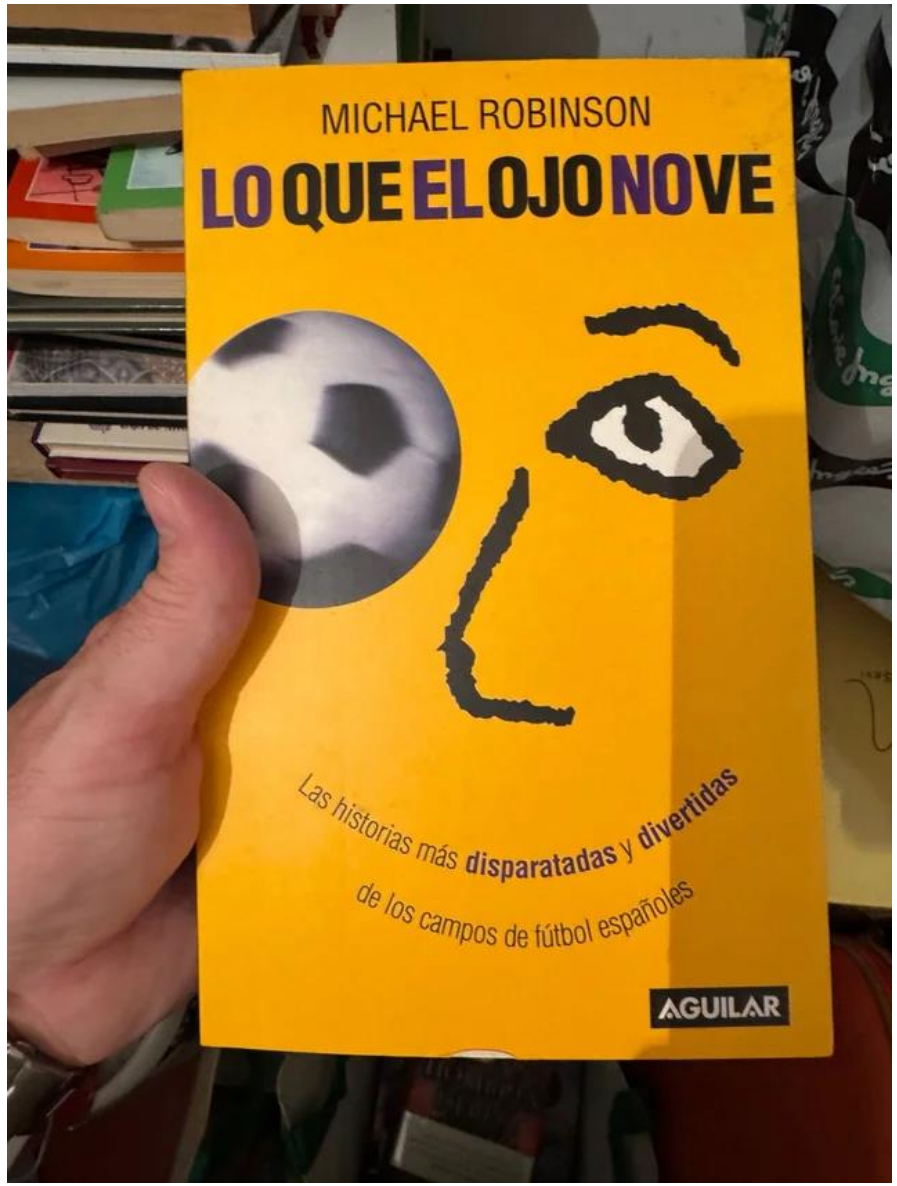
Allò que l’ull no veu



Computer
Vision Center

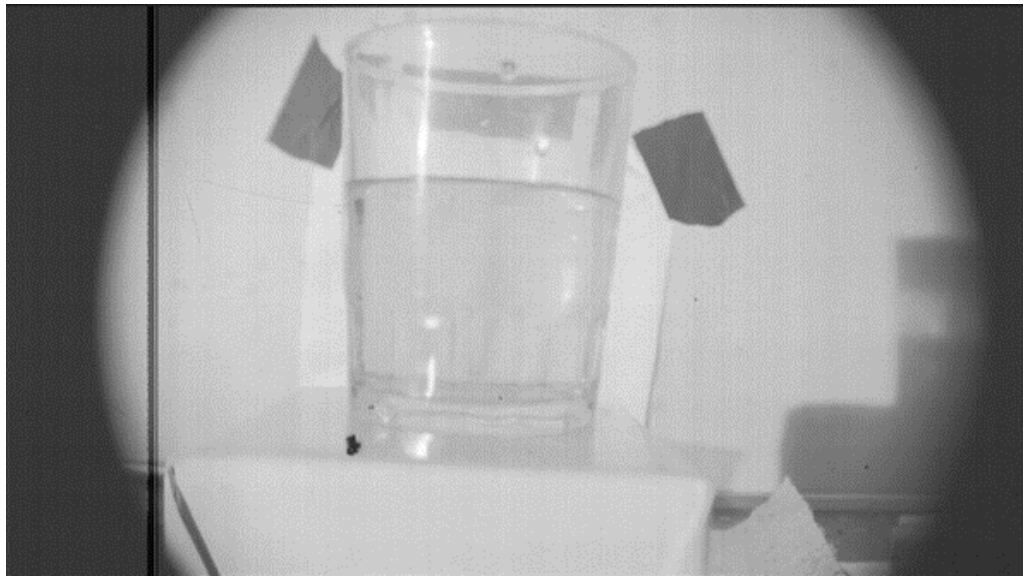
Introducció

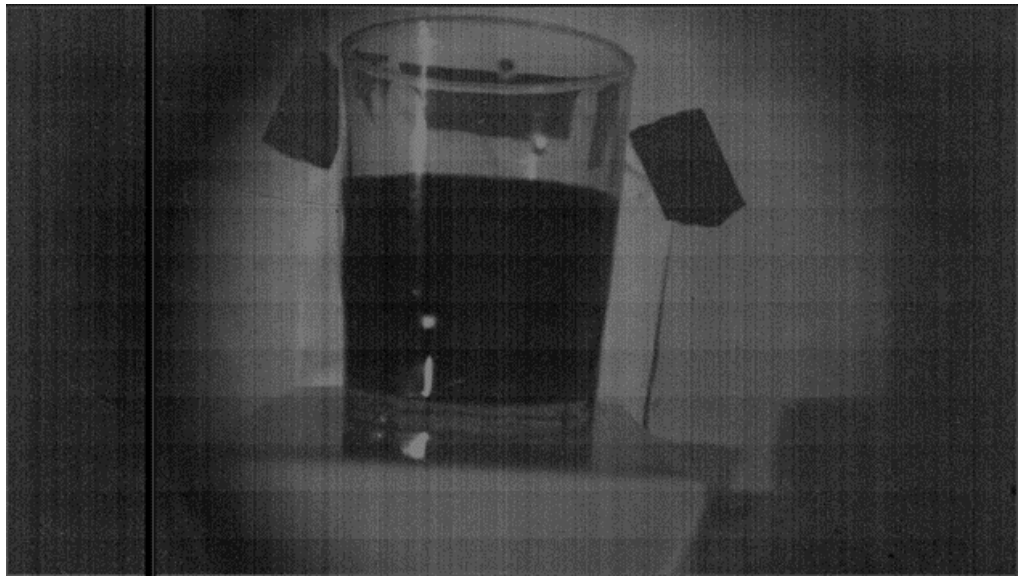


Contingut:

- Introducció
- Allò que l’ull sí veu
- La càmera
- L’ull i l’orella
- Aplicacions

Introducció





Part 1

Allò que l’ull sí veu

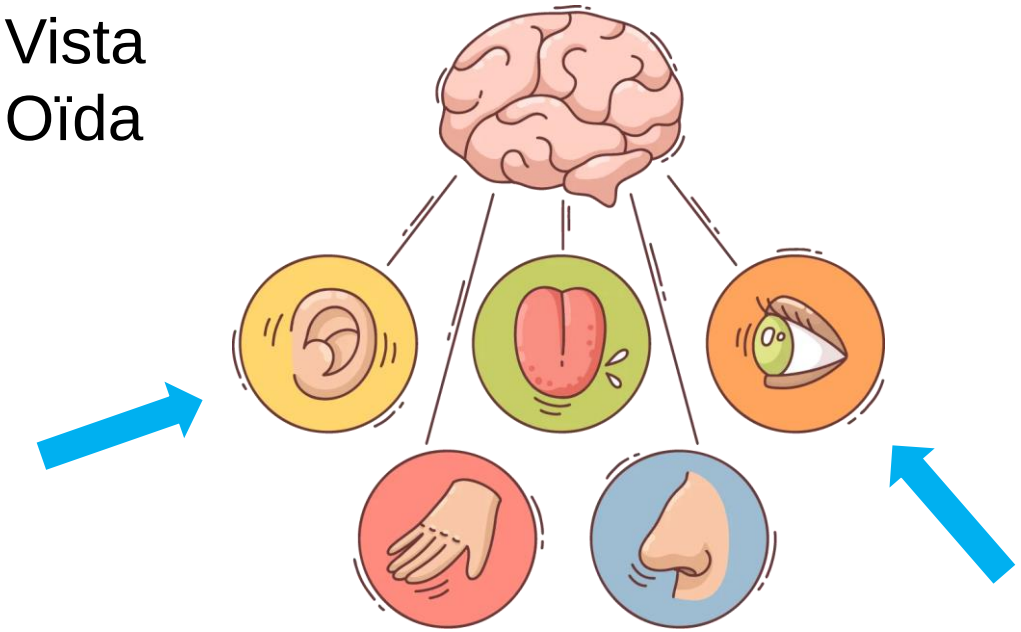


El fill pròdig entre cortesanes: al·legoria dels cinc sentits

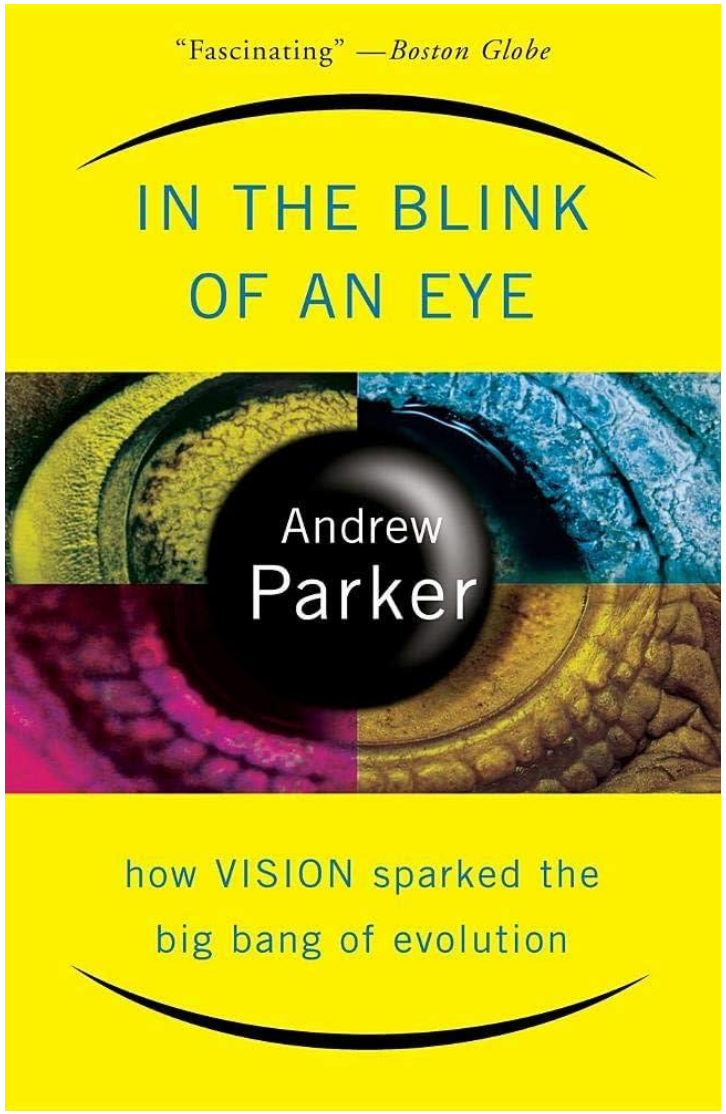


Cinc son els sentits:

- Gust
- Olfacte
- Tacte
- Vista
- Oïda



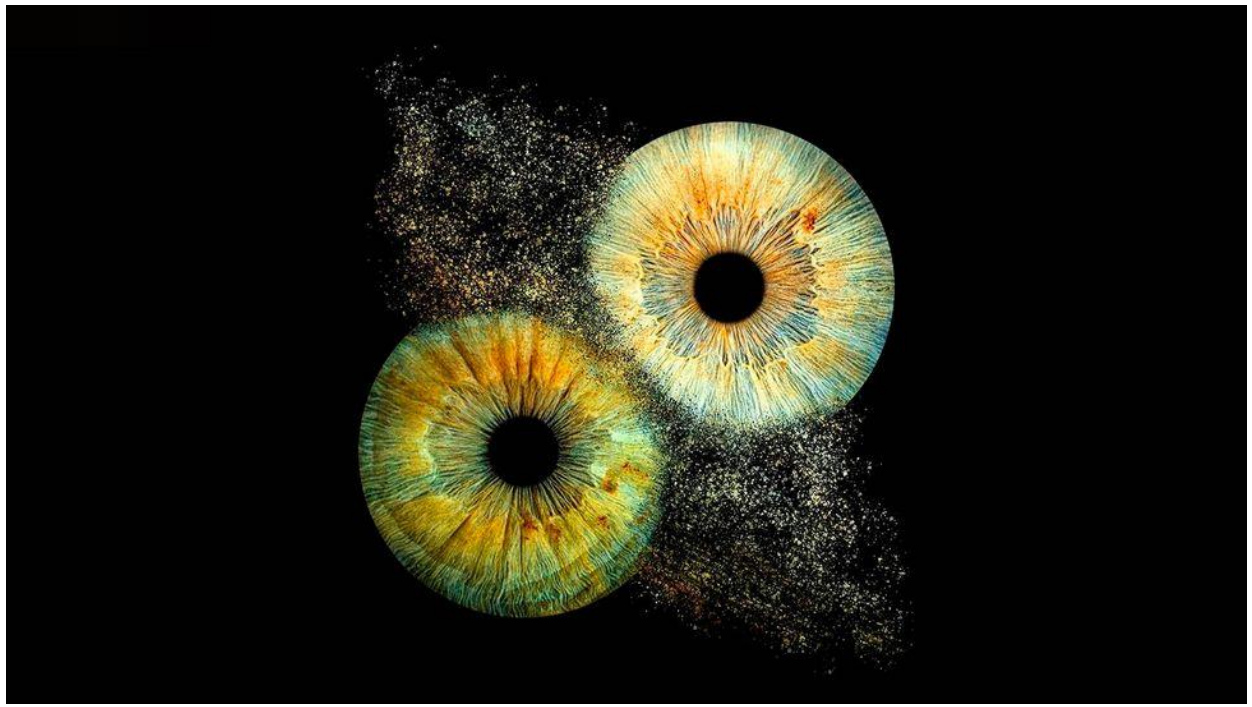
https://www.saviament.com/medi-natural/els-humans/els-sentits/



"We see in order to move; we move in order to see"

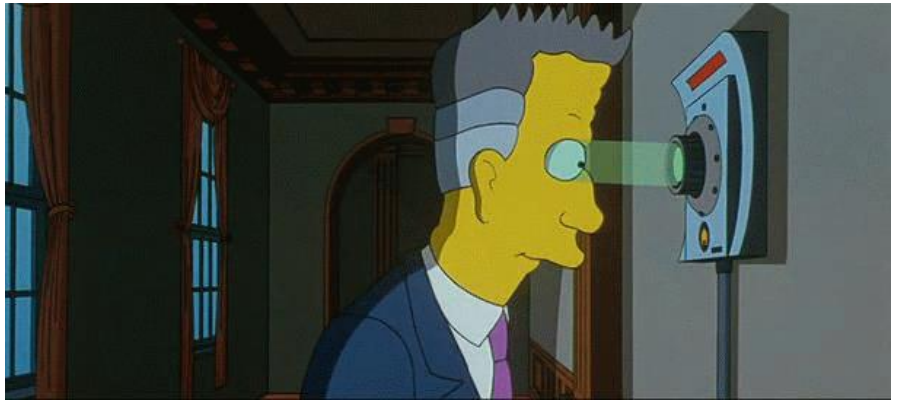
It is a saying attributed to author William Gibson, highlighting the inseparable relationship between vision and action in human experience.

It suggests a cyclical dependency where our ability to see provides information and direction for movement, and in turn, movement allows us to gain new visual perspectives, creating a continuous process of exploration and discovery.



El teu ull és únic!

És com la “huella dactilar”



Iris Galerie

Iris Galerie que va sorgir a França en 2020 és una franquícia que converteix l'ull en obra d'art, ja compta amb més d'un centenar de botigues a Europa i aspira a arribar a 1.200 establiments en el món en 2030.

Johannes Kepler va revolucionar l’òptica en demostrar que la **retina**, i no el **cristal·lí**, és l’òrgan de la visió, i que la imatge formada allà és **invertida**.

Va aplicar les lleis de la **refracció** a la llum que travessa l’ull, establint les bases de l’oftalmologia moderna.

Kepler va proposar que l’ull funciona com una **càmera obscura**, on el cristal·lí refracta la llum per enfocar una imatge invertida a la retina.

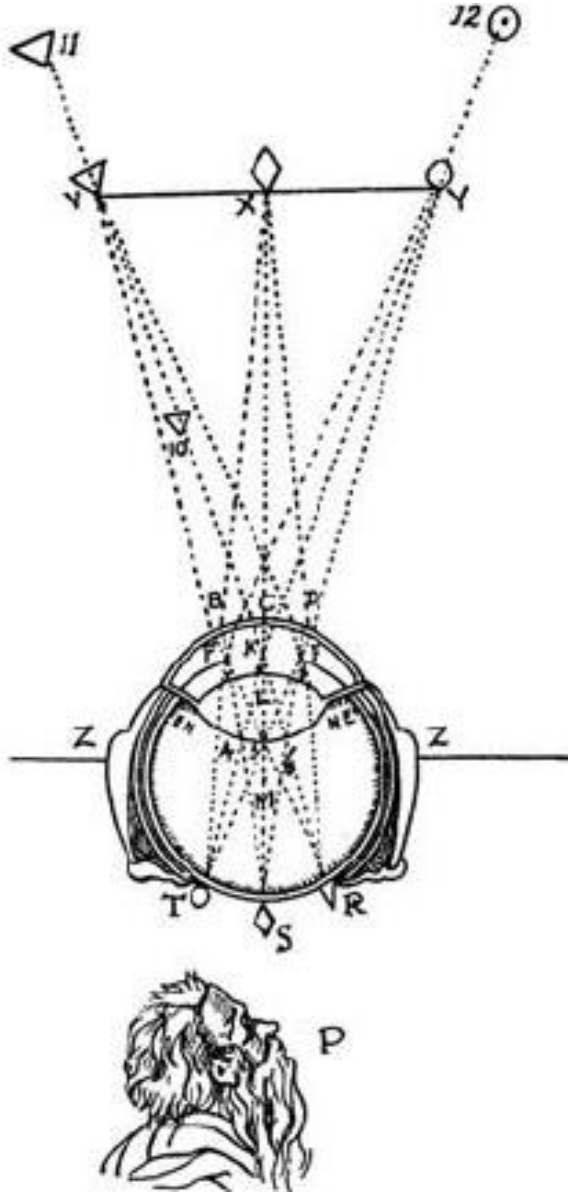


Johannes Kepler, 1571–1630

La Dioptrique (normalment traduïda al català com a Òptica, o més literalment Diòptrica) és un breu tractat de **René Descartes**. Va ser publicat el 1637 inclòs en un dels Assajos escrits amb el Discurs del mètode.

En aquest assaig, Descartes utilitza diversos models per comprendre les propietats de la llum. Aquest assaig es coneix com la major contribució de Descartes a l'òptica, ja que és la primera publicació de la Llei de la **refracció**.

https://en.wikipedia.org/wiki/La_Dioptrique





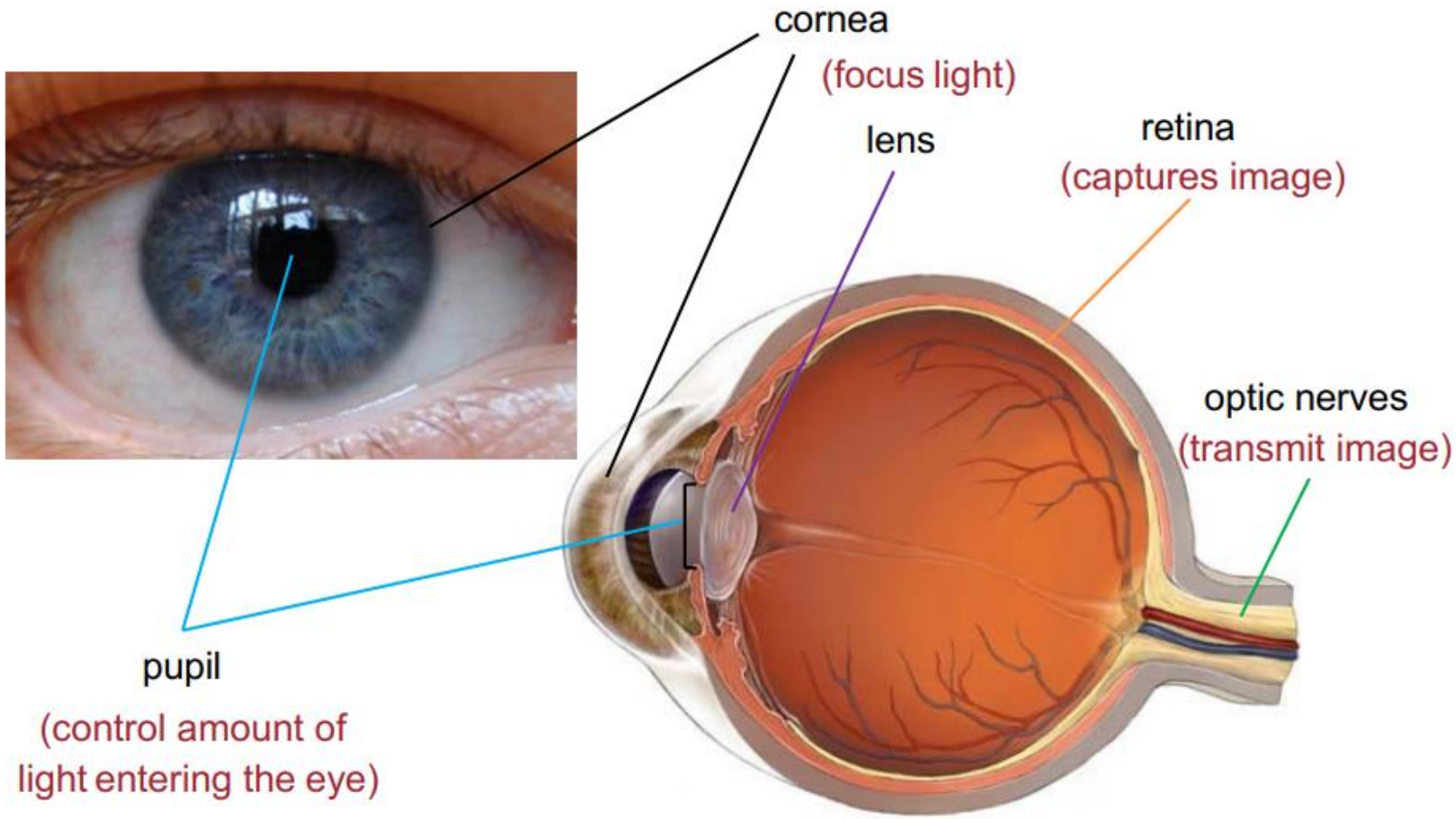


Seguint les passes de Descartes!

