
La óptica

PID_00266677

Antoni Marín Amatller

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 4 horas



Antoni Marín Amatller

Licenciado en Ciencias de la Educación (UAB, 1979), posgrado en Sistemas Interactivos Multimedia (UPC, 1993) y doctor en Sociedad de la Información y el Conocimiento (UOC, 2016). Desde el año 2000, es profesor de los EIMT de la UOC en las asignaturas de Fotografía digital, Vídeo, Composición digital, Animación, Creación de mundos virtuales y *Media* para videojuegos. En el ámbito de la investigación, estudia la narrativa audiovisual en las redes sociales, especialmente la fotografía y el vídeo con dispositivos móviles y el uso de la narrativa creada con aplicaciones de realidad aumentada (*augmented storytelling*). Fue guionista y realizador de programas de televisión educativa en el Programa de Medios Audiovisuales del Departamento de Educación para el Canal 33. Además, trabajó en el diseño y la realización de cursos de formación ocupacional sobre tecnologías multimedia. Como fotógrafo, es miembro de AFOCER y de AFOTMIR. Ha participado en varias exposiciones de fotografía, tanto en la coordinación de grupos de trabajo de la UOC como en la realización de exposiciones a título individual.

Primera edición: septiembre 2019
© Antoni Marín Amatller
Todos los derechos reservados
© de esta edición, FUOC, 2019
Avda. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Realización editorial: FUOC

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares de los derechos.

Índice

Introducción.....	5
1. Introducción a la óptica.....	7
2. El enfoque.....	9
3. Nociones relacionadas con la óptica.....	11
3.1. Objetivos compuestos	13
3.2. La formación de la imagen invertida	14
3.3. La imagen desenfocada	16
4. Nociones y procedimientos relacionados con el enfoque.....	20
4.1. Foco manual o automático	20
4.2. Distancia del motivo	28
4.3. La distancia mínima de enfoque	32
5. El ángulo visual y la distancia focal.....	36
5.1. Nociones de distancia focal y ángulo visual	37
5.2. Relación de ángulo visual y distancia focal de 35 mm	38
5.3. Tipo de objetivos en relación con la distancia focal	39
5.3.1. Objetivos normales	39
5.3.2. Objetivos angulares	41
5.3.3. Teleobjetivos	42
5.4. Las focales de las compactas y de los móviles	44
5.5. Cámaras APS-C y el factor de focal	47
5.6. Las focales en cámaras de formatos grandes	49
5.7. <i>Zoom</i> óptico y <i>zoom</i> digital	50

Introducción

En este módulo hablaremos especialmente de la importancia y de la funcionalidad básica de la óptica. Nos centraremos en dos temas relevantes: el enfoque, por un lado, y la distancia focal y el ángulo visual, por el otro. Se trata de unas nociones que se deben tener claras porque de ellas dependen aspectos como la nitidez de la imagen, el margen con el que los motivos salen enfocados o desenfocados, o los diversos efectos de perspectiva que puede presentar una fotografía.

1. Introducción a la óptica

En esencia, una cámara es una caja oscura con una apertura por la que entra la luz. La cámara oscura es un invento muy anterior a la invención de la fotografía y ya era utilizada por dibujantes en el Renacimiento. La innovación de la fotografía es incorporar al plano donde se proyecta la luz en la caja oscura un material sensible a la luz capaz de grabar tonos con sombras y luces. Colocar una óptica en el punto por donde entra la luz tiene la finalidad de concentrarla. Con tan solo un agujero diminuto ya podemos fotografiar, pero las imágenes no tienen nitidez porque los rayos de luz que entran en la caja se dispersan. Es el hecho de situar un conjunto de lentes en el punto de entrada lo que nos permite obtener imágenes nítidas.

Puede parecer fuera de lugar hablar de cámaras oscuras sin óptica en la época de la fotografía digital, pero, de hecho, aunque la óptica es el elemento omnipresente en cualquier cámara que permite que las fotografías que hacemos hoy en día tengan una excelente calidad, sigue habiendo numerosos aficionados a la fotografía sin óptica. Las cámaras estenopeicas (*pinhole*), por ejemplo, tienen muchos seguidores actualmente.

Pero más allá de estas experiencias que emulan los orígenes de la fotografía, nos interesa hablar de cuál es la función de la óptica en un dispositivo determinado.

El objetivo del conjunto de lentes de un dispositivo de captura es conseguir que la luz se concentre sobre una superficie determinada y se reproduzca nítidamente la imagen del motivo externo.

En una cámara tradicional, el negativo se coloca en ese plano donde se concentra la luz; en una cámara digital o en un dispositivo móvil, existe un sensor electrónico.



Cámara *pinhole*.



Cámara tradicional.



Comparativa entre fotografía estenopeica y fotografía con óptica



2. El enfoque

La idea básica del enfoque es la de concentrar sobre el sensor los rayos de luz que atraviesan la óptica provenientes de un motivo. Algunas nociones básicas que tienen que ver con la óptica nos servirán para relacionar los conceptos de enfoque y distancia focal. Conseguir que la imagen esté enfocada es fundamental en la toma de una fotografía.

Generalmente, el fotógrafo busca la nitidez y pretende mostrar una imagen que reproduzca con riqueza de detalles la escena o el motivo que quiere captar.

No obstante, a veces —principalmente por motivos estéticos— se puede buscar una imagen borrosa o movida. Lo más habitual, sin embargo, es que se busque claridad y nitidez. A continuación hablaremos de la importancia de obtener una imagen enfocada y de los mecanismos que se pueden utilizar para conseguirlo. En los dos ejemplos siguientes se muestra una fotografía fuera de foco y otra perfectamente enfocada.

Imagen desenfocada de una mariposa colibrí. En fotografía de aproximación, el foco es muy crítico.

