

## TREBALL DE RECERCA

Què ens diuen els colors de  
les fruites i les verdures ?



### AGRAÏMENTS

En primer lloc voldria donar les gràcies, a la meva tutora pel temps que ha dedicat, el suport i la motivació que han aconseguit que el treball sigui una realitat.

D'altra banda també vull donar les gràcies a la meva professora de física per l'ajut durant tot el procés de pràctiques de laboratori i als professors del departament de Biologia pels consells i contribucions que han aportat al meu treball.

Per últim, m'agradaria agrair a la meva família la seva companyia, ja que han estat recolzant-me en tot moment, i molt especialment, als meus pares, per ser-hi sempre.

# Índex

|   |    |
|---|----|
| Índex .....   | 1  |
| 1. Introducció: La química, la nostra vida, el nostre futur ..... | 3  |
| 2. Antioxidants .....   | 5  |
| 2.1 Què són? .....  | 5  |
| 2.2 Radicals lliures.....   | 6  |
| 2.3 Oxidació dels radicals lliures .....                          | 8  |
| 2.4. Són tot avantatges?.....                                     | 10 |
| 2.5 Classificació.....  | 14 |
| 2.5.1 Exògens: plantes com a font d'antioxidants .....            | 15 |
| 2.5.2 Endògens: sistemes antioxidants .....                       | 20 |
| 2.5.2.1 Preventiu: sistemes enzimàtics amb capacitat antioxidant  | 21 |
| 2.5.2.2 Bloquejant: antioxidants amb caràcter no enzimàtics ..... | 23 |
| 3. El color dels vegetals.....                                    | 25 |
| 3.1 Color verd .....  | 27 |
| 3.1.1 Laboratori .....  | 29 |
| 3.2 Color taronja/ groc .....                                     | 34 |
| 3.3 Color blanc.....  | 36 |
| 3.4 Color vermell-blau-violeta .....                              | 37 |
| 3.4.1 Laboratori .....  | 41 |
| 4. Conclusions .....  | 45 |
| 5. Bibliografia .....   | 48 |

# 1. Introducció: La química, la nostra vida, el nostre futur

Avui en dia la química té molta presència en les nostres vides i en el nostre benestar i a vegades no ens pensem a pensar realment en la seva influència i en el paper que ha tingut al llarg dels anys. En aquest treball vull intentar demostrar la importància que té la química relacionant-la amb una cosa tan quotidiana com és l'alimentació, en concret les fruites i les verdures.

El cos humà per funcionar necessita una certa quantitat d'energia que prové bàsicament dels aliments que ingerim. Analitzar aquests aliments consisteix en identificar quins nutrients i "no nutrients" contenen, i així saber els efectes que aquests tenen sobre el cos humà. En aquest context podem situar aquest treball de recerca, que pretén fer un estudi sobre el significat del color de les fruites i verdures.

La idea d'aquest treball va sorgir arrel d'un article que vaig llegir sobre els antioxidants i el càncer que em va semblar molt interessant. A partir d'aquest, em vaig adonar que tot i que contínuament sentim parlar dels antioxidants als mitjans de comunicació, realment no sabia què eren. Així doncs, vaig decidir informarme, i em va semblar un tema viable i d'actualitat per fer el meu treball de recerca. El fet de triar el departament de química per dur a terme el meu treball, va suposar que no pogués centrar-lo en el càncer, i em va fer decidir que parlaria d'antioxidants naturals, és a dir, els que trobem diàriament a la nostra dieta. Cercant informació, em vaig assabentar que els fruits que més antioxidants contenen són els fruits vermells, i així va sorgir la meua pregunta: Què ens diuen les fruites i els vegetals segons el seu color?

Així doncs, el treball que presentaré a continuació consta de dues parts: la primera amb caràcter teòric, té l'objectiu d'explicar què entenem pel terme antioxidant i estudiar quins compostos químics donen aquesta capacitat antioxidant a les fruites i verdures. A més identificaré els compostos químics que provoquen que els fruits i els vegetals tinguin determinats colors, i estudiaré els efectes que aquests compostos produeixen en el cos humà quan s'ingereixen

com a aliments. A més, em centraré en les antocianines, un tipus d'antioxidant que aporten el color blau/ vermell a les fruites.

Això donarà pas a la segona part, que fa referència a les pràctiques realitzades experimentalment al laboratori, on faré dues pràctiques que tindran com a objectiu estudiar els diferents pigments fotosintètics que es troben en algunes fulles de vegetals.

## 2. Antioxidants

Després de parlar de les diferents característiques saludables que els vegetals ens aporten segons els seus colors, ens centrarem en els últims que hem esmentat, és a dir, els de color blau/violeta ja que són els que tenen més poder antioxidant, gràcies a les antocianines, de les quals parlarem més endavant. Parlarem dels antioxidants que ens aporten aquests vegetals, què són, on es troben, quins tipus hi ha... Aquest apartat ens serà útil ja que ens donarà la informació necessària per donar pas a parlar de les antocianines i, per tant, a dur a terme la part pràctica al laboratori.

Sovint sentim parlar dels antioxidants a les revistes de moda, a la televisió, a la ràdio, fins i tot si vas al supermercat te'n adonés que hi ha molts i molts productes que duen una etiqueta que ens diu que també té propietats antioxidants. Però realment sabem què són?

### 2.1 Què són?

Ens referim als antioxidants quan parlem d'un grup de vitamines, minerals, colorants naturals, altres compostos de vegetals i enzims, que bloquegen l'efecte perjudicial dels denominats radicals lliures, alliberant electrons en la nostra sang, que són captats pels radicals lliures convertint-se en molècules inestables. La majoria d'aquests es troben en aliments vegetals, per això és necessari i beneficiós incloure en la nostra dieta fruites, llegums, verdures i hortalisses o cereals integrals.

S'usen com a estabilitzadors de polímers i derivats petroquímics, aliments, cosmètics i productes de farmàcia i para-farmàcia. Una de les seves aplicacions més conegudes però, és la protecció dels organismes vius. Controlant la reacció d'oxidació, els antioxidants protegeixen el cos humà de diferents patologies associades a l'atac de radicals lliures (càncer, Alzheimer, Parkinson, malalties cardiovasculars,...).

Algunes de les propietats més rellevants i significatives dels antioxidants estan relacionades amb tot tipus de malalties:

- Actuen com a inhibidors i supressors dels enzims que activen els agents carcinògens. També ho fan com a antitumorals, protegint la supervivència del DNA del dany oxidatiu, i impedit la modificació, i per tant, la mutació de les bases nitrogenades, que acabarien desencadenant l'aparició d'un càncer.
- Neutralitzen l'acció dels radicals lliures que provoquen l'estrès oxidatiu, convertint aquests en substàncies menys agressives abans que puguin reaccionar amb molècules sanes de l'organisme i ocasionar greus conseqüències en la vida cel·lular.
- Activen els processos metabòlics de detoxificació de drogues, toxines, i altres substàncies perjudicials.
- Augmenten la immunitat, és a dir, la capacitat del sistema immunitari del nostre organisme per fer front a l'atac de les cèl·lules tumorals, i evitar-ne o retardar-ne la seva expansió.
- Redueixen els efectes secundaris que produeix el tractament quimioterapèutic d'aquesta malaltia, fent referència a l'alleugeriment del dolor, per tal de contrastar-lo.
- Disminueixen el risc de patir malalties cardiovasculars

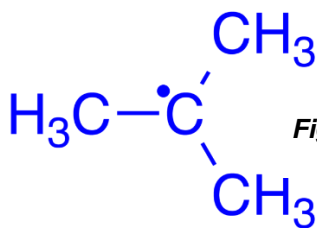
## 2.2 Radicals lliures

Els **radicals lliures** son àtoms o grups d'àtoms que tenen un o més electrons desparellats amb capacitat d'aparellar-se, per la qual cosa solen ser extremadament inestables químicament i són molt reactius. Tenen una càrrega electrònica variable (poder ser neutres, electropositius o electronegatius) Aquests radicals recorren el nostre organisme intentant robar un electró de les molècules estables, per tal d'assolir la seva estabilitat electroquímica. Una vegada que el radical lliure ha aconseguit robar l'electró que necessitava per aparellar el seu electró lliure, la molècula estable que l'hi cedeix, es converteix immediatament en un radical lliure, ja que s'ha quedat amb un electró desparellat, iniciant-se així una reacció en cadena que destrueix les nostres cèl·lules.

La vida biològica mitjana del radical lliure és de microsegons (en general, com més simple és la seva estructura molecular, més breu és la vida del radical lliure), però té la capacitat de reaccionar amb tot el que estigui al seu voltant provocant un gran mal a les molècules i les membranes cel·lulars.

| TAULA 1. Radicals lliures oxigenats més comuns en els organismes vius |                      |                        |
|---|----------------------|------------------------|
| Espècie   | Nom comú             | Vida mitjana (a 37 °C) |
| HO <sup>•</sup>   | Radical hidroxil     | 1 nanosegon            |
| HOO <sup>•</sup>  | Radical hidroperoxil | inestable              |
| O <sub>2</sub> <sup>•-</sup>  | Anió superòxid       | enzimàtic              |
| RO <sup>•</sup>   | Radical alcoxil      | 1 microsegon           |
| ROO   | Radical peroxil      | 7 segons               |
| NO <sup>•</sup>   | Òxid nítric          | 5 segons               |
| <sup>1</sup> O <sub>2</sub>   | Singlet d'oxigen     | 1 microsegon           |

**Taula 1.** Radicals lliures oxigenats més comuns en els organismes vius



**Figura1.** Radical tert-butil

El nostre cos fabrica antioxidants en quantitats moderades per lluitar contra bacteris i virus. Les reaccions químiques dels radicals lliures es donen contínuament a les cèl·lules del nostre cos i són necessàries per la salut, perquè aporten efectes beneficiosos com intervenir en funcions cel·lulars fisiològiques i són totalment necessaris per al normal funcionament de molts dels processos biològics ( com l'acció catalítica d'alguns enzims intracel·lulars o realitzar la fagocitosi) que es duen a terme en el cos humà.

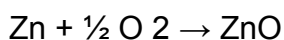


Però el procés que aquests duen a terme a les nostres cèl·lules, s'ha de controlar amb una protecció antioxidant perquè, tot i que no són essencialment dolents, aporten alguns efectes negatius al nostre organisme, com per exemple: l'aparició de càncer, trastorns cardíacs, problemes al sistema immunològic i al sistema nerviós, artritis, problemes de visió com les cataractes i moltes altres malalties degeneratives. A més, tot i que el nostre cos, en concret la nostra activitat metabòlica, ja genera radicals lliures, hi ha factors externs que hauríem d'evitar per tal de no obtenir-ne més de l'exterior. Per exemple: el tabac, l'excés de begudes alcohòliques, la contaminació ambiental, les radiacions ultraviolades, una dieta rica en grasses saturades o una dieta baixa en antioxidants.

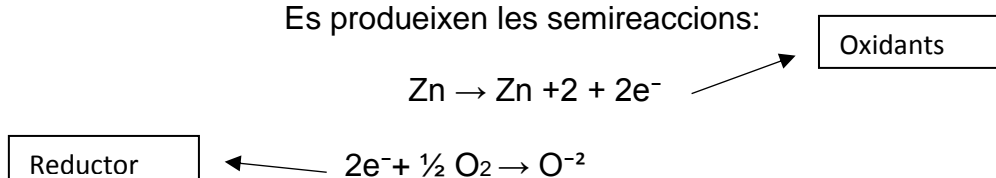
## 2.3 Oxidació dels radicals lliures

L'oxidació és un procés natural que succeeix al nostre voltant contínuament. Es tracta d'una reacció química en què es realitza una transferència d'electrons d'una substància a un agent oxidant. Quan un àtom o ió s'oxida, perd electrons, actua com a agent reductor, és oxidat per un agent oxidant i augmenta el seu nombre d'oxidació (ex: El Fe (II) pot ser oxidat a Fe (III)). L'oxigen és el millor oxidant que existeix degut a què la molècula és poc reactiva (a causa del doble enllaç), però ,tot i així, és un element molt electronegatiu.