Tornem a l’institut! Típica pràctica d'una classe de biologia a l'institut. Obrim un ull.

Per a "obrir" l'ull d'un porc o una vaca en un context biològic es realitza una dissecció ocular amb la finalitat d'estudiar les seves estructures anatòmiques, com la còrnia, l'iris, la retina i el cristal·lí. Aquest procés implica tallar la còrnia amb un bisturí, manipular el globus ocular per a observar les capes i les parts internes, i treure elements com l'humor vitri i el cristal·lí per a analitzar la seva funció com a lent.

Veiem el món a través dels nostres ulls



Interacció de la llum amb els objectes

Emissió: Alguns objectes, com el sol, una bombeta o una pantalla de televisió, són fonts de llum primàries, és a dir, emeten llum pròpia.

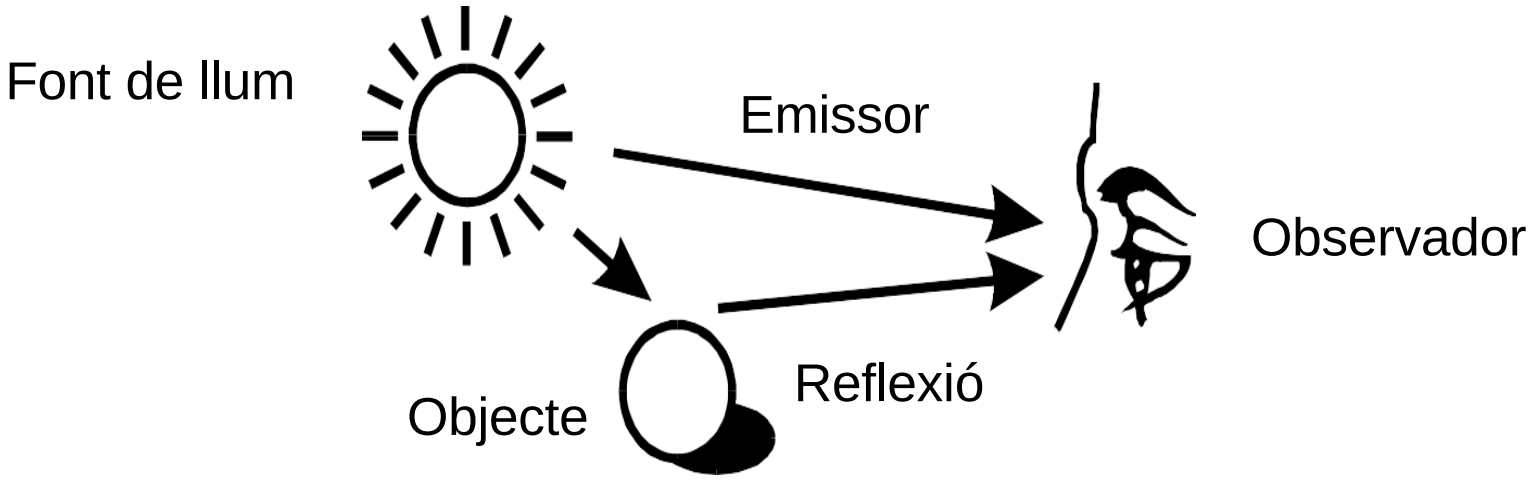
Reflexió: La majoria dels objectes que veiem (una cadira, un llibre, una muntanya) no emeten llum per si mateixos. En canvi, es fan visibles perquè reflecteixen la llum que els arriba d'una font externa. El color d'un objecte, per exemple, està determinat per les longituds d'ona de llum que reflecteix i les que absorbeix. Un objecte vermell absorbeix totes les longituds d'ona menys el vermell, que reflecteix.

Absorció: Part de la llum que incideix sobre un objecte és absorbida per aquest, sovint convertint-se en calor.

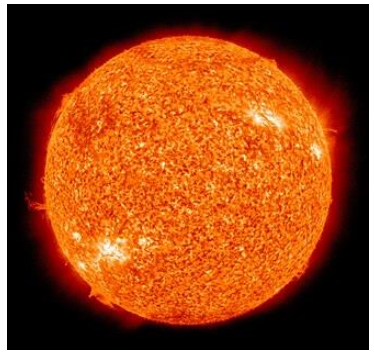
Transmissió: Alguns materials, com el vidre o l'aigua o la fibra òptica, permeten que la llum passi a través d'ells, és a dir, que la transmetin.

Hi ha principalment **dues** maneres en què la llum pot arribar a l'ull humà:

1. Directament des de la font d'il·luminació (pot tenir color o no).
2. Per reflexió sobre la superfície dels objectes.



Objectes que emeten llum (llum directa)





Exemples:

- el sol (totes les estrelles)
- una bombeta
- una pantalla
- la tele
- un semàfor
- l'ésser humà (som com bombetes per a la llum infraroja)



Objectes il·luminats (llum reflectida)

Exemples:

- un cotxe
- un quadre
- un arbre
- la terra
- la lluna





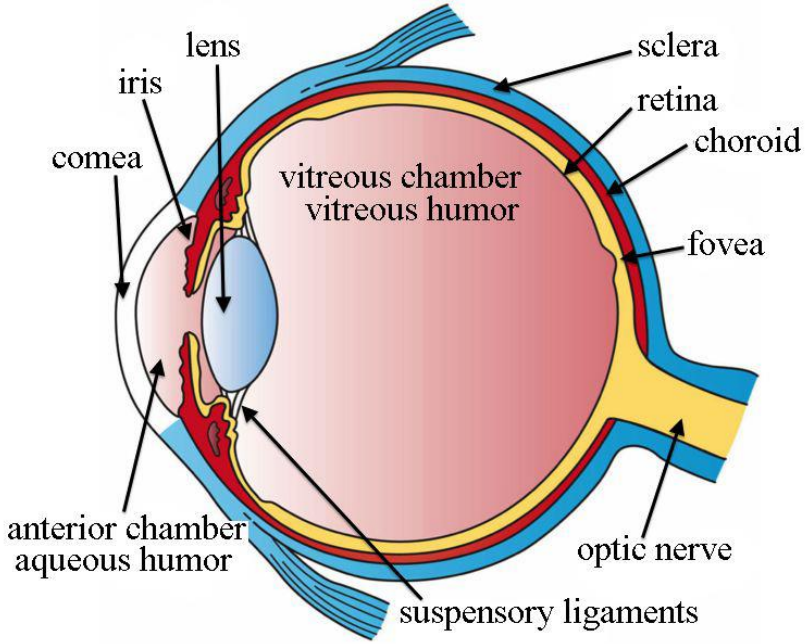


Com a òrgan sensorial, l'ull dels mamífers permet la visió.

Els **bastons** i els **cons** de la retina permeten la percepció conscient de la llum i la visió inclosa la diferenciació del color I la percepció de la profunditat.

L'ull humà pot distingir uns 10 milions de colors i possiblement és capaç de detectar un sol fotó.

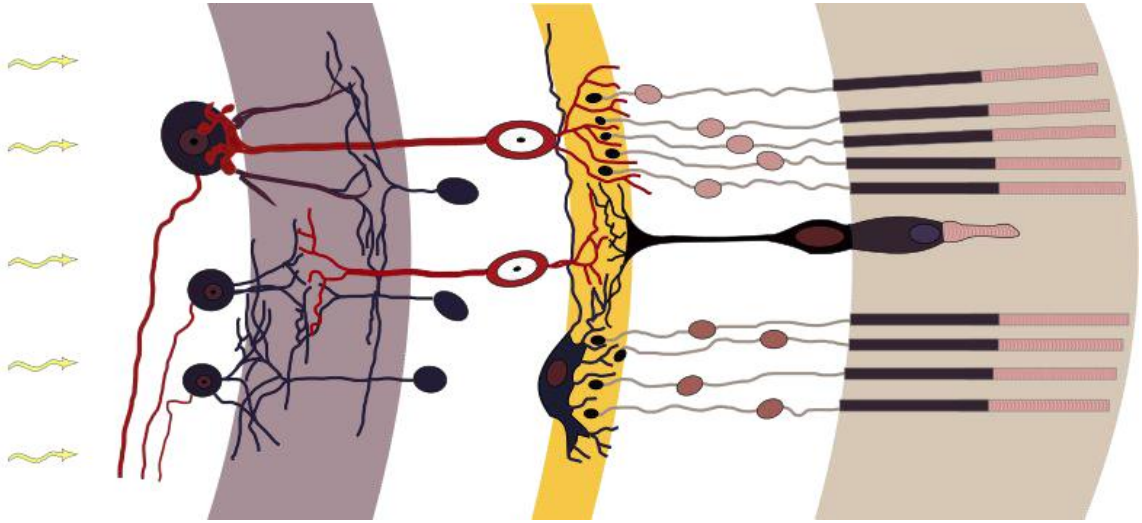
Les cèl·lules ganglionals fotosensibles no formadores d'imatges de l'ull humà a la retina reben senyals de llum que afecten l'ajust de la mida de la pupil·la, la regulació i la supressió de l'hormona melatonina i l'entrenament del rellotge biològic.
[wikipedia]

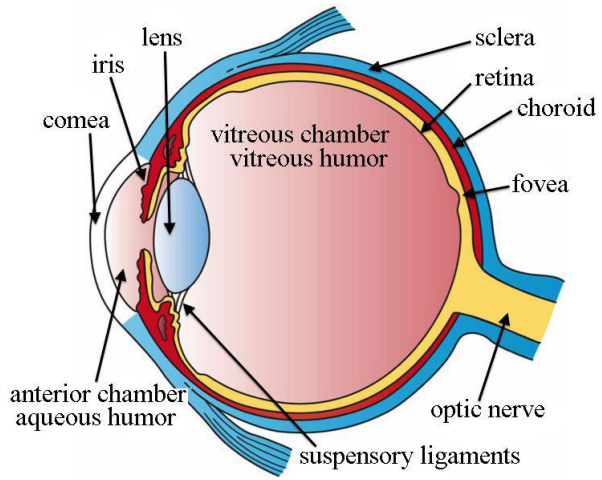


La llum (des de l'esquerra) passa a través de diverses capes nervioses transparents per arribar als **bastons** i **cons** (extrem dret).

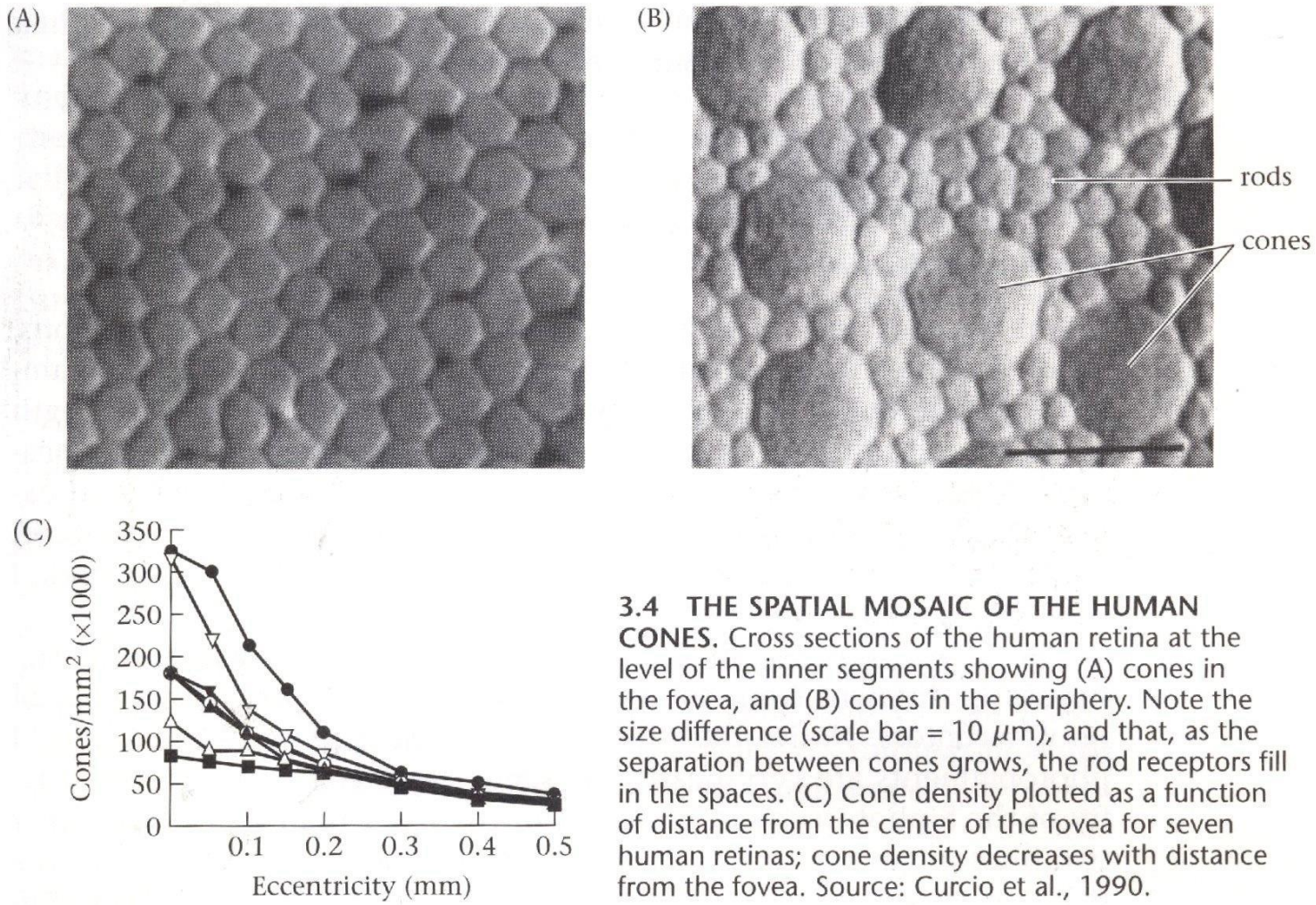
Un canvi químic als bastons i cons envia un senyal als nervis. El senyal va primer a les cèl·lules bipolars i horitzontals (capa groga), després a les cèl·lules amacrines I cèl·lules ganglionals (capa lila) i, finalment, a les fibres del nervi òptic.

[wikipedia]



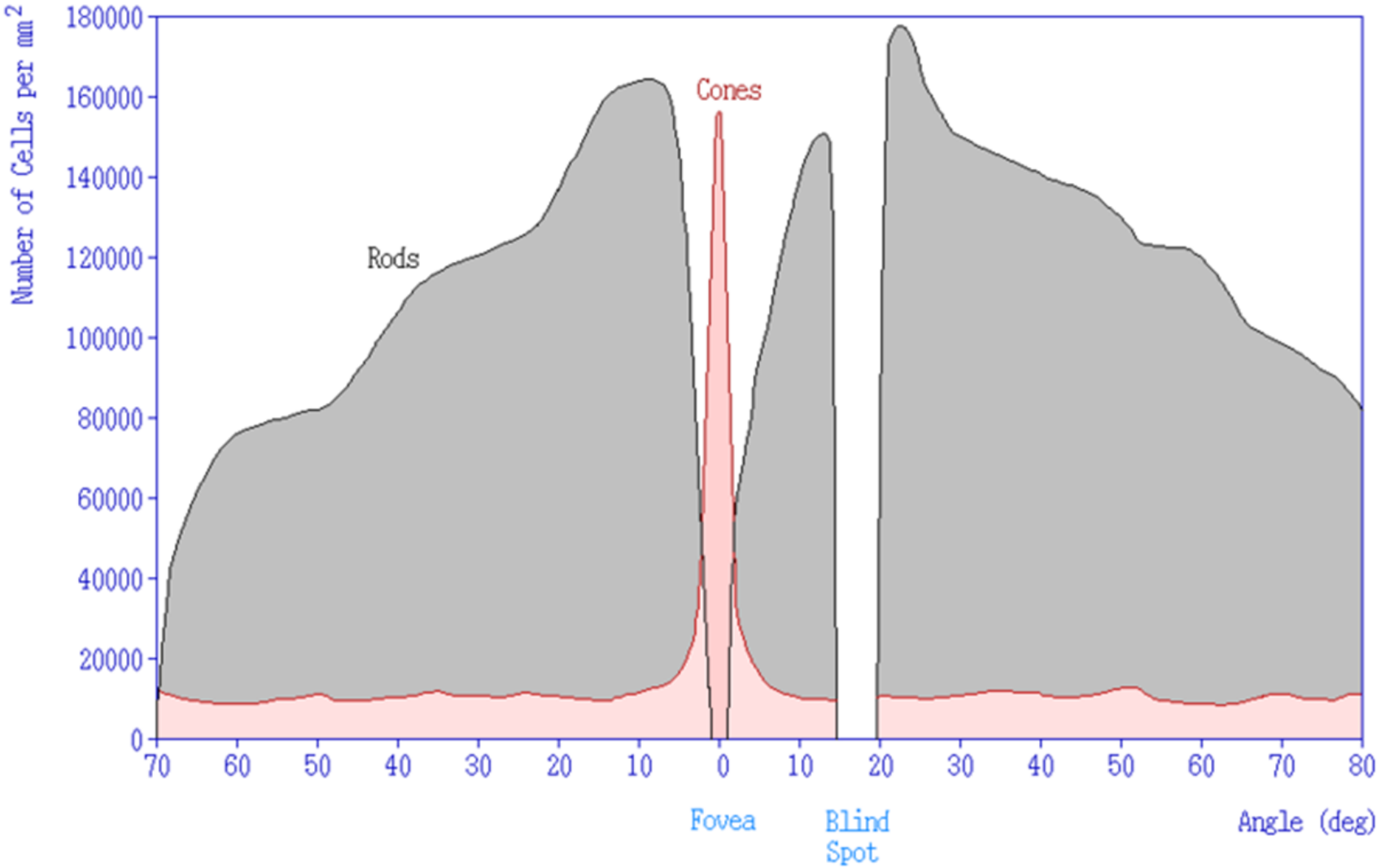


Allò que l'ull sí veu



3.4 THE SPATIAL MOSAIC OF THE HUMAN CONES. Cross sections of the human retina at the level of the inner segments showing (A) cones in the fovea, and (B) cones in the periphery. Note the size difference (scale bar = 10 μm), and that, as the separation between cones grows, the rod receptors fill in the spaces. (C) Cone density plotted as a function of distance from the center of the fovea for seven human retinas; cone density decreases with distance from the fovea. Source: Curcio et al., 1990.

Allò que l'ull sí veu



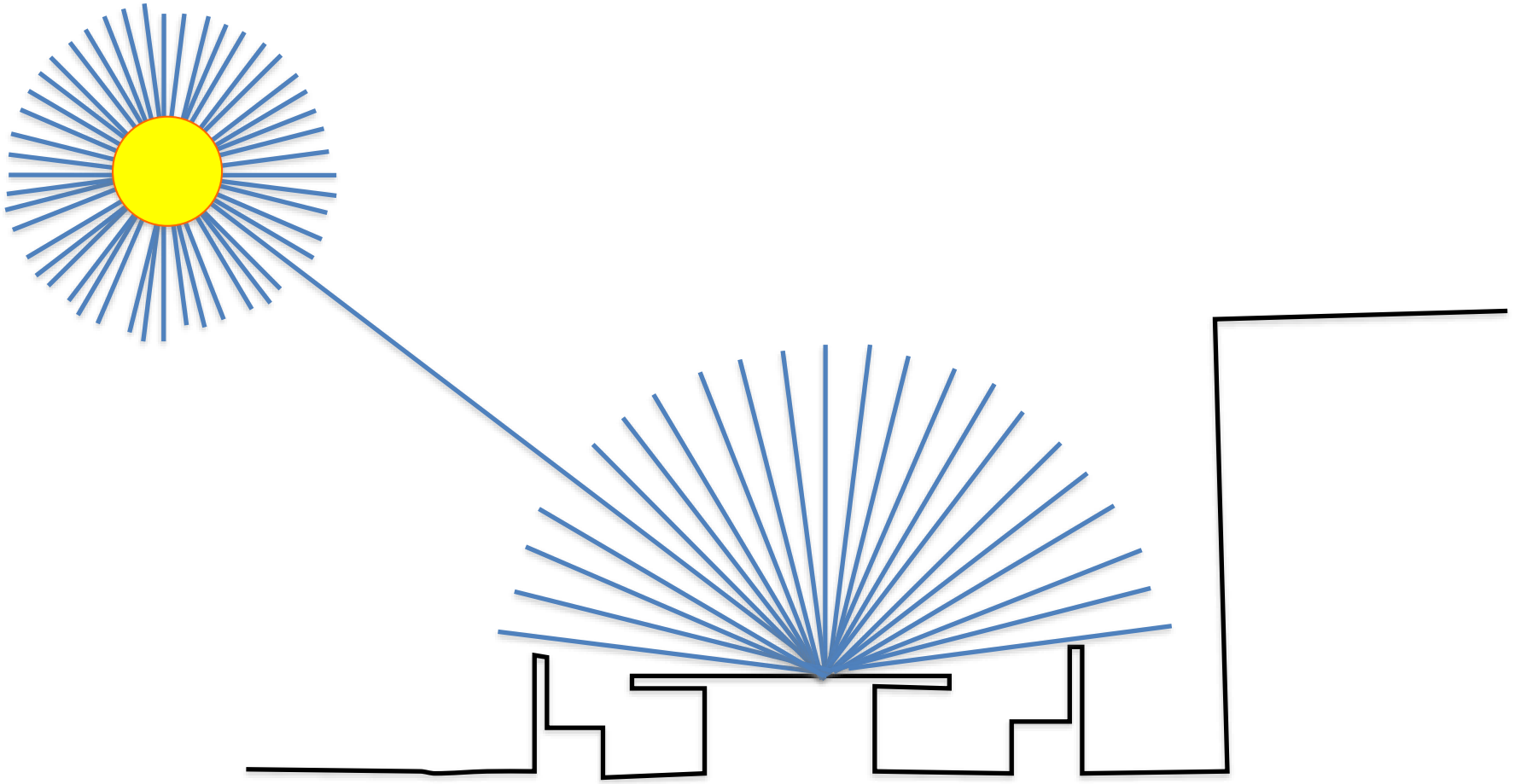
A l'ull hi ha dos tipus de fotoreceptors: **bastons i cons** (sensors de llum).

- Cons: 6-7 milions, situats a la porció central de la retina (fòvea), responsables de la visió fotòpica (visió amb llum brillant) i la percepció del color, poden resoldre detalls fins.

- Bastons: 75-150 milions, distribuïts per tota la retina, responsables de la visió escotòpica (visió amb llum tènue), no sensibles al color, donen una imatge general de conjunt (sense detalls).

