

---

# L'òptica

---

PID\_00266670

Antoni Marín Amatller

---

Temps mínim de dedicació recomanat: 4 hores

---



**Antoni Marín Amatller**

Llicenciat en Ciències de l'Educació (UAB, 1979), postgrau en Sistemes Interactius Multimèdia (UPC, 1993) i doctor en Societat de la Informació i el Coneixement (UOC, 2016). Des de l'any 2000, és professor dels EIMT de la UOC en les assignatures de Fotografia digital, Vídeo, Composició digital, Animació, Creació de mons virtuals i Mèdia per a videojocs. Com a àmbit de recerca treballa sobre la narrativa audiovisual a les xarxes socials, especialment sobre la fotografia i el vídeo amb dispositius mòbils i sobre l'ús de la narrativa creada amb aplicacions de realitat augmentada (*augmented storytelling*). Va ser guionista i realitzador de programes de televisió educativa en el Programa de Mitjans Audiovisuais del Departament d'Ensenyament per al Canal 33. A més, va treballar en el disseny i la realització de cursos de formació ocupacional sobre tecnologies multimèdia. Com a fotògraf, és membre d'AFOCER i d'AFOTMIR. Ha participat en diverses exposicions de fotografia, tant en la coordinació de grups de treball de la UOC com en la realització d'exposicions a títol individual.

Primera edició: setembre 2019

© Antoni Marín Amatller

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realització editorial: FUOC

*Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars dels drets.*

# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>1. Introducció a l'òptica</b> .....	7
<b>2. L'enfocament</b> .....	9
<b>3. Nocions relacionades amb l'òptica</b> .....	11
3.1. Objectius compostos .....	13
3.2. La formació de la imatge invertida .....	14
3.3. La imatge desenfocada .....	16
<b>4. Nocions i procediments relacionats amb l'enfocament</b> .....	20
4.1. Focus manual o automàtic .....	20
4.2. Distància del motiu .....	28
4.3. La distància mínima d'enfocament .....	32
<b>5. L'angle visual i la distància focal</b> .....	35
5.1. Nocions de distància focal i angle visual .....	36
5.2. Relació d'angle visual i distància focal de 35 mm .....	37
5.3. Tipus d'objectius amb relació a la distància focal .....	38
5.3.1. Objectius normals .....	38
5.3.2. Objectius angulars .....	40
5.3.3. Teleobjectius .....	41
5.4. Les focals de les compactes i dels mòbils .....	43
5.5. Càmeres APS-C i el factor de focal .....	46
5.6. Les focals en càmeres de formats grans .....	48
5.7. Zoom òptic i zoom digital .....	49



## **Introducció**

En aquest mòdul parlarem especialment de la importància i la funcionalitat bàsica de l'òptica. Ens centrarem en dos temes rellevants: l'enfocament, per una banda, i la distància focal i l'angle visual, per l'altra. Es tracta d'unes nocions que cal tenir clares perquè en depenen aspectes com la nitidesa de la imatge, el marge en què els motius surten enfocats o desenfocats o els diversos efectes de perspectiva que pot presentar una fotografia.



## 1. Introducció a l'òptica

En essència, una càmera és una caixa fosca amb una obertura per la qual entra la llum. La cambra fosca és un invent molt anterior a la invenció de la fotografia i ja era utilitzada per dibuixants del Renaixement. La innovació de la fotografia és incorporar al pla on es projecta la llum en la caixa fosca, un material sensible a la llum capaç d'enregistrar tons amb ombres i llums. El fet de posar una òptica al punt per on entra la llum té la finalitat de concentrar-la. Amb un sol forat diminut és possible fotografiar, però les imatges no tenen nitidesa perquè els raigs de llum que entren a la capsa es dispersen. En canvi, situar un conjunt de lents al punt d'entrada permet obtenir imatges nítides.

Pot semblar una cosa fora de temps parlar de cambres fosques sense òptica en l'època de la fotografia digital, però, de fet, tot i que l'òptica és l'element omnipresent en qualsevol càmera que permet que les fotografies que fem avui dia tinguin la qualitat que tenen, hi ha nombrosos afeccionats a la fotografia sense òptica. Les càmeres estenopeiques (*pinhole*), per exemple, tenen molts seguidors actualment.

Però més enllà d'aquestes experiències que emulen els orígens de la fotografia, ens interessa parlar de quina és la funció de l'òptica en un dispositiu determinat.

L'objectiu del conjunt de lents d'un dispositiu de captura és aconseguir que la llum es concentri sobre una superfície determinada i es reproduïxi nítidament la imatge del motiu extern.

En una càmera tradicional, el negatiu es col·loca en aquest pla on es concentra la llum; en una càmera digital o en un dispositiu mòbil hi ha un sensor electrònic.



Càmera pinhole



Càmera tradicional



Comparativa fotografia estenoica i fotografia amb òptica





## 2. L'enfocament

La idea bàsica de l'enfocament és la de concentrar sobre el sensor els raigs de llum que travessen l'òptica provinents d'un motiu. Algunes nocions bàsiques que tenen a veure amb l'òptica ens serviran per relacionar els conceptes d'enfocament i distància focal. Aconseguir que la imatge estigui enfocada és fonamental en la presa d'una fotografia.

Generalment, el fotògraf cerca la nitidesa i pretén mostrar una imatge que reproduïx amb riquesa de detalls l'escena o el motiu que vol captar.

Amb tot, a vegades —principalment per motius estètics— es pot buscar una imatge borrosa o moguda. El més habitual, però, és que se cerquin la claredat i la nitidesa. Tot seguit parlarem de la importància d'obtenir una imatge enfocada i dels mecanismes utilitzats per aconseguir-ho. En els dos exemples següents hi ha una fotografia fora de focus i una altra perfectament enfocada.

Imatge desenfocada d'una papallona colibrí. En fotografia d'aproximació, el focus és molt crític.



Imatge enfocada d'una papallona colibrí. En fotografia d'aproximació, el marge de focus amb el que treballem és sempre molt reduït.



### 3. Nocions relacionades amb l'òptica

Dels conceptes que es relacionen amb l'òptica i que són importants per a una obtenció nítida de les fotografies comentarem el **pla focal**, el **pla de la imatge** i el **punt del focus**. Per explicar-los farem una simplificació i utilitzarem una lent simple, una lupa. Es tracta d'una simplificació de la realitat, ja que les òptiques fotogràfiques no són lents simples sinó òptiques compostes, conjunts integrats per nombroses lents. Amb tot, com a recurs didàctic la simplificació a la lupa resulta molt clarificadora.



Una lupa és una lent simple.

Una òptica fotogràfica és una lent composta.



Una lupa és una lent simple que ens permet experimentar d'una manera molt senzilla sobre la concentració dels raigs que travessen la lent. De fet, l'experiència de cremar un paper buscant la distància idònia a la qual hem de situar la lupa del paper és quelcom que està molt a l'abast de tothom.

El punt on es concentren els raigs s'anomena punt del focus, i la distància que hi ha entre la lupa i aquest punt, distància focal.

L'experiència és simple: cremar un paper amb la llum del sol i variar la distància de la lupa respecte del paper, però en això tan senzill trobem la noció que ens permet entendre què són les distàncies focals de les òptiques fotogràfiques.

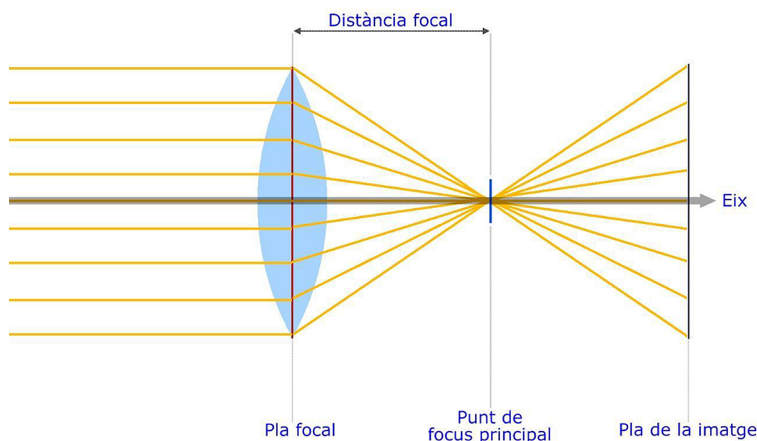
Creuar un paper concentrant-hi la llum del sol amb una lupa evidencia d'una manera pràctica el punt del focus principal i la distància focal.



Com a recurs didàctic, tot seguit descriurem les nocions òptiques a partir de l'esquema d'una lent simple. Posteriorment farem l'analogia amb la lent composta.