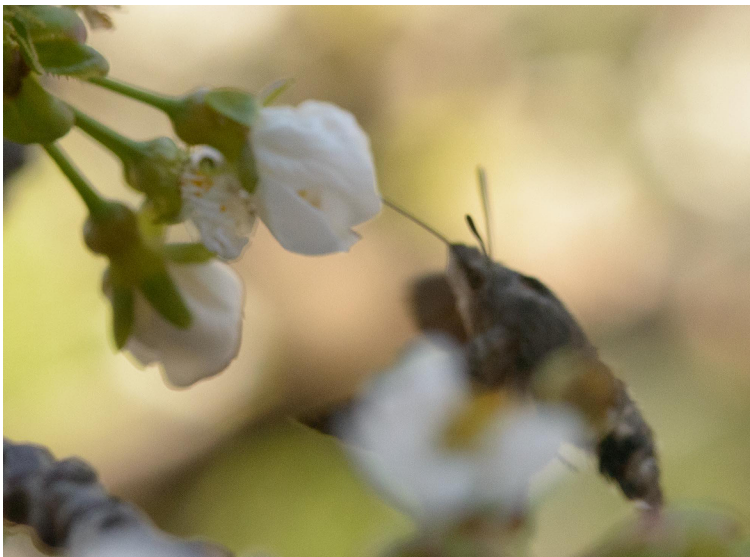


Imagen enfocada de una mariposa colibrí. En fotografía de aproximación, el margen de foco con el que trabajamos es siempre muy reducido.



3. Nociones relacionadas con la óptica

De los conceptos que se relacionan con la óptica y que son importantes para una obtención nítida de las fotografías comentaremos el **plano focal**, el **plano de la imagen** y el **punto focal**. Para explicarlos, haremos una simplificación y utilizaremos una lente simple, una lupa. Se trata de una simplificación de la realidad, puesto que las ópticas fotográficas no son lentes simples, sino ópticas compuestas, conjuntos integrados por numerosas lentes. No obstante, como recurso didáctico la simplificación a la lupa resulta muy clarificadora.



Una lupa es una lente simple.

Una óptica fotográfica es una lente compuesta.



Una lupa es una lente simple que nos permite experimentar de una manera muy sencilla sobre la concentración de los rayos que la atraviesan. De hecho, la experiencia de quemar un papel buscando la distancia idónea a la que tenemos que situar la lupa del papel es algo que está al alcance de todo el mundo.

El punto donde se concentran los rayos se denomina punto focal, y la distancia que hay entre la lupa y dicho punto, distancia focal.

La experiencia es simple: quemar un papel con la luz del sol y variar la distancia de la lupa respecto al papel. En este acto tan sencillo encontramos la noción que nos permite entender qué son las distancias focales de las ópticas fotográficas.

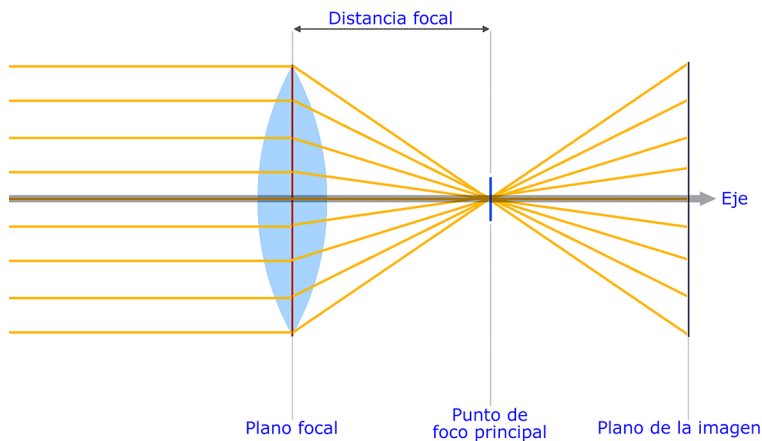
Quemar un papel concentrando la luz del sol con una lupa evidencia de una manera práctica el punto focal principal y la distancia focal.



Como recurso didáctico, a continuación describiremos las nociones ópticas a partir del esquema de una lente simple. Posteriormente haremos la analogía con la lente compuesta.

Los rayos de luz que provienen del exterior y llegan a la cámara cambian de dirección al atravesar la lente. El plano donde se produce la desviación se denomina plano focal. Así, pues, el plano focal es el plano donde los rayos de luz que provienen del exterior cambian el ángulo de su trayectoria y se desvían. Fruto de esta desviación, tenemos a todo un conjunto de rayos que pasan por un punto determinado. Es lo que denominamos punto focal, que es, por tanto, el punto por donde pasan parte de los rayos de luz que se han desviado al atravesar la lente.

Todos los rayos que provienen de un punto del motivo y que han atravesado la óptica se acaban concentrando en lo que denominamos plano de la imagen. Ahí forman una imagen invertida del motivo exterior. El plano de la imagen es el plano donde se concentran los rayos que provienen de cada punto del motivo externo creando una imagen invertida. Además, la distancia existente entre el plano focal y el punto focal es la distancia focal. Veámoslo en este esquema.



Concretemos estas nociones básicas:

- **Punto focal:** punto anterior o posterior a la óptica por el que pasan los rayos que se han desviado después de atravesar la óptica.
- **Plano focal:** plano situado en el centro de la lente, por donde, teóricamente, se desvían los rayos.
- **Plano de la imagen:** plano situado en el interior de la cámara, en el que se forma una imagen invertida del motivo exterior. Aquí se sitúa el sensor electrónico del dispositivo de captura.
- **Distancia focal:** distancia que hay entre el plano de la lente y el punto focal. Esta noción nos interesa especialmente y la trataremos en un subapartado posterior.
- **Eje:** línea imaginaria que une el motivo con su proyección en el interior de la cámara.

3.1. Objetivos compuestos

El esquema de la lente simple resulta clarificador a la hora de explicar los conceptos, pero en el fondo es irreal porque no se corresponde con la realidad. En las ópticas de las cámaras fotográficas, el plano focal no es identificable a simple vista porque los objetivos no están formados por una única lente, sino por un conjunto de elementos ópticos. Los objetivos de los dispositivos de captura son objetivos compuestos.