El nom d'oxidació prové del fet què en la majoria de les reaccions, la transferència d'electrons es produeix mitjançant l'adquisició d'oxigen (cessió d'electrons) o viceversa.



Es produeixen les semireaccions:

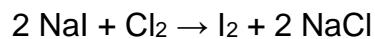


En general un oxidant és qualsevol substància que guanya electrons i un reductor és qualsevol substància que dona electrons. Un oxidant provoca l'oxidació i un reductor provoca la reducció d'un àtom, ió o compost. Un àtom tan

sols pot perdre electrons (oxidació) si hi ha un àtom que els accepta (reducció)  
Per aquest motiu les dues substàncies formen les anomenades reaccions redox.

Les reaccions redox comporten, per tant, la transferència d'electrons d'una molècula a l'altra..

No obstant, l'oxidació i la reducció poden donar-se sense que hi hagi intercanvi d'oxigen. Per exemple, l'oxidació de iodur de sodi a iode mitjançant la reducció de clor a clorur de sodi:

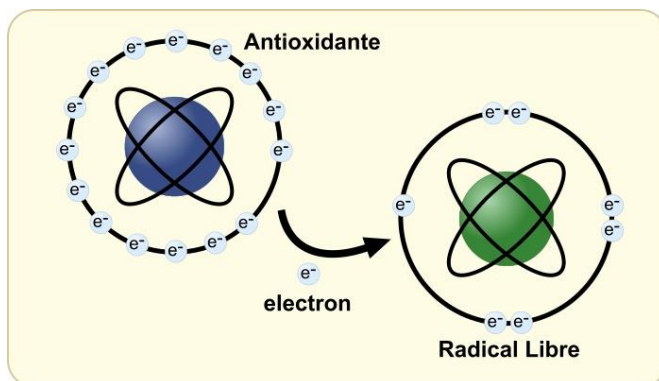


On l'ió iodur,  $\text{I}^-$ , és el reductor i el clor,  $\text{Cl}_2$ , és l'oxidant.

La presència de l'oxigen en la nostra respiració és essencial en la vida cel·lular del nostre organisme, però com a conseqüència es produeixen unes molècules anomenades radicals lliures que ocasionen al llarg de la vida efectes negatius per la salut, degut a la seva capacitat per alterar l'ADN, proteïnes, lípids o greixos.

Amb els anys, els radicals lliures poden produir una alteració genètica sobre les cèl·lules del nostre cos que es renoven contínuament (de la pell, de l'intestí...), augmentant així el risc de patir càncer, i reduir la funcionalitat d'aquelles cèl·lules que no es renoven (les del fetge, les neurones...), característica de l'envelliment.

Alguns hàbits tan comuns, com podrien ser practicar exercici físic intens, fumar, fer dietes amb alt contingut en greixos, la sobreexposició a les radiacions solars i la contaminació ambiental, augmenten la producció de radicals lliures.



**Figura 2.** Neutralització d'un radical lliure.

## 2.4. Són tot avantatges?

L'avantatge principal dels antioxidants és que evita la oxidació, però això no sempre és un pro, ja que l'oxidació té tant efectes positius com negatius.

### ➤ Efectes Positius

L'oxidació és un procés químic necessari per l'organisme ja que va acompanyada d'una obtenció d'energia imprescindible per la vida. Aquesta fase degradativa del metabolisme amb l'obtenció d'obtenir energia s'anomena catabolisme. Generalment els electrons que es perden en l'oxidació van acompanyats de protons i això comporta deshidrogenacions.

En el catabolisme les molècules orgàniques són transformades en altres més senzilles que han d'intervenir en altres reaccions metabòliques fins a transformar-se en els productes finals del catabolisme, que generalment són expulsats de la cèl·lula, els anomenats productes d'excreció ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , urea,...).

L'energia alliberada en el metabolisme s'emmagatzema en els enllaços rics d'energia de l'ATP i, posteriorment, es podrà utilitzar per a reaccions de síntesis orgàniques o per dur a terme activitats cel·lulars.

El catabolisme és semblant en els organismes autòtrofs i en els heteròtrofs.

Les reaccions del catabolisme són reaccions d'oxidació (pèrdua d'electrons). Atès que la matèria que experimenta el catabolisme és matèria orgànica, constituïda bàsicament per carboni i hidrogen, la manera d'oxidar-se és per:

- a) Deshidrogenació: Una molècula s'oxida quan perd àtoms d'hidrogen,
- b) Oxigenació: Una molècula s'oxida quan s'uneix a àtoms d'oxigen.

.Els àtoms d'hidrogen despresos en els processos d'oxidació-reducció seran captats per unes molècules transportadores d'hidrogen, com són:

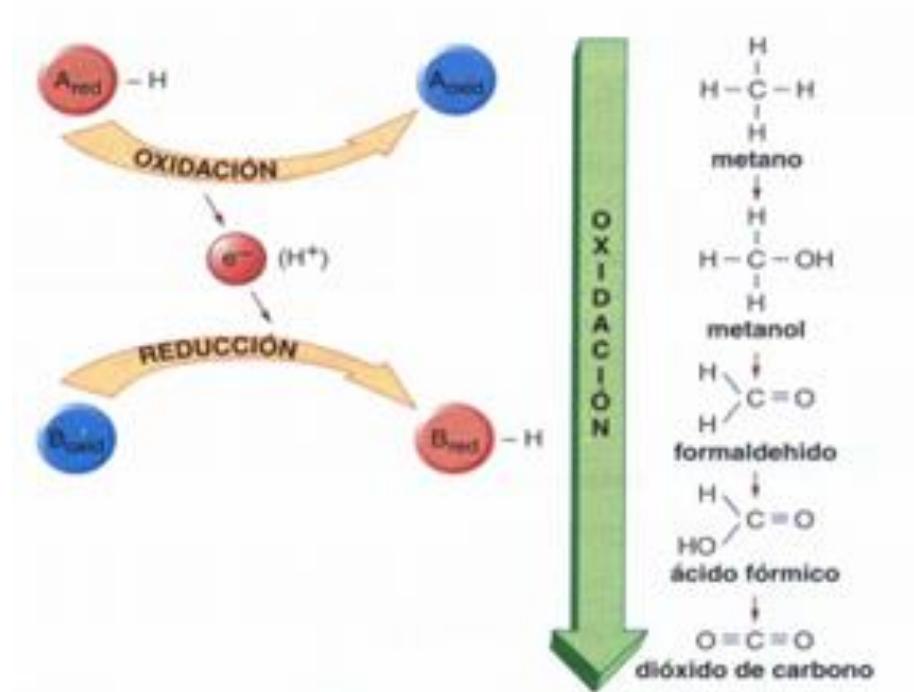
- $\text{NAD}^+$  (nicotinamida "adenina" dinucleòtid)
- $\text{NADP}^+$  (nicotinamida "adenina" dinucleòtid fosfat)
- $\text{FAD}$  (flavina "edenina" dinucleòtid)

Segons la naturalesa de la substància que es redueix, es a dir, que accepta els hidrogen, es distingiexen dos tipus de catabolisme:

a) Respiració: la molècula que es redueix és un compost inorgànic, que pot ser :

- Respiració aeròbica:  $O_2$
- Respiració anaeròbia:  $NO_3$ ,  $SO_4^{2-}$ ,...

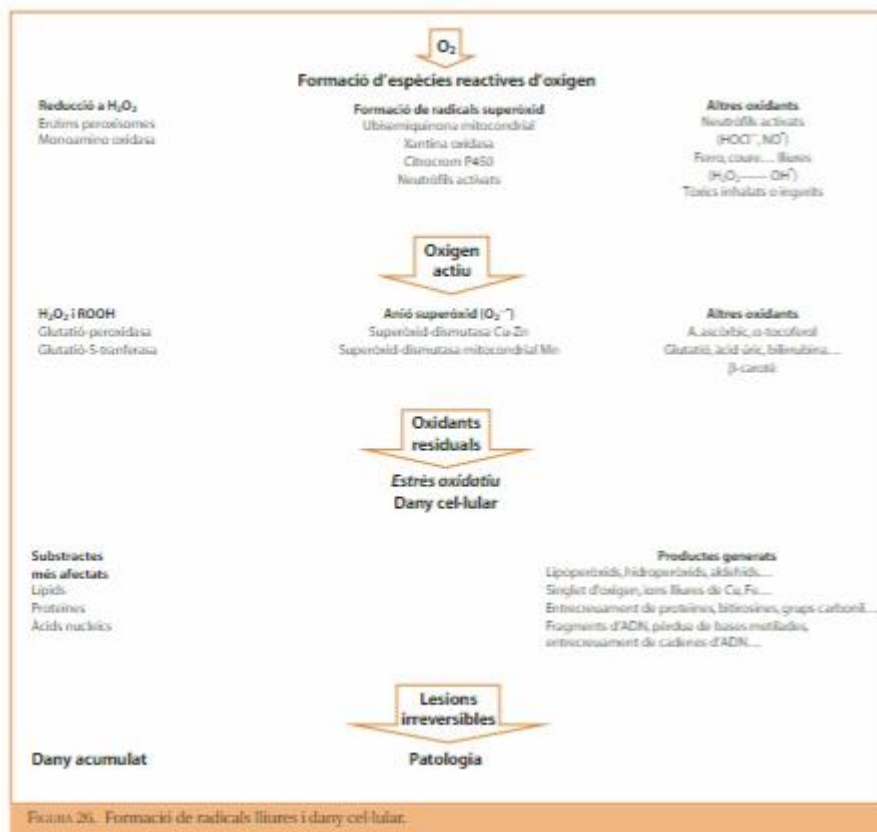
b) Fermentació: la molècula que es redueix és sempre orgànica.



**Figura 3:** Procés d'oxidació i reducció

➤ **Efectes negatius:**

Tot i que l'oxigen és essencial per als organismes vius, la generació d'espècies reactives de l'oxigen (ROS) i radicals lliures (RL) és inevitable en el metabolisme aeròbic. Aquestes espècies oxidants provoquen danys acumulatius en molècules fonamentals per al funcionament de l'organisme, tals com proteïnes, lípids i l'ADN



**Figura 4:** Formació de radicals lliures i dany cel·lular.

No obstant, l'organisme té els seus propis mecanismes de defensa per a fer front a l'acció de les espècies oxidants. En determinades situacions, les defenses antioxidants poden veure's desbordades per l'excessiva generació de ROS. Aquest desequilibri entre espècies oxidants i antioxidants es coneix com estrès oxidatiu, el qual està associat a nombroses malalties i al procés normal d'envelliment .

En els processos d'estrès oxidatiu, la producció d'espècies que reaccionen amb les defenses antioxidants del nostre sistema produeix alteracions moleculars que

afecten tot tipus de molècules biològiques: els ROS reaccionen químicament amb lípids, proteïnes, carbohidrats i àcids nucleics. L'oxidació de les proteïnes és el punt més estudiat, ja que s'ha trobat la base de diverses malalties. El dany proteic que es dona en situacions d'estrès oxidatiu pot ser fruit d'una oxidació directa dels ROS sobre les proteïnes, o bé per l'adducció de productes secundaris d'oxidació de sucres (glicoxidació) o d'àcids grassos poliinsaturats (lipoxidació). L'estrès oxidatiu s'ha relacionat, a part de la mort cel·lular degut a l'envelliment, amb diverses malalties com l'aterosclerosi, càncer, cataractes, artritis, diabetis, malalties neurodegeneratives,... Pel que fa a aquest últim grup, actualment hi ha una gran tendència a implicar l'estrès oxidatiu en malalties com l'Alzheimer i/o el Parkinson doncs està documentat que el dany oxidatiu intervé en processos d'agregació de proteïnes, desregulació del calci, mal funcionament mitocondrial, inflamació crònica, alteració de la funció antioxidant,..., trets, entre d'altres, presents en aquestes malalties.