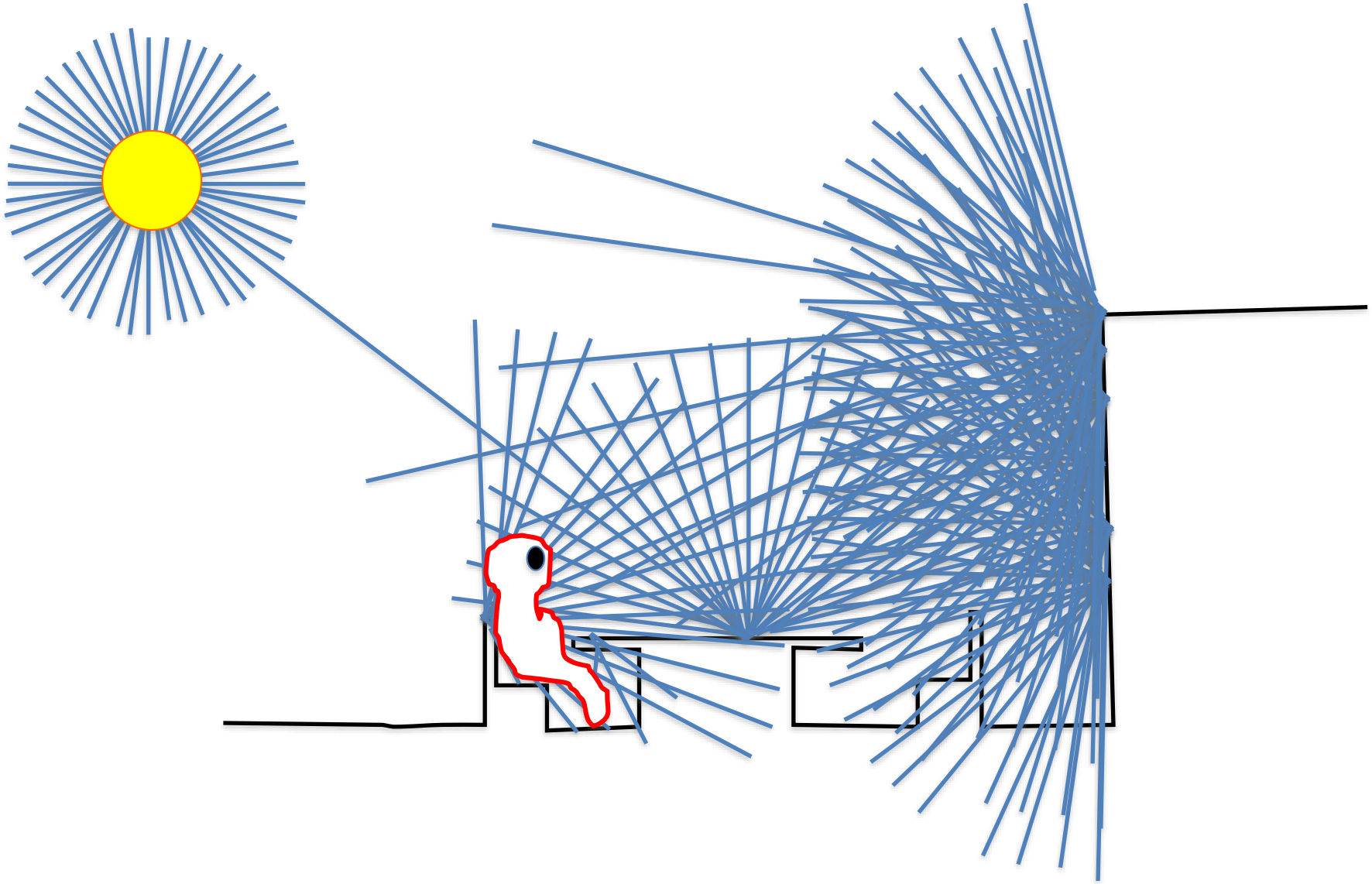
Part 2

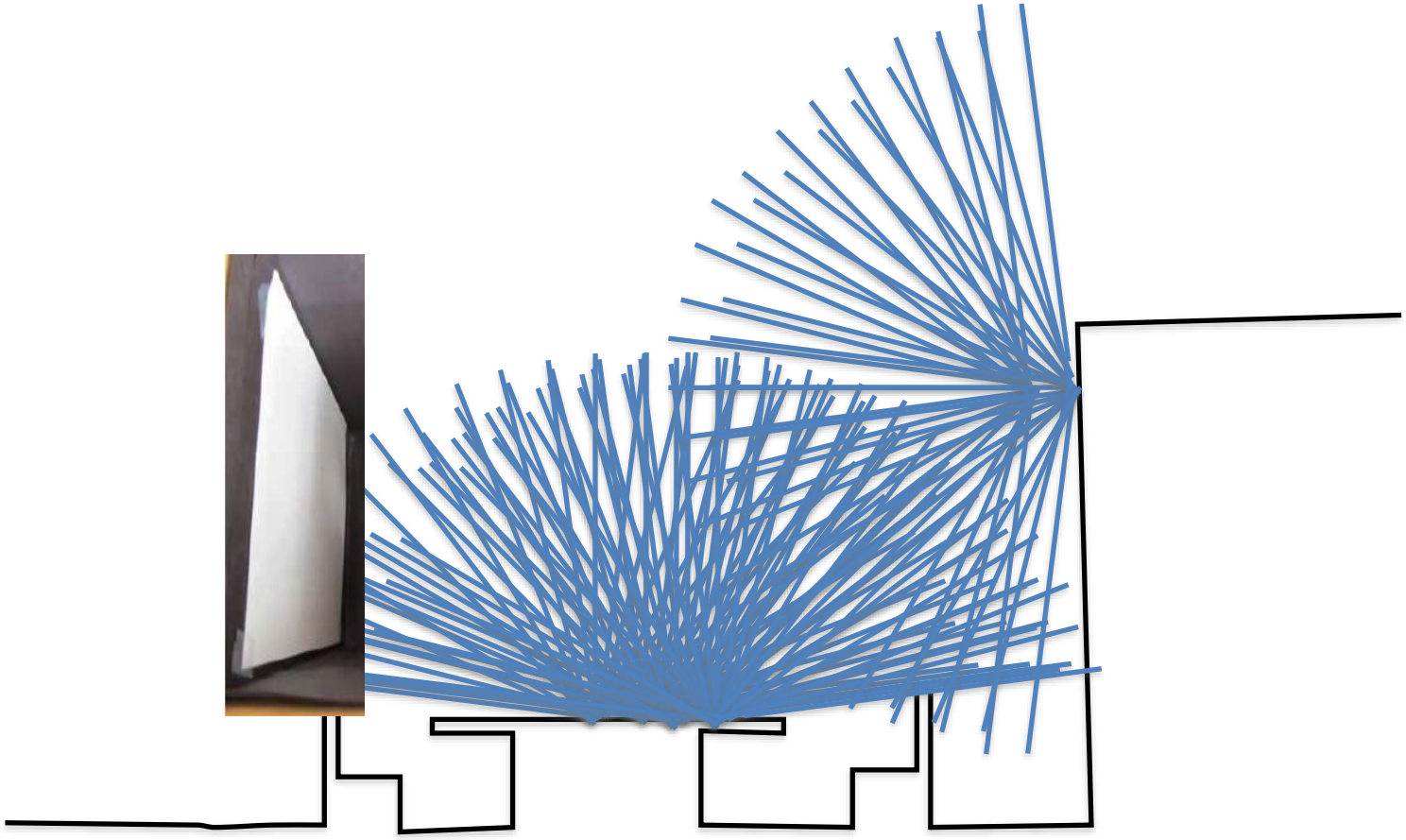
La càmera



Antonio Torralba (MIT)

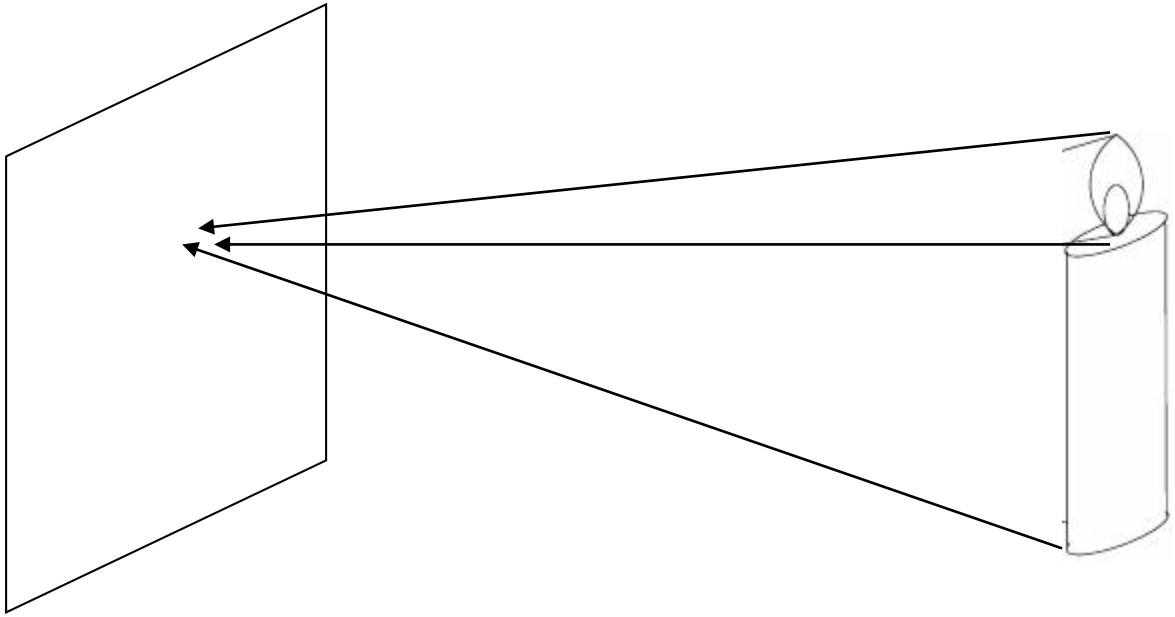
La càmera





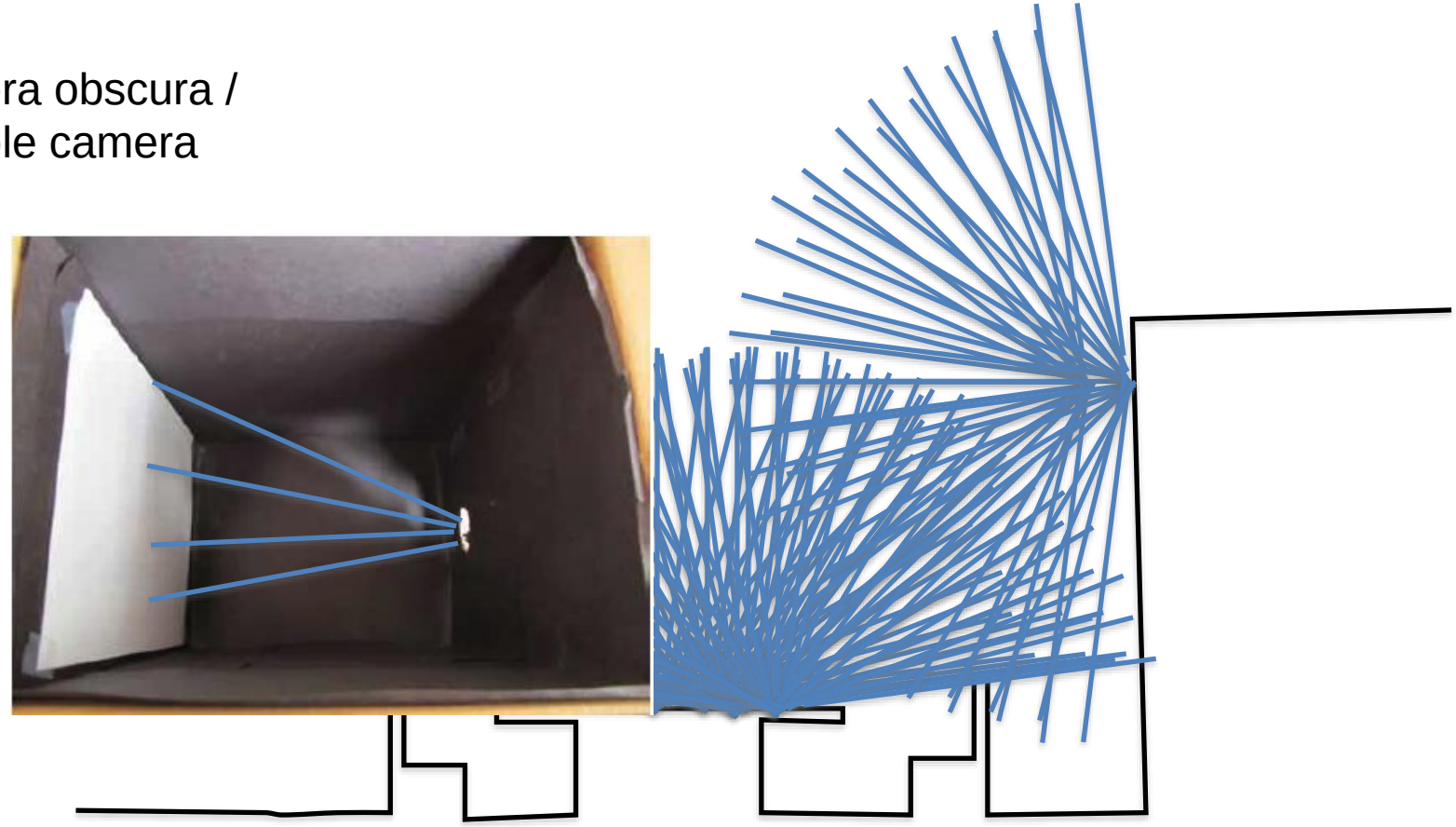
Per què no apareix cap imatge al paper?

Els raigs de llum de molts punts diferents de l'escena incideixen en el mateix punt del paper.



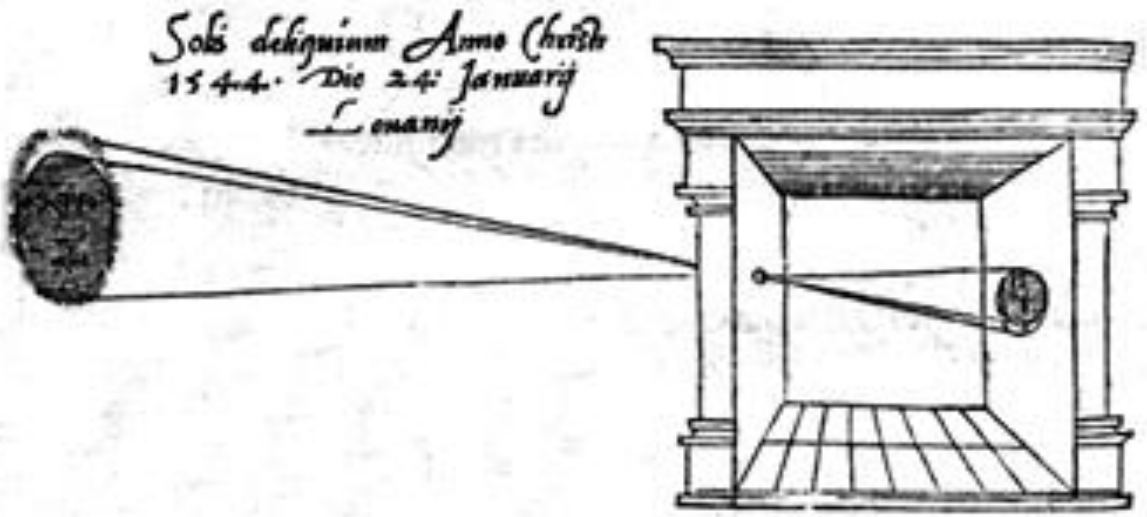
Forsyth & Ponce

The camera obscura /
The pinhole camera



- Model simple: pinhole, projecció central

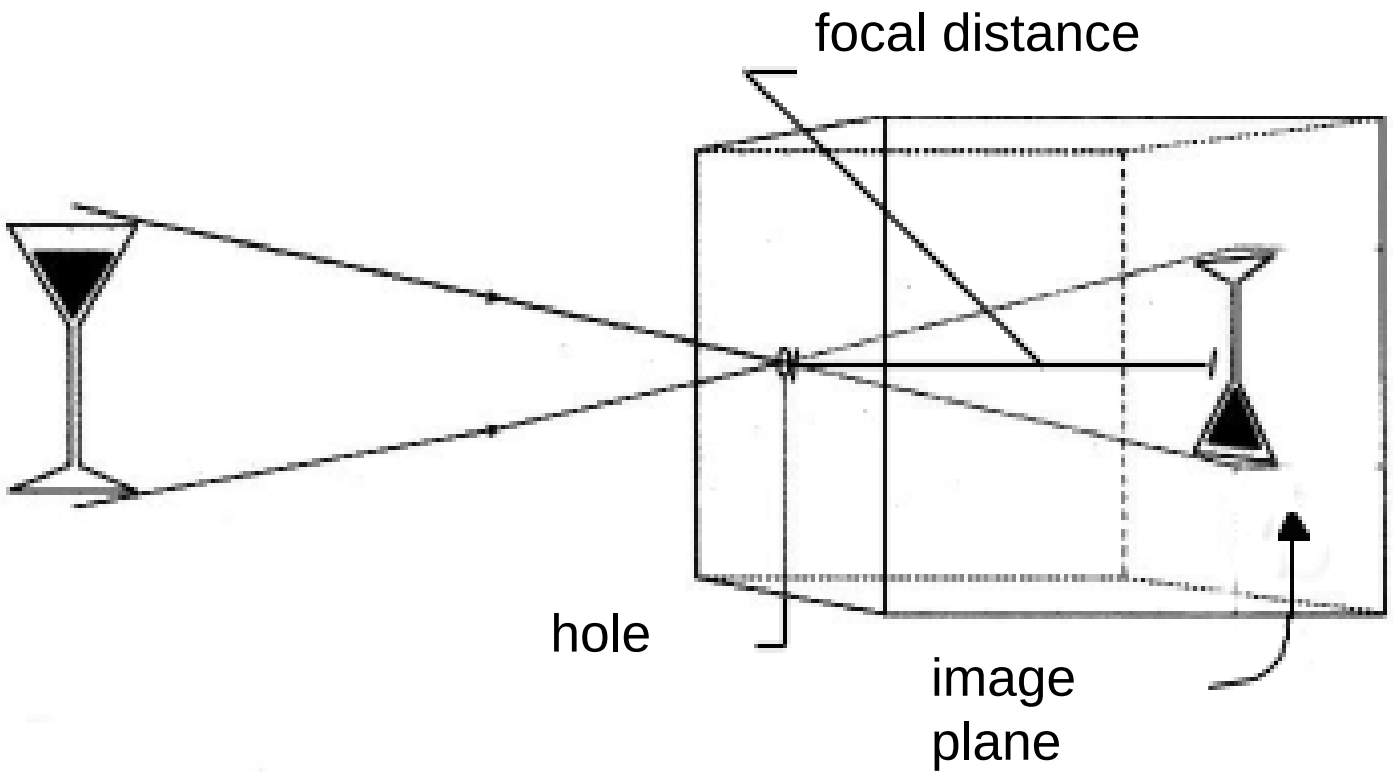
illum in tabula per radios Solis, quàm in cœlo contingit: hoc eſt, ſi in cœlo ſuperior pars deliquiũ patiatur, in radiis apparebit inferior deficere, vt ratio exigit optica.



Sic nos exactè Anno .1544. Louanii eclipſim Solis obſeruauimus, inuenimusq; deficere paulò plus q̃ dex-

La imatge està invertida!

Això ho va assenyalar Kepler el 1604!





http://www.abelardomorell.net

From Grand Images Through a Tiny Opening, Photo District News, February 2005

German Garbage Men Turn Dumpsters Into Giant Pinhole Cameras

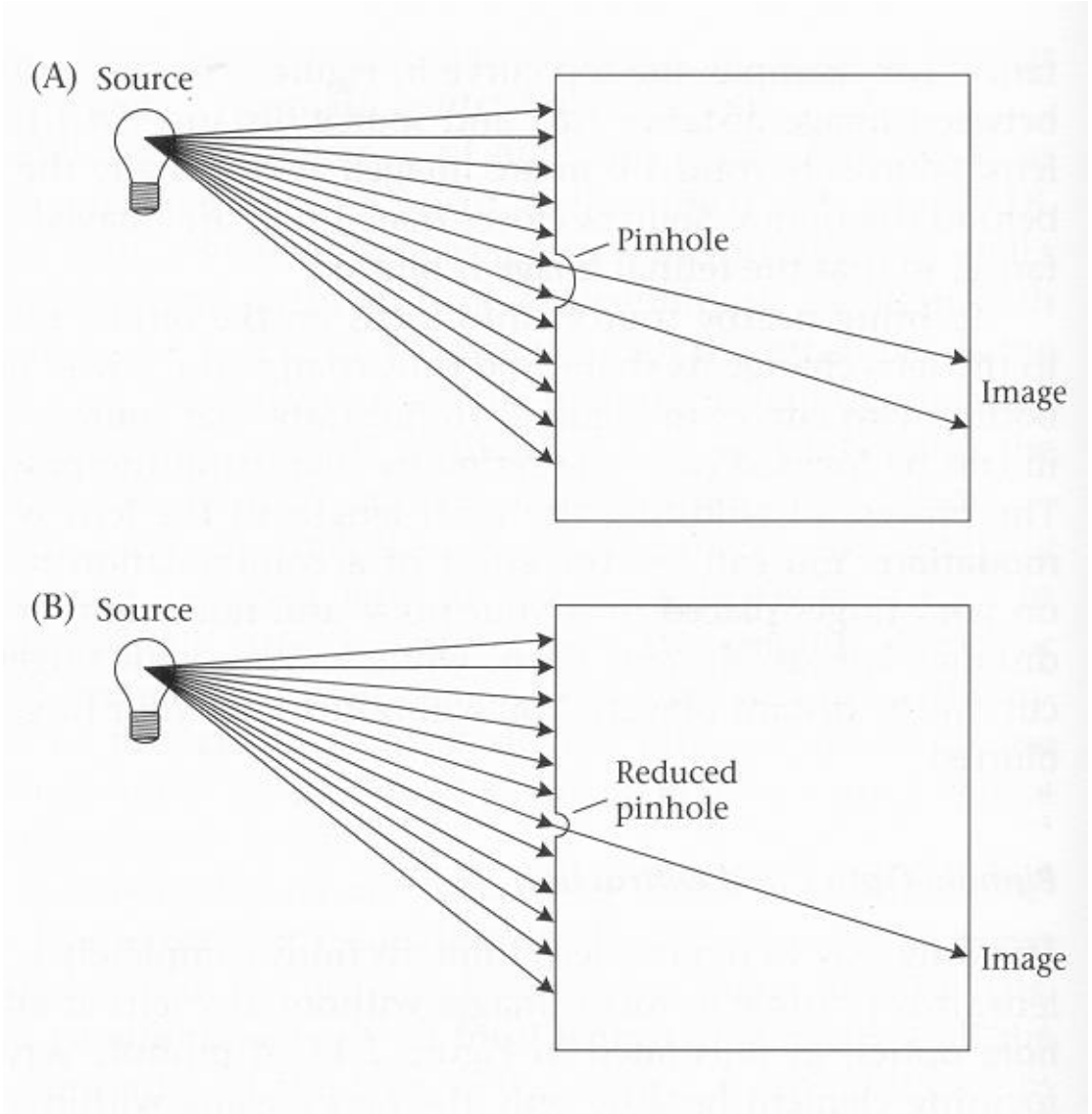


https://petapixel.com/2012/04/18/german-garbage-men-turn-dumpsters-into-giant-pinhole-cameras/