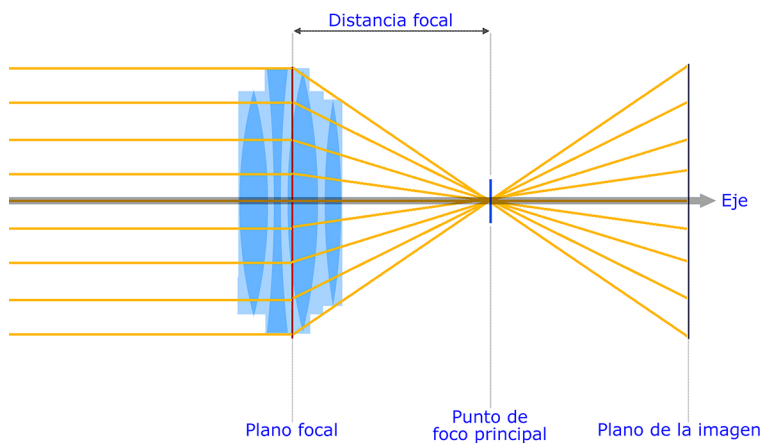
Un objetivo compuesto está constituido por un conjunto de lentes que se montan de forma que la acción conjunta de todas compense las aberraciones y los defectos que tiene una lente única.

Una sola lente no proporciona suficiente calidad fotográfica; es la acción conjunta del grupo de lentes la que consigue una buena reproducción de los detalles. En una lente compuesta, la luz hace varios cambios de dirección, dado que los conjuntos ópticos están diseñados para corregir las imperfecciones que toda lente presenta.

Los objetivos de las cámaras fotográficas son objetivos compuestos, pero para entender el concepto del plano de imagen es útil recurrir a la lente simple.

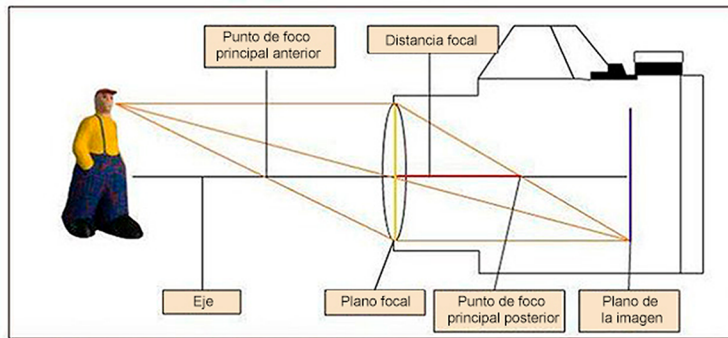
Por tanto, el plano focal es el resultado calculado a partir del conjunto de todas las lentes del conjunto óptico y es equivalente a la misma noción que la lente simple. Representa el plano donde los rayos cambiarían de dirección si estuviéramos utilizando una lente simple.

Como sucede en el caso de la lente simple, los rayos proyectados pasan por el punto focal y se proyectan sobre el plano de la imagen formando una imagen invertida.



3.2. La formación de la imagen invertida

El proceso de formación de la imagen —y que esta sea o no nítida— es el resultado de la concentración de los rayos de luz que atraviesan la óptica de la cámara. El resultado del proceso es la formación de una imagen invertida sobre el plano de la imagen que reproduce, punto por punto, el motivo que se encuentra en el exterior. De los infinitos rayos de luz que se reflejan sobre cada punto del motivo, una parte de estos atraviesan la lente. Son los que representamos en la figura siguiente y que, como se puede ver, acaban concentrándose en el plano de la imagen.

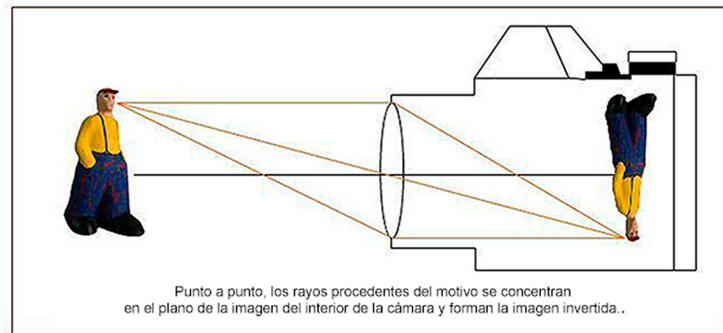


La lente de la cámara refracta la luz que proviene del motivo y concentra los rayos en el plano interior en el que se sitúan el negativo o el sensor electrónico. Como resultado de este proceso, se forma la imagen invertida del motivo en el plano de la imagen.

Veamos cómo se forma la imagen invertida. Desde el motivo externo, trazamos el eje imaginario que lo une con el plano de la imagen, donde hay un sensor. La luz que proviene de la fuente lumínica rebota en infinitas direcciones desde cada uno de los puntos del motivo. Una parte de los rayos atraviesan la lente de la cámara y se proyectan en el plano de la imagen. El desvío que provoca la óptica en los rayos de luz es la causa de que los rayos confluyan y, de hecho, esta concentración es la que determina que una imagen esté enfocada o no. Desde un mismo punto del motivo, los rayos reflejados se dispersan y, al atravesar la óptica, se vuelven a concentrar en el plano de la imagen.

En el esquema anterior hemos hecho una simplificación de un único punto desde el que los rayos reflejados en el motivo atraviesan la óptica. Pero aunque representamos solo uno, debemos imaginar que el mismo proceso se da en todos los puntos del motivo. Cuando los rayos atraviesan la óptica, esta los concentra en el interior de la cámara, sobre el plano de la imagen donde se encuentra el sensor. Punto por punto, la imagen del motivo exterior se proyecta dentro de la cámara y forma una imagen invertida.