Els raigs de llum que provenen de l'exterior i arriben a la càmera canvien de direcció en travessar la lent. El pla on es produeix la desviació s'anomena pla focal. Així doncs, el pla focal és el pla on els raigs de llum que provenen de l'exterior canvien l'angle de la seva trajectòria i es desvien. Fruit d'aquesta desviació, hi ha tot un conjunt de raigs que passen per un punt determinat. És el que anomenem punt del focus. El punt del focus és, per tant, el punt per on passen part dels raigs de llum que s'han desviat en travessar la lent.

Tots els raigs que provenen d'un punt del motiu i que han travessat l'òptica s'acaben concentrant en el que anomenem pla de la imatge. Aquí formen una imatge invertida del motiu exterior. El pla de la imatge és el pla on es concentren els raigs que provenen de cada punt del motiu extern tot creant una imatge invertida. A més, la distància existent entre el pla focal i el punt del focus és la distància focal. Vegem-ho en aquest esquema.



Concretament aquestes nocions bàsiques:

- **Punt del focus:** punt anterior o posterior a l'òptica pel qual passen els raigs que s'han desviat després de travessar l'òptica.
- **Pla focal:** pla situat al centre de la lent i per on es desvien, teòricament, els raigs.
- **Pla de la imatge:** pla situat a l'interior de la càmera i en el qual es forma una imatge invertida del motiu exterior. Aquí se situa el sensor electrònic del dispositiu de captura.
- **Distància focal:** distància que hi ha entre el pla de la lent i el punt del focus. Aquesta noció ens interessa especialment i la tractarem en un subapartat posterior.
- **Eix:** línia imaginària que uneix el motiu amb la seva projecció a l'interior de la càmera.

### 3.1. Objectius compostos

L'esquema de la lent simple resulta clarificador a l'hora d'explicar els conceptes, però en el fons és irreal perquè no es correspon amb la realitat. A les òptiques de les càmeres fotogràfiques el pla focal no és identificable a simple vista perquè els objectius no estan formats per una única lent, sinó per un conjunt d'elements òptics. Els objectius dels dispositius de captura són objectius compostos.

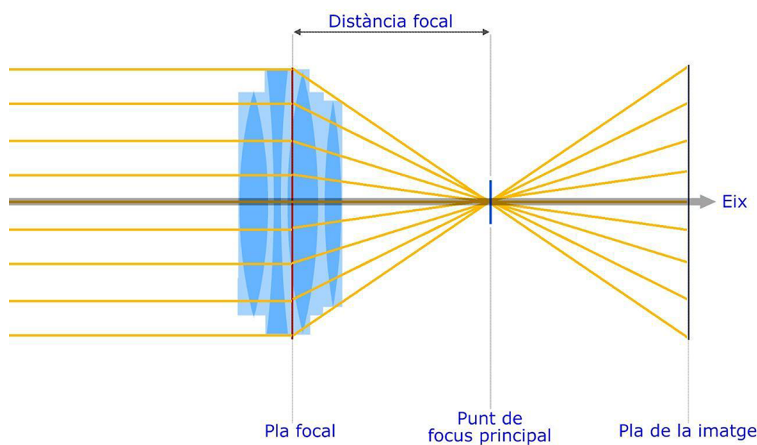
Un objectiu compost està constituït per un conjunt de lents que es muntten de manera que l'acció conjunta de totes compensi les aberracions i els defectes que té una lent única.

Una sola lent no dona prou qualitat fotogràfica i és l'acció conjunta del grup de lents que aconseguix una bona reproducció dels detalls. En una lent composta, els canvis de direcció que fa la llum són diversos, atès que els conjunts òptics estan dissenyats per corregir les imperfeccions que tota lent presenta.

Els objectius de les càmeres fotogràfiques són objectius compostos, però, a efectes d'entendre el concepte del pla d'imatge, és útil recórrer a la lent simple.

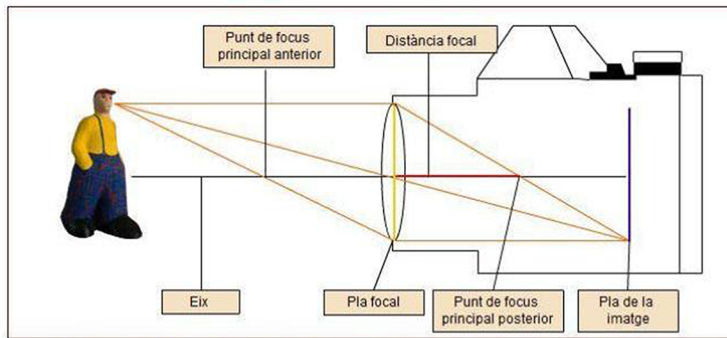
Per tant, es considera que el pla focal és el resultat calculat a partir del conjunt de totes les lents del conjunt òptic i és equivalent a la mateixa noció que la lent simple. Representa el pla on els raigs canviarien de direcció si estiguéssim utilitzant una lent simple.

Com succeeix en el cas de la lent simple, els raigs projectats passen pel punt del focus i es projecten sobre el pla de la imatge formant-hi una imatge invertida.



### 3.2. La formació de la imatge invertida

El procés de formació de la imatge —i que aquesta sigui o no sigui nítida— és el resultat de la concentració dels raigs de llum que travessen l'òptica de la càmera. El resultat del procés és la formació d'una imatge invertida sobre el pla de la imatge que reproduceix, punt per punt, el motiu que hi ha a l'exterior. Dels infinits raigs de llum que es reflecteixen sobre cada punt del motiu, una part d'aquests travessen la lent. Són els que representem en la figura següent i que, com es pot veure, acaben concentrant-se en el pla de la imatge.

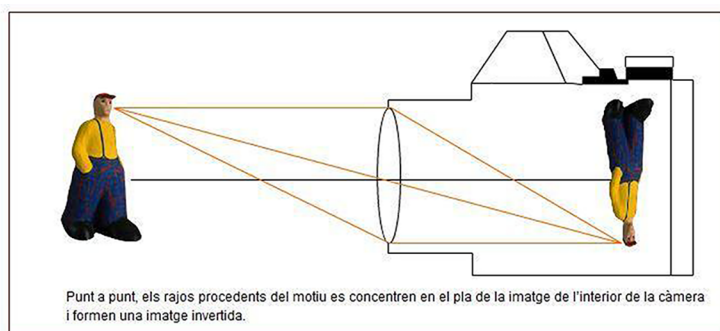


La lent de la càmera refracta la llum que prové del motiu i concentra els rajos en el pla interior en què se situen el negatiu o el sensor electrònic. Com a resultat d'aquest procés, es forma una imatge invertida del motiu en el pla de la imatge.

Vegem la formació de la imatge invertida. Des del motiu extern, tracem l'eix imaginari que l'uneix amb el pla de la imatge on hi ha el sensor. La llum que prové de la font lumínica rebota en infinites direccions des de cada un dels punts del motiu. Una part dels raigs travessen la lent de la càmera i es projecten al pla de la imatge. El desviament que provoca l'òptica en els raigs de llum és el motiu de la confluència dels raigs i, de fet, aquesta concentració és la que determina que una imatge estigui enfocada o no. Des d'un mateix punt del motiu, els raigs reflectits es dispersen i, en travessar l'òptica, es tornen a concentrar en el pla de la imatge.

En l'esquema anterior fem una simplificació d'un únic punt des del qual els raigs reflectits en el motiu travessen l'òptica. Però si bé en representem només un, cal imaginar que el mateix procés es dona en tots els punts del motiu. Quan els raigs travessen l'òptica, aquesta els concentra a l'interior de la càmera, sobre el pla de la imatge on es troba el sensor. Punt per punt, la imatge del motiu exterior es projecta dins de la càmera i forma una imatge invertida.

Aquesta concentració dels raigs provinents d'un únic punt del motiu sobre un únic punt del pla de la imatge constitueix la noció bàsica del que és l'enfocament. Si no aconseguim aquesta concentració els punts no són punts, sinó cercles, i la imatge està desenfocada. Bàsicament podem dir que l'enfocament es produeix quan tots els raigs que provenen de cada punt d'un motiu i que travessen l'òptica es concentren en un únic punt del sensor.



### 3.3. La imatge desenfocada

Si la imatge enfocada és aquella que és nítida, a la desenfocada li manca nitidesa, però anem una mica més enllà. Fixem-nos en les fotografies següents. Els punts de llum que apareixen en un fons desenfocat es representen en forma de cercles de colors. La pregunta que volem destacar és el perquè d'aquests cercles en aquestes llums fora del focus. Quan els raigs es projecten de forma puntual sobre el pla de la imatge, la fotografia que en resulta és nítida. L'enfocament correcte es produeix quan, a una distància determinada entre el pla focal i el pla de la imatge, la reproducció del motiu sobre el pla de la imatge és puntual. Quan la càmera enfoca, fa variar aquesta distància fins a trobar l'òptima.

En canvi, quan la distància entre el pla focal i el pla de la imatge no és correcta, la fotografia resultant està desenfocada. Els detalls del motiu no es reproduïxen en forma de punts, sinó en forma de cercles. Són els anomenats cercles de confusió, que són majors com més gran és el desenfocament.