El cervell té certes característiques que fan que sigui un òrgan especialment vulnerable enfront de l'estrès oxidatiu: consumeix un important percentatge d'oxigen (al voltant del 20% d'oxigen necessari pel manteniment de l'organisme), és un òrgan ric en àcids grassos poliinsaturats (degut a la seva estructura de dobles enllaços que fa augmentar la probabilitat de ser oxidats), presenta certa tendència a acumular ions metalls (la pèrdua d'homeòstasi del ferro i del coure va acompanyada de conseqüències neurològiques severes) i té una baixa quantitat de sistemes antioxidants.

La dieta també juga un paper important en la prevenció de malalties relacionades amb l'estrès oxidatiu, fonamentalment a través de l'aportació de compostos bioactius d'origen vegetal, entre ells, les vitamines hidrosolubles i liposolubles, carotenoides i una gran varietat de compostos fenòlics estan sent investigats en els últims anys. Moltes fruites i verdures contenen mesclades de diferents antioxidants, i les seves interaccions podrien exercir un paper important en el seu potencial antioxidant total. La ingesta de fruites i verdures poden reduir el risc de malalties cròniques com les malalties cardiovasculars i el càncer.

Així, les evidències epidemiològiques que associen el consum de vegetals i fruites amb una menor incidència de malalties cròniques, juntament amb la major preocupació dels consumidors per mantenir un bon estat de salut, està portant a

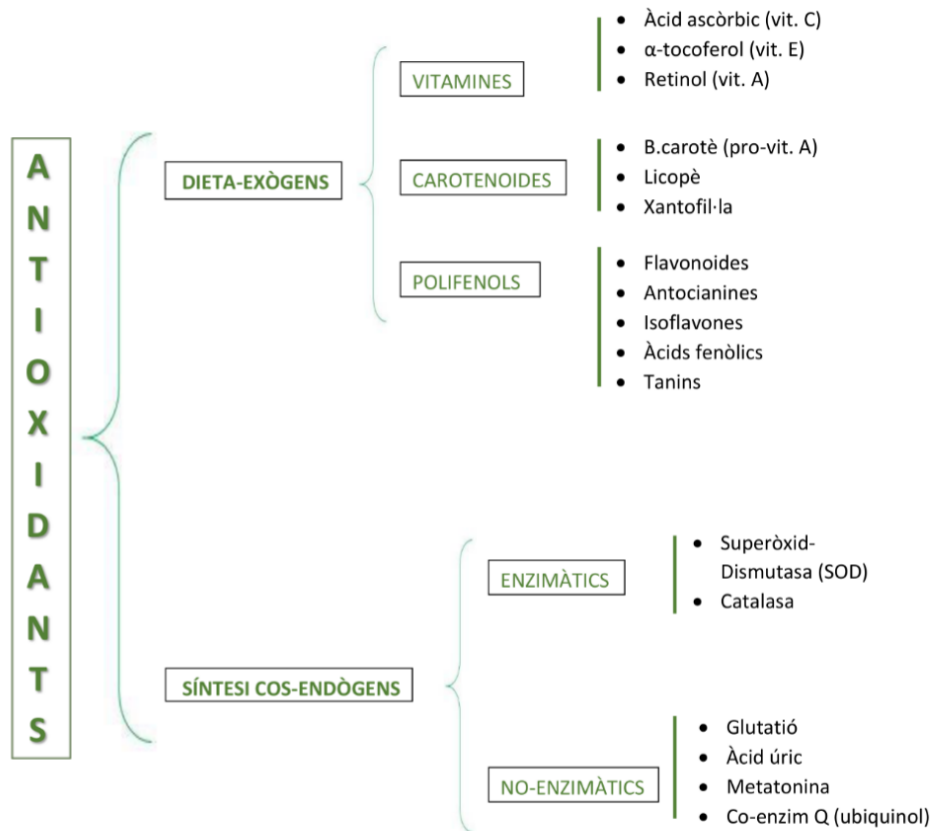
les indústries alimentàries a dissenyar aliments funcionals que suposin un consum extra d'aquests antioxidants naturals que juguen un paper distintiu en els sistemes biològics, determinats per les seves reaccions químiques, la col·locació de la membrana plasmàtica i la mobilitat dins de la membrana.

## 2.5 Classificació

Mitjançant alguns estudis realitzats en els últims anys, s'ha determinat que existeixen més de 5000 espècies diferents d'antioxidants, presents només en el aliments, principalment fruites i verdures.

Si pensem que hi ha altres compostos naturals, com plantes medicinals, herbes aromàtiques i altres vegetals desconeguts per la nostra gastronomia, que també són identificats com a tals, la classificació seria extremadament extensa. Per això esmentaré només els més bàsics, dintre dels quals estan incloses les antocianines, que donaran pas a la part pràctica del meu treball.

Existeixen diverses maneres de classificar-los, i jo ho faré a partir de l'origen del qual provenen. Així doncs, existeixen els endògens, és a dir, que són sintetitzats pel propi organisme, i exògens, és a dir, que els ingerim a través de la nostra dieta.



**Figura 5.** Esquema de la classificació dels principals grups antioxidants.

### 2.5.1 Exògens: plantes com a font d'antioxidants

Les plantes constitueixen una font molt important d'antioxidants. Les plantes absorbeixen la radiació solar i alliberen grans quantitats d'oxigen com a "subproducte" en el procés de la fotosíntesi. Durant d'aquest procés es generen quantitats considerables de radical lliures i d'espècies reactives d'oxigen (ERO), la qual cosa fa que les plantes hagin de sintetitzar centenars de compostos diferents destinats a protegir-les dels efectes nocius d'aquestes substàncies oxidants.

Tots aquests compostos mostren estructures moleculars bàsiques molt semblants entre sí, però alhora presenten una gran varietat química a causa de la necessitat d'haver d'adaptar-se a diferents circumstàncies i d'haver de protegir les plantes de l'acció dels radicals lliures. La major part d'aquests antioxidants presenten en comú un anell fenòlic capaç de neutralitzar un radical lliure per mitjà



de la cessió d'un àtom d'hidrogen. En aquesta transferència, el grup fenòlic (el donant), es converteix en un radical lliure per bé que dotat d'una mínima o nul·la reactivitat química a causa de l'estabilització de l'anell fenòlic per un procés de ressonància interna.

L'estabilitat del radical fenoxil s'incrementa amb la presència de diferents grups químics com passa en el cas dels antioxidants comercials butilhidroxitoluè (BHT) o butilhidroxianisol (BHA).

Així doncs, podem observar que hi ha una gran varietat d'antioxidants que contenen grups fenòlics, com els flavonoides o èsters d'àcid gàl·lic, com les flavones, les antocianines, els tocoferols...Tots aquests compostos conformen un ampli espectre amb capacitat antioxidant que confereix a les plantes la capacitat de defensar-se de l'atac dels radicals lliures.

Parlarem de la capacitat antioxidant d'alguns compostos com la vitamina E (els tocoferols) o la vitamina C (l'àcid ascòrbic) i més endavant parlarem dels carotenoides i les antocianines.

## **Vitamina E**

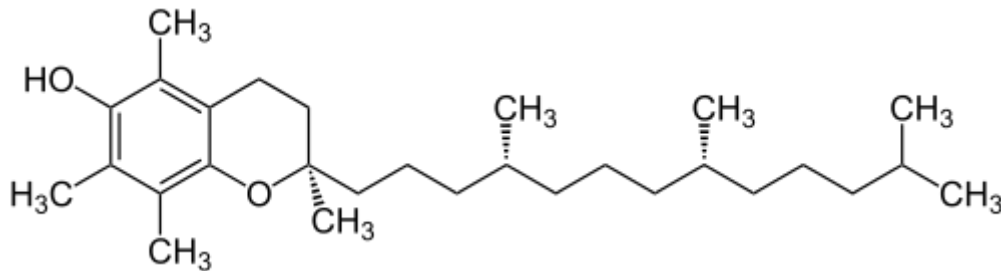
Sota la denominació de la vitamina E s'inclouen diversos tipus de tocoferols i tocotrienols presents de forma natural a les plantes. Depenent dels metils (-CH<sub>3</sub>) de l'anell que forma la vitamina E, classificarem els tocoferols en:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - o  $\delta$ -tocoferol.

La funció principal de la vitamina E és la d'actuar com un antioxidant eliminant els radicals lliures i l'oxigen molecular. També és important per la prevenció de la peroxidació dels àcids grassos de membrana.

Els compostos del grup vitamina E són capaços d'interrompre la propagació de l'ona o cadena de peroxidació cedint un electró al radical lliure, i d'evitar que el perdi la substància a protegir atacada pel radical lliure. En aquest procés la vitamina E es converteix ella mateixa en un radical lliure per bé que dotat d'una reactivitat significativament més petita que la del radical que ha estat neutralitzat. Per altra banda, a causa del major grau d'estabilitat i supervivència del radical resultant de l'acció de la vitamina (el radical tocoferoxil), la vitamina E pot ser

regenerada per mitjà d'altres antioxidants i, a la llarga, per mitjà de diferents tipus de reaccions enzimàtiques.

La vitamina E s'emmagatzema a vegades en membranes cel·lulars, però la major part de les vegades ho fa en el teixit adipós. Els fruits secs, les llavors i els olis vegetals són les millors fonts d' $\alpha$ -tocoferol.

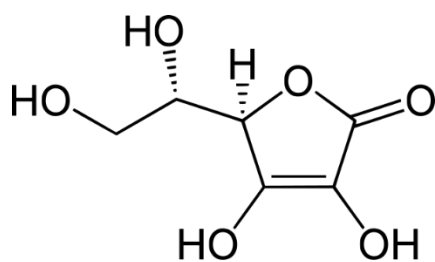


**Figura 6.**  $\alpha$ -tocoferol

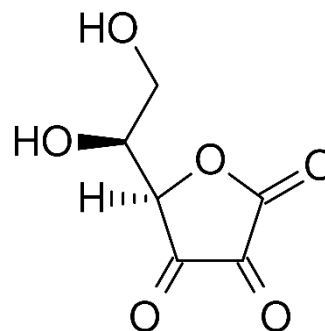
## Vitamina C

La vitamina C és un nutrient essencial, ja que la presència d'aquesta és requerida per moltes funcions metabòliques. L'ésser humà, com a excepció, no genera aquesta vitamina internament i és molt utilitzada com a additiu alimentari per prevenir la malaltia de l'escorbut, que és provocada per la deficiència d'aquesta vitamina.

La vitamina C es presenta de diferents maneres: l'àcid ascòrbic i deshidroascòrbic.



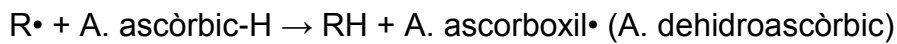
**Figura 7.** àcid ascòrbic



**Figura 8.** àcid deshidroascòrbic

La vitamina C, o àcid ascòrbic, present en especial abundància a la fruita fresca, és una substància que actua com un antioxidant efectiu en un medi aquós (a diferència de la vitamina E, que, com hem vist, ho fa en un medi o ambient de

caràcter lipídic). De manera semblant a com ho fan els tocoferols o els tocotrienols, l'àcid ascòrbic interromp o bloqueja la reacció en cadena al llarg de la qual els radicals lliures exerceixen el seu efecte devastador. L'àcid ascòrbic neteja l'ambient de radicals lliures i subministra un àtom d'hidrogen, que conté un únic electró a la seva òrbita, el qual es complementa amb l'electró no aparellat del radical lliure ( $R\cdot$ ).



La vitamina C és un potent antioxidant, en tant que no hi ha ions de tipus metàl·lic en el medi, però petites quantitats d'àcid ascòrbic en presència de ions metàl·lics poden convertir la vitamina C en un perillós prooxidant. La ingesta de grans quantitats de vitamina C pot restaurar la capacitat antioxidant del sistema. Els ions metàl·lics, com el coure, el ferro..., tenen un paper important en la generació de radicals lliures. Normalment, aquests tipus de ions es troben lligats en el nostre organisme a proteïnes transportadores com la ferritina, la transferrina o la ceruloplasmina, que segresten ions de ferro o de coure, respectivament, i actuen com a destacats antioxidants.