Esta concentración de los rayos provenientes de un único punto del motivo sobre un único punto del plano de la imagen constituye la noción básica de lo que es el enfoque. Si no conseguimos esta concentración, los puntos no son puntos, sino círculos, y la imagen estará desenfocada. Básicamente, podemos decir que el enfoque se produce cuando todos los rayos que provienen de cada punto de un motivo y atraviesan la óptica se concentran en un único punto del sensor.



3.3. La imagen desenfocada

La imagen enfocada es aquella que es nítida, y la desenfocada, en cambio, es a la que le falta nitidez. Pero vayamos algo más allá. Fijémonos en las fotografías siguientes. Los puntos de luz que aparecen en un fondo desenfocado se representan en forma de círculos de colores. La cuestión que queremos destacar es el porqué de estos círculos en las luces fuera del foco. Cuando los rayos se proyectan de forma puntual sobre el plano de la imagen, la fotografía resultante es nítida. El enfoque correcto se produce cuando, a una distancia determinada entre el plano focal y el plano de la imagen, la reproducción del motivo sobre el plano de la imagen es puntual. Cuando la cámara enfoca, hace variar esta distancia hasta encontrar la óptima.

En cambio, cuando la distancia entre el plano focal y el plano de la imagen no es correcta, la fotografía resultante estará desenfocada. Los detalles del motivo no se reproducen en forma de puntos, sino en forma de círculos. Son los llamados círculos de confusión, que cuanto mayor sea el desenfoco, más grandes serán.

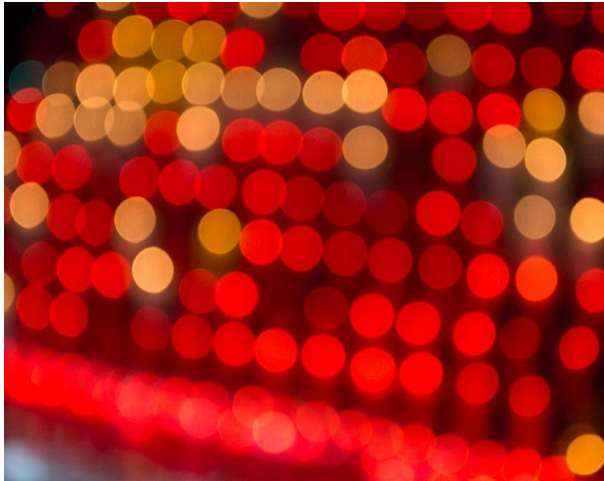
Cuando los rayos se proyectan sobre el plano de la imagen antes o después de la distancia óptima, los puntos se reproducen como círculos. Son los llamados **círculos de confusión**.

Veamos algunos ejemplos de fotografías enfocadas y desenfocadas. En estas últimas, las llamas se muestran en forma de círculos.

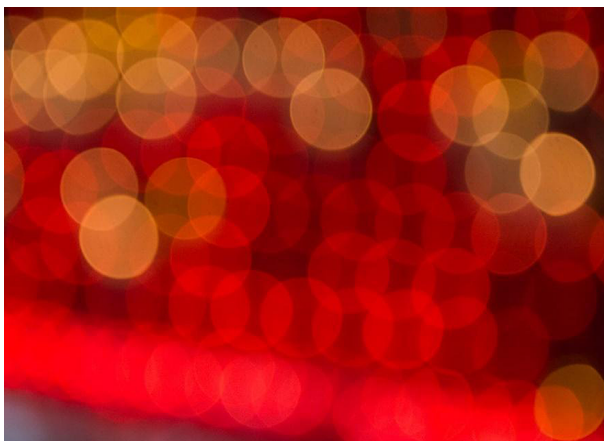
Grupo de velas bien enfocadas



Las mismas velas captadas fuera del foco



Cuanto mayor es el desenfoque, más grandes son los círculos de confusión



Una imagen enfocada es el resultado de la distancia correcta entre el plano focal y el plano de la imagen por un motivo determinado. Si la distancia es mayor o menor, el resultado será una fotografía desenfocada. Cuanto mayor sea esta distancia, más grande resultará el círculo y el desenfoque correspondiente.

A una distancia determinada, los puntos del motivo se reproducen como puntos. A una distancia más corta o más larga, los puntos se vuelven círculos, cuyo diámetro es directamente proporcional al incremento de la distancia.

Podéis observarlo en los gráficos siguientes. En el segundo caso, el punto focal se encuentra delante del plano de la imagen, y en el tercero, detrás. En ambos casos aparecen círculos de confusión.