Quan els raigs es projecten sobre el pla de la imatge abans o després de la distància òptima, els punts es reproduïxen com a cercles. Són els anomenats **cercles de confusió**.

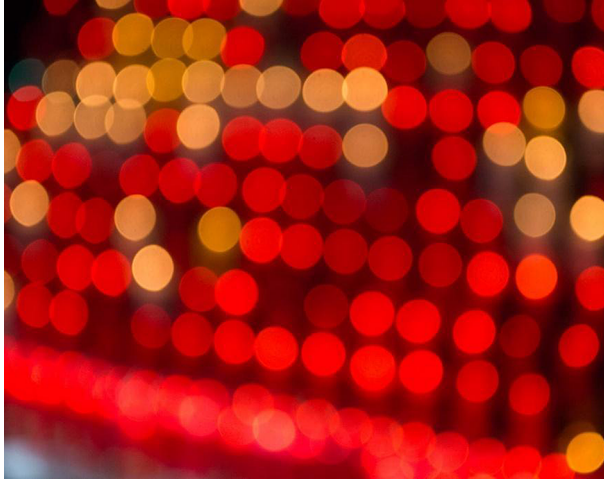
Vegem alguns exemples de fotografies sobre enfocament i desenfocament. En aquestes darreres, les flames es mostren en forma de cercles.

Grup d'espelmes en focus

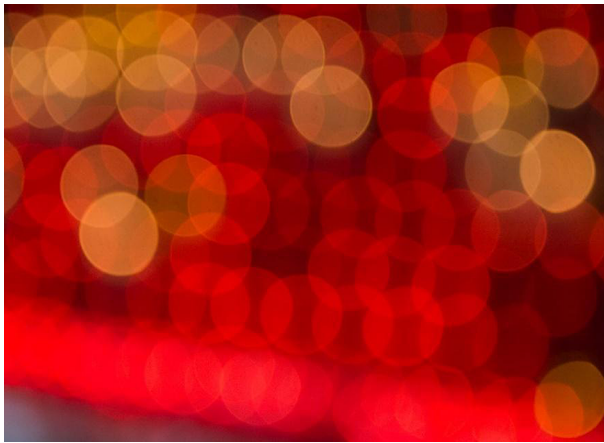




Les mateixes espelmes captades fora del focus



Com més gran és el desenfocament, més grans són els cercles de confusió

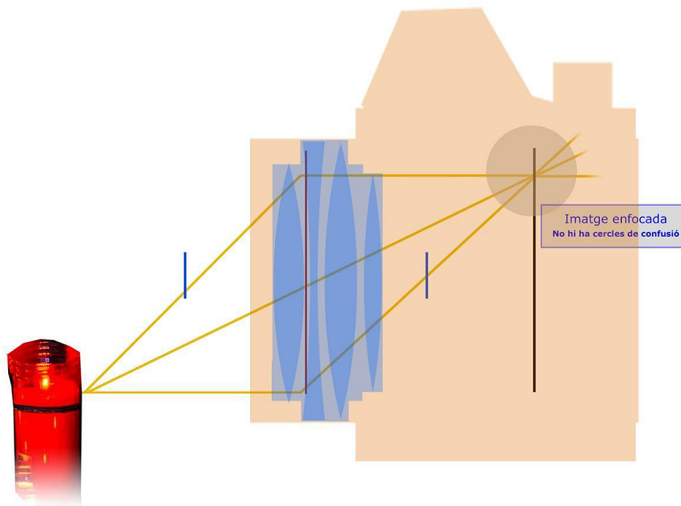


Una imatge enfocada és el resultat de la distància correcta entre el pla focal i el pla de la imatge per un motiu determinat. Si la distància és major o menor, el resultat serà una fotografia desenfocada. Com més gran sigui aquesta distància, més gran resultarà el cercle i el desenfocament corresponent.

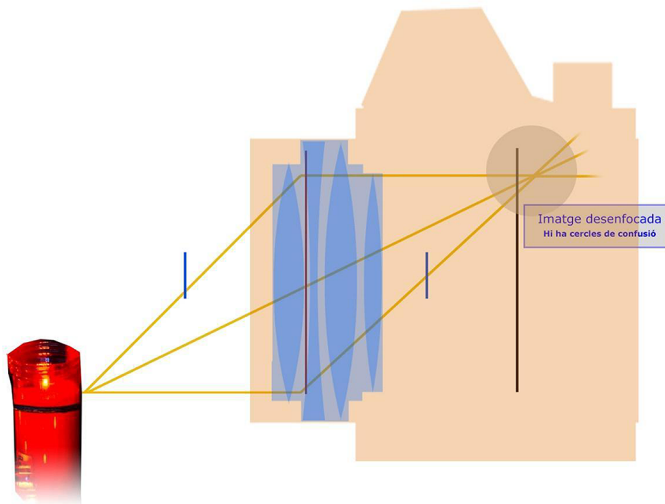
A una distància determinada, els punts del motiu es reproduïxen com a punts. A una distància més curta o més llarga, els punts esdevenen cercles el diàmetre dels quals és directament proporcional a l'increment de la distància.

Podeu veure-ho en els gràfics següents. En el segon cas, el punt del focus es troba al davant del pla de la imatge, i en el tercer, al darrere. En tots dos casos apareixen cercles de confusió.

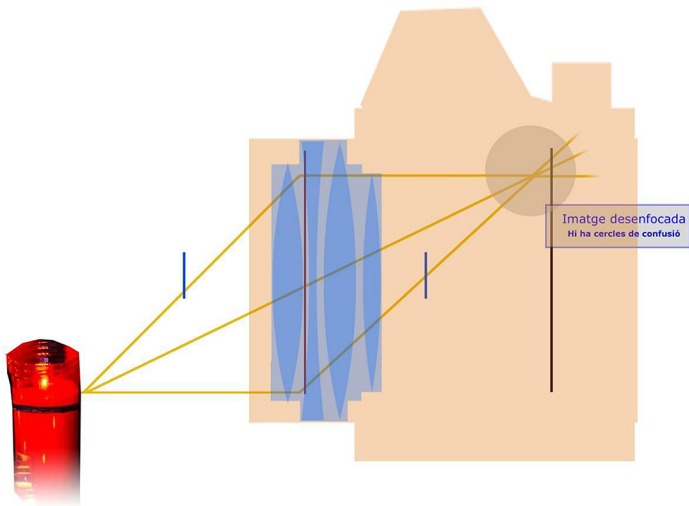
Imatge enfocada. No hi ha cercles de confusió



Imatge desenfocada. Hi ha cercles de confusió



Imatge desenfocada. Hi ha cercles de confusió



## 4. Nocions i procediments relacionats amb l'enfocament

El control del focus és bàsic i es relaciona estretament amb una altra noció bàsica: la profunditat de camp. D'una manera resumida podem dir que, si aquesta és alta, el marge per obtenir una imatge enfocada serà molt més alt que quan la profunditat de camp és baixa. Una profunditat de camp baixa, per exemple, ens permet enfocar només una part de la imatge (quan hi apliquem un focus selectiu). Parlarem més en detall de la profunditat de camp i el focus selectiu més endavant.

Abans d'arribar-hi, però, comentarem nocions i procediments que es relacionen amb l'enfocament. Parlarem de com controlar l'enfocament (focus manual o automàtic) i de la relació que hi ha entre la distància del motiu i la facilitat, més o menys gran, que tenim a l'hora d'enfocar (distància del motiu i distància mínima d'enfocament).

### 4.1. Focus manual o automàtic

Fa un temps es podia dir que hi havia dues opcions per enfocar: l'enfocament manual i l'enfocament automàtic. Si bé aquesta afirmació continua essent vàlida, cal dir que l'enfocament automàtic ha esdevingut una opció habitual, pràcticament universal en tots els dispositius i, sobretot, una alternativa fiable que generalment permet fer un focus ràpid i precís.

Molts dispositius poden passar al mode manual. De fet, és molt recomanable que ho facin (fins i tot, necessari) perquè, encara que sigui de forma esporàdica, sempre hi ha alguna ocasió en la qual pot interessar. Per exemple, en els casos en què hi ha motius que s'interposen entre el que volem fotografiar i la càmera. Ara bé, en la immensa part dels casos és perfectament factible i desitjable treballar en mode automàtic.

En aquest cas, el motiu és l'au, però pot ser perfectament que l'autofocus de la càmera enfoqui el filat. Amb el focus manual podem escollir exactament la zona que volem enfocar. En aquesta fotografia s'ha utilitzat un diafragma molt tancat (f22).



En la mateixa situació anterior, treballar amb un diafragma obert (f2,8 en aquest cas) permet desenfocar molt la reixa del primer terme i diluir-ne la presència.