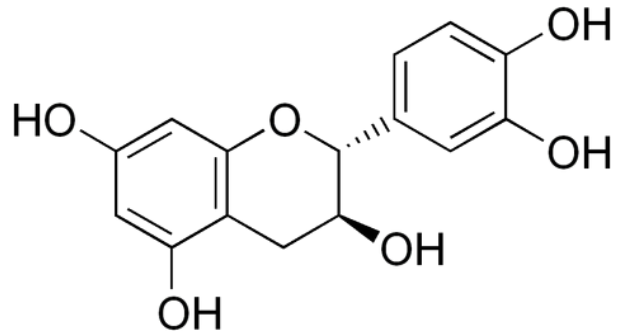
Per altra banda, l'àcid ascòrbic contribueix a regenerar antioxidants endògens i exògens, i neutralitza els productes resultants de l'oxidació presents en un medi aquós. Durant el procés oxidatiu, els diferents antioxidants són destruïts a un ritme que varia d'acord amb el corresponent potencial redox. Quan desapareix el seu efecte protector, els àcids grassos poliinsaturats són degradats d'acord amb la seqüència de peroxidació lipídica. En aquest procés es formen productes altament reactius que s'acumulen ràpidament a les partícules de LDL i interaccionen amb les cadenes laterals dels aminoàcids del component proteic, i modifiquen la lipoproteïna i fent-la altament «reactiva». Al començament, només es consumeix l'àcid ascòrbic, de manera que els nivells d' $\alpha$ -tocoferol i d'altres antioxidants de caràcter lipídic (licopè,  $\beta$ -carotè...) es mantenen constants; quan s'esgota la vitamina C, aquests últims es gasten progressivament i, en el moment que pràcticament desapareixen del medi, s'oxiden ràpidament els àcids grassos poliinsaturats.

Tot i que seria interessant estudiar tots els tipus d'antioxidants, convé centrar-nos només en uns quant, per tal d'analitzar-ne les característiques bàsiques.

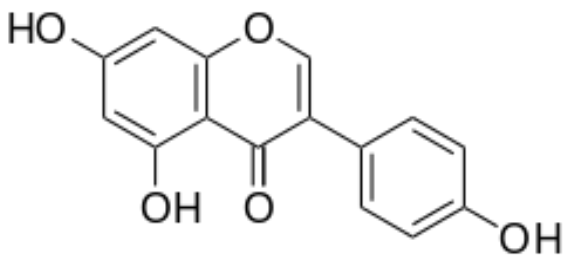




**TE VERD**



**Epicatequina-3-galat**

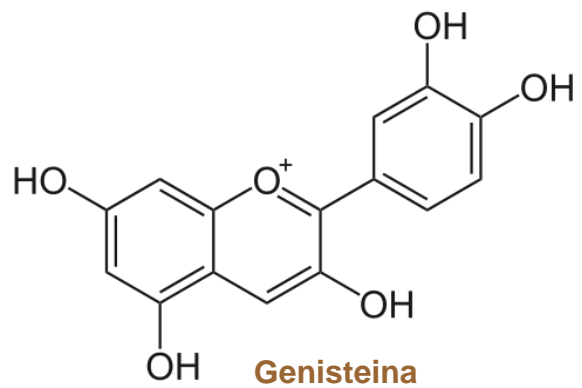


**Cianidina**

**NABIUS**



**SOJA GERMINADA**



**Genisteina**

**Figura 9.** Esquema gràfic d'algunes substàncies antioxidants

## 2.5.2 Endògens: sistemes antioxidants

El nostre organisme disposa d'un conjunt d'enzims implicats en la desintoxicació de les espècies reactives d'oxigen, així com dels hidroperòxids lipídics. Formen part d'aquest grup de defenses la superòxid-dismutasa Cu/Zn, present al citoplasma, la superòxid-dismutasa Mn, present als mitocondris, la catalasa, present en els peroxisomes, i tot el cicle de reaccions enzimàtiques associades al glutatió: la glutatió-peroxidasa (GSH-Px) i la glutatió-reductasa (GSSG-Red), presents en el citoplasma i en els mitocondris, ambdues dependents de seleni, i la glutatió-Transferasa, present al citoplasma i independent de seleni. Per altra banda, el nostre cos pot recórrer a una variada llista d'antioxidants de caràcter no enzimàtic, actius *in vivo*, que van des dels tocoferols, el  $\beta$ -carotè o el palmitat d'ascorbil, presents en les membranes cel·lulars, fins al tripèptid glutatió, present al citoplasma. A l'espai extracel·lular, hi trobem antioxidants com la bilirubina, l'àcid úric, la ceruloplasmina...

Es distingeixen dos tipus d'antioxidants:

- de tipus bloquejant o neutralitzadors (de caràcter no enzimàtic)
- de tipus preventiu (de caràcter enzimàtic).

### 2.5.2.1 Preventiu: sistemes enzimàtics amb capacitat antioxidant

Els enzims antioxidants naturals fabricats pel nostre propi organisme constitueixen una important defensa enfront dels radicals lliures. Els enzims més importants dotats de capacitat antioxidant són la glutatió-peroxidasa, la glutatió-reductasa i la glutatió-transferasa

A diferència dels antioxidants exògens que, normalment, es consumeixen en el decurs de la seva acció antioxidant, els enzims antioxidants no experimenten aquesta minva perquè actuen com a catalitzadors.

A continuació faré una breu explicació dels enzims citats anteriorment:

### **Glutatió-peroxidasa**

La glutatió-peroxidasa catalitza la inactivació del peròxid d'hidrogen, així com la dels hidroperòxids orgànics resultants de la peroxidació dels àcids grassos. Les reaccions catalitzades per aquest enzim tenen com a objectiu protegir, amb la participació del glutatió, les membranes cel·lulars dels efectes lesius de l'estrès oxidatiu.

En aquestes reaccions, el glutatió passa de l'estat reduït (G-SH) a l'oxidat (GS-SG) cedint sengles àtoms d'hidrogen per reduir els peròxids i hidroperòxids.

El seleni és un component essencial de totes les formes de glutatió-peroxidasa, de manera que la manca de protecció dels nivells d'aquests enzims, en cas de dèficit d'aquest element, indica la seva importància relativa. La glutatió-peroxidasa constitueix un sistema clau en la defensa antioxidant *in vivo*, tant en condicions normals com en situacions d'estrès oxidatiu.

L'activitat d'aquest sistema està influenciada per la presència d'altres sistemes enzimàtics, principalment per la catalasa i per la glutatió-S-transferasa.

### **Glutatió-reductasa**

El glutatió oxidat (GS-SG) és regenerat i retornat a la seva forma nativa (G-SH) per mitjà de la glutatió-reductasa.

La riboflavina és un constituent important de la glutatió-reductasa, raó per la qual un dèficit en aquesta vitamina pot afectar els nivells intracel·lulars de l'enzim així com els del glutatió reduït. El dèficit de riboflavina està relacionat amb l'estrès oxidatiu i amb la malaltia de la malària.

### **Glutatió-S-transferasa**

Aquest enzim, que no requereix seleni per a la seva acció, està involucrat en la desintoxicació i biotransformació de diversos xenobiòtics.

En el cas d'un dèficit de seleni, l'activitat de la glutatió-S-transferasa augmenta de manera significativa, cosa que suggereix l'existència d'una resposta

compensatòria per part d'aquest enzim, atesa l'absència o baixa capacitat de la glutatió-peroxidasa per exercir la seva funció protectora.

### 2.5.2.2 Bloquejant: antioxidants amb caràcter no enzimàtics

Existeix un altre tipus d'antioxidants que són de caràcter no enzimàtic anomenats de tipus bloquejant o neutralitzadors de la cadena d'oxidació, que eviten la propagació en cadena de les reaccions d'oxidació.

#### **Bilirubina**

La bilirubina és un potent antioxidant, de caràcter lipofílic, que protegeix les membranes cel·lulars de la peroxidació dels lípids i de l'oxidació de les proteïnes presents en aquestes. La major part de la capacitat antioxidant que mostra la bilirubina és deguda a l'extrema velocitat amb la qual la biliverdina (bilirubina oxidada) és convertida en bilirubina per la biliverdina-reductasa. Una petita quantitat de bilirubina pot neutralitzar una quantitat de peròxid d'hidrogen deu mil vegades més gran i així protegir les cèl·lules del dany induït per les corresponents espècies reactives d'oxigen, a causa de la gran abundància de la reductasa de biliverdina en tots els teixits. Per altra banda, el reciclatge o regeneració de la bilirubina sembla molt més ràpid que el del glutatió, atès que requereix, tan sols, l'acció d'un enzim, mentre que, en el cas del glutatió, es requereix l'acció de dos enzims, la glutatió-peroxidasa i la glutatió-reductasa.

#### **Estrògens**

Els estrògens, com l'estriol són antioxidants naturals. S'ha comprovat que alguns tipus d'estrògens tenen una activitat antioxidant tres vegades superior a la de l' $\alpha$ -tocoferol, mesurada per la seva capacitat per inhibir la peroxidació lipídica. Per altra banda, s'ha observat que els estrògens que tenen un grup hidroxil a l'anella aromàtica tenen la capacitat de regenerar l' $\alpha$ -tocoferol (a partir del radical tocoferoxil), uns tres ordres de magnitud superior a la de l'àcid ascòrbic.



## **Melatonina**

La melatonina és un segrestador de radicals lliures que sembla que estan implicats en els processos associats a l'envelliment i a les malalties relacionades amb aquest. Aquest derivat indòlic podria actuar com a potent antioxidant al cervell.

*In vitro*, la melatonina és més efectiva que el glutatió per segrestar el radical hidroxil, altament tòxic, i també més eficient que la vitamina E per neutralitzar el radical peroxil.

A diferència d'altres antioxidants, la melatonina no experimenta cicles redox, que és la capacitat d'una molècula de passar, de manera repetida, d'un estat oxidat a un de reduït. El pas per aquest cicle redox pot fer que altres antioxidants (com la vitamina C) puguin actuar com a prooxidants i afavoreixin la formació de radicals lliures.

La melatonina, una vegada oxidada, no pot retornar a la seva forma prèvia ja que dóna lloc a diversos productes finals estables, quan reacciona amb els radicals lliures. Per aquest motiu, se l'anomena antioxidant terminal o «suïcida».

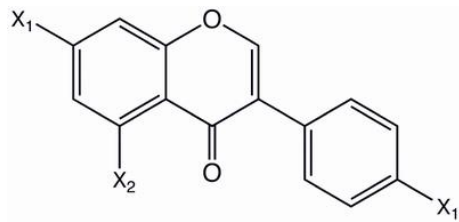
### 3. El color dels vegetals

Juntament amb altres aliments, les fruites i les verdures constitueixen gran part del que entenem avui en dia per dieta mediterrània, i són fonamentals per la nostra alimentació degut a les beneficioses aportacions a la nostra salut.

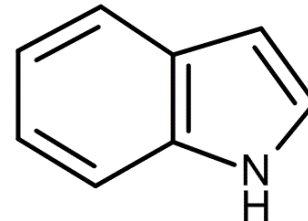
Quan parlem de la importància d'un aliment i de les seves propietats considerem els nutrients com els únics constituents. En l'actualitat es coneix també la importància d'uns altres compostos anomenats "no nutrients", els quals tenen un gran paper en relació a la salut. Quan són d'origen vegetal, aquestes substàncies s'anomenen "**fitoquímics**" (també anomenats compostos bioactius), que es defineixen com aquelles substàncies presents de forma natural en diversos aliments i plantes d'origen vegetal, o bé aliments derivats dels animals que tenen una activitat biològica important en l'organisme. Encara que no se'ls consideri com a nutrients essencials – no poden ser sintetitzats pel propi organisme – els fitoquímics, resulten ser substàncies beneficioses per la nostra salut, ja que posseeixen diverses propietats compartides amb els antioxidants. Algunes d'aquestes propietats són les següents:

- **Antioxidant:** molts fitoquímics tenen un gran poder antioxidant, protegeixen les nostres cèl·lules del dany oxidatiu i redueixen el risc de patir certs tipus de càncer. Alguns d'aquests fitoquímics amb activitat antioxidant són: carotenoides (presentes, per exemple, a les pastanagues), flavones (presentes a moltes fruites i verdures com la poma), polifenols (presentes, per exemple, als raïms).
- **Efecte hormonal:** les isoflavones (que es troben, entre d'altres aliments, a la soja) imiten els estrògens humans i ajuden a reduir les símptomes de la menopausa i l'osteoporosi.
- **Estimulació d'enzims:** els indols (que els podem trobar, per exemple, en les cols) estimulen els enzims que fan que els estrògens siguin menys eficaços i podrien reduir el risc de patir càncer de mama.
- **Interfereixen amb la replicació de l'ADN:** les saponines (presentes en les mongetes) intervenen en la replicació de l'ADN de les cèl·lules per tal d'impedir que les cèl·lules canceroses es multipliquin. Un altre exemple és la capsaïcina (present en els pebrots) que protegeix l'ADN dels agents carcinògens.