Imagen enfocada. No hay círculos de confusión

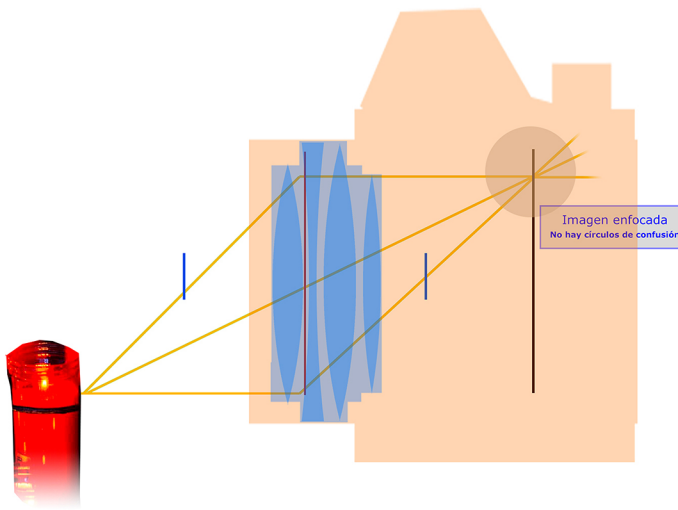


Imagen desenfocada. Hay círculos de confusión

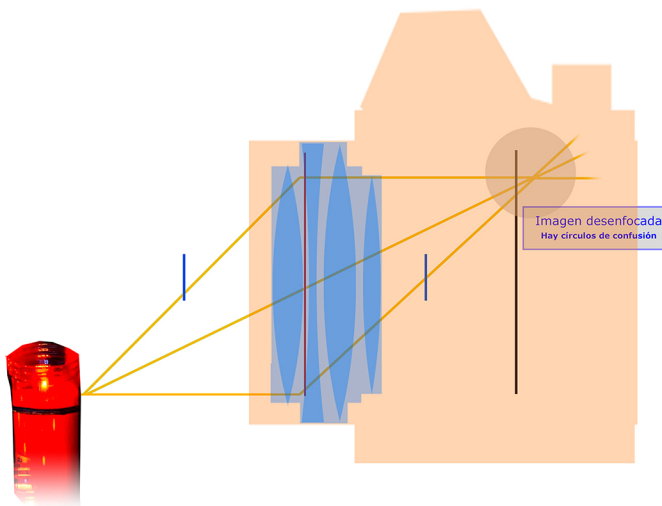
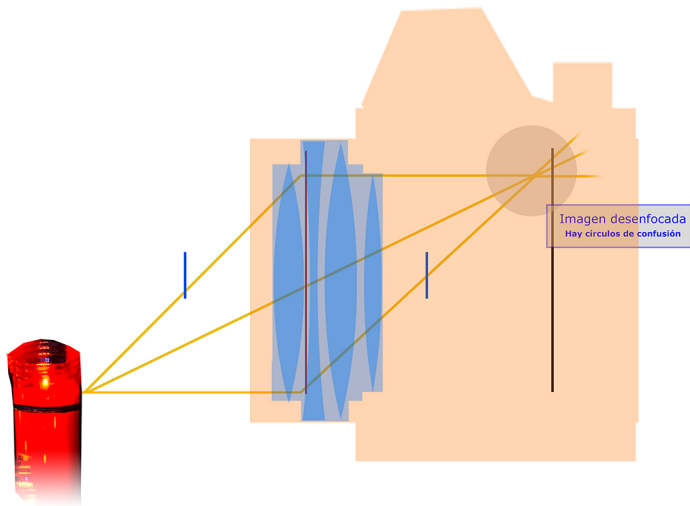


Imagen desenfocada. Hay círculos de confusión



4. Nociones y procedimientos relacionados con el enfoque

El control del foco es básico y se relaciona estrechamente con otra noción básica: la profundidad de campo. De forma resumida podemos decir que, si esta es alta, el margen para obtener una imagen enfocada será mucho más alto que cuando la profundidad de campo sea baja. Una profundidad de campo baja, por ejemplo, nos permite enfocar solo una parte de la imagen (cuando aplicamos un foco selectivo). Hablaremos más en detalle de la profundidad de campo y el foco selectivo más adelante.

No obstante, antes debemos comentar algunas nociones y procedimientos que se relacionan con el enfoque. Hablaremos de cómo controlar el enfoque (foco manual o automático) y de la relación que hay entre la distancia del motivo y la facilidad, más o menos grande, que tenemos a la hora de enfocar (distancia del motivo y distancia mínima de enfoque).

4.1. Foco manual o automático

Hace un tiempo se podía decir que había dos opciones para enfocar: el enfoque manual y el autoenfoque. Y, aunque esta afirmación continúa siendo válida, debemos señalar que el autoenfoque se ha convertido en la opción habitual, prácticamente universal en todos los dispositivos y, sobre todo, una alternativa fiable que generalmente permite enfocar rápidamente y de forma precisa.

Muchos dispositivos tienen la opción de pasar al modo manual. De hecho, es muy recomendable que lo hagan (incluso, necesario) porque, aunque sea de forma esporádica, siempre hay alguna ocasión en la que puede interesar. Por ejemplo, en los casos en que hay motivos que se interponen entre lo que queremos fotografiar y la cámara. Ahora bien, en la inmensa mayoría de los casos es perfectamente factible y deseable trabajar en modo automático.

En este caso, el motivo es la ave, pero puede pasar perfectamente que el autoenfoco de la cámara enfoque la alambrada. Con el foco manual podemos escoger exactamente la zona que queremos enfocar. En esta fotografía se ha utilizado un diafragma muy cerrado (f22).



En la misma situación anterior, trabajar con un diafragma abierto (f2,8 en este caso) permite desenfocar mucho la reja del primer término y diluir su presencia.



Con los autoenfocos actuales, más que hablar de foco manual o de foco automático, probablemente deberíamos mencionar las formas que tenemos para controlar los automatismos de la cámara. Es lógico que dejemos que la cámara controle el enfoque si puede hacerlo con precisión. En cualquier caso, lo que deberemos tener claro es cómo indicar a la cámara cuál es el motivo que queremos enfocar.

Al trabajar en modo manual, podemos enfocar la imagen girando el anillo de la óptica. De este modo se adecua la distancia que separa el plano focal del plano de la imagen para que los rayos que provienen del motivo se concentren en un

punto sobre el sensor. Debemos girar el anillo de la óptica porque, en función de la distancia del motivo exterior, se requerirá una separación mayor o menor entre el plano focal y el plano de la imagen para obtener una representación enfocada.

En los modelos de óptica de hace años, girar el anillo para enfocar el mecanismo es algo visible, pero ahora el enfoque de la óptica suele ser interno y, por tanto, imposible de observar desde el exterior. El enfoque en un dispositivo móvil es directamente invisible para el usuario, puesto que es imposible observar algún cambio en las lentes a la hora de enfocar. Generalmente, en esos dispositivos el control manual del foco se hace tocando la pantalla. Sea de forma visible o no, es importante saber cómo se puede controlar el punto sobre el que enfoca la cámara para poder aplicarlo en las situaciones que lo requieran.

Al girar el anillo de enfoque se varía la distancia entre el plano focal y el plano de la imagen. El enfoque en cada caso concreto depende de la distancia a la que se encuentra el motivo.