Amb els autofocus actuals, més que parlar de focus manual o de focus automàtic probablement cal esmentar les formes que tenim per controlar els automatismes de la càmera. És lògic que deixem que la càmera controlï l'enfocament si aquesta és una tasca que pot fer amb precisió. En qualsevol cas, allò que haurem de tenir clar és com indiquem a la càmera quin és el motiu que volem enfocar.

En treballar amb el mode manual podem enfocar la imatge girant l'anell de l'òptica. D'aquesta manera s'adequa la distància que separa el pla focal del pla de la imatge perquè els raigs que provenen del motiu es concentrin en un punt

sobre el sensor. Ens cal girar l'anell de l'òptica perquè, segons quina sigui la distància del motiu exterior, caldrà una separació més gran o més petita entre el pla focal i el pla de la imatge per obtenir una representació enfocada.

En els models d'òptica de fa anys, el fet de girar l'anell per enfocar el mecanisme és visible, però ara en la majoria dels casos l'enfocament de l'òptica és intern i, per tant, impossible d'observar des de l'exterior. L'enfocament en un dispositiu mòbil és directament invisible per l'usuari, ja que és impossible observar cap canvi en les lents a l'hora d'enfocar. Generalment, en aquests dispositius el control manual del focus es fa tocant la pantalla. Sigui de forma visible o no, és important saber com es pot controlar el punt sobre el qual enfoca la càmera per poder aplicar-ho en les situacions que calgui.

En girar l'anell d'enfocament es varia la distància entre el pla focal i el pla de la imatge. L'enfocament en cada cas concret depèn de la distància a la qual es troba el motiu



Anell d'enfocament d'una òptica (indicada amb un rectangle vermell)

En molts models de càmera és habitual que un primer toc sobre el disparador faci que la càmera enfoqui i que, en acabar de prémer-lo, es dispari l'obturador. Aquest bloqueig en un primer toc de l'enfocament és especialment interessant quan es vol enfocar un motiu que no és al centre. El bloqueig en un primer toc permet centrar el punt del focus sobre el motiu, enfocar-lo i, tot mantenint premut el primer toc del botó, desplaçar la càmera per trobar l'enquadrament desitjat i fer la fotografia.

Dos exemples del procediment per descentrar el punt de focus. En aquesta fotografia la càmera enfoca amb prioritat a l'àrea central (cercle blau). L'abella surt enfocada però es vol que el motiu principal sigui la papallona.



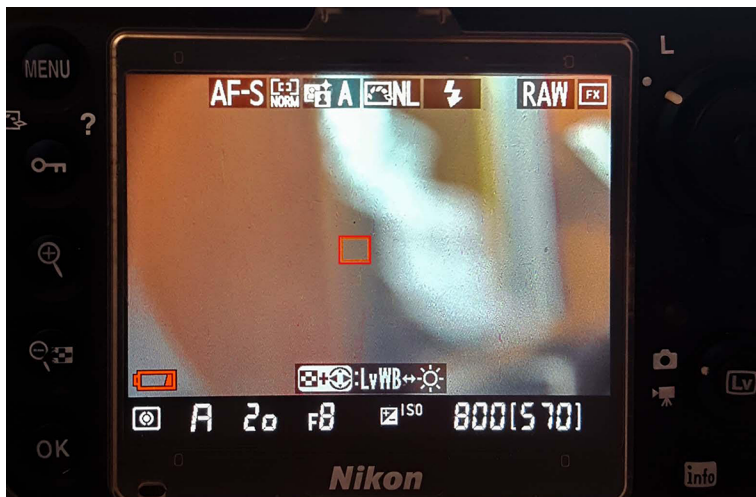
Per aplicar el mecanisme d'enfocar a dos tocs, se situa l'àrea d'enfocament prioritària (el centre del visor) sobre la papallona (cercle verd), s'enfoca i mantenint el botó premut es recompon la imatge. El cercle vermell que enfocaria la càmera per defecte, està desenfocat en aquest cas.



En moltes càmeres és habitual que hi hagi al visor **un rectangle de dimensions reduïdes que ens indica quin punt enfoca la càmera**. Aquest punt el podem desplaçar sobre l'àrea que ens interressi enfocar (representa una forma

de controlar el punt que enfoquem). És habitual que al visor intern de la càmera l'àrea per on es desplaça aquest rectangle sigui més reduïda que pel visor posterior. Amb el visor de la càmera extern engegat (mode *live view*) podem situar amb més precisió el punt del focus. Per contra, el procediment de disparar amb el visor engegat és més lent que en fer-ho mitjançant el visor intern.

Visor en mode *live view* (el rectangle vermell indica la zona sobre la qual s'enfocará en prémer el botó d'enfocament)



Moltes càmeres disposen, també, d'un botó específic que podem configurar per enfocar d'una manera controlada el punt que ens interessa. Tant en el visor, quan l'activem, com a través de l'ocular hi ha una àrea que podem desplaçar (vegeu el rectangle vermell en la figura anterior) perquè indiqui la zona per enfocar.

Botó per a l'enfocament d'una òptica (indicat amb el rectangle vermell)





En la majoria dels dispositius es pot configurar la manera d'enfocar. Per exemple, es pot seleccionar que el punt del focus sigui més o menys concret, que s'enfoqui el subjecte més proper (una configuració que pot ser útil per al retrat) o que hi hagi un seguiment dinàmic del focus si el motiu es mou. Hi ha diverses alternatives, que depenen de les opcions i configuracions que tingui cada model. És recomanable llegir-se el manual d'instruccions particulars per conèixer les prestacions de l'aparell.

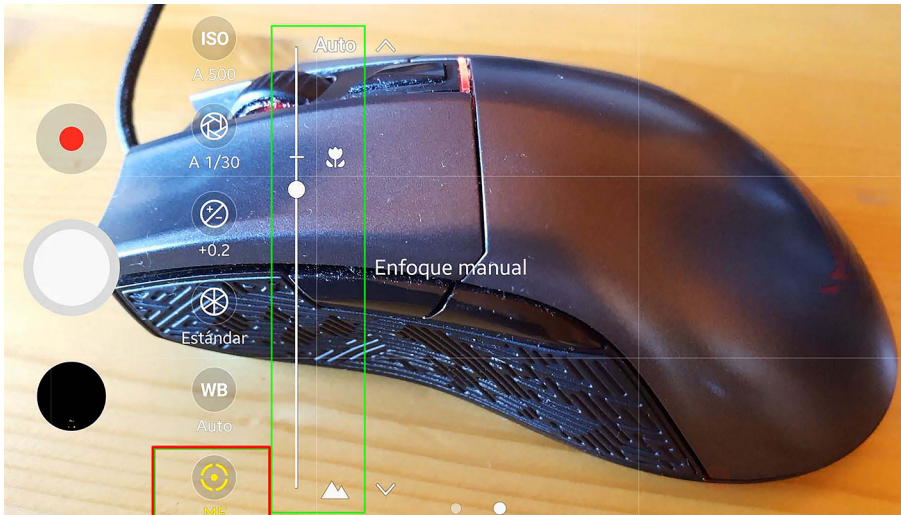
Exemple d'un menú de configuració de l'autofocus d'una càmera



En el cas d'un mòbil i en les càmeres amb pantalla tàctil, l'operació d'indicar al dispositiu on ha d'enfocar es pot fer tocant el visor. Els mòbils, en aquest sentit, tenen un funcionament similar al de moltes càmeres compactes que funcionen per pantalla tàctil. Algunes càmeres rèflex i *mirrorless* incorporen també aquesta funció de control tàctil per mitjà del visor.

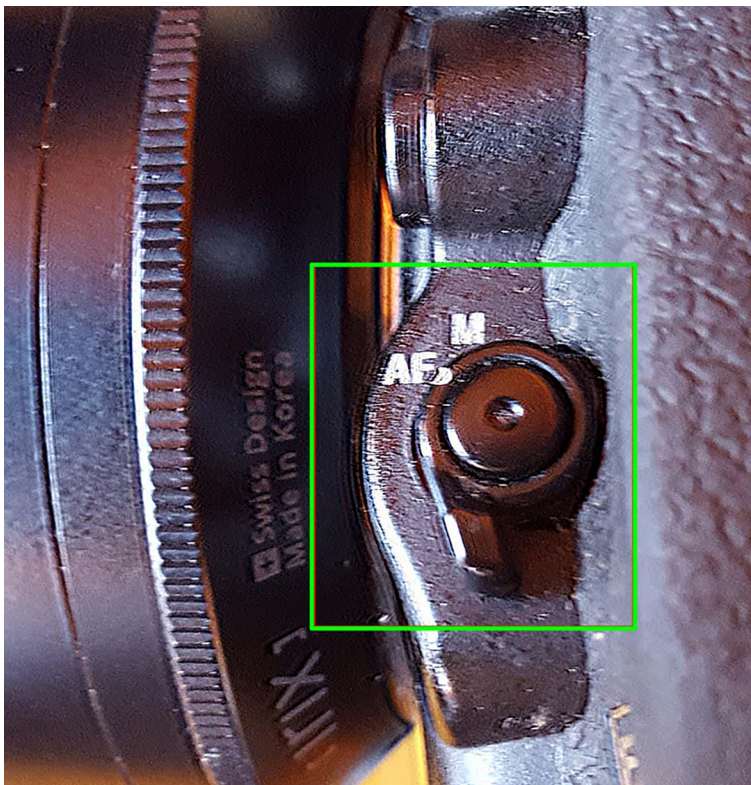
En un mòbil, segons les prestacions de cada dispositiu o de l'aplicació que s'utilitzi, es podrà treballar en enfocament automàtic o manual. Generalment, per variar el punt del focus es fa tocant sobre el visor del mòbil la zona que es vol enfocar. A més, algunes aplicacions permeten activar la funció d'enfocament manual (vegeu el rectangle vermell de la figura següent). En fer-ho, es pot desplaçar el dit per la pantalla (movent el cercle blanc per la línia vertical en la zona mostrada pel rectangle verd).