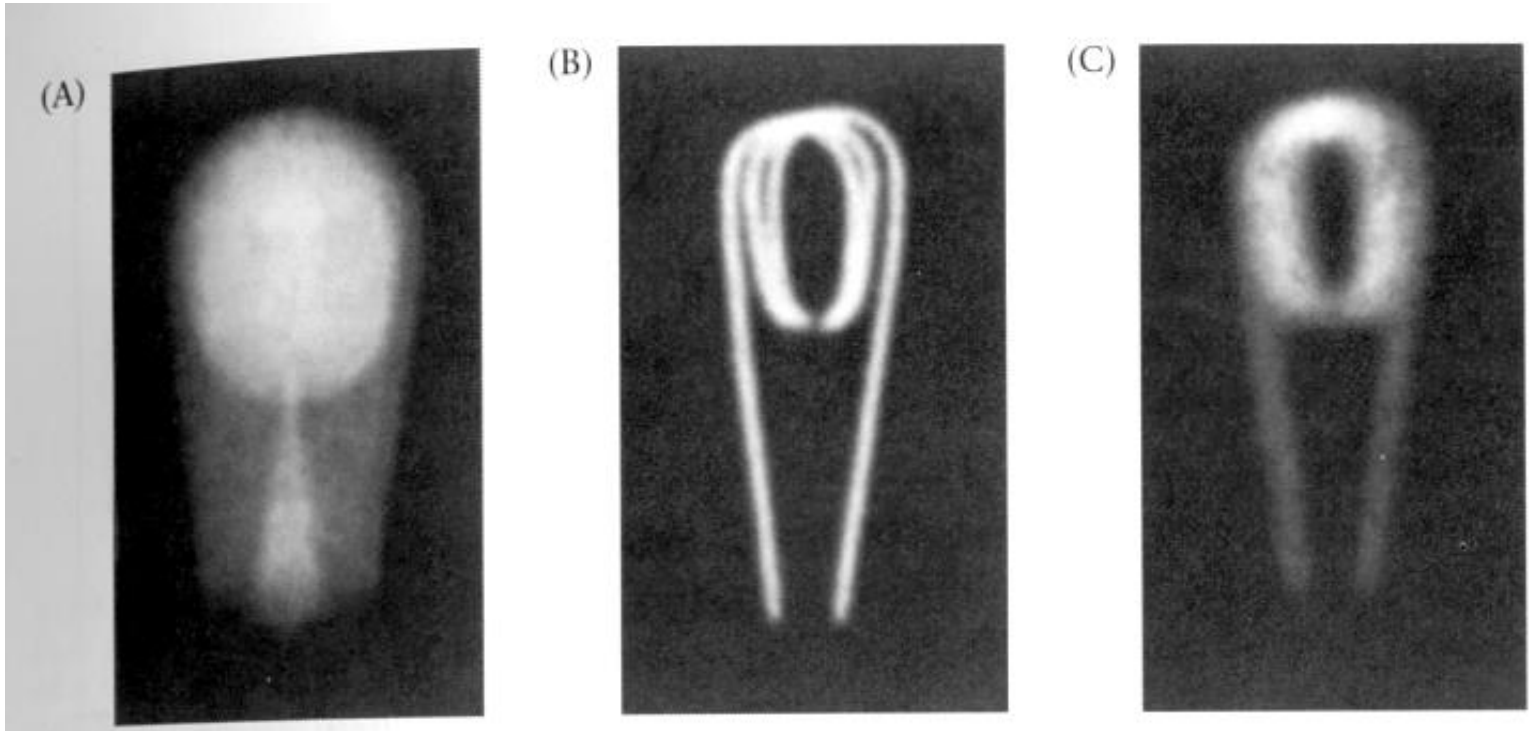
Trashcam Project



Rathaus Hamburg



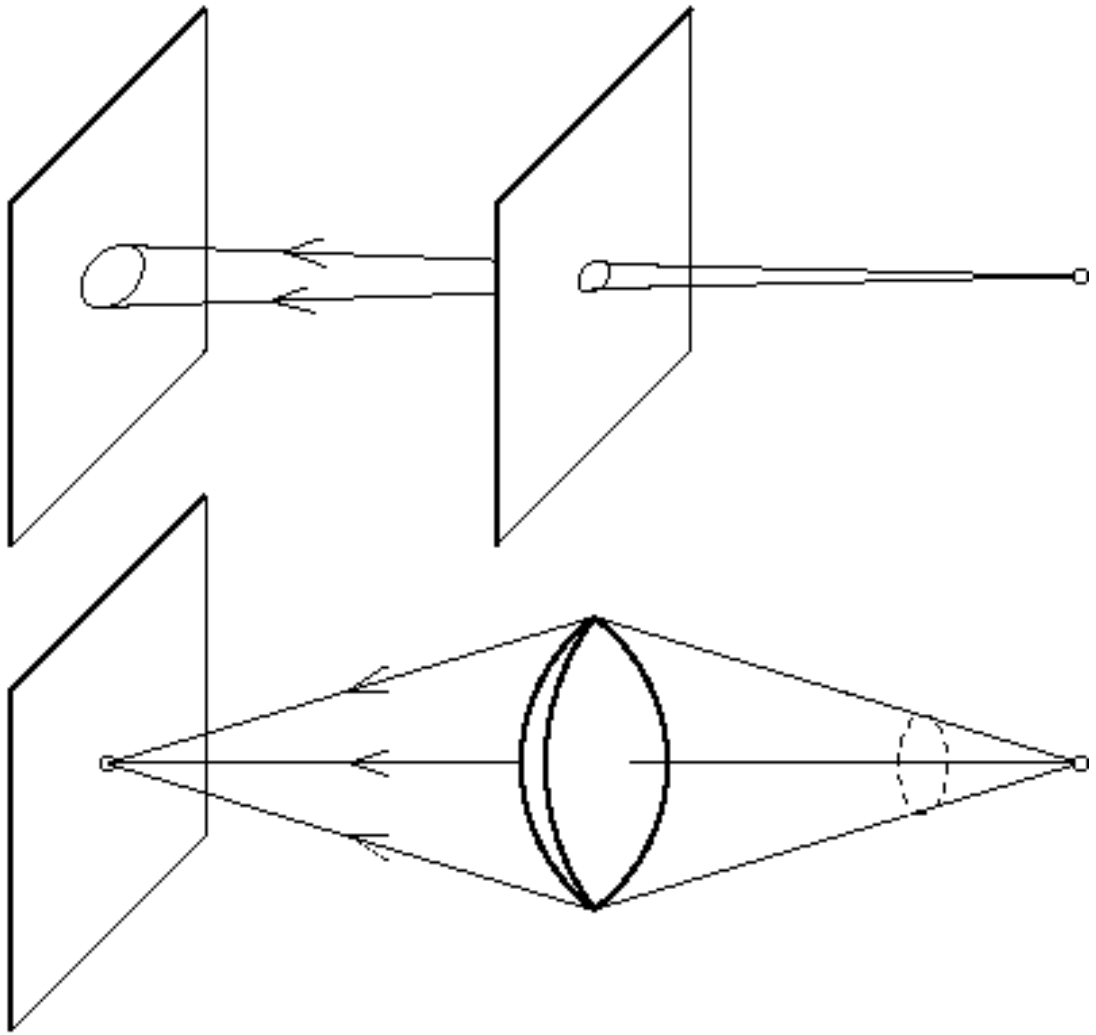
Wandell, Foundations of Vision, Sinauer, 1995



2.18 DIFFRACTION LIMITS THE QUALITY OF PINHOLE OPTICS. These three images of a bulb filament were made using pinholes with decreasing size. (A) When the pinhole is relatively large, the image rays are not properly converged, and the image is blurred. (B) Reducing the size of the pinhole improves the focus. (C) Reducing the size of the pinhole further worsens the focus, due to diffraction. From Ruechardt, 1958.

Wandell, Foundations of Vision, Sinauer, 1995

El perquè de les lents



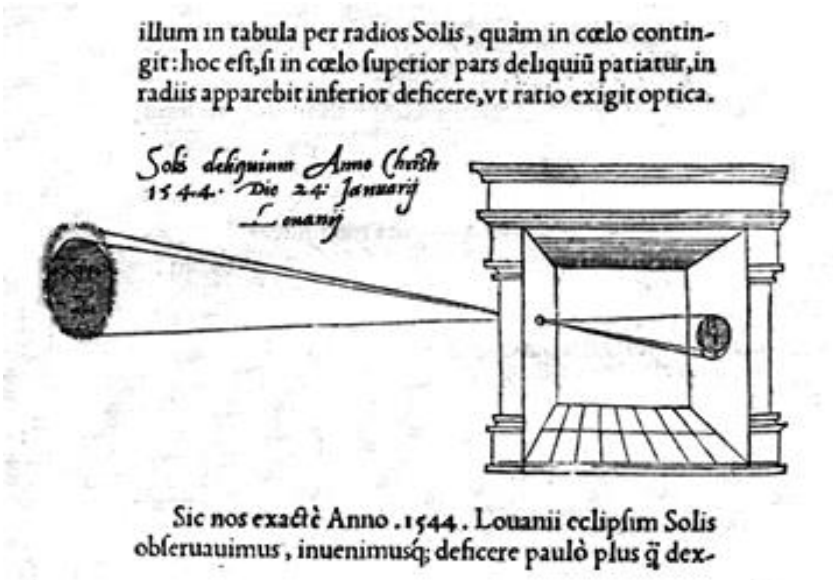
Slide by Steve Seitz

Substitució de "pinholes" per lents



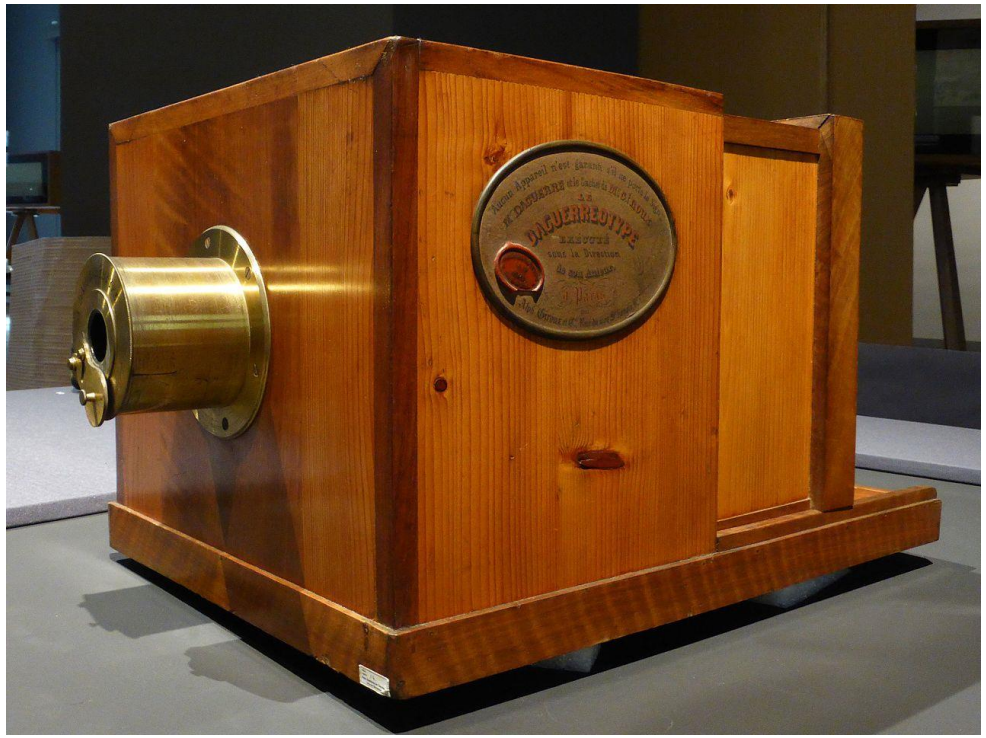
Photography, London et al

La càmera


illum in tabula per radios Solis, quàm in cœlo contingit: hoc eſt, ſi in cœlo ſuperior pars deliquiũ patiatur, in radiis apparebit inferior deficere, vt ratio exigit optica.

Solis deliquium Anno Chriſti 1544. Die 24. Januarij Louanij

Sic nos exactè Anno .1544. Louanii eclipſim Solis obſeruauimus, inuenimuſq; deficere paulò plus q̃ dex-




EL DIA 10 NOVEMBRE DE L´ANY 1839,
FOU OBTINGUDA EN AQUEST LLOC LA PRIMERA
FOTOGRAFIA REALITZADA ESPANYA.
L´EXCEL.LENTISSIM AJUNTAMENT DE
BARCELONA I L´AGRUPACIÓ FOTOGRAFICA DE
CATALUNYA, TESTIMONIEN AMB AQUESTA PLACA
L´HOMENATGE DE LA NOSTRA CIUTAT A TOTS ELS
PIONERS DE LA FOTOGRAFIA ESPANYOLA.
BARCELONA, 14 DE DESEMBRE DEL 1975.



Part 3

L’ull i l’orella



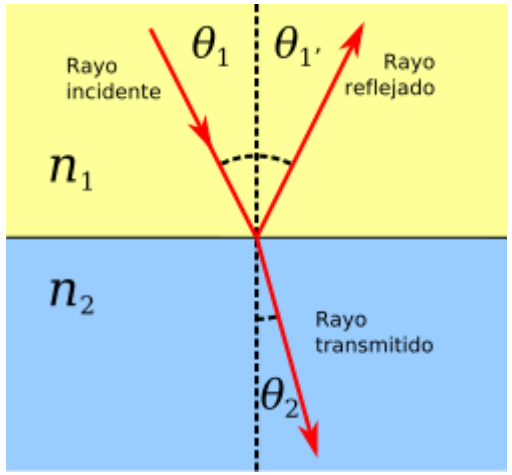
https://en.wikipedia.org/wiki/Rainbow

The most commonly cited and remembered sequence of colors is Isaac Newton's sevenfold **R**ed, **O**range, **Y**ellow, **G**reen, **B**lue, **I**ndigo and **V**iolet.

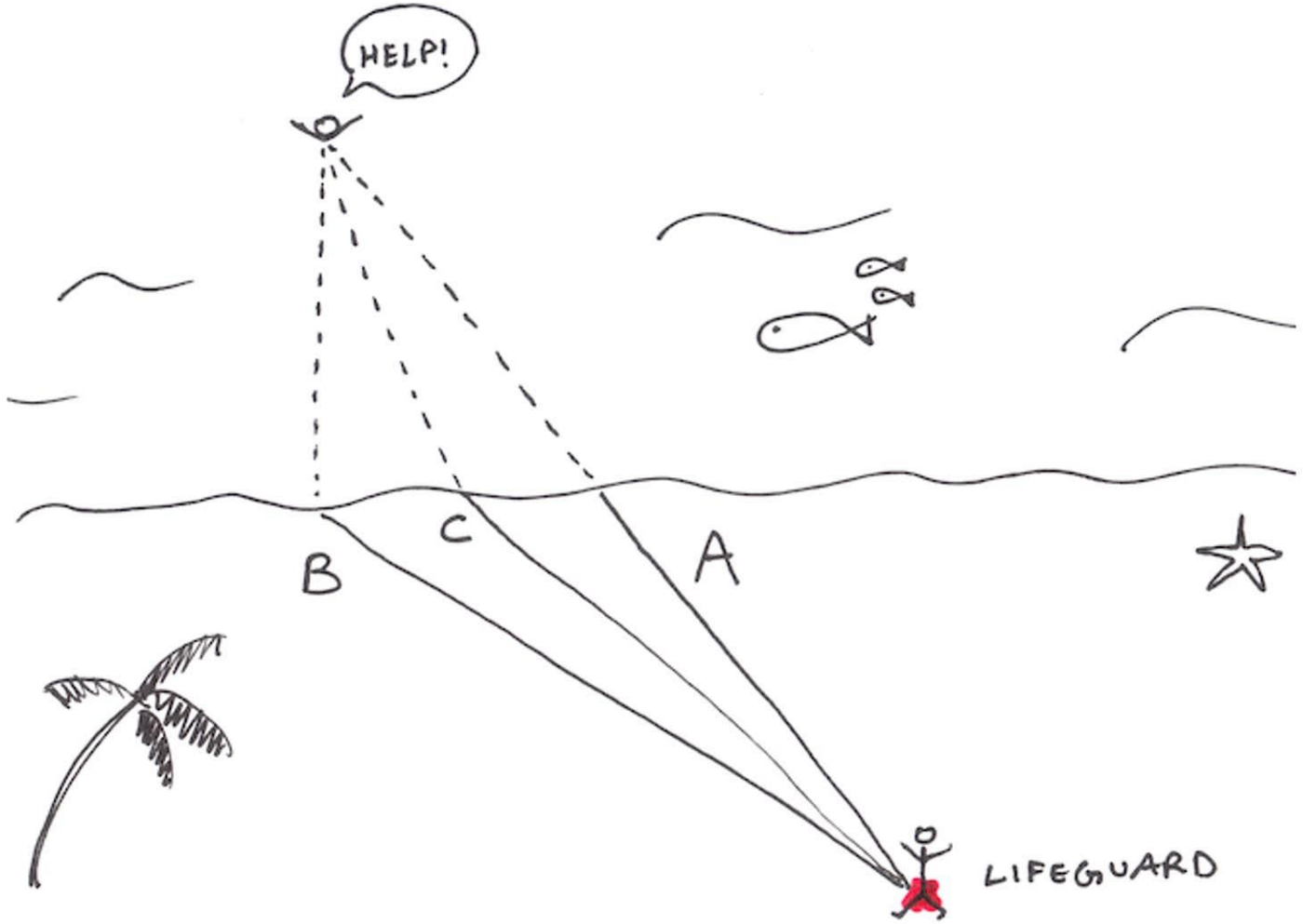


L’arc de Sant Martí

- **Refracció:** La llum del sol entra en una gota de pluja, que funciona com un petit prisma d’aigua. La llum es desvia perquè l’aigua té un índex de refracció més gran que l’aire.
- **Dispersió:** La llum blanca del sol conté tots els colors. Cada color es desvia una mica diferent, ja que l’índex de refracció depèn de la longitud d’ona. Això fa que la llum es separi en un espectre de colors, igual que passa amb un prisma de vidre.
- **Reflexió interna:** La llum es reflecteix a la superfície interna de la gota de pluja.
- **Refracció de nou:** La llum surt de la gota, desviant-se una altra vegada. El resultat és un espectre de colors que l’observador veu com un arc de Sant Martí.



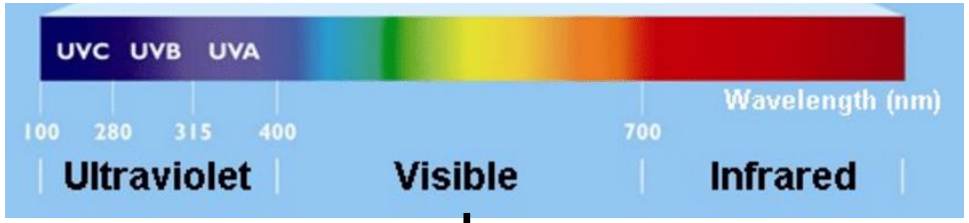
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$



To Save Drowning People, Ask Yourself “What Would Light Do?”

https://nautil.us/to-save-drowning-people-ask-yourself-what-would-light-do-234852/

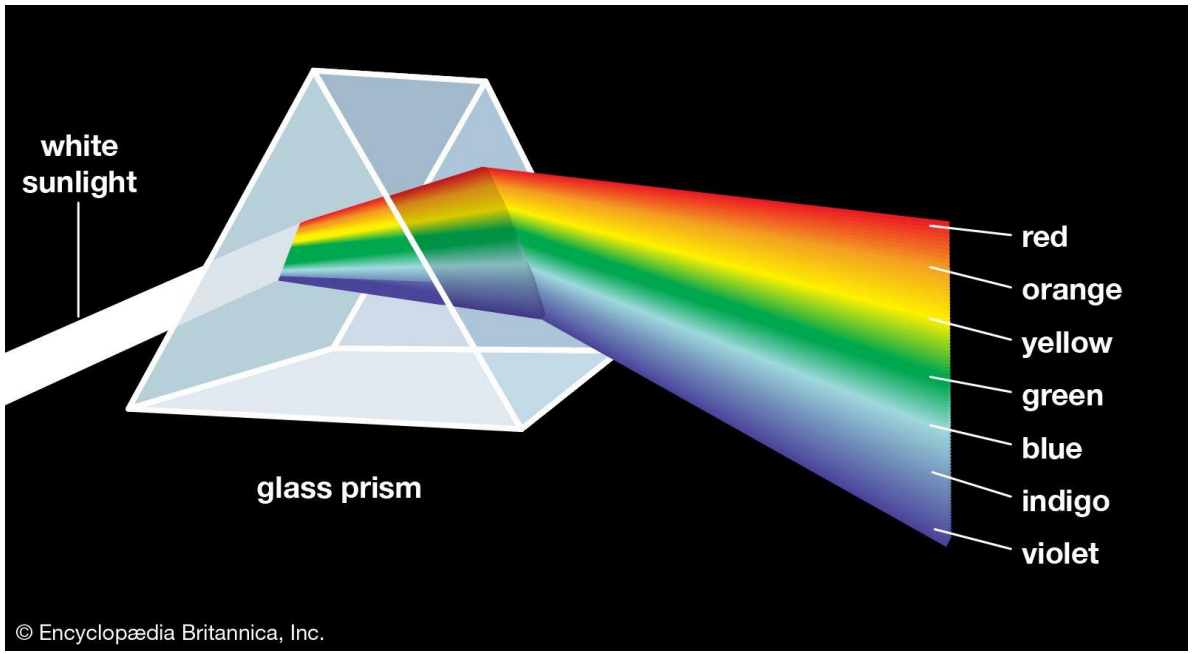
Història del descobriment de l'espectre



Isaac Newton - 1666

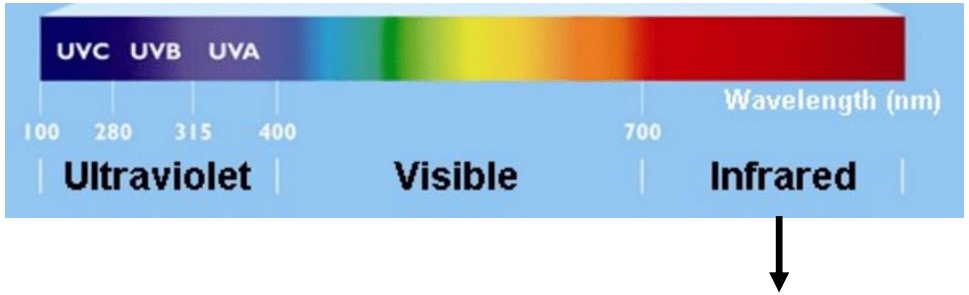
Físic, teòleg, inventor, alquimista i matemàtic anglès.