Anillo de enfoque de una óptica (indicada con un rectángulo rojo)

En muchos modelos de cámara es habitual que un primer toque sobre el disparador haga que la cámara enfoque y que, al acabar de pulsarlo, se dispare el obturador. Este bloqueo del enfoque tras un primer toque es especialmente interesante cuando se quiere enfocar un motivo que no está en el centro. El bloqueo con un primer toque permite centrar el punto focal sobre el motivo, enfocar y, manteniendo pulsado este primer toque del botón, desplazar la cámara para encontrar el encuadre deseado y hacer la fotografía.

Dos ejemplos del procedimiento para descentrar el punto de foco. En esta fotografía, la cámara enfoca con prioridad el área central (círculo azul). La abeja sale enfocada, pero queremos que el motivo principal sea la mariposa.

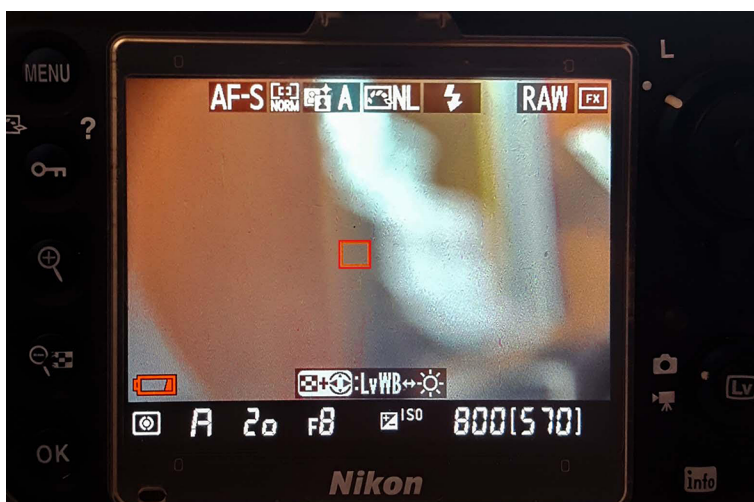


Para aplicar el mecanismo de enfocar a dos toques se sitúa el área de enfoque prioritaria (el centro del visor) sobre la mariposa (círculo verde), se enfoca y, manteniendo el botón pulsado, se recompone la imagen. El círculo rojo que enfocaría la cámara por defecto está desenfocado en este caso.



En muchas cámaras es habitual que en el visor haya un **rectángulo de dimensiones reducidas que nos indica qué punto enfoca la cámara**. Este punto lo podemos desplazar sobre el área que nos interese enfocar (representa una forma de controlar el punto que enfocamos). Es habitual que en el visor interno de la cámara el área por donde se desplaza este rectángulo sea más reducida que para el visor posterior. Con el visor de la cámara externo en marcha (modo *live view*), podemos situar con más precisión el punto focal. Por el contrario, el procedimiento de disparar con el visor en marcha es más lento que al hacerlo mediante el visor interno.

Visor en modo *live view* (el rectángulo rojo indica la zona sobre la que se enfocará al pulsar el botón de enfoque)



Muchas cámaras disponen, también, de un botón específico que podemos configurar para enfocar de una manera controlada el punto que nos interesa. Tanto en el visor, cuando lo activamos, como a través del ocular hay un área que podemos desplazar (ved el rectángulo rojo en la figura anterior) para que indique la zona que queremos enfocar.

Botón para el enfoque de una óptica (indicado con el rectángulo rojo)



En la mayoría de los dispositivos se puede configurar la manera de enfocar. Por ejemplo, se puede seleccionar que el punto focal sea más o menos concreto, que se enfoque el sujeto más cercano (una configuración que puede ser útil para el retrato) o que haya un seguimiento dinámico del foco si el motivo se mueve. Hay varias alternativas, que dependen de las opciones y configuraciones que tenga cada modelo. Es recomendable leerse el manual de instrucciones particulares para conocer las prestaciones del aparato.

Ejemplo de un menú de configuración del autofocus de una cámara

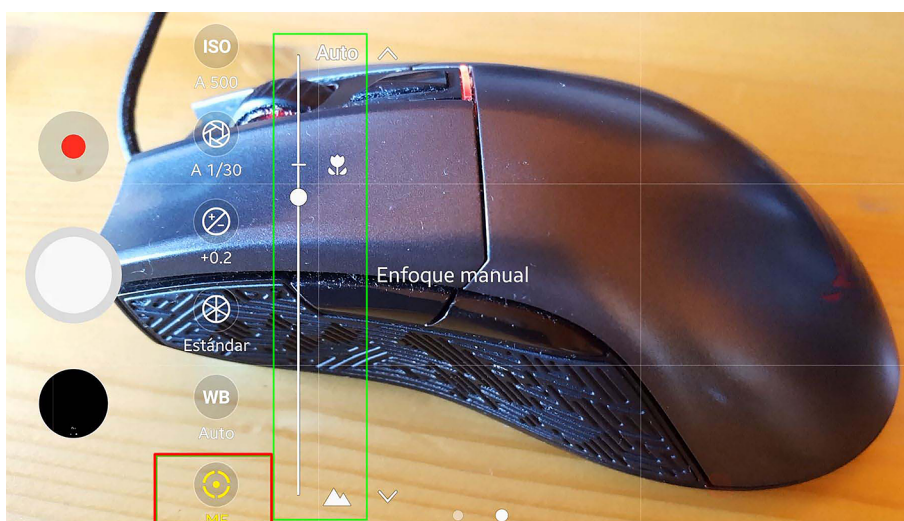


En el caso de un móvil y en las cámaras con pantalla táctil, la operación de indicar al dispositivo dónde tiene que enfocar se puede hacer tocando el visor. Los móviles, en este sentido, tienen un funcionamiento similar al de muchas

cámaras compactas que funcionan por pantalla táctil. Algunas cámaras réflex y *mirrorless* incorporan también esta función de control táctil por medio del visor.