Exemple de captura de pantalla per a l'enfocament manual en un mòbil



En el cas que ens interessi desconnectar l'enfocament automàtic, és habitual que hi hagi controls exteriors a la mateixa càmera que ens permetin passar del model automàtic al manual. Si no hi ha aquests botons físics, de ben segur que es podrà fer des dels menús del dispositiu.

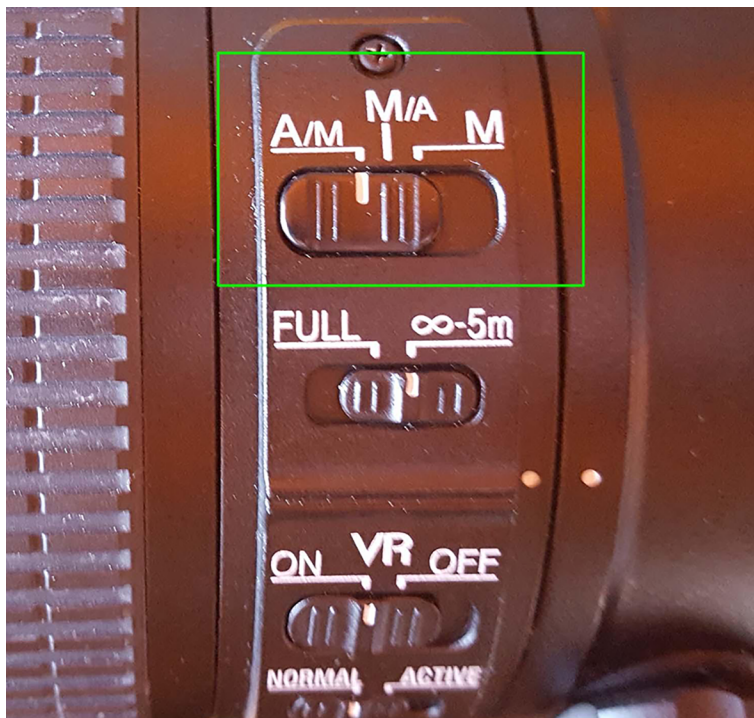
Commutador de focus manual-automàtic en una càmera



Commutador de focus manual-automàtic a l'òptica



Commutador de focus manual-automàtic a l'òptica



**Control manual**

Les raons per les quals puguem necessitar un control manual són diverses. En general poden correspondre a tècniques relativament avançades, com les que hi ha en la fotografia d'aproximació. En el cas dels paisatges també ens pot interessar controlar-ne manualment el focus per determinar quines zones són nítides i quines no.

En la fotografia d'aproximació s'acostuma a treballar en mode manual.



#### 4.2. Distància del motiu

La distància a la qual es troba el motiu de la càmera determina el punt d'enfocament al dispositiu. Segons la proximitat o la llunyania d'allò que fotografiem, caldrà adaptar la distància que separa el pla focal del pla de la imatge perquè la fotografia es vegi enfocada. Es tracta de l'operació d'enfocar que, com hem vist, es pot fer de manera manual o automàtica i en tots dos casos el resultat final és el mateix.

Un motiu es pot trobar a una distància determinada respecte de la càmera (centímetres, metres, desenes de metres...; la progressió de les distàncies possibles és lineal), però aquesta progressió lineal no es produeix en l'anell d'enfocament de la càmera.

Quan el motiu és proper tenim molt poc marge de focus, mentre que quan és lluny el marge és molt gran. De fet, com més lluny sigui el motiu, més marge de focus tindrem.

Quan enfoquem a prop, el focus va de centímetres o mil·límetres; quan enfoquem lluny, el marge va de metres i de desenes de metres (tant és així que, a partir d'una distància determinada, es passa ja a infinit). Això es pot comprovar perfectament en les escales d'enfocament de les òptiques que mostren les distàncies:

- Com més proper és un motiu, més crític és l'enfocament. El focus pot anar de pocs centímetres (i en fotografia d'aproximació, de pocs mil·límetres).
- Quan el motiu es troba allunyat, a partir d'una distància es passa ja a infinit. En algunes òptiques, això es pot produir més enllà de 5 o 6 metres, i en d'altres, a partir de 12 o 15 metres. Aquests valors màxims varien en

funció dels tipus d'òptica, però en totes trobem un valor a partir del qual ja no es discrimina l'enfocament fins a l'infinit.

Quan el motiu és molt proper, hi ha molt poc marge de focus. El fons està totalment fora del focus.



Quan el motiu és a uns metres de la càmera, el marge de focus és molt més alt.

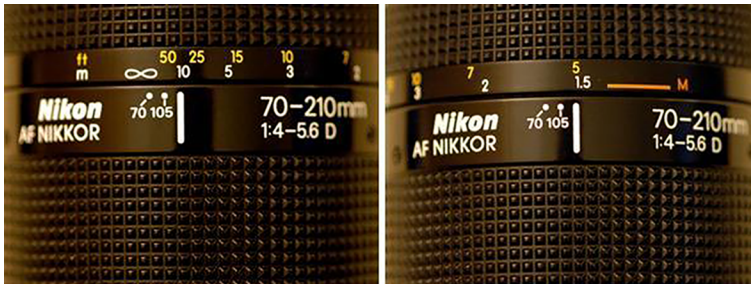


Podem comprovar aquesta diferència directament sobre una òptica. Vegem, com a exemple, com varia l'enfocament en funció de la distància. En aquest cas, s'ha agafat una òptica zoom de 70-210 mm.

En el primer cas (esquerra), el punt del focus és a 10 metres. Per l'esquerra veiem que la distància que separa els 10 metres de l'infinit és pràcticament la mateixa que per la dreta separa els 10 metres del punt dels 5 metres. Com més llunyà sigui el focus, més gran serà el marge per enfocar.

En el segon cas (dreta), el punt del focus assenyalat per la ratlla blanca és a 1,5 metres. Això significa que la imatge que obtenim estarà enfocada sobre un motiu que és a 1,5 metres. Podem observar perfectament que la distància que hi ha entre aquests 1,5 metres i els 2 metres és molt gran. En les distàncies curtes, el focus és molt crític.

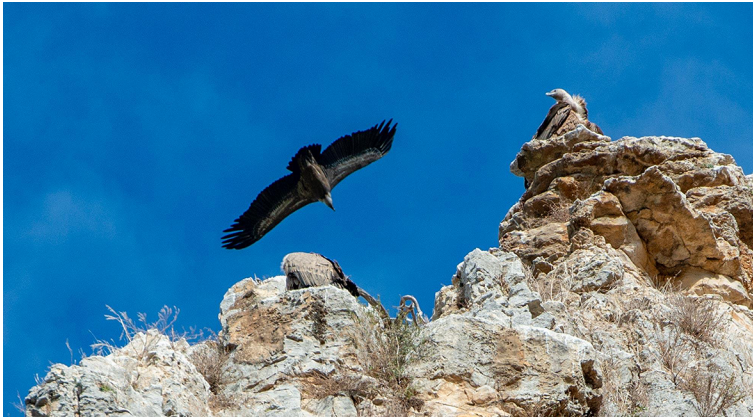
Punt d'enfocament en un teleobjectiu a 10 metres (esquerra) i a 1,5 metres (dreta). En tot objectiu, el marge del focus és molt més ampli cap a l'infinit que cap a les distàncies curtes. Enfocar un motiu llunyà és molt menys crític que fer-ho en el cas d'un de pròxim.