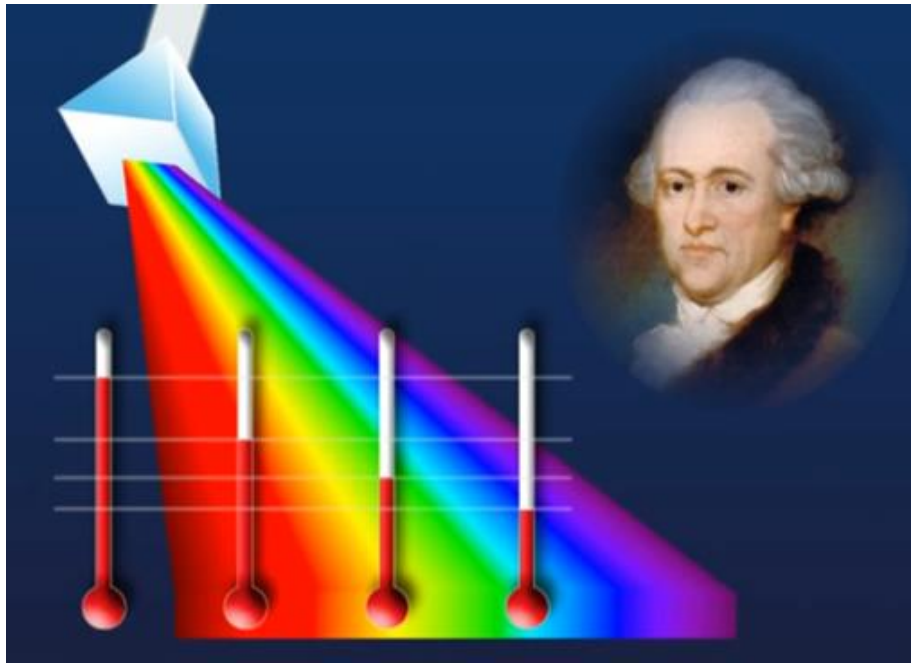
Refracció d'un raig de llum solar en un prisma

Història del descobriment de l'espectre



Germans William Herschel i Caroline Herschel - 1800

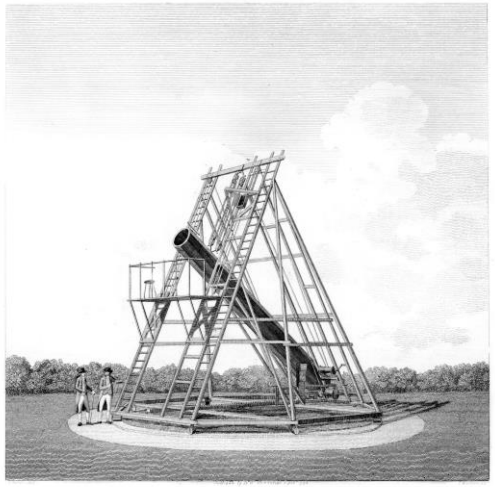
Astrònoms alemanys afincats a Anglaterra:



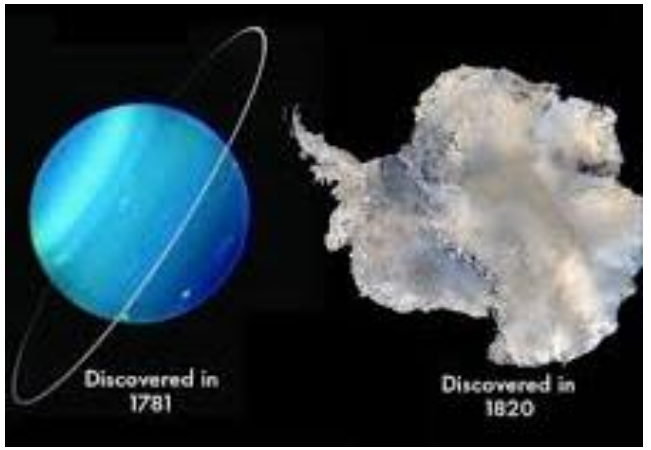
Van mesurar la temeratura for a de l'especre visible I va veure que augmentava, és a dir, que hi havia llum



Caroline Herschel va descobrir 8 cometes

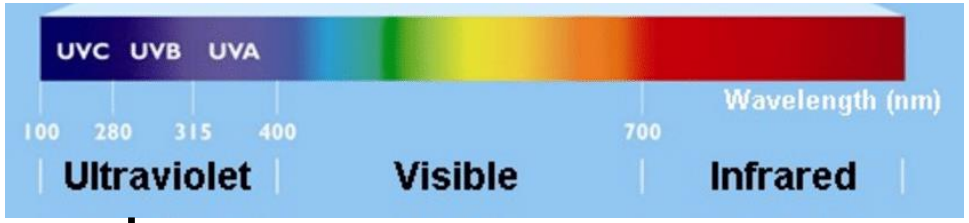


Van construir el Telescopi Herschel de vint peus.



Van descobrir el planteta Urà (1781) molt abans que es descobrés l'Antàrtica (1820)

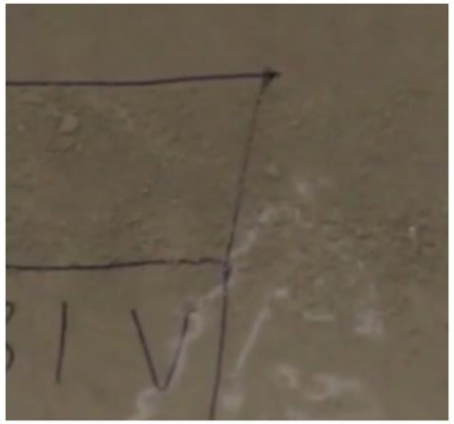
Història del descobriment de l'espectre



Johann Ritter - 1801
Ffísic I filòsof alemany

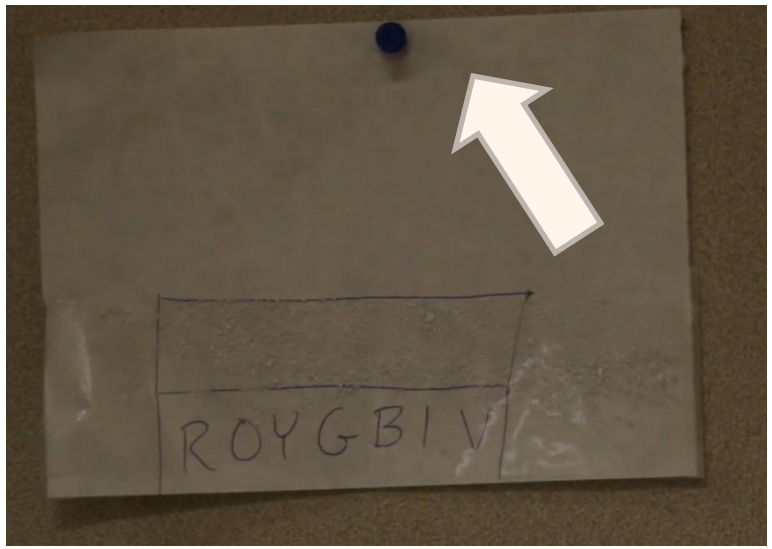


20 anys després el clorur de plata s'utilitzaria a les primeres fotografies,



Sal esparcida

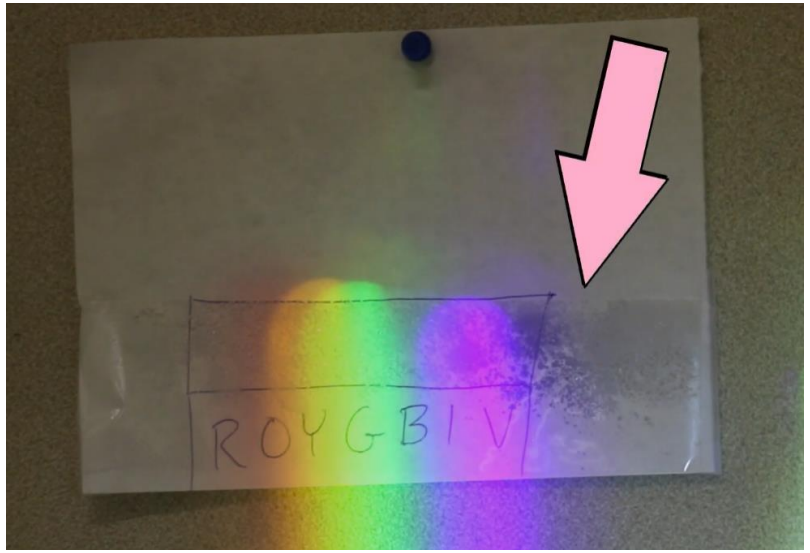




Experiment amb sal de clorur de plata



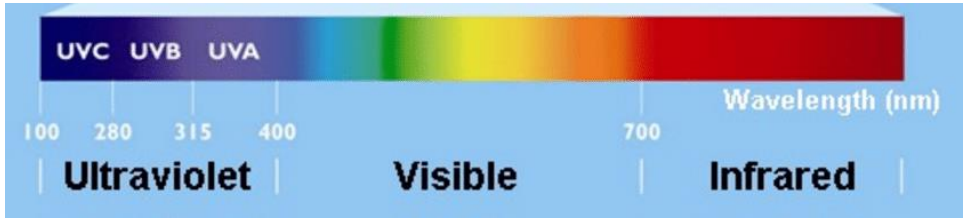
La sal de clorur de plata es torna marró quan s'exposa a la llum.



La salt canvia de color, significa que hi ha llum més enllà de l'espectre visible.

L’ull i l’orella

Les limitacions humanes:
Que no ho percebem, no vol dir que no existeixi



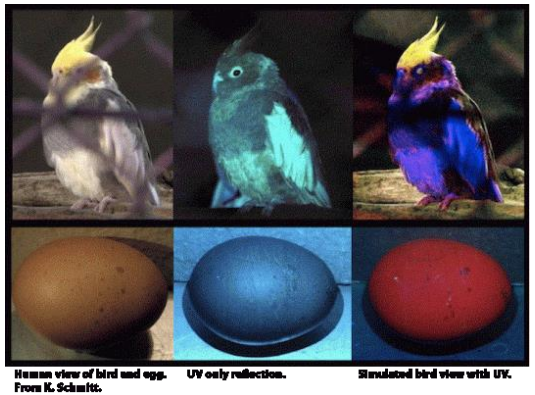


Animals vs Persones: LLum





Els ulls de les granotes toro s’adapten per analitzar tant la llum visible com la llum infraroja de la mateixa manera que ho fan els salmons: utilitzant un enzim que converteix la vitamina A1 en A2.



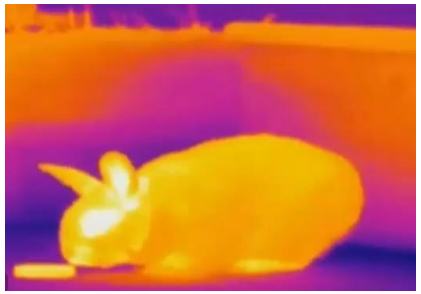
Moltes espècies tenen plomes amb patrons ultraviolats invisibles per als humans, que indiquen salut i aptitud als possibles companys.

Un possible avantatge de la visió ultraviolada és detectar les traces deixades per les preses. L’orina i les femtes dels ratolins són visibles en l’interval ultraviolat.





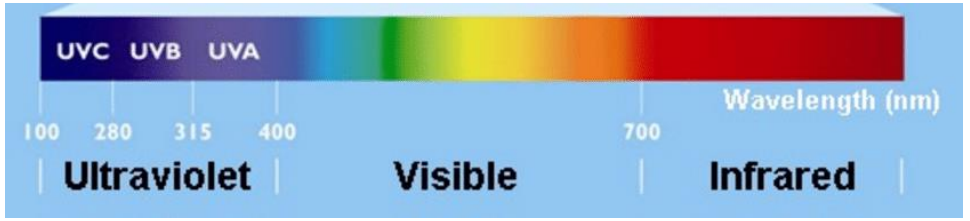
Les serps tenen visió del color limitada durant el dia i poden percebre la llum infraroja gràcies a les fosses loreals i altres òrgans sensorials facials, funcionant com una càmera tèrmica.



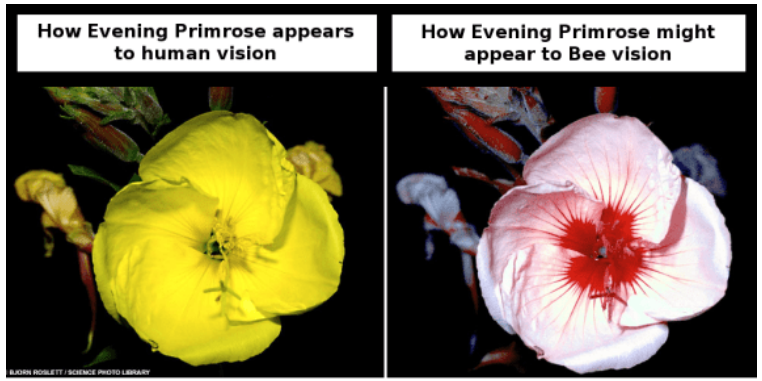
Simulació de la vista infraroja de les serps.

L'ull i l'orella

Les limitacions humanes:
Que no ho percebem, no vol dir que no existeixi







A la fotografia apareix com a vermell, però és un "color fals": una elecció arbitrària del procés fotogràfic. No significa que les abelles ho veiessin com a vermell. Ningú no sap com es veu l'ultraviolat (o el groc o qualsevol altre color) per a una abella.

Aquesta capacitat els permet identificar patrons de flors que són invisibles per als humans, com guies de nèctar que orienten cap al pol·len i al nèctar, ajudant-les a trobar aliment més eficientment.



Els mosquits femella detecten la radiació infraroja amb sensors a les antenes (TRPA1), combinant-la amb l'olfacte i el CO_2 per localitzar pell calenta fins a 70 cm, especialment a la foscor



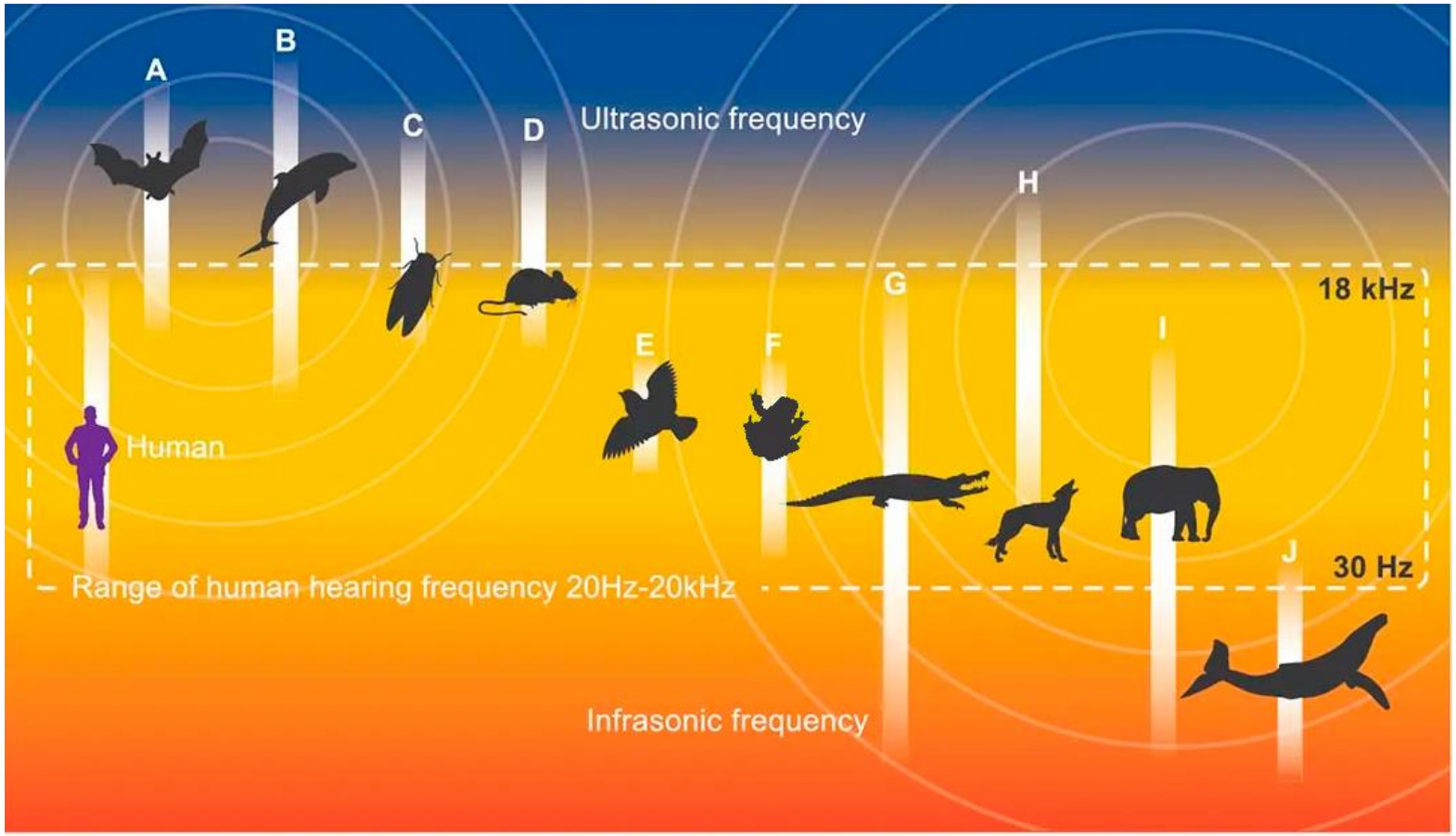


Els ratpenats vampir (Desmodus rotundus) utilitzen òrgans facials especialitzats sensibles a l'infraroig (IR), anomenats fosses sensorials, per detectar les signatures de calor (radiació tèrmica) de les preses de sang calenta.

https://p2praveen.wordpress.com/2015/12/14/what-is-the-use-of-color-vision/

https://a-z-animals.com/animals/lists/animals-that-can-see-infrared/

Les limitacions humanes: Que no ho percebem, no vol dir que no existeixi



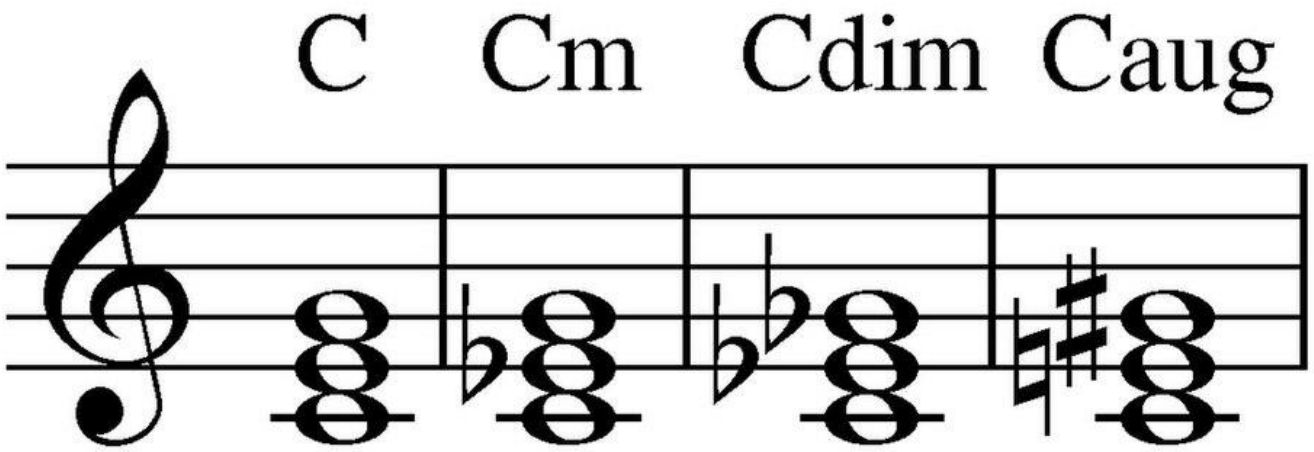
A. Bat	2kHz - 120kHz	**F.** Frog & Toad	50Hz - 4kHz
B. Dolphin	75Hz - 150kHz	**G.** Crocodile	16Hz - 18kHz
C. Insect	10kHz - 80kHz	**H.** Dog	64Hz - 44kHz
D. Rat	900Hz - 79kHz	**I.** Elephant	17Hz - 10.5kHz
E. Bird	1kHz - 4kHz	**J.** Blue whale	14Hz - 36Hz

Animals vs Persones: So

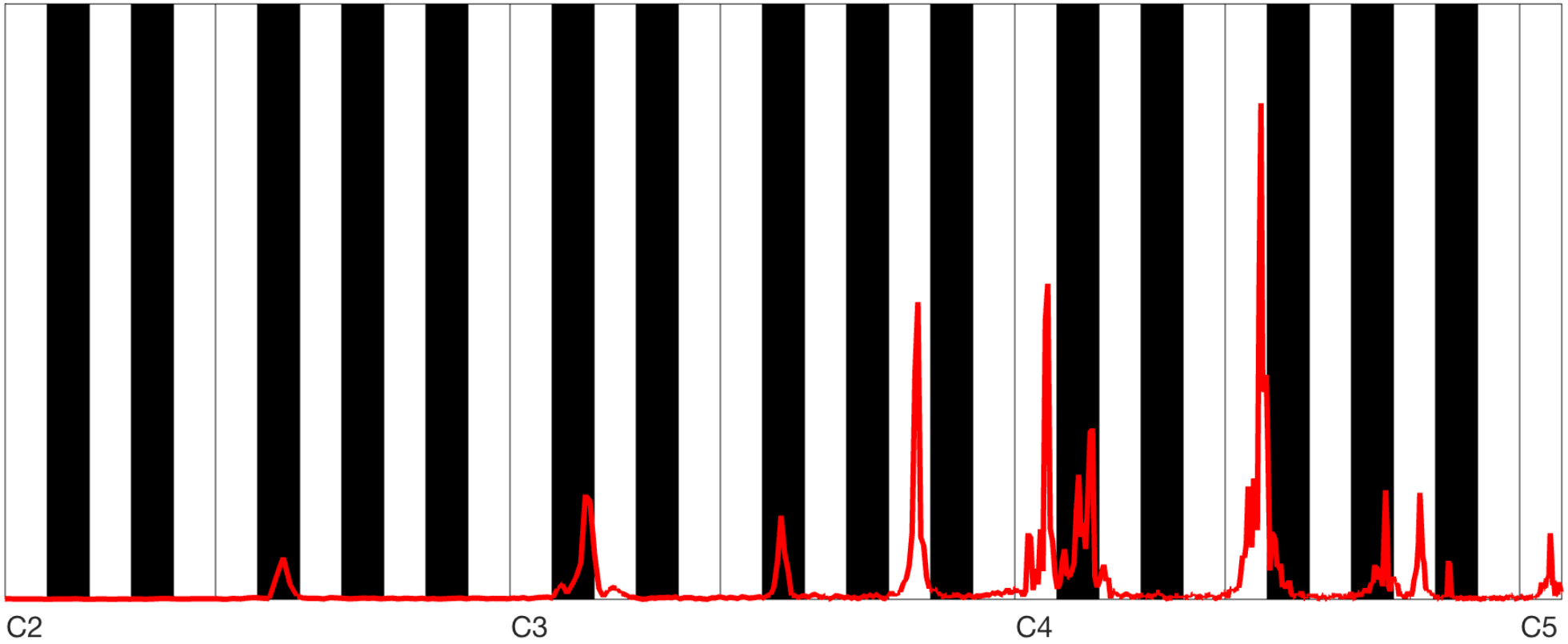
Les persones tenim un rang de freqüències audibles de 20Hz a 20KHz aproximadament.

Altres animals capten freqüències inaudibles pels humans, com els ratpenats les altes freqüencies i les balenes, les baixes freqüències.