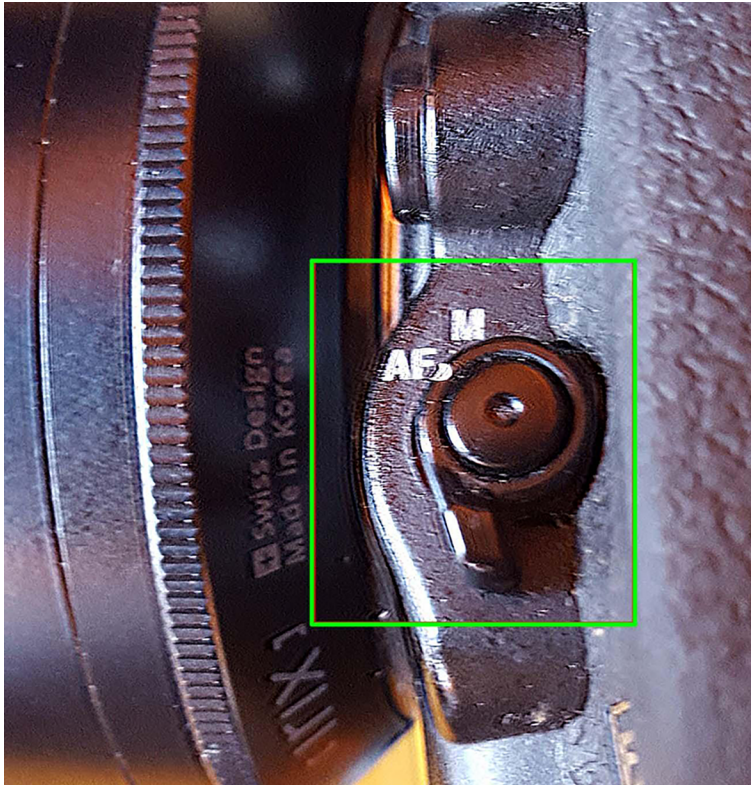
En un móvil, según las prestaciones de cada dispositivo o de la aplicación que se utilice, se podrá trabajar en autoenfoco o manual. Generalmente, para variar el punto focal deberemos tocar el visor del móvil sobre la zona que se quiere enfocar. Además, algunas aplicaciones permiten activar la función de enfoque manual (ved el rectángulo rojo de la figura siguiente). Al hacerlo, se puede desplazar el dedo por la pantalla (moviendo el círculo blanco por la línea vertical en la zona mostrada por el rectángulo verde).

Ejemplo de captura de pantalla para el enfoque manual en un móvil



En el supuesto de que nos interese desconectar el autoenfoco, es habitual que haya controles exteriores en la misma cámara que nos permitan pasar del modelo automático al manual. Si no existen estos botones físicos, probablemente se podrá hacer desde los menús del dispositivo.

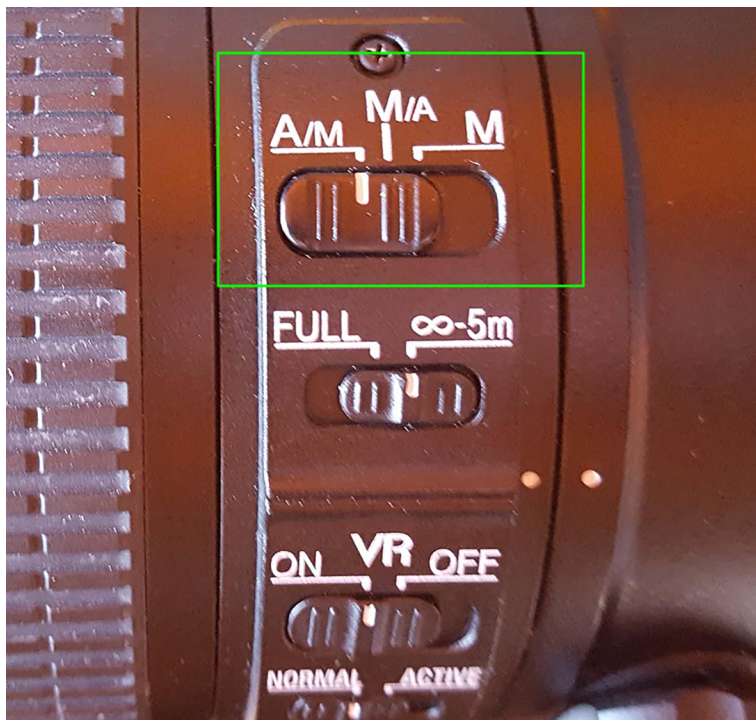
Conmutador de foco manual-automático en una cámara



Conmutador de foco manual-automático en la óptica



Conmutador de foco manual-automático en la óptica



Control manual

Las razones por las que necesitamos un control manual son diversas. En general, pueden corresponder a técnicas relativamente avanzadas, como las que hay en la fotografía de aproximación. En el caso de los paisajes, también nos puede interesar controlar manualmente el foco para determinar qué zonas saldrán nítidas y cuáles no.

En la fotografía de aproximación se acostumbra a trabajar en modo manual.



4.2. Distancia del motivo

La distancia a la que se encuentra el motivo de la cámara determina el punto de enfoque en el dispositivo. Según la proximidad o la lejanía de aquello que queremos fotografiar, habrá que adaptar la distancia que separa el plano focal del plano de la imagen para que la fotografía se vea enfocada. Se trata de la operación de enfocar, que, como hemos visto, se puede hacer de manera manual o automática, y en ambos casos el resultado final es el mismo.

Un motivo se puede encontrar a una distancia determinada respecto de la cámara (centímetros, metros, decenas de metros...; la progresión de las distancias posibles es lineal), pero esta progresión lineal no se produce en el anillo de enfoque de la cámara.

Cuando el motivo está cerca, tenemos muy poco margen de foco, mientras que cuando está más lejos, el margen es muy grande. De hecho, cuanto más lejos esté el motivo, más margen de foco tendremos.