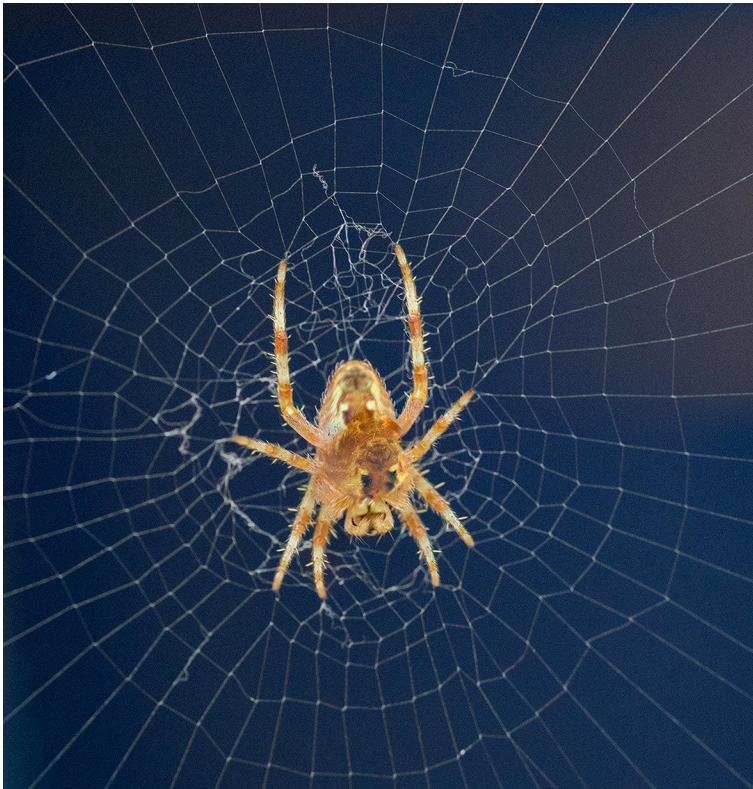
A continuació, mostrem algunes imatges com a exemple de la diferència que hi ha entre enfocar un motiu proper i un de llunyà, i de com el marge d'enfocament és molt més gran en els motius llunyans que en els propers. Quan fotografiem un motiu distant, s'enfoca amb facilitat tant el motiu com tot allò que l'envolta. En canvi, quan el motiu és proper és molt fàcil que tot el que es trobi una mica més a prop o més lluny quedi fora del focus.

Les següents son fotografies de subjectes distants respecte a la càmera.





Aquestes altres son fotografies de subjectes propers respecte a la càmera.





### 4.3. La distància mínima d'enfocament

Si continuem parlant dels punts importants amb relació a l'òptica arribem a la distància mínima d'enfocament.

Qualsevol objectiu té una distància mínima d'enfocament, un paràmetre que podem definir com el punt més pròxim a l'objectiu en què el motiu es reproduïx amb nitidesa.

Tot el que estigui per sota d'aquest valor, és a dir, més proper a la càmera, apareixerà borrós.

Cada objectiu té una distància mínima d'enfocament diferent: en un angular, aquesta distància serà petita, i en un teleobjectiu, llarga. És un factor que depèn del tipus d'òptica.

Més enllà de les òptiques habituals, el disseny d'alguns objectius permet treballar en distàncies molt curtes, unes distàncies que poden superar els valors mínims d'enfocament habituals. En aquest cas, quan podem fotografiar de forma nítida a distàncies molt curtes, parlem d'objectius macro.

En general, les òptiques de les càmeres reflex permeten fer unes aproximacions menors que les compactes i, especialment, els dispositius mòbils. Vegem alguns exemples de les distàncies mínimes d'enfocament en diferents òptiques.



Zoom de 14-24 mm: distància mínima d'enfocament de 28 cm. S'ha enfocat la flor marcada amb el cercle. L'amplitud de l'angle visual (14 mm) fa que, tot i estar enfocat a la distància mínima, es vegi la totalitat de l'escena en l'enquadrament.



Zoom de 24-70 mm: distància mínima d'enfocament de 35 cm. S'han fotografiat els bolets amb la distància focal de 70 mm (molt a prop de la distància mínima d'enfocament).



105 mm: distància mínima d'enfocament de 31 cm. S'ha fotografiat l'insecte amb una òptica fixa específica per a macro.



Zoom de 70-210 mm: distància mínima d'enfocament d'1,4 m. S'ha fotografiat la flor amb una distància focal de 70 mm i una obertura de 2,8 (una mica més enllà de la distància mínima d'enfocament).



Zoom de 70-210 mm: distància mínima d'enfocament d'1,4 m



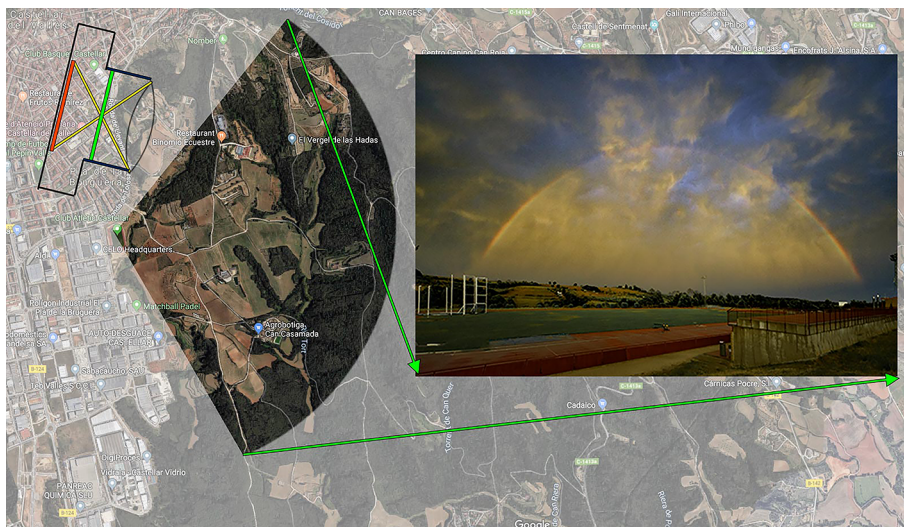
## 5. L'angle visual i la distància focal

Després de parlar de l'enfocament tractarem la segona noció important amb relació a la formació de la imatge.

L'angle visual i la distància focal són dos conceptes que estan molt relacionats (de fet, l'un depèn de l'altre). L'angle visual determina l'amplitud, més o menys gran, amb què es capta una escena.

Un angle molt ampli capta una àrea molt dilatada, i a mesura que l'angle es tanca es redueix la zona que es fotografia. Aquest angle és una conseqüència de la distància focal de l'òptica amb què treballem. A més, la distància focal té implicacions estètiques importants perquè d'aquesta depèn, per exemple, el tipus de perspectiva d'una fotografia. La distància focal és un paràmetre que condiona directament la profunditat de camp.

Localització de la fotografia sobre Google Maps des del punt on es va perdre i l'angle cobert. Una distància focal curta es correspon amb un angle visual obert.



Localització de la fotografia sobre Google Maps des del punt on es va perdre i l'angle cobert.  
Una distància focal llarga es correspon amb un angle visual tancat.



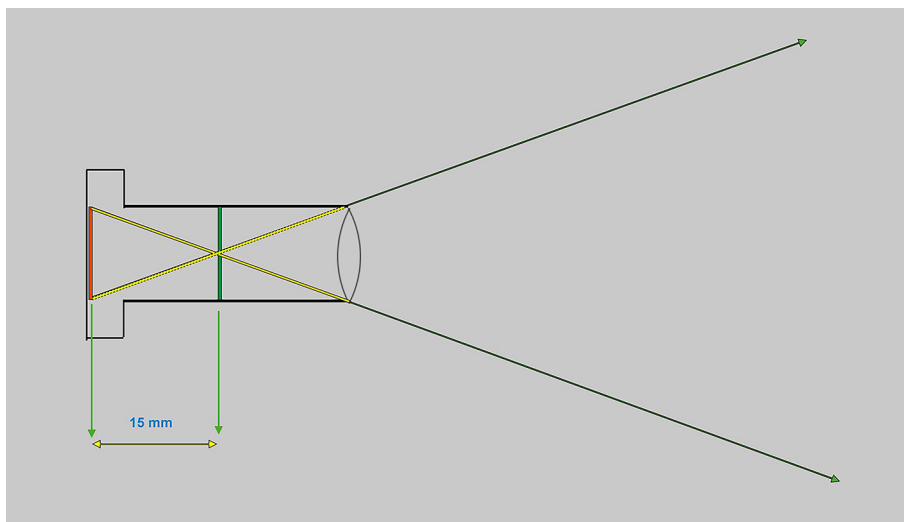
### 5.1. Nocions de distància focal i angle visual

La distància focal és la distància que hi ha entre el pla focal i el punt del focus. Aquest paràmetre es descriu en mil·límetres.

Com més curta sigui aquesta distància, més ampli serà l'angle; i com més gran sigui el valor de la distància focal, més tancat serà l'angle amb què es capta l'escena.

L'angle visual és l'angle de cobertura sobre una escena i es mesura en graus. Com més petita sigui la distància entre el punt del focus i el pla focal, més gran serà l'angle que es forma.