La música de la luz

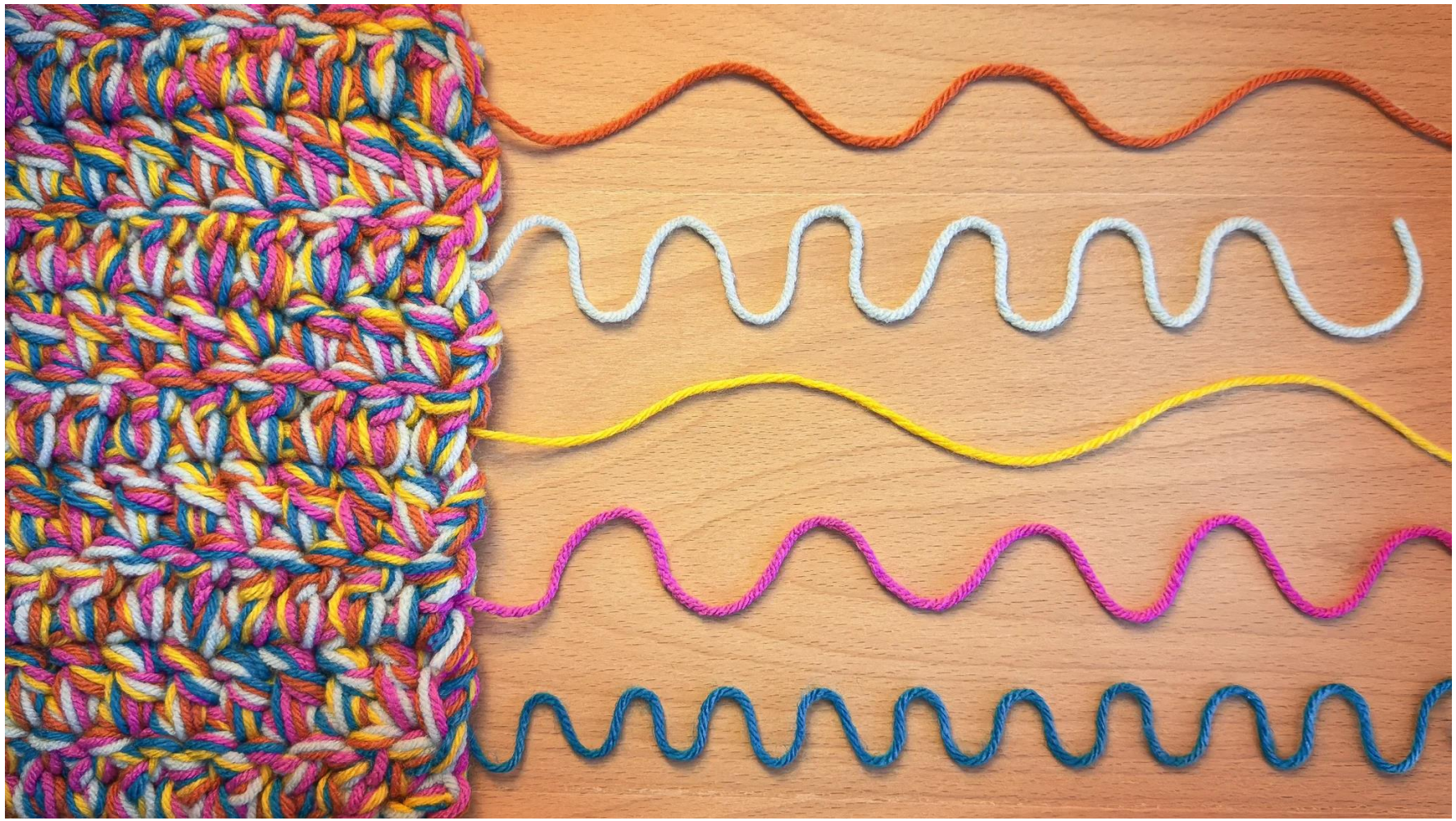


La música de la luz



https://torstenmolitor.github.io/fourier-piano/

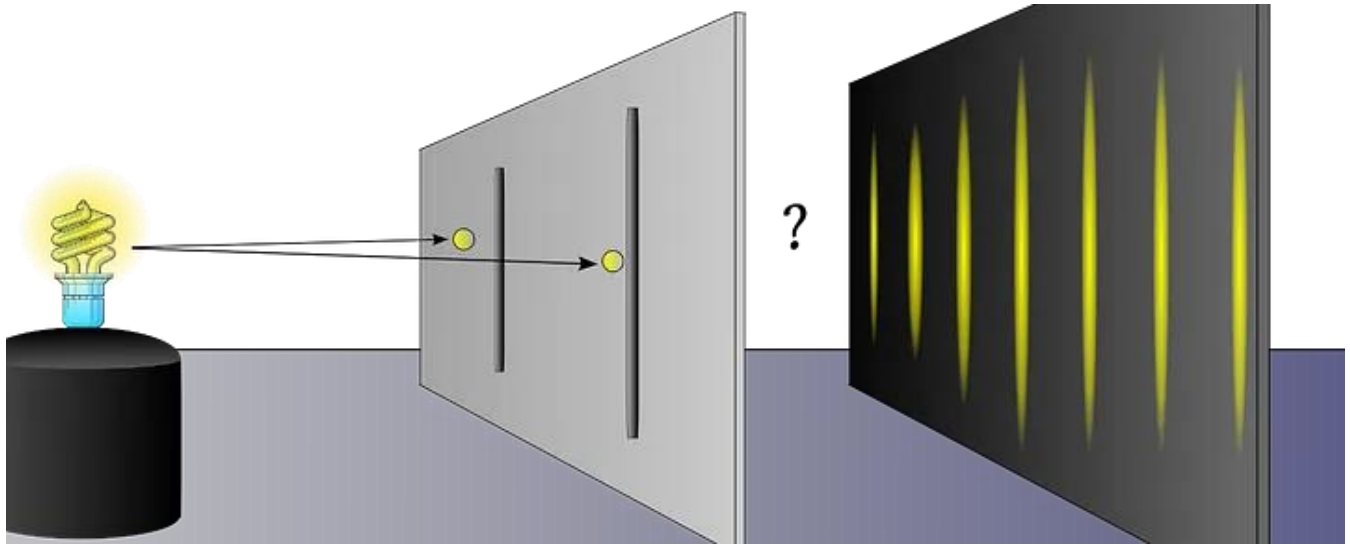
L’ull i l’orella

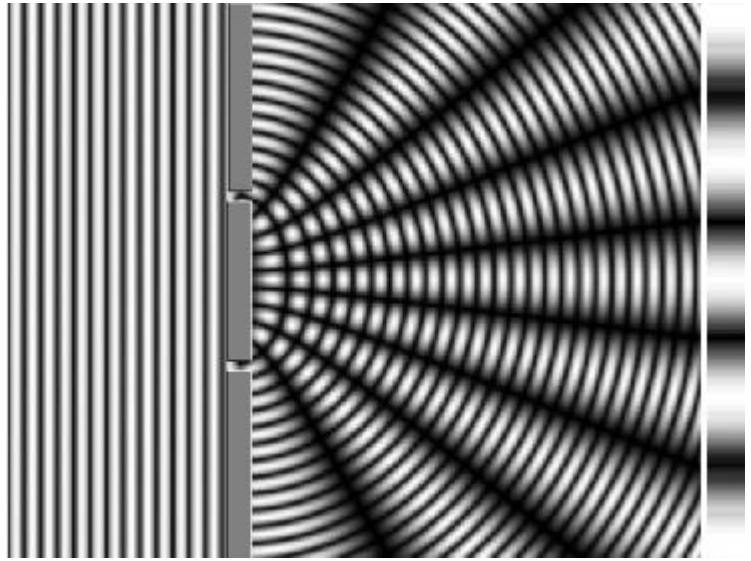


L’ull i l’orella



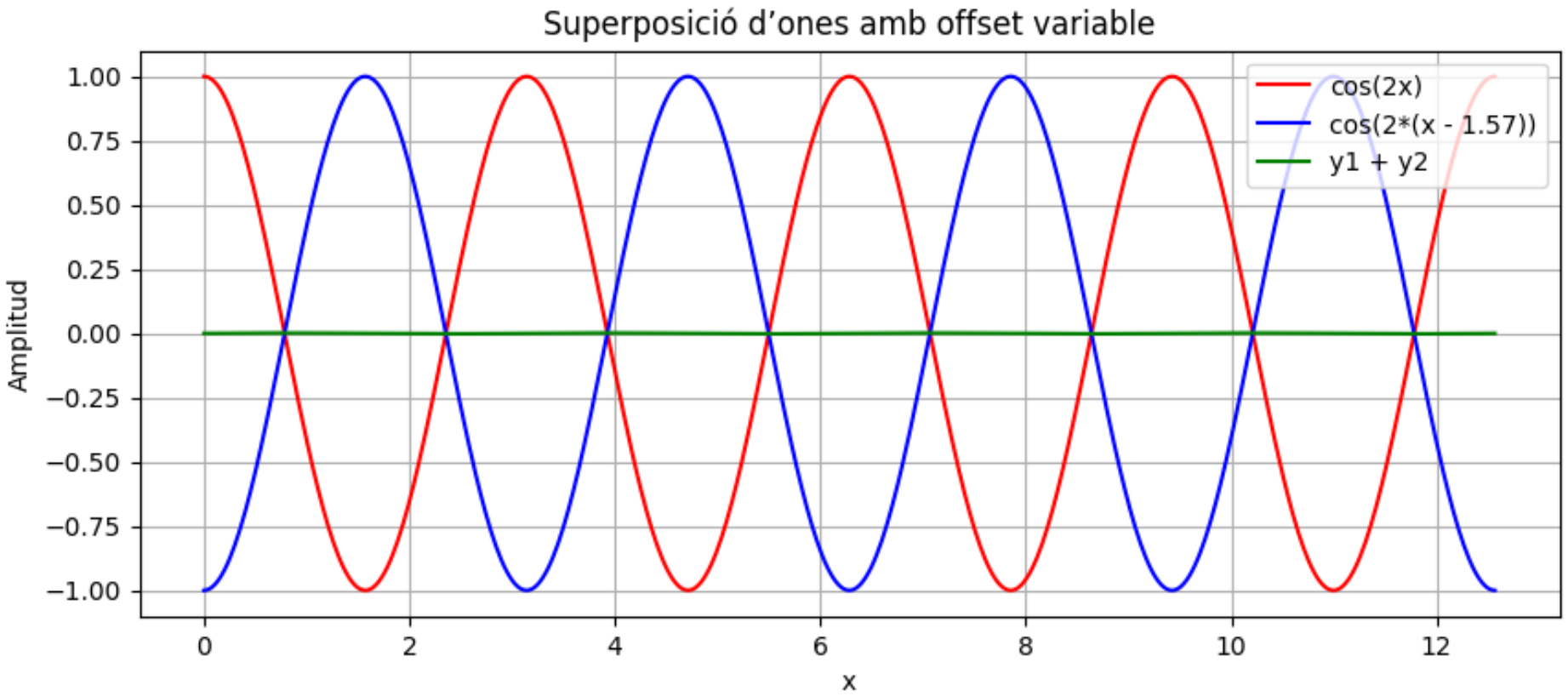
Double-slit experiment (Thomas Young, 1801)

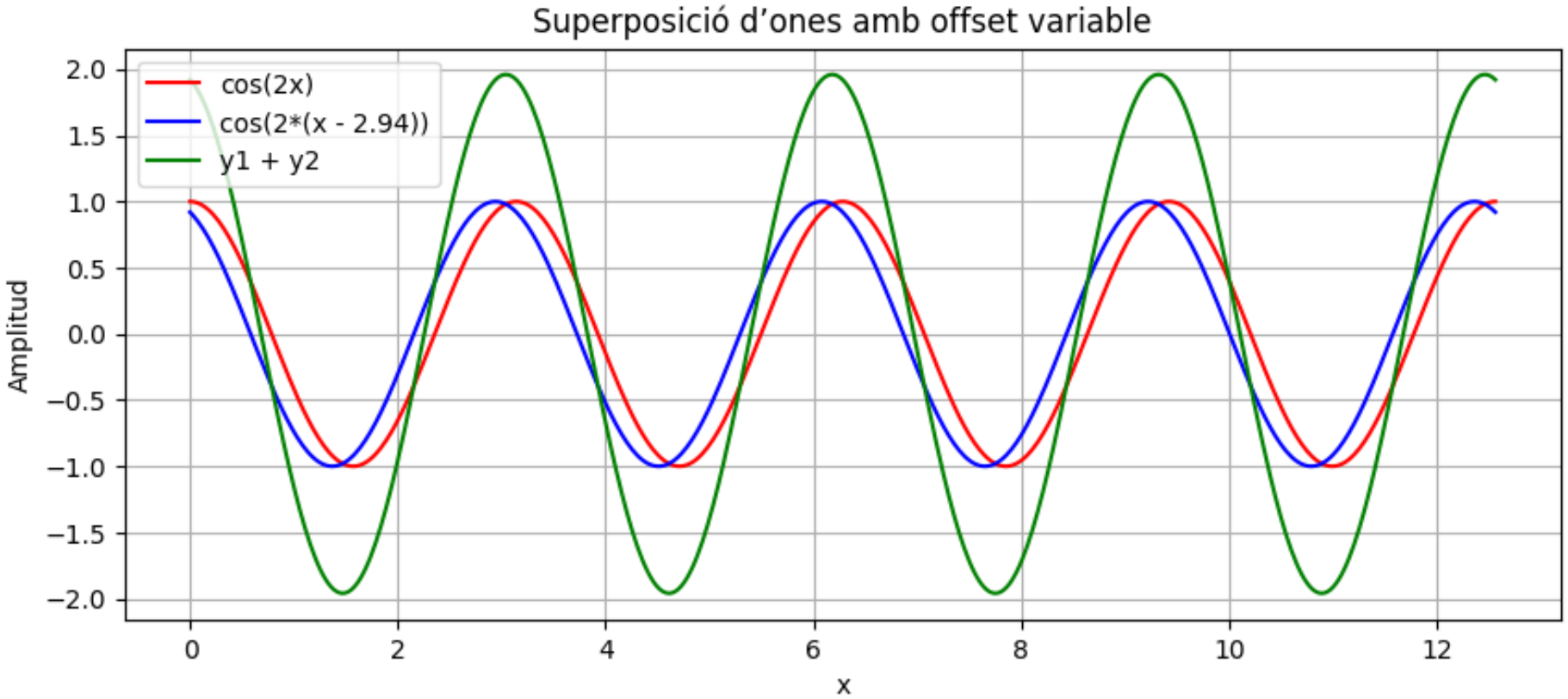


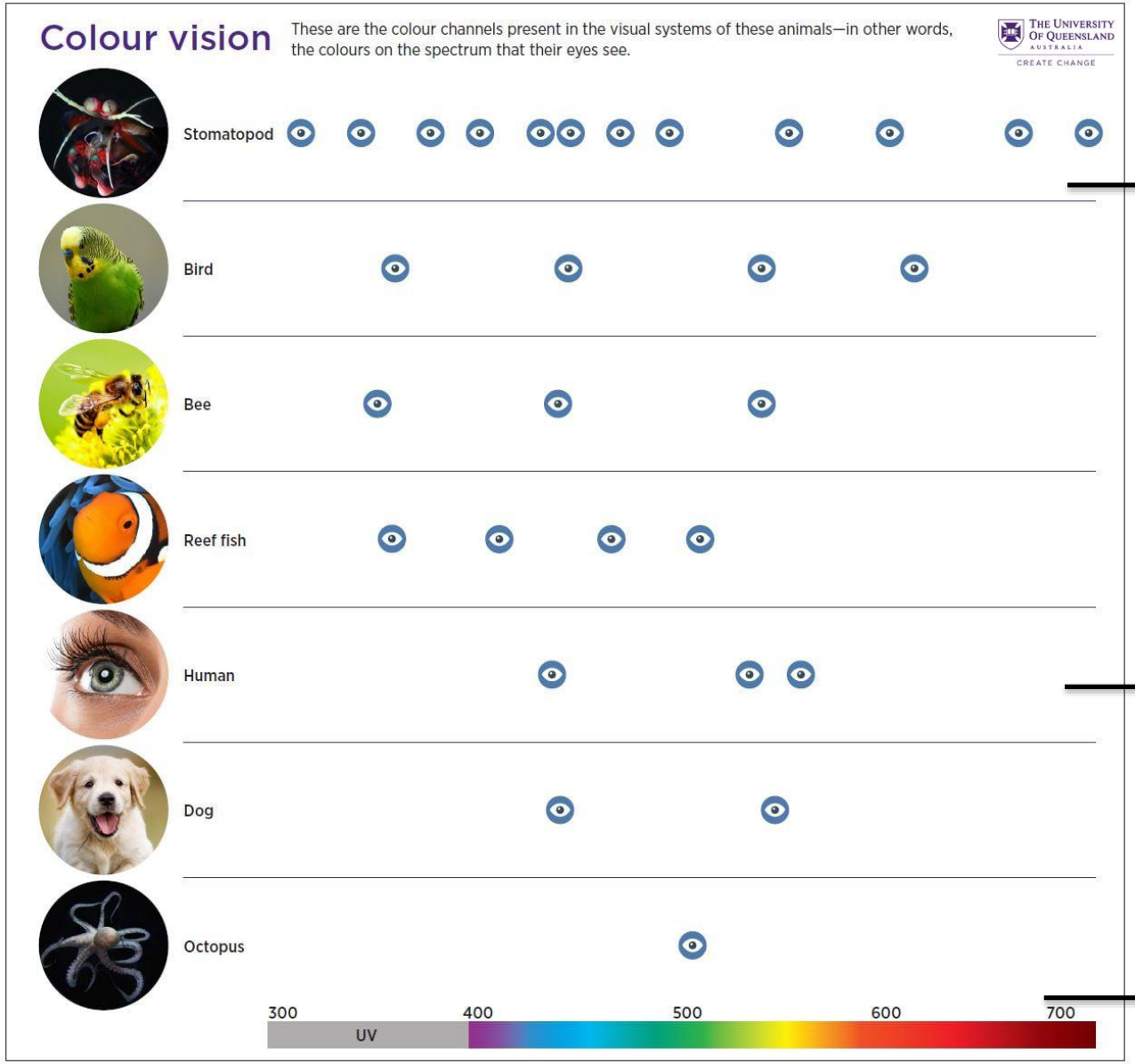


https://baibhab-mondal.medium.com/why-double-slit-experiment-is-so-cool-124fd64fc607

https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment


Superposició d’ones amb offset variable
cos(2x)
cos(2*(x - 1.57))
y1 + y2
Amplitud
x
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
−0.25
−0.50
−0.75
−1.00
0
2
4
6
8
10
12


Superposició d’ones amb offset variable
cos(2x)
cos(2*(x - 2.94))
y1 + y2
Amplitud
x
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
−1.5
−2.0
0
2
4
6
8
10
12



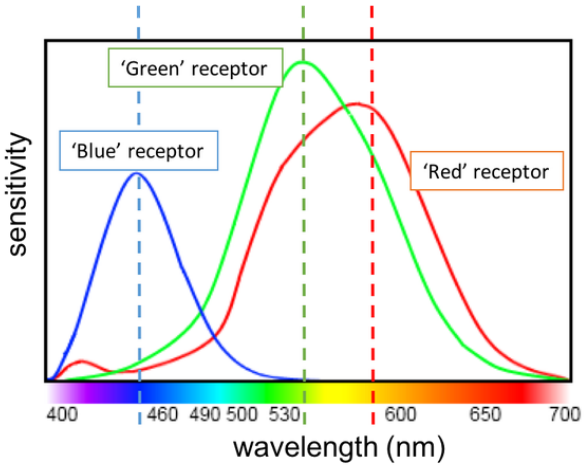
Els sensors:

Les criatures semblants a llagostes anomenades mantis marins (stomatòpodes) tenen 12 tipus diferents de receptors de color a la retina i també poden detectar l'estat de polarització de la llum.



https://qbi.uq.edu.au/vision-technology-adds-colour-life-ocean

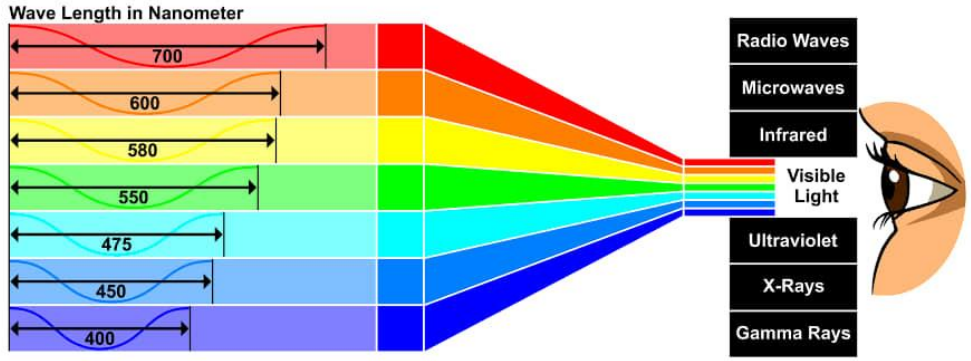
Els ulls humans només són sensibles a la llum de longituds d'ona vermella, blava i verda.



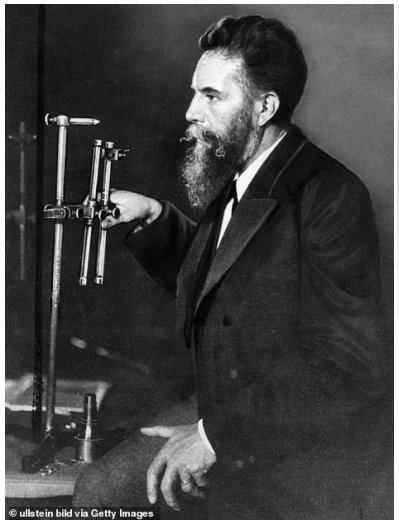
Els pops veuen en grisos

La doble naturalesa de la llum: ones i partícules

La llum té naturalesa dual: es comporta com ona, mostrant reflexió, refracció, interferència i difracció, i com partícula (fotó), transportant energia i momentum quan interactua amb la matèria. Conclusió: La llum sovint es descriu com un "objecte de la mecànica quàntica" que es comporta com una ona durant la propagació i com una partícula durant la interacció, en comptes de ser simplement una cosa o l'altra.