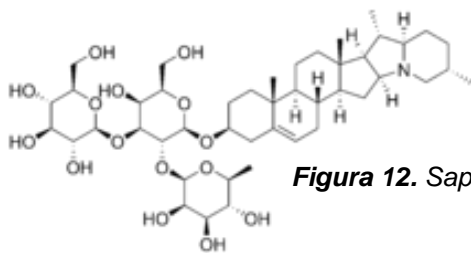
- **Efecte antibacterià:** Un exemple de fitoquímic que evita l'atac dels bacteris és l'al·licina (que la trobem a l'all).
- **L'acció física:** Alguns fitoquímics, com les antocianines (presentes en els nabius, per exemple), s'uneixen físicament a les parets cel·lulars impedit l'adherència dels patògens, afavorint el risc de patir infeccions d'orina i millorant la salut dental.



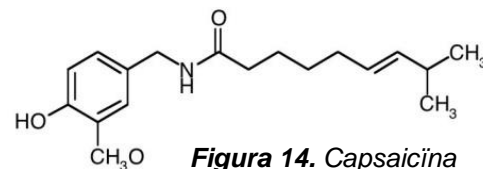
**Figura 10.** Isoflavona



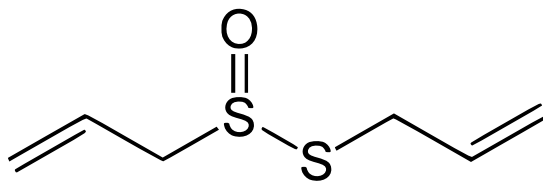
**Figura 11.** Indol



**Figura 12.** Saponina



**Figura 14.** Capsaicina



**Figura 13.** Al·licina

Així doncs, com hem pogut veure, els fitoquímics posseeixen moltes propietats beneficioses per l'ésser humà i, a més, són els responsables dels colors d'alguns vegetals.

En qualsevol cas, tot i que és interessant i curiós saber que algunes de les propietats dels aliments que consumim diàriament tenen a veure amb el seu

color, hem de tenir clar que l'essencial a l'hora d'alimentar-nos és seguir una dieta sana i equilibrada, amb varietat i abundància de diferents tipus de vegetals.

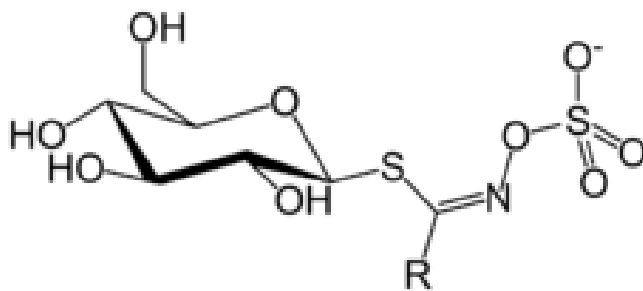
A continuació, explicaré el motiu de què algunes fruites i verdures es presentin en diferents colors i tot seguit parlaré de la informació que les seves tonalitats ens proporcionen sobre els nutrients i "no nutrients" que contenen, i quins beneficis ens aporten quan els ingerim com a aliments.

### 3.1 Color verd

Els compostos responsables del color verd d'alguns vegetals, com el bròquil, els espinacs, els pèsols, l'enciam... són els glucosinolats (anomenats també glucosilats, tioglicòsids o glucòsids) i la clorofil·la.

Els **glucosinolats** químicament són uns compostos orgànics ensofrats, responsables del sabor picant i amarg característic d'aquests vegetals de color verd on els trobem. Es coneixen 120 tipus de glucosilats entre les diferents espècies de vegetals on estan presents, però només 4 d'aquests els podem trobar en grans quantitats.

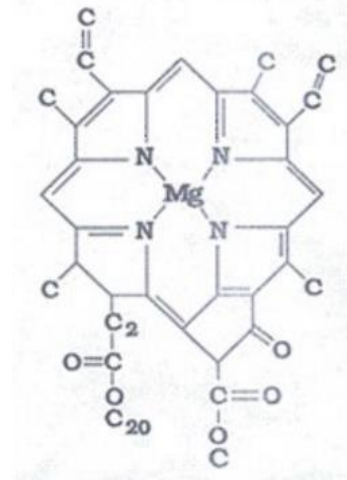
Quan es troben en les plantes tenen una funció de defensa contra els insectes, degut a la seva olor.



**Figura 15.** Esquelet dels glucosilats. Cadascun té un radical diferent.

Els vegetals de color verd també tenen un alt contingut en **clorofil·la**, un pigment de color verd que trobem de manera abundant en vegetals (com les algues), fruites (com la poma i el alvocat) i verdures (com la mongeta verda, els pèsols o el bròquil). A més, és una molècula necessària per fer la fotosíntesi i per obtenir energia, a través de la llum del Sol.

S'ha comprovat que la clorofil·la és un molt bon antioxidant i que per tant ajuda a reduir les malalties degeneratives i a mantenir el cos més fort i jove durant més anys.



**Figura 16.** Clorofil·la

Tant els glucosinolats com la clorofil·la tenen múltiples propietats i beneficis per al cos humà, com per exemple:

- **Propietat anti-cancerígena.** Tenen propietats antioxidants que impedeixen l'absorció de substàncies tòxiques i lluiten contra els radicals lliures.
- Una altra és la **propietat rubefaent** (sobretot els glucosinolats), és a dir, són substàncies amb efecte revulsiu, i això provoca, per exemple, irritació de les mucoses del tub digestiu, per la qual cosa no és recomanable que les persones que pateixen acidesa d'estómac duguin a terme una dieta amb alt contingut de glucosilats.
- La **propietat anti-tiroïdal.** Interfereixen en la síntesi de les hormones tiroïdes i inhibeixen la recaptació del iode per les glàndules tiroïdes. Per això, tot i que s'ha demostrat que la ingesta d'aquests aliments no produeix alteracions a la glàndula tiroïdes, les persones amb hipotiroïdisme han de controlar la ingesta de verdures amb alt contingut de glicosilats i clorofil·la.
- **Depuratiu:** s'ha demostrat que, sobretot la clorofil·la, ajuda a eliminar aflatoxines (unes toxines potents produïdes per fongs en fruits secs).
- **Evitar el dèficit de magnesi:** una dieta sense aquests aliments pot conduir al dèficit de magnesi, un mineral que participa en la relaxació muscular; per tant, és fonamental el consum d'aquest compost inorgànic per evitar la sensació de cansament, tensió...

- **Ferro i àcid fòlic:** Intervenien en la producció de glòbuls vermells i blancs, en la síntesi de material genètic i en la formació d'anticossos del sistema immunològic.
- **Salut intestinal:** La clorofil·la ajuda al intestí repoblant la flora intestinal.

### 3.1.1 Pràctica al laboratori

A continuació presentaré la pràctica duta a terme al laboratori anomenada:

Pigments fotosintètics de les fulles d'espinaç.

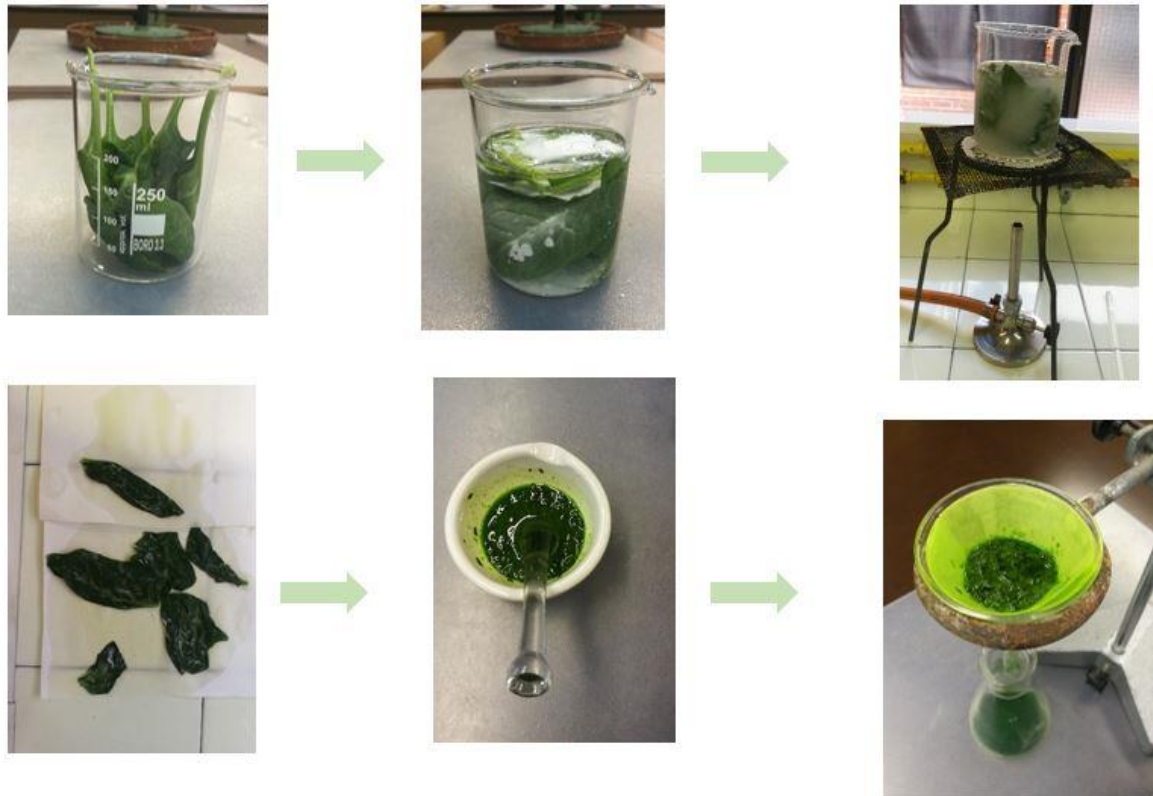
L'objectiu de la pràctica realitzada al laboratori és identificar els diferents pigments fotosintètics i accessoris que es troben a les fulles d'espinaçs fent una cromatografia, i realitzar la separació de les xantofil·les a partir d'extracte d'espinaçs.

| MATERIALS            | REACTIUS                    |
|----------------------|-----------------------------|
| Paper de filtre      | Alcohol al 96%              |
| Paper absorbent      | NaOH al 5%                  |
| Morter de porcellana | Àcid acètic glacial         |
| Embut                | Sulfat de coure (III) al 5% |
| Vas de precipitats   | Carbonat de calci           |
| Tubs d'assaig        | Un ml de benzina            |
| Bec de bunsen        |                             |
| Trespeus             |                             |
| Reixeta              |                             |
| Fulles d'espinaçs    |                             |
| Aigua destil·lada    |                             |

#### **Procediment: Separació per fluorescència**

Comencem la pràctica pesant a la balança (en un vas de precipitats), 5-8 fulles d'espinaçs, i ho anotem: 9,56g. Seguidament afegim aigua destil·lada fins a submergir les fulles. Afegim carbonat de calci al vas de precipitats i ho fem bullir durant 2 minuts al bec de bunsen. Mentre esperem que comencin a bullir els espinaçs, retallem un tros de paper absorbent que farem servir per assecar les

fulles quan ja les haguem tret del foc. A continuació agafem el morter de porcellana, hi posem les fulles i les triturem mentre anem afegint alcohol al 95%. Un cop triturat, ho filtrem amb l'embut i el paper de filtre i aboquem uns ml de l'extracte a un tub d'assaig. Per últim il·luminem la mostra amb un feix de llum blanca i observem el que passa.