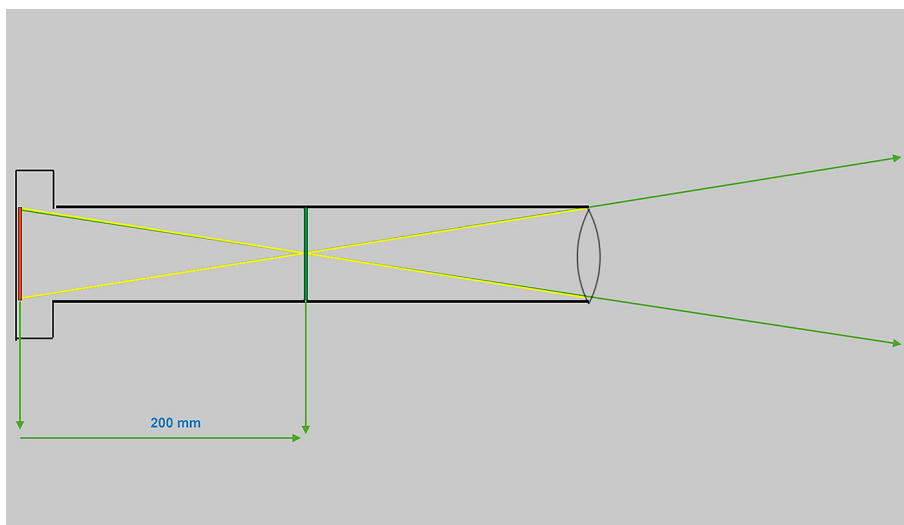
A una distància focal de 15 mm l'angle que es cobreix és molt gran. És el cas de les òptiques angulars.



#### Vegeu també

Per definir la distància focal cal tenir present l'esquema del subapartat 3.1 sobre els objectius compostos (recordeu el pla focal, el punt del focus i el pla de la imatge).

A una distància focal de 200 mm l'angle que es cobreix és molt reduït. És el cas de les òptiques teleobjectius.



## 5.2. Relació d'angle visual i distància focal de 35 mm

Com veurem després, en càmeres que no són de fotograma complet els valors de referència canvien. Per tant, parlarem d'angle visual i de distància focal amb relació a les càmeres amb sensor *full-frame* i, posteriorment, veurem què passa en el cas dels que són de dimensions superiors o inferiors.

L'angle visual i la distància focal són dos paràmetres totalment dependents l'un de l'altre. En la mesura en què canvia la distància que separa el pla de l'òptica del punt del focus principal (distància focal) es modifica l'angle que es cobreix d'una escena (angle visual).

Angle visual	Distància focal
84°	24 mm
34°	70 mm

### Recordatori

Recordeu que prenem la càmera tradicional de 35 mm, la de negatiu fotogràfic o la rèflex digital *full-frame* com a referències per parlar de les òptiques.

Una distància focal curta, equivalent a un angle visual ampli, permet captar edificis complets, per exemple, sense necessitat d'allunyar-nos massa.



Una distància focal llarga, equivalent a un angle visual reduït, permet captar detalls des d'uns metres de distància, per exemple.



### 5.3. Tipus d'objectius amb relació a la distància focal

Ara veurem quins objectius es corresponen amb les distàncies focals. Principalment, parlem de tres tipus d'objectius: normals, angulars i teleobjectius.

#### 5.3.1. Objectius normals

Els **objectius normals** tenen una distància focal propera als 50 mm i proporcionen una perspectiva que s'assembla a la visió que té l'ull d'una escena. En aquest cas hi ha un tipus d'òptica: 50 mm.

Falguera (Madeira) a una distància focal de 50 mm. Visió de l'escena similar a la de la vista real.



Flors (Madeira) a una distància focal de 50 mm. Visió de l'escena similar a la de la vista real.



Ocell (Madeira) a una distància focal de 50 mm. Visió de l'escena similar a la de la vista real.



### 5.3.2. Objectius angulars

Els **objectius angulars** o de **distància focal curta** tenen valors significativament per sota de 50 mm. Pel que fa als que tenen valors inferiors a 35 mm, se'ls consideren **gran angulars**. Per sota de 20 mm reben el nom d'**angulars extrems**, si amplien l'angle de cobertura però mantenen unes proporcions realistes de l'escena, o d'**ulls de peix**, si no fan correcció i mostren una escena en forma circular. Generalment, els valors clàssics en els objectius gran angulars, de més a menys angle de cobertura, són els següents:

- 14 mm
- 20 mm
- 24 mm
- 28 mm
- 35 mm

Destil·leria de rom (Madeira) a una distància focal de 15 mm. Es capta una amplitud de l'escena superior a la que es té a partir de la visió real.





Bicicleta en una cursa de BTT a Boca do Risco (Madeira), a una distància focal de 15 mm. Es capta una amplitud de l'escena superior a la que es té a partir de la visió real. El ciclista sembla molt més gran que la bicicleta.



Peixater del Mercado dos Lavradores (Madeira) a una distància focal de 15 mm. Es capta una amplitud de l'escena superior a la que es té a partir de la visió real. La tonyina sembla tan gran com el peixater.



### 5.3.3. Teleobjectius

En el cas contrari dels angulars hi ha els **teleobjectius**. En incrementar la distància focal, l'angle de cobertura es tanca. A partir de 300 mm parlem de teleobjectius extrems. Alguns dels teleobjectius més habituals són aquests:

- 105 mm
- 135 mm
- 200 mm
- 300 mm
- 400 mm
- 500 mm

Pont a Senja (Noruega), a una distància focal de 200 mm. L'escena sembla comprimir-se respecte de la visió al natural. Els motius es veuen més propers.



Cases a Senja (Noruega), a una distància focal de 200 mm. L'escena sembla comprimir-se respecte de la visió al natural. Els motius es veuen més propers.



Paisatge de Senja (Noruega), a una distància focal de 200 mm. L'escena sembla comprimir-se respecte de la visió al natural. Els motius es veuen més propers.



#### 5.4. Les focals de les compactes i dels mòbils

La càmeres compactes i els mòbils són casos d'òptiques que no són equivalents a 35 mm. En tots aquests casos, el sensor és menor, ja que té unes dimensions més reduïdes. Les mesures totals són inferiors en amplada i alçada a un sensor full frame però en canvi el nombre total de píxels del sensor pot ser molt elevat.

Pel que fa a la distància focal, el fet que un sensor tingui vuit o setze milions de píxels no importa perquè la resolució no és un paràmetre que influeixi en l'angle visual. El que sí que importa són els mil·límetres d'amplada i alçada que té la seva superfície. A unes mateixes mesures, la distància focal serà la mateixa, tant si hi ha vuit o setze milions de píxels. Si n'hi ha setze, els píxels seran més petits que si n'hi ha vuit, però la superfície total serà la mateixa. El que ens importa aquí no és la densitat dels píxels que té el sensor, sinó les seves dimensions totals.

Agafem com a exemple la Sony RX100 IV, una càmera compacta amb un sensor que té unes dimensions de  $13,2 \times 8,8$  mm (molt més reduïdes, per tant, que els 35 mm). En aquest cas, per a cobrir uns mateixos angles de cobertura que amb un model de 35 mm caldran unes distàncies focals molt més reduïdes. Les dimensions menors del sensor fan que per a un mateix angle la distància que separa el pla focal del pla de la imatge hagi de ser menor.

Angle que cal cobrir	Distància focal de la càmera amb sensor $13,2 \times 8,8$ mm	Equivalent de la distància focal de la càmera amb sensor $35 \times 24$ mm
84°	8,8 mm	24 mm
34°	25,7 mm	70 mm



Sony RX100 IV

Vegem alguns exemples de fotografies fetes amb aquesta càmera.

Edifici de l'Algarve (Portugal), a una distància focal de 8,8 mm. L'angle visual es correspon amb una focal de 28 mm en format *full-frame*.



Edifici de l'Algarve (Portugal), a una distància focal de 25,7 mm. L'angle visual es correspon amb una focal de 70 mm en format *full-frame*.



Podem dir, per tant, que en càmeres compactes i en dispositius mòbils els valors equivalents de la distància focal són molt menors que en les càmeres rèflex. En muntar sensors electrònics més petits que un negatiu de 35 mm, els valors de la distància focal en aquests dispositius varien notablement. Així, per cobrir la mateixa àrea d'una escena és necessària una distància focal molt menor que l'equivalent en 35 mm. Observem els casos següents: la primera fotografia està feta en angular, amb una càmera compacta el valor de la qual és 8 mm; la segona es va fer des del mateix punt, en una posició de teleobjectiu (en aquest cas, el valor és de 20 mm). Les mateixes fotografies fetes amb una càmera de 35 mm correspondrien a òptiques angular i teleobjectiu, respectivament.



Tot seguit hi ha exemples d'imatges captades amb un mòbil. A part dels models amb diverses òptiques, que aconsegueixen zooms òptics a partir de la combinació de la informació de les diverses lents, molts mòbils tenen una focal angular fixa. L'angle de visió dels exemples següents és de 28 mm, aproximadament, però la focal de l'òptica és, en aquest cas, de 4,3 mm.