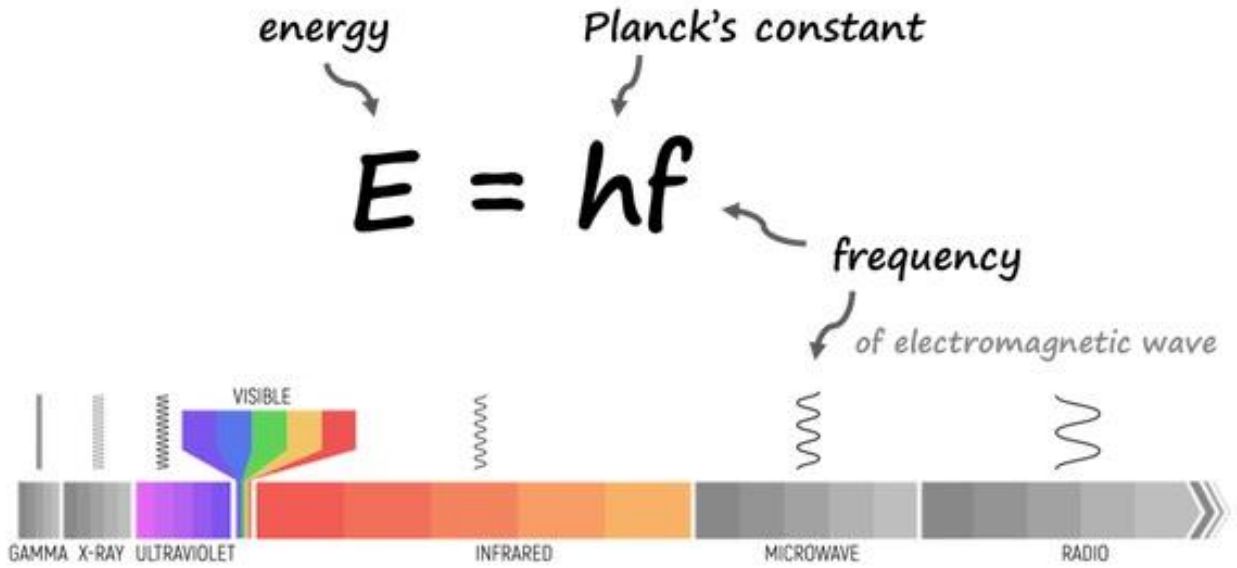








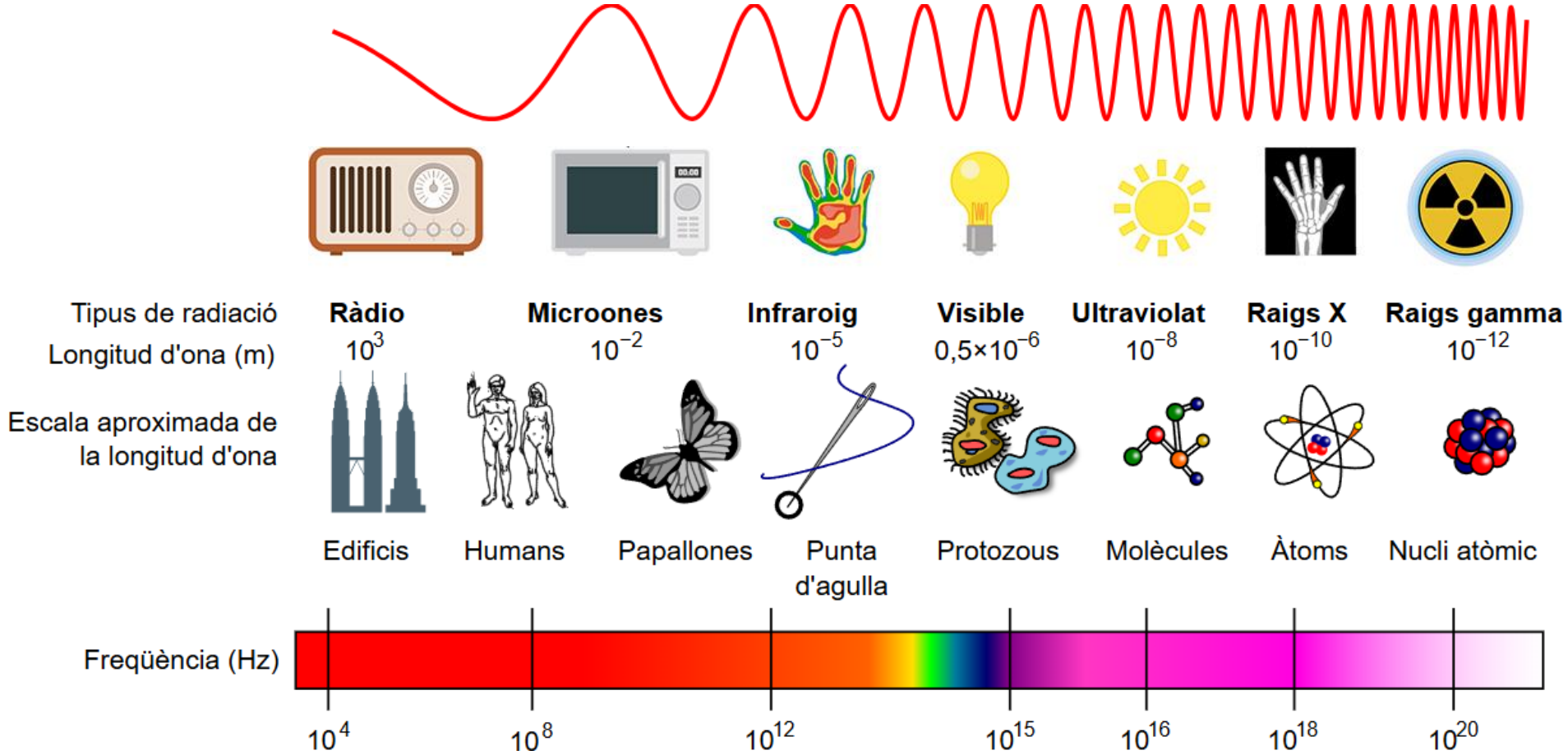
La primera imatge de raig X humana: la mà de la dona de Wilhelm Röntgen el 1895.



https://www.youtube.com/watch?v=1b8eSJHMv1w

https://www.dailymail.co.uk/news/article-6491287/Roentgens-human-X-ray-wifes-hand-1895.html

L'espectre electromagnètic és el conjunt de totes les possibles ones electromagnètiques. En el cas de la llum visible, l'espectre és un compost de diferents longituds d'ona que es difracten en angles distints i provoquen una impressió visual diferent. També s'utilitza la longitud d'ona en el cas de les ones de ràdio per tal de representar-ne l'espectre. En canvi, a partir dels raigs X, en tractar-se de partícules molt energètiques, és més útil utilitzar l'energia que porten els fotons X o γ; l'energia s'expressa en electró-volts (eV).

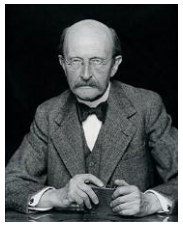


https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74979385

L'ull i l'orella

https://www.youtube.com/watch?v=J1yIApZtLos

Any	Teoria	Científic	Nota
1672	Llum = partícules	Isaac Newton	Teoria corpuscular, explicava reflexió i refracció
1678	Llum = ones	Christiaan Huygens	Teoria ondulatòria, explicava propagació com ona
1801	Llum = ones	Thomas Young	Experiment de la doble escletxa, evidència de interferència
1818–1827	Llum = ones	Augustin-Jean Fresnel	Equacions de difracció, consolidació de la teoria ondulatòria
1900	Llum = partícules (energia quantitzada)	Max Planck	Radiació de cos negre, introducció de la quantització
1905	Llum = partícules (fotons)	Albert Einstein	Explicació de l'efecte fotoelèctric
1924	Dualitat ona-partícula	Louis de Broglie	Proposà que totes les partícules tenen propietats ondulatòries
1920s–1930s	Dualitat confirmada	Mecànica quàntica	Experiments amb fotons i electrons van mostrar comportament dual

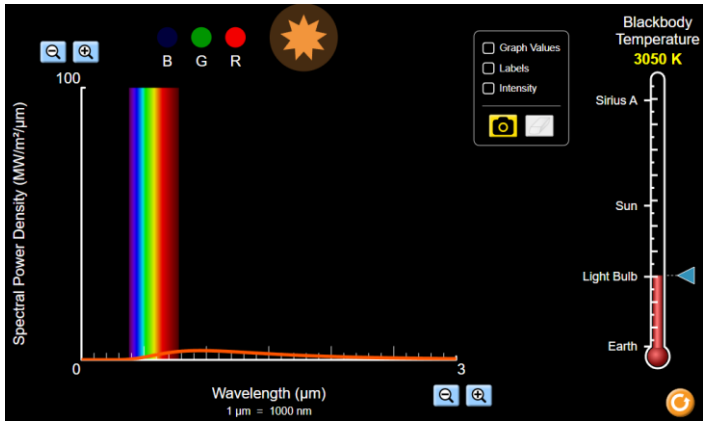


1900 Max Plank proposa el concepte de 'blackbody': objecte ideal que absorbeix tota la llum que rep i la re-emet segons la seva temperatura. Com més alta és la temperatura, més intensa és la llum i més es desplaça el pic d'emissió cap a longituds d'ona curtes (per exemple, del infraroig al visible).

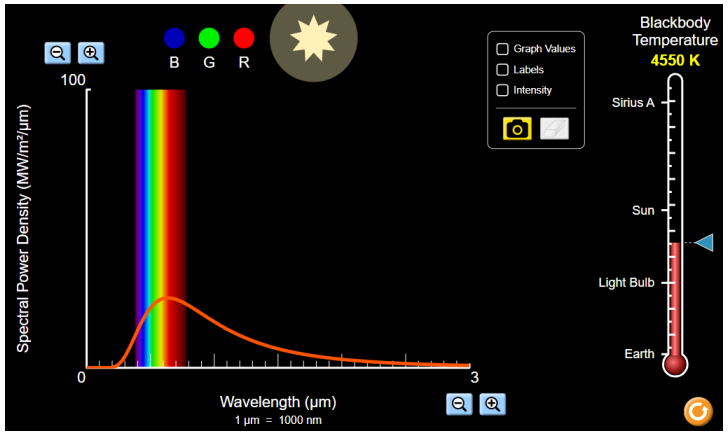
$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1}$$

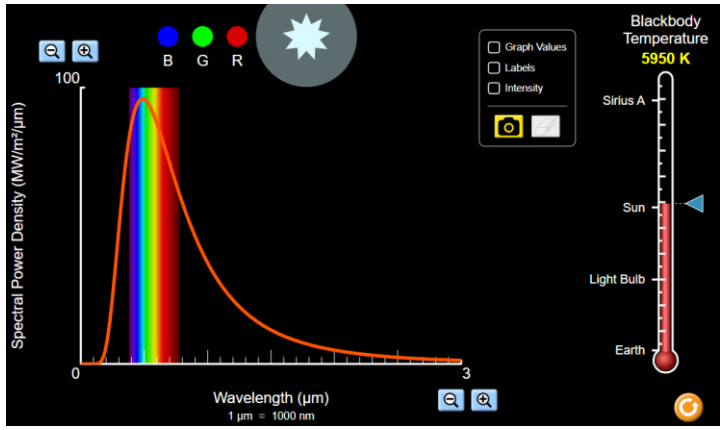
h = Planck's constant = $6.626 * 10^{-34}\ J * s$
c = speed of light = $2.997925 * 10^{8}\ m / sec$
λ = wavelength (m)
k = Boltzmann's constant = $1.381 * 10^{-23}\ J/K$
T = temperature (K)

https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html



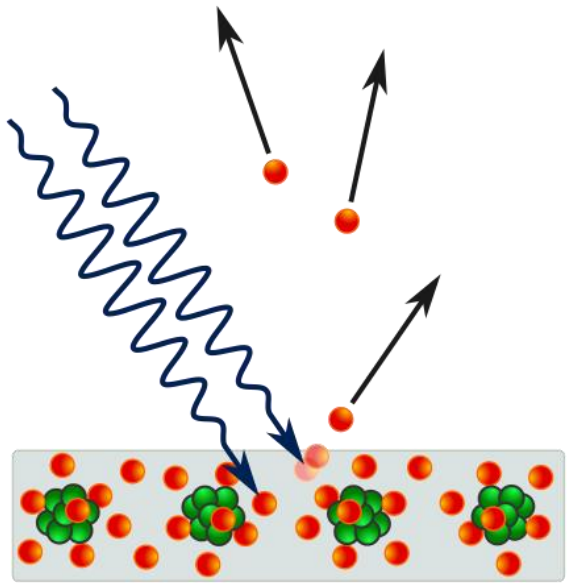
Font: Bombeta





Font: El Sol

Efecte fotoelèctric



L'efecte fotoelèctric és la capacitat de la llum per a alliberar electrons d'una superfície metàl·lica exposada a la llum o, en general, a una radiació electromagnètica i de la qual absorbeix fotons.

Aquests electrons deixen el metall a una velocitat que no depèn de la intensitat de la llum, sinó de la **longitud d'ona**.

L'efecte fotoelèctric consisteix en l'emissió d'electrons a través d'un material quan s'hi fa incidir una radiació lluminosa. Va ser descobert per **Heinrich Hertz** el 1887, per bé que l'explicació teòrica la va fer **Albert Einstein** al 1905 i per això li van donar el premi Nobel en 1921.

Efecte fotoelèctric

L’efecte fotoelèctric és el principi físic que permet que els sensors de les càmeres digitals transformin la llum en una imatge. Va ser explicat teòricament per Albert Einstein el 1905.

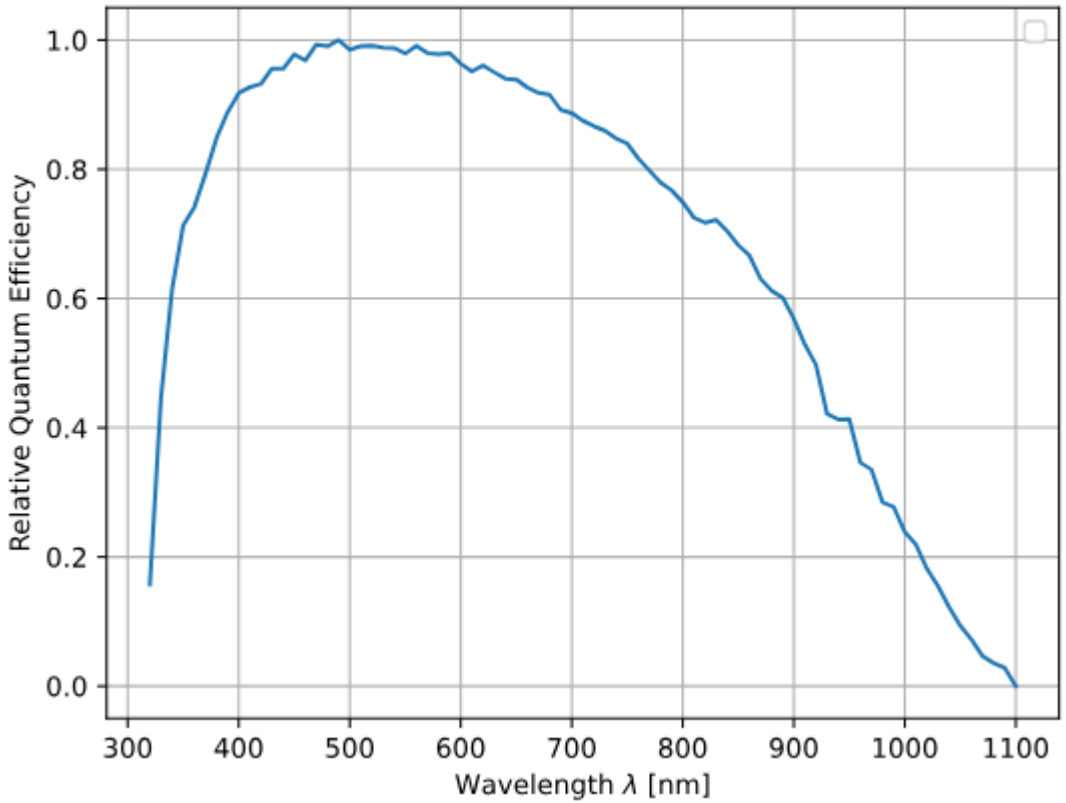
Quan es fa una fotografia, la llum entra per l’objectiu i arriba al sensor, que està format per milions de píxels. Els sensors més comuns són els sensor CCD i sensor CMOS, i cada píxel actua com un petit detector de llum.

La llum està formada per partícules anomenades fotó, cadascuna amb una certa energia. Quan un fotó arriba al sensor, fet habitualment de silici, transfereix la seva energia a un electró del material. Si aquesta energia és suficient, l’electró s’allibera: aquest fenomen és l’efecte fotoelèctric.

Els electrons alliberats generen una càrrega elèctrica dins de cada píxel. Com més llum arriba, més fotons impacten i més electrons es produeixen. Durant el temps d’exposició, cada píxel acumula aquesta càrrega.

Finalment, la càmera mesura la càrrega elèctrica de cada píxel i la converteix en un valor digital, que determina la brillantor de cada punt de la imatge.

Quantum Efficiency (QE)



La relació entre els fotons que arriben i els electrons que es generen es descriu amb **l'eficiència quàntica** (QE): el percentatge de fotons incidents que es converteixen realment en electrons detectables. Una QE més alta significa que el sensor aprofita millor la llum.

Efecte fotoelèctric

Els sensors estan fets amb diferents semiconductors, i cada material té una resposta diferent a la llum segons la longitud d’ona.

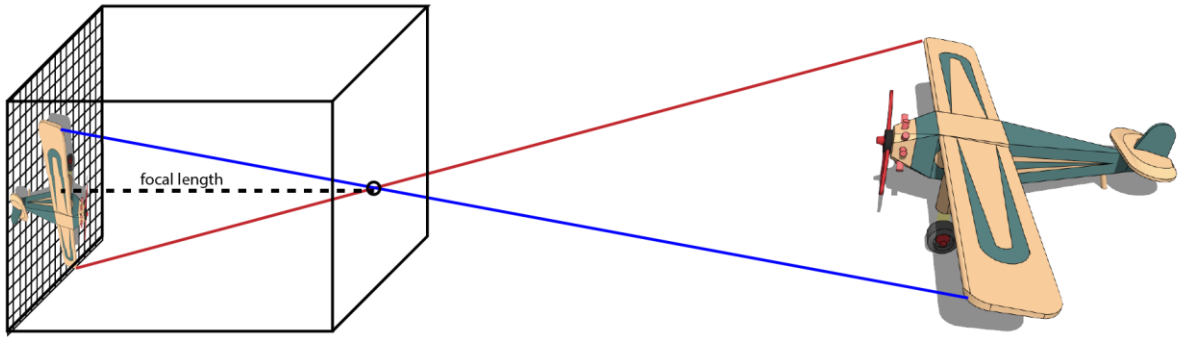
Silici: el material dels sensors sensor CMOS i sensor CCD habituals.
Molt eficient al visible (400–700 nm)

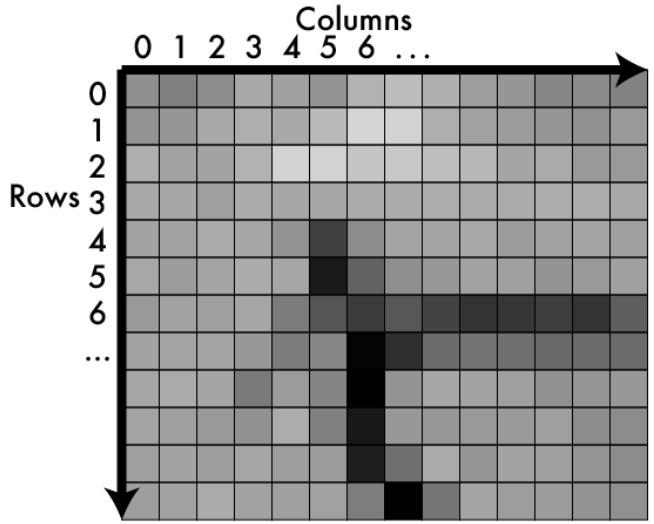
Indium Gallium Arsenide (InGaAs): utilitzat en sensors per infraroig proper.
Sensible aproximadament entre 900–1700 nm

Nitrur de gal·li (GaN): molt utilitzat en fotodetectors UV.
Sensible sobretot a UV (200–365 nm).

Quantum Dots: nano-materials semiconductors ajustables.
Permeten sintonitzar la longitud d’ona detectada canviant la mida de les partícules.

Una imatge és una matriu / graella de llum

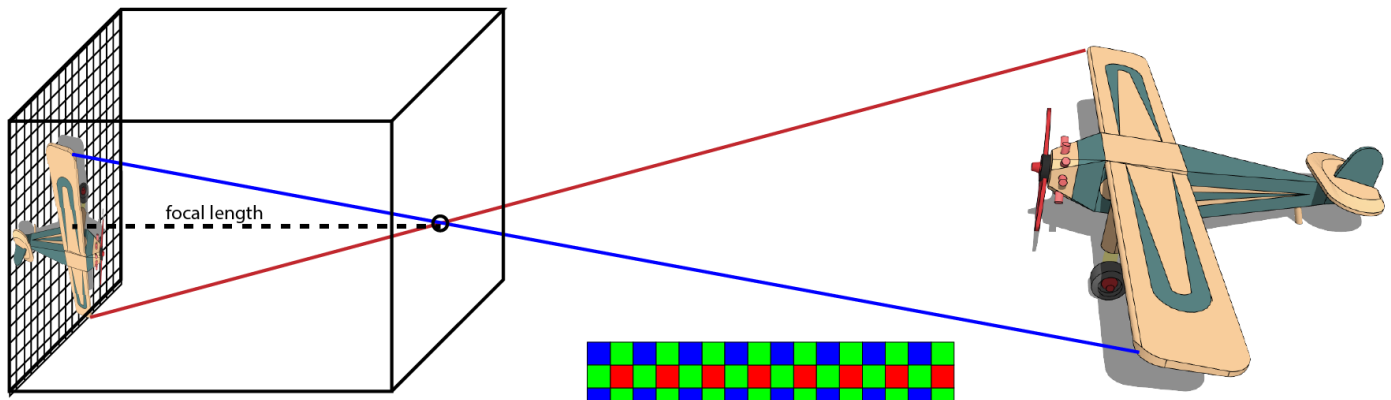


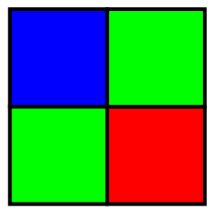


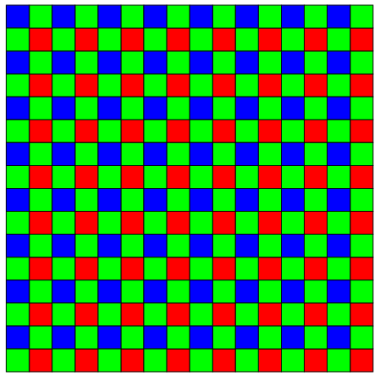
https://pjreddie.com/courses/computer-vision/

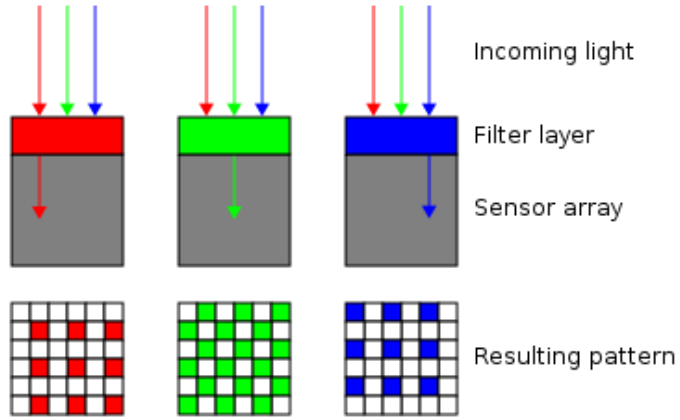
Joseph Redmon (YOLO)

Patró de Bayer per a sensors de color



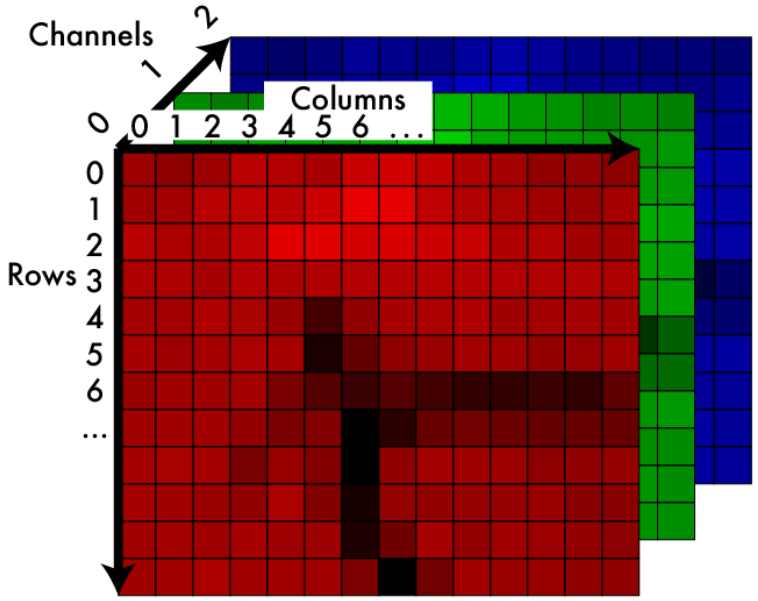




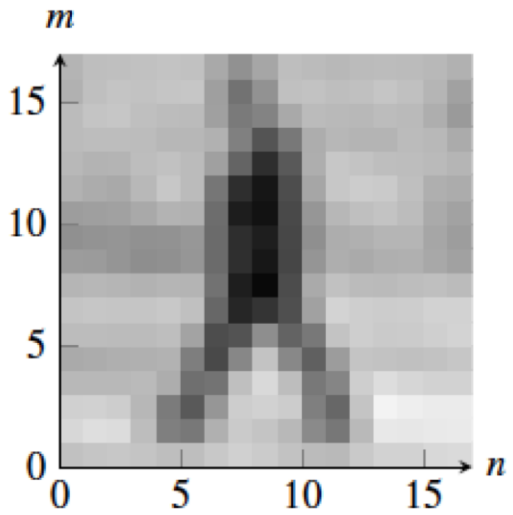


Imatge de color





El que veiem nosaltres



El que rep l'ordinador...