*Figura 17. Procés d'obtenció de l'extracte de clorofil·la*

### **Resultats:**

Quan una solució de clorofil·la és il·luminada amb una llum blanca es produeix un fenomen d'excitació molecular. La llum emesa per fluorescència és sempre d'una longitud d'ona més gran i de menys energia que la llum incident, ja que sempre part d'aquesta energia es dissipa en forma de calor.

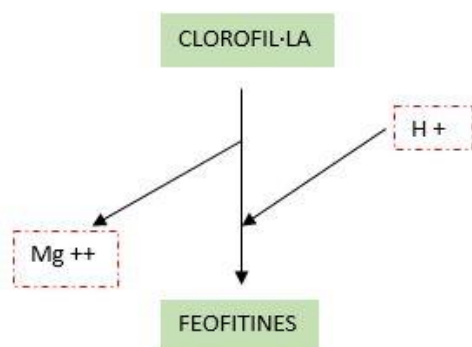
Aquesta emissió de llum per part de la clorofil·la demostra que és capaç de realitzar reaccions fotoquímiques.

La clorofil·la és poc estable *in vitro*, especialment sota una il·luminació intensa. L'àtom central de magnesi és fàcilment reemplaçat per hidrogen, donant lloc a feofitines, pigments vegetals de color verd oliva.

Aquest canvi de color es dona degut a l'estructura de la clorofil·la. El que succeeix és un sistema conjugat, que té lloc en molècules orgàniques on els àtoms estan units mitjançant enllaços simples i dobles alternats (per exemple,  $C=C-C=C-C$ ). Això provoca que els electrons no pertanyin només a un àtom o un enllaç, si no a un grup. Per exemple, a l'estructura de la clorofil·la trobem, a més d'enllaços simples i dobles alternats, anells de 6 carbonis que tenen un sistema de 6 electrons per sota i uns altres 6 per sobre de l'anell pla. Això s'anomena deslocalització dels electrons.

Els sistemes conjugats tenen una propietat única que dona origen a colors vius. Molts pigments fan ús de sistemes conjugats d'electrons, per exemple, el beta-carotè, o en aquest cas la clorofil·la.

Quan fem incidir la llum blanca al tub d'assaig on hi ha l'extracte de clorofil·la, un electró absorbeix un fotó de llum; aquest és excitat i passa a un nivell superior. Com que l'electró és molt inestable, torna a desprendre aquesta energia provocant la fluorescència de la substància.



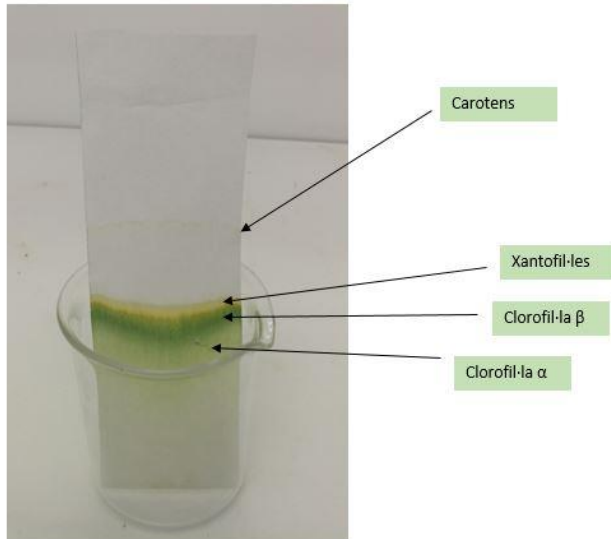
**Figura 18.** Extracte de clorofil·la il·luminat amb llum blanca



**Procediment: Separació per cromatografia**

Per mitjà de la cromatografia identificarem els diferents pigments que hi ha a les fulles dels espinacs.

Tallem una tira de paper de filtre i ho posem dintre del vas de precipitats, on hi



**Figura 19.** Cromatografia dels espinacs

ha l'extracte de clorofil·la sobrant obtingut anteriorment, de manera que l'extracte que hi ha al fons comenci a ascendir pel paper de filtre. Ho deixem reposar i després observem els resultats.

Si observem la tira de paper que hem posat dins del vas de precipitats, veiem que han

aparegut quatre zones de diferents colors que corresponen als diferents pigments fotosintètics

presentes en les fulles del espinacs.

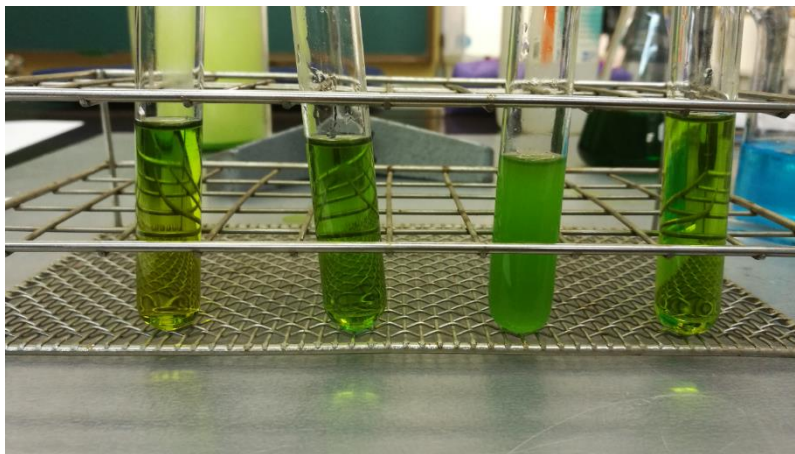
A continuació afegim alcohol al 96% a l'extracte de clorofil·la fins que agafi un color verd clar i amb aquesta dissolució fem les següents mescles:

- Tub 1: 5 ml d'extracte + 1 ml d'àcid acètic glacial
- Tub 2: 5 ml d'extracte + 1 ml d'aigua
- Tub 3: 5 ml d'extracte + 1 ml de  $\text{CuSO}_4$  al 5%
- Tub 4: 5 ml d'extracte + 1 ml de  $\text{NaOH}$  al 5%

**Resultats:**

El tub 1 amb l'àcid acètic glacial ha canviat de color i ha adoptat un color més groguenc. En el tub 2, on hem posat aigua, no observem cap canvi gaire significatiu. En canvi, en el tub 3, on hi ha  $\text{CuSO}_4$ , es presenta un verd més intens, i això és degut a que la feofitina és capaç d'unir eficaçment ions de Zn i

Cu en el lloc del magnesi, formant pigments estables i de color verd més atractiu. Per últim, en el tub 4 amb NaOH observem un altre tonalitat més verd oliva. La clorofil·la pot patir diferents tipus d'alteracions, entre les quals, la més freqüent és la pèrdua de l'àtom de magnesi formant la feofitina, de color verd oliva. Aquesta pèrdua del magnesi es produeix per la substitució de dos ions d'hidrogen, i com a conseqüència, es veu afavorida pel medi àcid. La pèrdua és irreversible en medi aquós; per això el canvi de color dels vegetals verds és un fenomen habitual en processos de cuina, enllaunat, etc. La clorofil·la  $\beta$  és una mica més estable que la clorofil·la  $\alpha$ . S'ha de tenir en compte que els vegetals són sempre àcids i que en el tractament tèrmic s'alliberen generalment àcids presents en vacúols en les cèl·lules, i fent descendir el pH del medi.



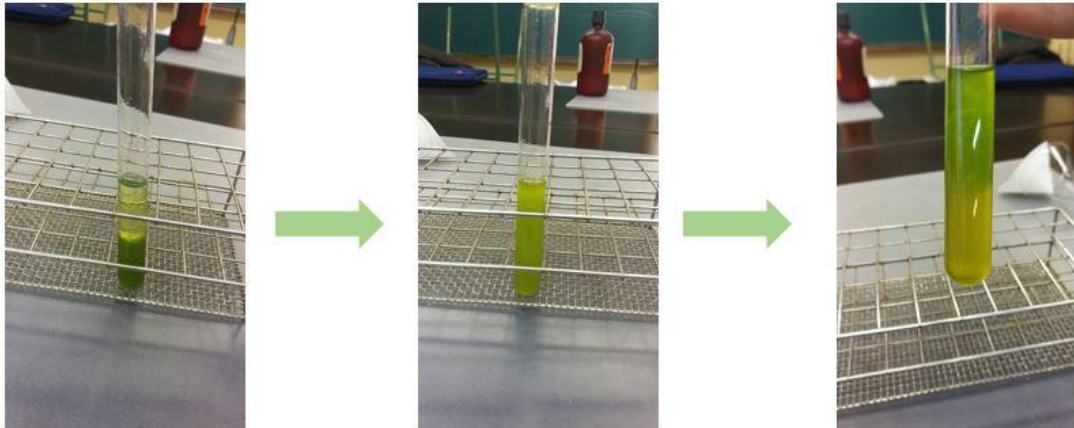
*Figura 20: resultat després d'afegir les mescles.*

### **Procediment: separació de xantofil·les**

Comencem la pràctica pesant en una balança uns 20 gr de fulles d'espínacs i a continuació eliminem les nervadures de les fulles. Col·loquem les fulles en el morter i macerem a poc a poc, mentre anem afegint alcohol etílic al 96% fins que obtenim una pasta. A continuació, ho filtrem fins a obtenir un altre cop l'extracte de clorofil·la pura. Aboquem 5 ml de la dissolució en un tub d'assaig i li afegim uns ml de benzina. Tapem el tub i l'invertim varies vegades suaument per barrejar-ho. Per últim, observem la separació de la xantofil·la de l'extracte de la clorofil·la.

### **Resultats:**

L'alcohol té la propietat d'extreure algunes característiques dels compostos amb els quals és barrejat; per aquesta raó permet la separació de les xantofil·les de la dissolució. La benzina permet al mateix temps la separació, a l'arrossegar la clorofil·la, ja que té afinitat per alguns pigments com la clorofil·la, i per això és anomenat "separador".



*Figura 21: resultat després d'afegir la benzina*

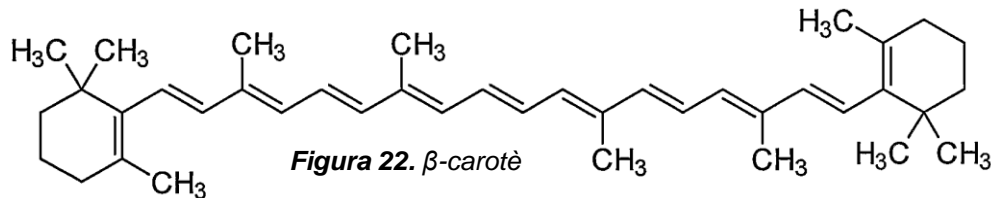
## 3.2 Color taronja/ groc

Els **carotenoides** constitueixen un grup integrat per uns sis-cents compostos diferents que es troben de manera natural en els pigments vegetals que confereixen els colors taronja o vermell a moltes fruites i hortalisses. El  $\beta$ -carotè, el carotenoide més estudiat, és convertit en dues molècules de vitamina.

La major part de carotenoides estan desproveïts d'actuar com a provitamina A.

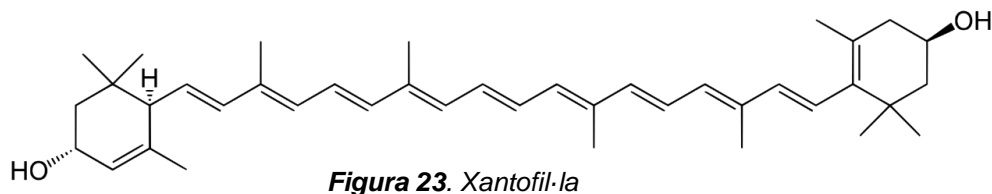
A causa de que els carotenoides són transportats al plasma per les lipoproteïnes de baixa densitat (LDL) i, també, de la seva capacitat per actuar com a esmorteïdors de les espècies reactives d'oxigen, s'han valorat àmpliament els seus efectes en la prevenció de la peroxidació de les LDL i, en conseqüència, en la reducció del risc de patir malalties del sistema cardiovascular. Per altra banda, baixes concentracions al plasma de retinol (vitamina A) o de  $\beta$ -carotè, així com d'altres antioxidants, poden incrementar el risc de degeneració macular associada a l'edat.