Sant Joan de Pladecorts (el Vallespir), a una distància focal de 4,3 mm. L'angle visual es correspon amb una focal de 28 mm en format *full-frame*.



Paulilles (el Vallespir), a una distància focal de 4,3 mm. L'angle visual es correspon amb una focal de 28 mm en format *full-frame*.



### 5.5. Càmeres APS-C i el factor de focal

Un segon cas de càmera amb un sensor amb dimensions inferiors a les del negatiu de 35 mm són les càmeres rèflex o *mirrorless* que presenten sensors de dimensions inferiors. Naturalment, són més grans que els que corresponen a mòbils i compactes, però no arriben a les mides d'una *full-frame*. Aquestes càmeres reben diverses denominacions, sovint amb mots que són propis o utilitzats especialment per una determinada marca comercial. APS-C és un dels noms habituals d'aquests tipus de sensors.

El comú denominador en qualsevol d'aquests sensors és que, a conseqüència de les seves dimensions reduïdes, presenten una multiplicació de la distància focal.

Quan hi utilitzem una òptica de 50 mm, per exemple, cal tenir en compte que la imatge que en capta el sensor és només un retall de la que es captaria amb la mateixa òptica amb una càmera *full-frame*.

El valor d'aquesta multiplicació és el que coneixem com a factor de focal.

El factor de focal acostuma a tenir un valor entre 1,3 i 1,8. En el cas de les òptiques Nikon (que l'empresa identifica com a DX), el factor de focal és d'1,5. En les Canon, té un valor lleugerament superior (1,6).

Per tant, el factor de focal és un paràmetre que s'aplica a les càmeres rèflex o sense mirall (*mirrorless*) que tenen sensors amb valors inferiors als del sensor de les càmeres de fotograma complet o *full-frame*. Els models que munten sensors amb una mida equivalent al negatiu de 35 mm i en què els valors de

les òptiques es corresponen al cent per cent amb els valors de les mateixes òptiques en càmeres de negatiu s'anomenen FX. Les càmeres amb sensors de mida inferior són models APS-C.

Aparentment, les *full-frame* i APS-C poden semblar iguals. Les unes són més voluminoses que les altres, però dins d'una mateixa marca totes admeten les mateixes òptiques. Ara bé, els resultats de l'una i de l'altra, pel que fa a l'angle visual, difereixen força. Les fotografies fetes amb la càmera APS-C tenen clarament un angle visual més tancat.

La mateixa òptica és menys angular i més tele en una càmera APS-C que en una càmera FX. La diferència està marcada per les diferents dimensions del sensor i és deguda al factor de focal. Així doncs, un factor focal d'1,5 significa que cal multiplicar per aquesta xifra la distància focal d'una òptica per a conèixer-ne el valor efectiu. Les empreses de marques fotogràfiques faciliten el factor focal de cada càmera.

Equivalències d'òptiques fixes per a formats FX i APS-C

<b>FX sense factor de focal</b>	<b>APS-C amb un factor focal d'1,5</b>	<b>APS-C amb un factor focal d'1,6</b>
400	600	640
200	300	320
105	157,5	168
50	75	80
35	52,5	56
28	42	44,8
24	36	38,4
19	28,5	30,4

Molts dels objectius actuals són de focal variable i es coneixen habitualment com a zoom. En variar la distància focal poden cobrir un camp de distàncies focals determinat. Alguns ho fan en la part del gran angular (òptiques del tipus 12-24, 14-24, 19-35...); d'altres oscil·len al voltant dels objectius normals (per exemple, les 35-70); d'altres cobreixen la gamma dels teleobjectius (105-210 o 200-500), i d'altres van des d'angulars més o menys pronunciats o teleobjectius més o menys potents. La gamma és molt variada i l'elecció es basa en criteris d'utilitat, de pressupost i de la qualitat requerida. Naturalment, el factor de focal també s'aplica en el cas del zoom quan una òptica es fa servir en una càmera APS-C.

Camps de distàncies focals en objectius zoom per a format APS-C

FX sense factor de focal	APS-C amb un factor focal d'1,5	APS-C amb un factor focal d'1,6
16-35	24-52,5	25,6-56
70-210	105-322,5	112-336
35-70	52,5-105	56-112
16-85	24-127,5	25,6-136
18-200	27-300	28,8-320

Els objectius vàlids per a càmeres FX es poden fer servir en càmeres APS-C aplicant el factor de focal. En el cas invers, però, no és possible la utilització aprofitant tot l'angle visual de l'òptica.

A un mateix angle visual, el sensor FX capta una àrea major de l'escena que un sensor DX. La diferència entre els dos és proporcional al factor de focal que tingui el sensor. En el gràfic es representa amb l'àrea diluïda el que capta de més un sensor FX respecte d'un DX.



#### Òptiques APS-C en càmeres

Les cases comercials fabriquen òptiques APS-C que només es poden usar en càmeres amb el factor focal recomanat pel fabricant. Són més econòmiques que les òptiques FX pel fet que descarten pràcticament la qualitat a les zones laterals. Només donen una imatge de qualitat en l'àrea corresponent a l'aplicació del factor de focal. Si es fan servir en una càmera FX, només es pot aprofitar la zona equivalent a la que hi ha en una càmera APS-C.



Hasselblad H4X

## 5.6. Les focals en càmeres de formats grans

Ara veurem la situació inversa a l'anterior. És a dir, què passa amb la distància focal quan el sensor té unes dimensions superiors a les *full-frame*. Es tracta de càmeres amb sensors de format mitjà ( $4,5 \times 6$  cm o  $6 \times 6$  cm). Tant els models analògics com els models digitals actuals són dispositius que donen molt detall i ofereixen una gran resolució. No són càmeres d'ús domèstic, si bé cal dir que esporàdicament se'n poden veure en mans de professionals i usuaris avançats.

En aquest cas, l'òptica normal és el 80 mm, mentre que un 50 mm és ja un angular. És a dir, les dimensions més grans del sensor provoquen l'efecte contrari al cas de les APS-C.



## 5.7. Zoom òptic i zoom digital

Una distinció important que cal fer és la del zoom òptic i el zoom digital, sobretot per l'elevat nombre de càmeres compactes i mòbils que els inclouen. És el mateix fer servir l'un i l'altre? Son igualment útils? La resposta és que no. No són el mateix, i no és gens recomanable fer servir un zoom digital. De tota manera, primer hem de parlar de les característiques del zoom.

Un zoom 35-70 té un factor d'ampliació de 2x, i un de 70-210, de 3x. És a dir, en dividir el paràmetre més gran pel més petit obtindrem el factor d'ampliació. Actualment, els factors d'ampliació del zoom s'incrementen i és fàcil trobar models amb recorreguts importants. Es tracta d'ampliacions que depenen de l'òptica, que són el resultat del desplaçament de posició de les lents.

Amb tot, més enllà de les opcions òptiques en els models digitals és freqüent trobar-hi factors d'ampliació que responen als denominats zoom digitals.

Un zoom digital incrementa notablement la imatge, però l'ampliació no es realitza mitjançant les lents, com en el zoom òptic, sinó amb programari.

La imatge original s'augmenta per interpolació. Aquest tipus de zoom, si bé pot redimensionar a l'alça la imatge, no produeix fotografies de qualitat. Normalment obtindrem més qualitat si captem la fotografia sense ampliació amb la compacta o amb el mòbil i duem a terme l'ampliació a l'ordinador, durant el procés d'edició.

Algunes càmeres compactes i molts mòbils incorporen rangs de zoom elevats, però normalment es tracta d'augmentos digitals, no òptics. La qualitat de l'augment obtingut electrònicament és molt inferior a la que proporciona un bon conjunt òptic. Fins i tot és preferible dur a terme l'ampliació durant l'edició, si és necessari.

Les dues imatges següents van ser preses amb la mateixa càmera. El fotògraf no es va desplaçar, totes dues es van fer, doncs, des de la mateixa distància. La primera correspon a l'augment del zoom òptic i en la segona es va fer servir el digital. El nombre d'augmentos és notable. Amb tot, a part de l'augment, cal assenyalar que en la corresponent al zoom digital l'efecte de pixelació és molt més evident i apareix quan ampliem excessivament la imatge. D'altra banda, també hi podem observar soroll. Analitzant amb detall la zona del blau de l'aigua, en la fotografia següent podem veure amb claredat punts de color. La comparativa de les dues imatges correspon a àrees similars de la imatge en brut, tal com va ser captada per la càmera.



Nikkor 16-85. Un zoom amb un factor d'ampliació de 5,31



Nikkor 16-35. Un zoom amb un factor d'ampliació de 2,18

Dues imatges de la mateixa escena. En la primera (esquerra) tan sols es va utilitzar el zoom òptic. En la segona (dreta), també el zoom digital. La pèrdua de qualitat i l'increment de soroll són evidents.