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix}
160 & 175 & 171 & 168 & 168 & 172 & 164 & 158 & 167 & 173 & 167 & 163 & 162 & 164 & 160 & 159 & 163 & 162 \\
149 & 164 & 172 & 175 & 178 & 179 & 176 & 118 & 97 & 168 & 175 & 171 & 169 & 175 & 176 & 177 & 165 & 152 \\
161 & 166 & 182 & 171 & 170 & 177 & 175 & 116 & 109 & 169 & 177 & 173 & 168 & 175 & 175 & 159 & 153 & 123 \\
171 & 174 & 177 & 175 & 167 & 161 & 157 & 138 & 103 & 112 & 157 & 164 & 159 & 160 & 165 & 169 & 148 & 144 \\
163 & 163 & 162 & 165 & 167 & 164 & 178 & 167 & 77 & 55 & 134 & 170 & 167 & 162 & 164 & 175 & 168 & 160 \\
173 & 164 & 158 & 165 & 180 & 180 & 150 & 89 & 61 & 34 & 137 & 186 & 186 & 182 & 175 & 165 & 160 & 164 \\
152 & 155 & 146 & 147 & 169 & 180 & 163 & 51 & 24 & 32 & 119 & 163 & 175 & 182 & 181 & 162 & 148 & 153 \\
134 & 135 & 147 & 149 & 150 & 147 & 148 & 62 & 36 & 46 & 114 & 157 & 163 & 167 & 169 & 163 & 146 & 147 \\
135 & 132 & 131 & 125 & 115 & 129 & 132 & 74 & 54 & 41 & 104 & 156 & 152 & 156 & 164 & 156 & 141 & 144 \\
151 & 155 & 151 & 145 & 144 & 149 & 143 & 71 & 31 & 29 & 129 & 164 & 157 & 155 & 159 & 158 & 156 & 148 \\
172 & 174 & 178 & 177 & 177 & 181 & 174 & 54 & 21 & 29 & 136 & 190 & 180 & 179 & 176 & 184 & 187 & 182 \\
177 & 178 & 176 & 173 & 174 & 180 & 150 & 27 & 101 & 94 & 74 & 189 & 188 & 186 & 183 & 186 & 188 & 187 \\
160 & 160 & 163 & 163 & 161 & 167 & 100 & 45 & 169 & 166 & 59 & 136 & 184 & 176 & 175 & 177 & 185 & 186 \\
147 & 150 & 153 & 155 & 160 & 155 & 56 & 111 & 182 & 180 & 104 & 84 & 168 & 172 & 171 & 164 & 168 & 167 \\
184 & 182 & 178 & 175 & 179 & 133 & 86 & 191 & 201 & 204 & 191 & 79 & 172 & 220 & 217 & 205 & 209 & 200 \\
184 & 187 & 192 & 182 & 124 & 32 & 109 & 168 & 171 & 167 & 163 & 51 & 105 & 203 & 209 & 203 & 210 & 205 \\
191 & 198 & 203 & 197 & 175 & 149 & 169 & 189 & 190 & 173 & 160 & 145 & 156 & 202 & 199 & 201 & 205 & 202 \\
153 & 149 & 153 & 155 & 173 & 182 & 179 & 177 & 182 & 177 & 182 & 185 & 179 & 177 & 167 & 176 & 182 & 180
\end{bmatrix}$$

La càmera és un dispositiu de mesura, no un sistema de visió!

Una càmera compta fotons i compta cada fotó!

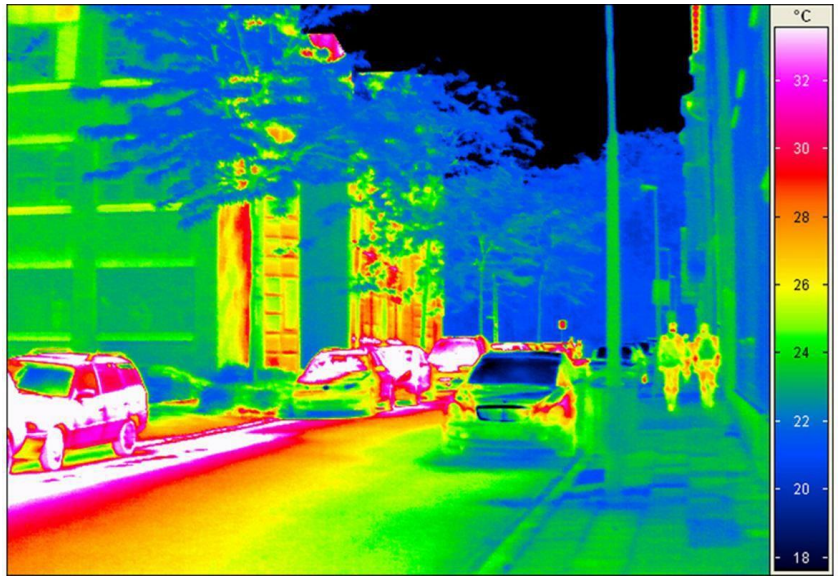
Part 4

Aplicacions

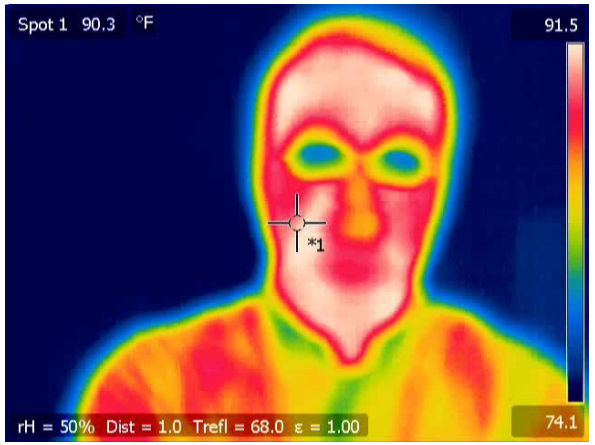
Aplicacions







Aplicacions







Un soldador és un cos negre?!



Una olla és un cos negre?!



SWIR vs. visible







SWIR vs. visible





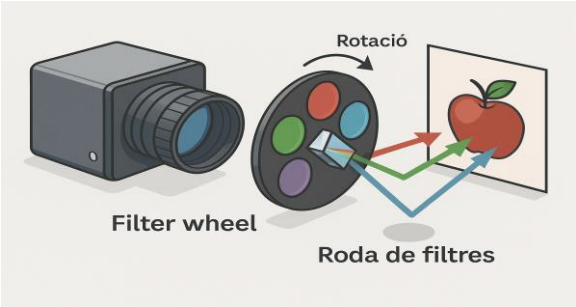
SWIR vs. visible



Càmera multi-espectral

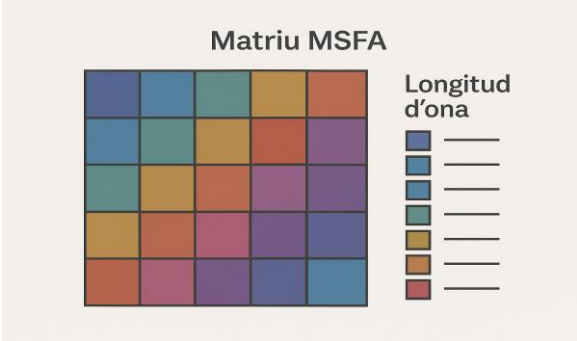
Sistema 1: Filtre rotatiu

- Un sol sensor + una roda de filtres que gira seqüencialment
- Captura una banda cada vegada.
- Avantatges: senzill, econòmic.
- Inconvenients: no apte per objectes en moviment.



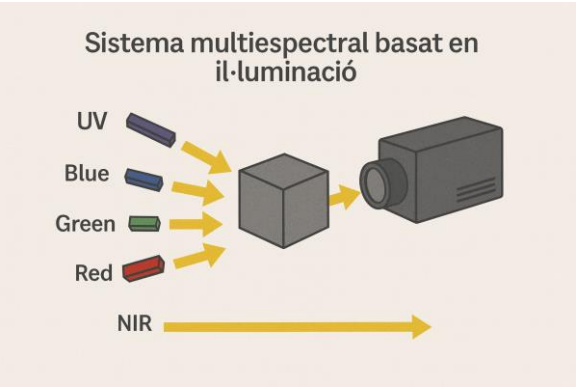
Sistema 2: Matriu de filtres (mosaic)

- Cada píxel té un filtre espectral diferent.
- Similitud amb el sensor Bayer però amb més bandes.
- Avantatges: captura simultània.
- Inconvenients: baixa resolució espectral i espacial.



Sistema 3: Conjunt de LEDs amb diferents longituds d'ona

- La càmera és convencional, però la il·luminació és multiespectral.
- Cada font de llum emet una longitud d'ona diferent (UV, blau, verd, vermell, NIR).
- La càmera captura una imatge per a cada banda activant les llums de manera seqüencial.
- Inconvenients: Dependència de la potència lumínica i homogeneïtat. Nombre de bandes limitat pel nombre de llums disponibles.
- Avantatges: Sistema econòmic i fàcil d'implementar. La càmera pot ser estàndard (no cal tecnologia multiespectral dedicada).



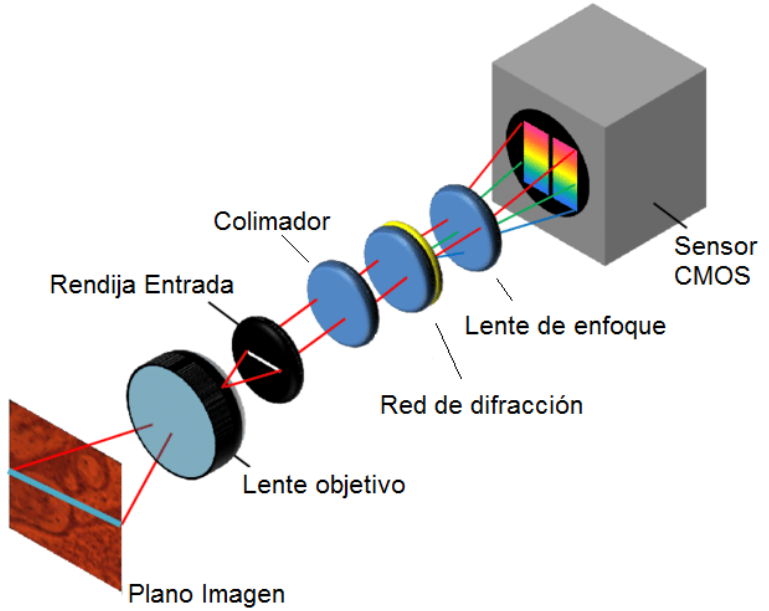
Càmera híperespectral

Què és?

Captura informació en desenes o centenars de bandes espectrals.

Permet identificar materials segons la seva 'signatura espectral'.

Es considera una càmera lineal especial.



Com funciona?

Utilitza un escaneig lineal: captura una línia de la imatge cada vegada.

Per a cada píxel de la línia, obté un espectre complet (400–2500 nm).

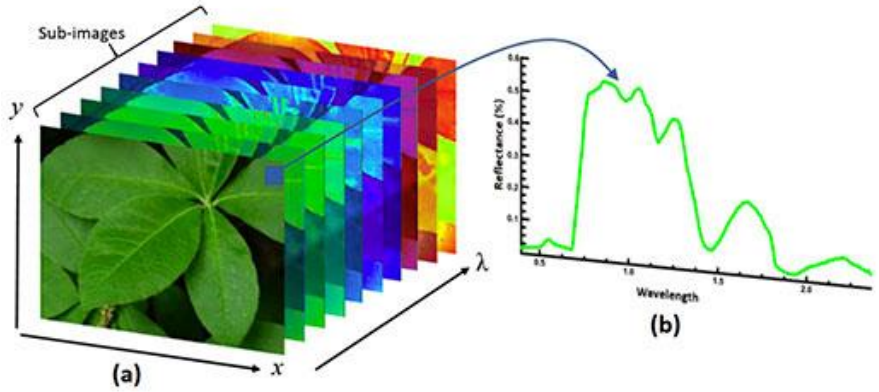
El moviment de l'objecte o de la càmera construeix el cub híperespectral

El cub híperespectral?

3 dimensions: X (espai), Y (espai) i λ (longitud d'ona).

Cada punt té un espectre únic — útil per classificació i detecció.

Permet separar materials visualment similars.



Les càmeres Specim FX

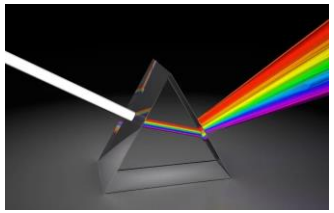
Càmeres Specim











Prism inside!!

Polímers

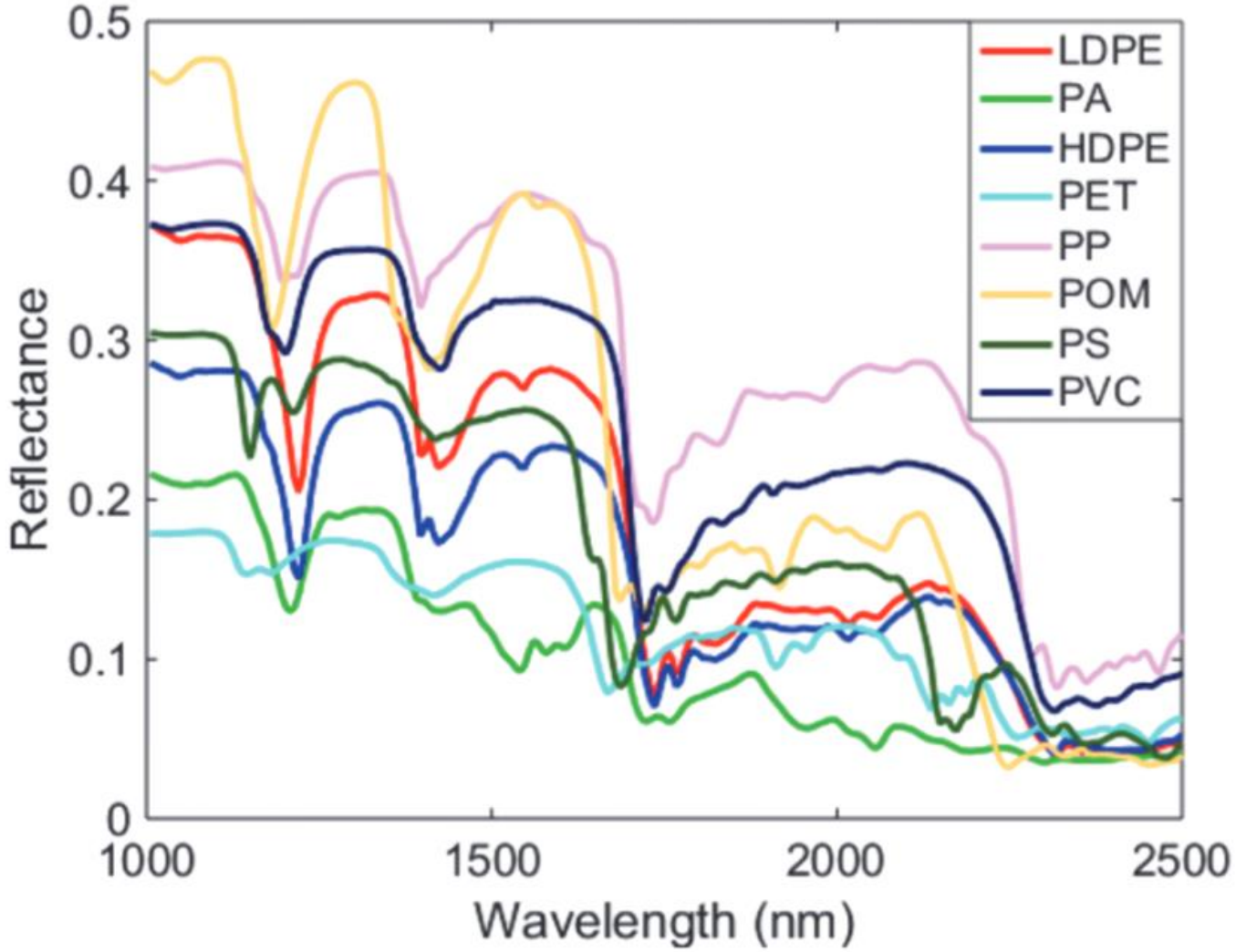
El **PET** ((polietilè tereftalat) és un polímer, és a dir, una cadena llarga formada per moltes unitats repetides. És un dels plàstics més comuns, per exemple en ampolles de begudes.

El **HDPE** (High-Density Polyethylene, polietilè d'alta densitat) també és un polímer, però té característiques diferents del PET.

El **PVC** (Policlorur de vinil) també és un polímer, però amb una estructura diferent que li dóna propietats úniques.

Cada tipus de plàstic té un ritme i amplitud de moviment molecular diferent (una "música" diferent o un "ball" diferent), que **una càmera híperespectral en combinació amb una il·luminació SWIR** poden "sentir".

Espectres de plàstics



Imatges híperespectral

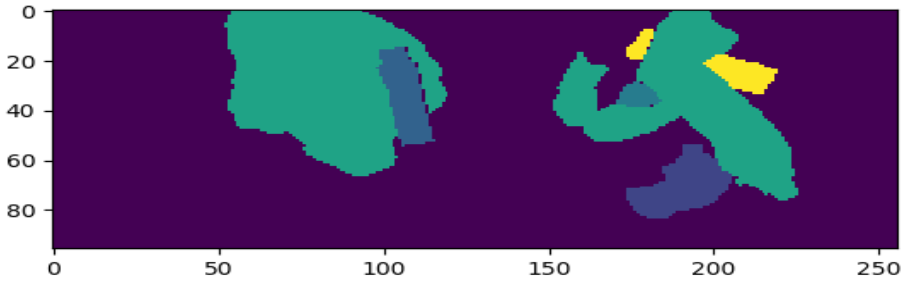
Càmera híperespectral (x_1, x_2, …, x_{200})

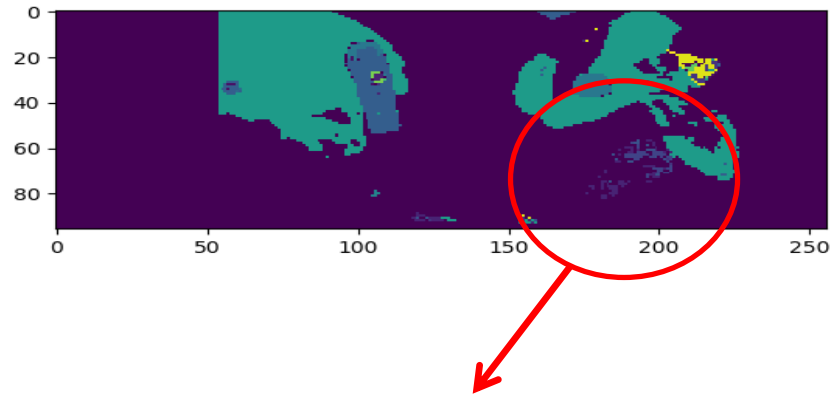


Càmera color (R,G,B)=(x_1, x_2, x_3)

MULTI-LAYER PERCEPTRON (MLP)

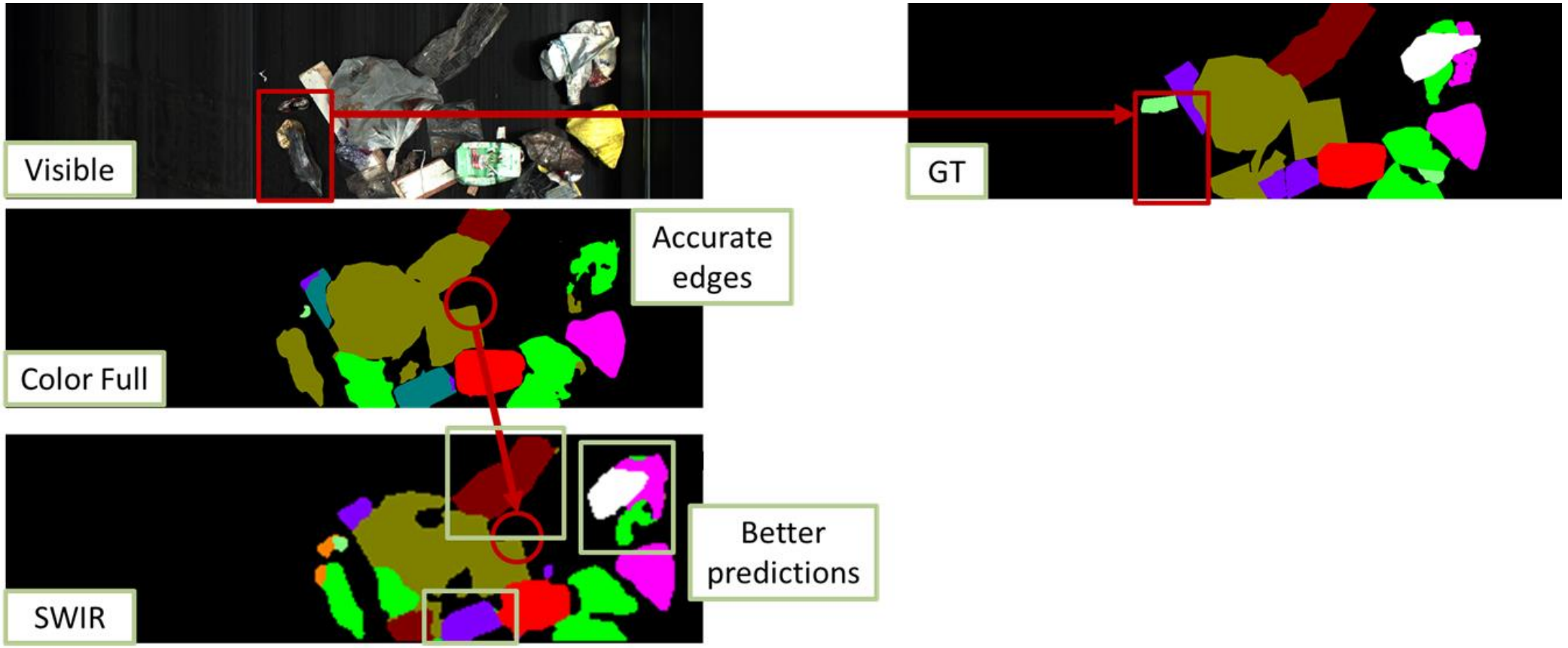






Resultats molt «pixelats»: s'hauria de tenir en compte l'opinió del veí -> CNN

Resultats


Visible
GT
Accurate edges
Color Full
Better predictions
SWIR

El plàstic negre és un cos negre!?



Thank you!

More information & contact:

www.cvc.uab.cat

coen@cvc.uab.cat

Computer
Vision Center

Edifici O, Campus UAB
08193 Bellaterra
(Cerdanyola)
Barcelona, Spain
www.cvc.uab.es