La biodisponibilitat dels carotenoides presents als aliments varia àmpliament. El processament dels corresponents aliments, els temps i les condicions de l'emmagatzematge, el temps i el sistema de cocció... poden afectar la proporció de carotenoides que poden ser incorporats a partir dels corresponents aliments.



A més, també podem parlar de **les xantofil·les**, que són un grup de compostos químics pertanyents al grup dels carotenoides que contenen un o més àtoms d'oxigen a la seva estructura.

Les xantofil·les es troben de forma natural en moltes plantes. Són compostos pigmentats i presenten capacitat fotosintètica. Aquests pigments són més resistents a l'oxidació que les clorofil·les, són abundants en els vegetals i són els responsables de les tonalitats groguenques a les fulles seques, tot i que sovint són emmascarats pel color verd de la clorofil·la.



A més a més dels efectes **antioxidants** que nodreixen i protegeixen la pell, també tenen poder anti-cancerigen i anti-edat. Algunes altres propietats i beneficis dels **carotenoides** per al cos humà són les següents:

- **Antiinflamatoris:** per les seves propietats antiinflamatòries els vegetals de color taronja i groc estan indicats per a malalties com l'artritis o per malalties de la pell, com la dermatitis i en les afeccions inflamatòries.
- **Mala circulació:** els carotenoides estan especialment indicats per a alteracions circulatòries per la seva capacitat per prevenir la trombosi i enfortir els vasos en cas de varius...



Aquest aliments, a més, són rics en **sofre**, un element que té poder depuratiu. Són aliments molt recomanats per fer una neteja de l'organisme quan es duen a terme mals hàbits, com una mala alimentació, i així podem eliminar les substàncies tòxiques que queden al nostre organisme.

Algunes de les propietats beneficioses dels **vegetals ensofrats**, és a dir, els que tenen color blanc, com la ceba, la coliflor, els espàrrecs, etc, són:

- **Depuratiu:** Com ja he dit, ajuden a eliminar substàncies tòxiques i metalls pesats de l'organisme.
- **Ossos i articulacions:** els vegetals ensofrats estan indicats en malalties relacionades amb l'aparell locomotor, dolors musculars, articulacions, OSSOS...
- **Protecció vascular:** Un consum més elevat de fruites de carn blanca, com les peres i les pomes, està associat a una major reducció del risc d'accident cerebrovascular o ictus. En aquest grup cromàtic, a més d'aquestes fruites, s'hi inclou el plàtan i hortalisses i verdures com els alls, els porros, les cebes, les endívies, el cogombre, els bolets i la coliflor
- Redueix l'aparició de cardiopaties, diabetis i alguns tipus de càncer, com el de mama i el de còlon.
- Redueix el nivell de **colesterol** en sang.
- També **controla** que no hi hagi un **excés de ferro** a les cèl·lules, cosa que podria fer-les malbé, i **redueix l'absorció de metalls** tòxics o pesants, com el cadmi o l'alumini.
- **Altres:** a més tenen acció antibiòtica i ajuden a millorar la salut de la pell, les ungles, cabell, etc.

### 3.4 Color vermell-blau-violeta

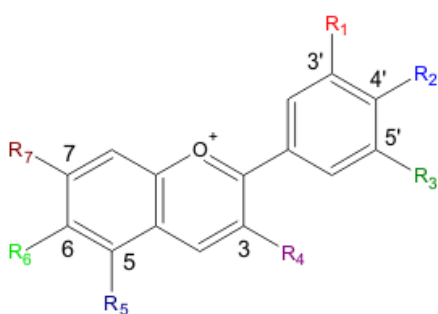
El color vermell, violeta o blau, en alguns casos de vegetals com la grosella, els aranyons, els gerds o les mores és degut a les **antocianines**, que són les responsables dels colors que s'observen en els caducifolis a la tardor quan la fotosíntesi ha cessat, o del color vermellós de les fulles joves en rosers i noguers, per exemple, que indiquen que encara no predomina la fotosíntesi.

La coloració deguda a les antocianines, a part de la seva propietat antioxidant, pot ser un mecanisme de defensa per protegir a les plantes, les seves flors i els seus fruits contra la llum ultraviolada (UV). Les fulles de moltes espècies mostren un color vermell molt diferenciat a la tardor.

Les **antocianines** són pigments vegetals que pertanyen al grup dels flavonoides. Les diferències entre les diferents antocianines van lligades al nombre de hidroxils, el nombre de sucres i la posició d'aquests. La propietat principal de les antocianines és el seu poder **antioxidant**.

Dintre del grup dels polifenols, trobem el grup de les antocianines en el que ens centrarem, ja que és el grup que té més poder antioxidant.

Químicament, les antocianines són glucòsids de les antocianidines, és a dir, estan constituïts per una molècula d'antocianidina que s'uneix a un glúcid mitjançant un enllaç  $\beta$ -glicosídic.



**Figura 24.** Estructura bàsica de les antocianines

| Antocianidina | R <sub>1</sub>    | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub>    | R <sub>4</sub> | R <sub>5</sub>    | R <sub>6</sub> | R <sub>7</sub>    |
|---------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Aurantidinina | -H                | -OH            | -H                | -OH            | -OH               | -OH            | -OH               |
| Cianidina     | -OH               | -OH            | -H                | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Delfinidina   | -OH               | -OH            | -OH               | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Europinidina  | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -OH               | -OH            | -OCH <sub>3</sub> | -H             | -OH               |
| Luteolinidina | -OH               | -OH            | -H                | -H             | -OH               | -H             | -OH               |
| Pelargonidina | -H                | -OH            | -H                | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Malvidina     | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Peonidina     | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -H                | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Petunidina    | -OH               | -OH            | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -OH               | -H             | -OH               |
| Rosinidina    | -OCH <sub>3</sub> | -OH            | -H                | -OH            | -OH               | -H             | -OCH <sub>3</sub> |

**Taula 2.** Tipus d'antocians

En la vinya, la composició d'antocians del raïm és una característica del fenotip de cada varietat, i també depèn de com hagi estat conreat (secada, rendiment, etc.), cosa que permet identificar els vins. Alhora, la producció i la quantitat d'aquest pigment depèn del tipus de planta i d'altres condicions ambientals i del sòl.

L'interès pels pigments antociànics s'ha intensificat últimament degut a les seves propietats terapèutiques, ja que quan passen des de l'aparell digestiu a la sang

dels mamífers, les antocianines romanen intactes i el seu consum pot tenir un impacte directe sobre la salut humana.

Les antocianines produeixen efectes terapèutics com la reducció de la malaltia coronària, efectes antitumorals, antiinflamatoris, i antidiabètics. A més a més, també poden millorar el comportament cognitiu. Estudis amb antocianines que provenen del vi han demostrat que són efectives per atrapar espècies reactives a l'oxigen (ROS), a més d'inhibir l'oxidació de lipoproteïnes.

Un grup de compostos fenòlics provinents dels fruits vermells inhibeixen els enzims digestius  $\alpha$ -glucosidasa,  $\alpha$ -amilasa, proteasa y lipasa, els quals són necessaris per controlar la diabetis tipus 2 i l'obesitat. Les antocianines restringeixen l'activitat de la  $\alpha$ -glucosidasa, cosa que determina una disminució dels nivells de glucosa a la sang. Les antocianines del raïm també inhibeixen el desenvolupament de l'obesitat ja que produeixen una disminució de lípids.

Aquests pigments també milloren les funcions neurològiques. Per exemple: una dieta de nabius subministrada a rates durant 8 setmanes va ser efectiva per millorar les deficiències relacionades amb l'edat neuronal. Aquest estudi diu que algunes antocianines poden trobar-se en diferents regions del cervell de les rates. També els mateixos fruits liofilitzats demostren una millora en la memòria de les rates.

El color vermell d'alguns vegetals com el tomàquet, la síndria o el pomelo és degut al **licopè**

El **licopè** és un pigment vegetal liposoluble, és a dir, que és soluble en greixos però no en aigua, i que pertany a la família dels carotenoides. És sintetitzat per plantes i alguns microorganismes (mai per animals). Donada la seva natura lipídica, a l'organisme s'acumula en teixits greixosos i es transporta a la sang mitjançant lipoproteïnes.

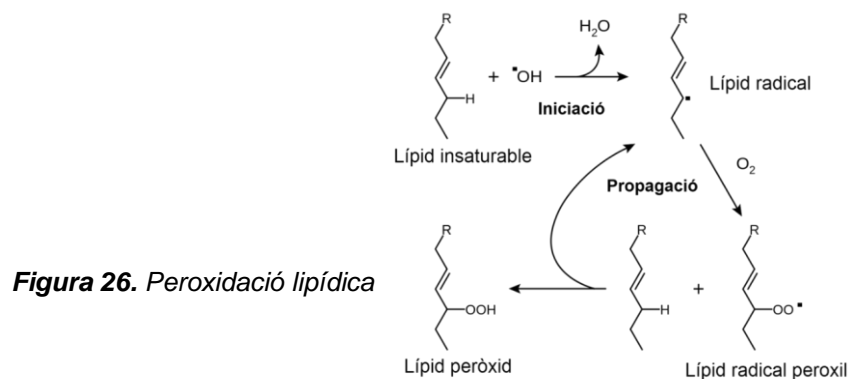
La facilitat d'absorció i, per tant, d'aprofitament d'aquesta substància per part de l'organisme depèn de com es mengi: l'intestí pot absorbir-ne fins a 2,5 vegades més quan aquest s'ingereix calent (per exemple, el tomàquet d'un sofregit) que quan és fred (per exemple, una síndria fresca), perquè la calor trenca les parets cel·lulars del fruit que "tanquen" el lycopè al seu interior. A més, com és molt liposoluble, s'absorbeix millor quan es menja amb una mica de greix. Per



exemple, un tomàquet amanit amb una mica d'oli d'oliva aporta a la pràctica més licopè que un suc fet amb aquest tomàquet sense oli.

Pertany a la mateixa família que el carotè (el pigment de color taronja de les pastanagues i fruites d'aquest color), els carotenoides. Els animals no produeixen aquest pigment, només els vegetals i alguns microorganismes; per això es considera "vegetal". Es pot sintetitzar químicament, però a nivell industrial de moment és poc rendible a causa del seu cost.

El caràcter antioxidant en aquest cas consisteix en una acció antioxidant sobre la peroxidació lipídica, procés on es duu a terme la degradació oxidativa dels lípids i a través del qual els radicals lliures capten els seus electrons a les membranes cel·lulars.



A més a més, aquest compost presenta els següents efectes:

- **Anticancerígens:** hi ha una reducció en la incidència del càncer prostàtic associada a la ingesta elevada de licopè i antocianines, ja que redueixen el creixement tumoral.
- **Malalties cardiovasculars:** hi ha una relació entre un alt nivell de licopè i antocianines al teixit greixós i una disminució de fins al 50% del risc de patir infart de miocardi.
- **Antiinflamatori:** inhibeixen la inflamació
- **Efecte immunològic:** Pot ajudar a la immunitat i a augmentar la producció d'enzims desintoxicants al cos

### 3.4.1 Pràctica al laboratori

A continuació presentaré la pràctica duta a terme al laboratori anomenada:  
Anàlisi dels pigments antociànics.

L'objectiu d'aquesta pràctica és determinar les característiques físico-químiques dels pigments antociànics i explicar els canvis de coloració en les fulles de la col morada que se sotmeten a variacions de pH.

| MATERIALS            | REACTIUS        |
|----------------------|-----------------|
| Paper de filtre      | NaOH 0,1M       |
| Embut                | HCl 0,1M        |
| Vas de precipitats   | Vinagre         |
| Comptagotes          | NH <sub>3</sub> |
| 4 Tubs d'assaig      |                 |
| Aigua destil·lada    |                 |
| PH-metre             |                 |
| Bec de bunsen        |                 |
| Trespeus             |                 |
| Reixeta              |                 |
| Fulles de col morada |                 |

#### **Procediment:**

Utilitzem aproximadament un quart de col trossejada, evitant les fulles exterior que normalment estan deshidratades. Posem en un vas de precipitats que contingui uns 100 ml d'aigua destil·lada els trossos de col llombarda i ho fem bullir un 20-30 minuts. Ho deixem refredar i un cop fred, ho filtrem amb l'embut i el paper de filtre.

