañinos** si se toman en exceso, ya que pueden **volverse pro-oxidantes** y favorecer la aparición de radicales libres.



🧠 Por lo tanto: es mejor antioxidantes **en los alimentos naturales** que en cápsulas o pastillas.

RESUMEN DEL TEMA:

1. Radicales libres: qué son	Moléculas inestables con electrones desapareados; reaccionan agresivamente buscando estabilizarse.
2. Fuentes de radicales libres	Exógenas: radiación, tabaco, contaminación. Endógenas: metabolismo celular, mitocondria, fagocitos.
3. Daños celulares causados	Afectan lípidos (membranas), proteínas (estructura y función) y ADN (mutaciones, muerte celular).
4. Estrés oxidativo	Ocurre cuando se producen más radicales de los que se pueden neutralizar; provoca envejecimiento y enfermedades.
5. Enfermedades relacionadas	Envejecimiento cutáneo, aterosclerosis (oxidación de LDL), cataratas (opacidad del cristalino).
6. Defensas antioxidantes: tipos	Endógenos (enzimas) y exógenos (vitaminas, minerales, fitoquímicos); impiden o frenan el daño oxidativo.
7. Antioxidantes específicos: carotenos y vitamina A	Pigmentos vegetales. El beta-caroteno se convierte en vitamina A. Protege piel y neutraliza radicales.
8. Vitamina C	Hidrosoluble. Neutraliza radicales en plasma, regenera vitamina E, fortalece colágeno. Se destruye con calor.
9. Vitamina E	Liposoluble. Protege membranas y vitamina A. Evita oxidación del colesterol LDL. Está en aceites y frutos secos.
10. Minerales antioxidantes	Cofactores de enzimas antioxidantes. Selenio, magnesio, zinc, manganeso. Están en semillas, legumbres, marisco.
11. Fitoquímicos	Compuestos vegetales esenciales. pero beneficiosos. Están en frutas, verduras, té, vino, etc.
12. Hábitos saludables	Frutas, verduras, aceite de oliva, ejercicio moderado, evitar calor extremo al cocinar, tomar té o vino con moderación.
13. Riesgos y advertencias	Evitar suplementos en exceso, tabaco, radiación solar excesiva, frituras agresivas. Exceso de antioxidantes puede ser dañino.