Prenem una part del filtrat i mesurem el pH amb el pH-metre: 5,15.

També mesurem el pH dels reactius: NaOH: 11,2; NH<sub>3</sub>: 9,5; HCl: 2,1; Vinagre: 3,07.

Seguidament aboquem en 4 tubs d'assaig una quantitat de l'extracte que hem filtrat de les fulles de col. Numerem els tubs de l'1 al 4 i afegim NaOH, NH<sub>3</sub>, HCl

i vinagre respectivament. Mesurem amb el pH-metre el pH de totes les substàncies i omplim la taula següent:

| Número del tub | Indicador       | pH   |
|----------------|-----------------|------|
| 1              | NaOH            | 5,66 |
| 2              | NH <sub>3</sub> | 9,59 |
| 3              | HCl             | 2,9  |
| 4              | Vinagre         | 3,66 |

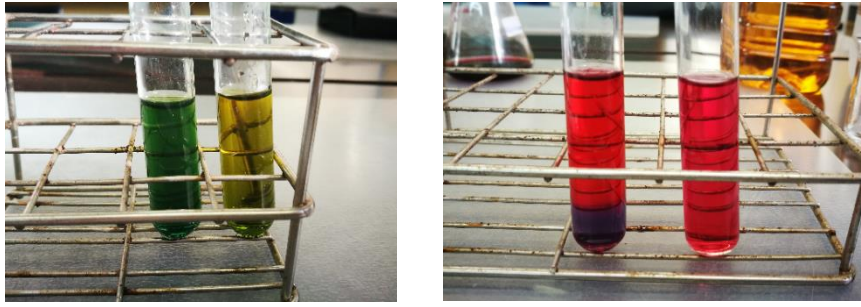


*Figura 27. Obtenció de l'extracte de col llombarda*

### **Resultats:**

Al mesurar el pH, observem que la col morada, al afegir-li l'àcid clorhídric o el vinagre, té un pH àcid, i en canvi quan afegim unes gotes de hidròxid de sodi o d'amoniac té un pH bàsic.

A més, observem un canvi de coloració: l'extracte pren un color groc amb els indicadors àcids i un color porpra amb els indicadors bàsics.



**Figura 28:** resultat després d'afegir els indicadors àcids i bàsics.

El que obtenim amb l'extracció aquosa de la col llombarda és la cianina, un pigment de color rosat que s'obté en l'extracte aquós de l'arrel de la col i és un excel·lent indicador de pH.

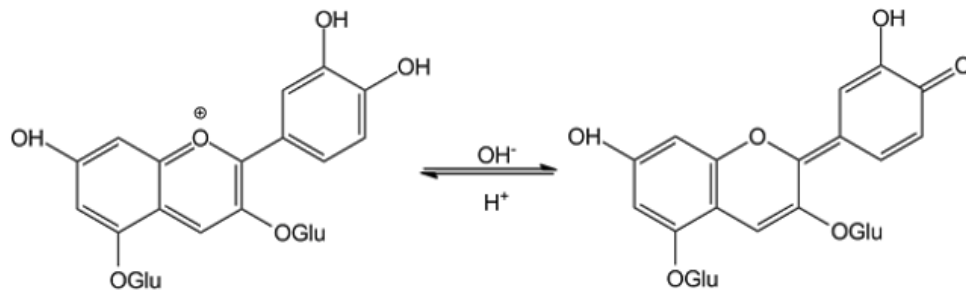
El pH que vam obtenir de l'extracte va ser de 5,15, un valor adequat, ja que el pH normal de les verdures es troba entre 4,6 i 6,4, el que fa que s'allargui la conservació de les verdures i s'inhibeixi la reproducció de microorganismes.

Després d'afegir les gotes d'àcid clorhídric i de vinagre, la solució pateix un canvi de color, com ja hem esmentat abans, i un canvi de pH, com hem pogut observar a la taula, el que fa que s'acidifiqui més. Aquest canvi es produeix perquè els àcids tenen la capacitat de donar protons ( $H^+$ ). En dissolució aquosa, l'àcid acètic del vinagre perd el protó del grup carboxil per donar la seva base conjugada, l'acetat, i l'àcid clorhídric dóna el  $H^+$  donant els ions clorurs.

En el cas del antocians, al ser ionitzables en medi àcid, pateixen canvis de color, fins i tot, a un pH per sota de 3,5, però no s'hidrolitzen, pel qual es poden utilitzar per aliments àcids. La seva màxima estabilitat està entre pH 5 i 6.

Amb el NaOH el pH augmenta convertint-se en una solució alcalina i, tot i que pren una tonalitat més clara, manté pràcticament el color original.

Quan la cianina entra en contacte amb un àcid o quan està en contacte amb una base adquireix diferents estructures. Aquestes dues estructures es troben en un equilibri dinàmic que es va desplaçant segons sigui la concentració de  $H^+$ .



**Figura 29.** Cianina en medi àcid (color vermell)

Cianina en medi bàsic (color blau)

Glu= Glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) .

El pH pot ser un dels motius dels diferents colors que presenten les fruites i les verdures que contenen antocians.

## 4. Conclusions

Un cop ja acabat el Treball de Recerca, intentaré explicar i resumir breument els aspectes més rellevants i significatius que es mostren al llarg de la memòria escrita. Primerament analitzaré les qüestions relacionades amb els dos grans blocs en què es divideix aquest; els antioxidants, i el color dels vegetals conjuntament amb els resultats que he obtingut amb la part pràctica realitzada al laboratori. D'altra banda, també comentaré de manera personal què ha significat per mi la realització del treball de recerca, i quins aspectes, tan positius com negatius he trobat.

Pel que fa referència a la part teòrica, he fet una aproximació general al món dels antioxidants, explicant les seves característiques i les qüestions relacionades amb aquests. A partir d'aquest eix central s'ha obert un camí que ens ha conduït al món de l'alimentació, i especialment, els efectes dels esmentats antioxidants sobre aquesta. D'aquesta manera, el treball s'ha centrat en l'estudi de les propietats dels aliments com a font d'una dieta equilibrada, i he arribat al nucli que proposàvem assolir, la figura imprescindible dels antioxidants en la nutrició, i quins són els compostos químics que donen aquest poder antioxidant a les fruites i vegetals.

En segon lloc, he realitzat una part experimental, fomentada a partir de la verificació dels nombrosos estudis realitzats per la comunitat científica, que demostren la presència de certs components químics, com els fitoquímics, en diversos aliments vegetals i la capacitat antioxidant d'aquests. Així doncs, vaig confirmar la proposta amb dues pràctiques realitzades al laboratori. Pel que fa a la primera, vaig determinar que les mostres de la verdura analitzada, en aquest cas els espinacs, continguessin els pigments fotosintètics que havíem estudiat al llarg de la part teòrica, principal objectiu pel qual realitzava la pràctica. Els resultats obtinguts van ser molt satisfactoris, ja que vaig verificar la presència de diversos pigments en una mateixa verdura, fet que corrobora el canvi de color d'aquestes.

Vaig realitzar una segona pràctica que pretenia identificar les característiques físico-químiques que tenien els pigments de la verdura. En aquest cas, va ser

més difícil realitzar l'extracció dels pigments antociànics de la col morada, i per això vaig decidir estudiar el comportament d'aquests. Vaig obtenir uns resultats favorables que van determinar que una possible causa del canvi de color que presenten les fruites i verdures que contenen antocianines, podia ser el pH.

Finalment, gràcies a aquesta part experimental, vaig confirmar, que les hipòtesis proposades pels científics eren certes, que les hipòtesis que ens havíem proposats en uns inicis, van sortir tal i com esperàvem, i que vam assolir els nostres objectius: vaig poder afirmar que el color verd es degut als glucosinolats i a la clorofil·la, i que podem fer variar el seu color incidint un feix de llum blanca; el color taronja ens diu que els vegetals d'aquest color contenen carotenoides, i en alguns casos xantofil·les; les fruites i verdures de color blanc presenten isoflavones, i al·licina o àcid fític en alguns casos concrets; i per últim els vegetals de color vermell/ blau ens diuen que estan formats per antocianines, i podem modificar el seu color variant el seu pH. Així vaig contestar la pregunta inicial del meu treball: què ens diuen els colors de les fruites i les verdures?

D'altra banda, pel que fa a la part més personal i als aspectes que m'ha aportat la realització d'aquest treball, puc dir que tots són bons, i tot i que en el procés, hi ha hagut alguns moments difícils, els he intentat resoldre i finalment he pogut superar.

M'agradaria destacar el fet d'haver pogut realitzar la part experimental en un laboratori, ja que m'he pogut familiaritzar més amb l'ambient i els estris, i a més m'ha aportat molts aspectes positius i enriquidors, sobretot a nivell acadèmic.

En relació amb la metodologia del treball, cal dir que amb la realització del Treball de Recerca he adquirit nous coneixements que m'han permès millorar la manera de redactar informes científics, així com també aprendre a estructurar les idees i practicar l'escriptura d'un text formal. A més, he après també a seleccionar la informació important de la supèrflua i a organitzar-me la feina i el temps de treball. En definitiva, un seguit de temes i punts molt importants a tenir en compte i que de ben segur em seran molt útils en un futur.

Contràriament, tot i que no he trobat gaires dificultats, els principals inconvenients als que he hagut de fer front fan referència a la cerca d'informació, degut a que els antioxidants és un tema d'actualitat científica i moltes pàgines

web contenien una informació de poca fiabilitat i que a vegades es contradieien entre elles.

L'elaboració del Treball de Recerca ha estat una experiència molt enriquidora, ja que m'ha aportat molts efectes positius, tan acadèmics com personals, i m'ha ensenyat coses de les quals n'estic molt orgullosa.



## 5. Bibliografia

### PÀGINES WEB

<http://www.eufic.org/article/es/show/spotlight/rid/los-colores-de-los-vegetales-y-la-salud/>

<http://guiagastronomika.diariovasco.com/noticias/colores-frutas-verduras-201305171004.php>

<http://www.vidanaturalia.com/beneficios-de-los-vegetales-segun-su-color/>

<http://blog.hola.com/farmaciameritxell/2013/05/propiedades-beneficiosas-de-los-frutos-rojos-y-azules.html>

<http://onaquiropactica.blogspot.com.es/2013/03/les-propietats-de-la-fruita-segons-el.html>

<http://www.phytochemicals.info/antioxidants.php>

<http://www.phytochemicals.info/phytochemicals.php>

[http://www.biosfera.cat/biosfera\\_cat\\_biosfera/?p=4040](http://www.biosfera.cat/biosfera_cat_biosfera/?p=4040)

<http://www.entrenatuenergia.com/salut/aportes-nutricionales-de-los-vegetales-segun-su-color/?lang=ca>

<https://biologiaalimentacio.wordpress.com/tag/aliments-amb-fitoquimics/>

<http://www.gemmamarques.cat/cruciferes-potents-antioxidants-i-detoxificants/>

<https://biologiaalimentacio.wordpress.com/tag/antioxidants/>

<https://biologiaalimentacio.wordpress.com/tag/aliments-amb-fitoquimics/>

<http://www.botanical-online.com/medicinalesbioflavonoides.htm>

<http://alimentosparacurar.com/n/3675/beneficios-de-la-antocianina-pigmento-antioxidante-natural.html>

### ESTUDIS I DOCUMENTS PDF

Ramon Segura: *TECA: Tecnologia i Ciència dels Aliments*.

Sources of natural phenolic antioxidants Boskou Dimitrios. Laboratory of food chemistry and Technology, School of Chemistry, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece.

Trends in Food Science & Technology 17(2006) 505-512