Cuando enfocamos cerca, el foco va de centímetros o milímetros; cuando enfocamos lejos, el margen va de metros y de decenas de metros (tanto es así que, a partir de una distancia determinada, se pasa ya a infinito). Esto se puede comprobar perfectamente en las escalas de enfoque de las ópticas que muestran las distancias:

- Cuanto más cerca está un motivo, más crítico será el enfoque. El foco puede ir de pocos centímetros (en fotografía de aproximación, de pocos milímetros).
- Cuando el motivo se encuentra alejado, a partir de una distancia se pasa ya a infinito. En algunas ópticas esto se puede producir más allá de 5 o 6 metros, y en otras, a partir de 12 o 15 metros. Estos valores máximos varían en función de los tipos de óptica, pero en todas encontramos un valor a partir del cual ya no se discrimina el enfoque hasta el infinito.

Cuando el motivo está muy cerca, hay muy poco margen de foco. El fondo está totalmente fuera del foco.



Cuando el motivo está a unos metros de la cámara, el margen de foco es mayor.

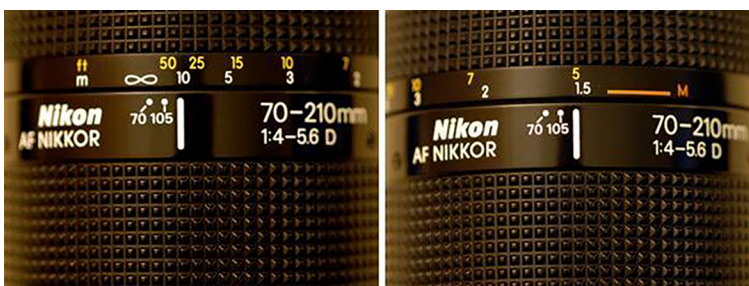


Podemos comprobar esta diferencia directamente sobre una óptica. Veamos, por ejemplo, cómo varía el enfoque en función de la distancia. En este caso se ha cogido una óptica con un *zoom* de 70-210 mm.

En el primer caso (izquierda), el punto focal está a 10 metros. Por la izquierda vemos que la distancia que separa los 10 metros del infinito es prácticamente la misma que por la derecha separa los 10 metros del punto de los 5 metros. Cuanto más lejano esté el foco, mayor será el margen para enfocar.

En el segundo caso (derecha), el punto focal señalado por la raya blanca está a 1,5 metros. Esto significa que la imagen que obtendremos estará enfocada sobre un motivo que está a 1,5 metros. Podemos observar perfectamente que la distancia que hay entre estos 1,5 metros y los 2 metros es muy grande. En las distancias cortas, el foco es muy crítico.

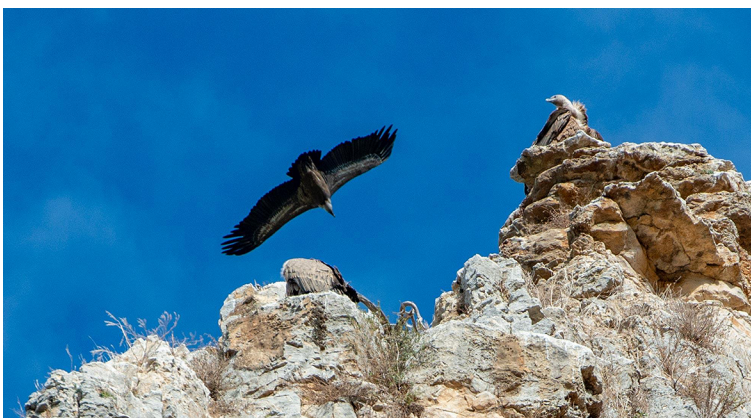
Punto de enfoque en un teleobjetivo a 10 metros (izquierda) y a 1,5 metros (derecha). En todo objetivo, el margen del foco es mucho más amplio hacia el infinito que hacia las distancias cortas. Enfocar un motivo lejano es mucho menos crítico que hacerlo con uno próximo.



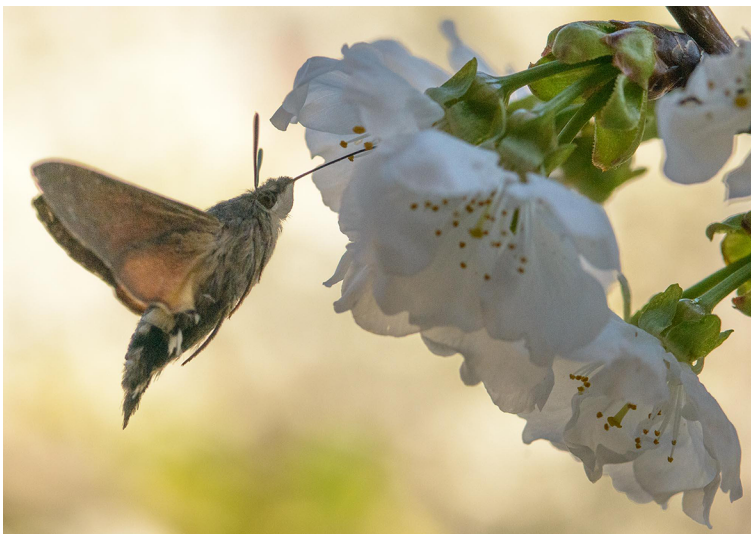
A continuación, mostramos algunas imágenes como ejemplo de la diferencia que hay entre enfocar un motivo cercano y uno lejano, y de cómo el margen de enfoque es mucho más grande en los motivos lejanos que en los cercanos. Cuando fotografiamos un motivo distante, se enfoca con facilidad tanto el

motivo como todo aquello que lo rodea. En cambio, cuando el motivo es cercano es muy fácil que todo lo que se encuentre algo más cerca o más lejos quede fuera del foco.

Las siguientes son fotografías de sujetos distantes respecto a la cámara.



Estas otras son fotografías de sujetos cercanos respecto a la cámara.



4.3. La distancia mínima de enfoque

Otro de los puntos importantes en relación con la óptica es la distancia mínima de enfoque.

Cualquier objetivo tiene una distancia mínima de enfoque, un parámetro que podemos definir como el punto más próximo al objetivo en el que el motivo se reproduce con nitidez.

Todo lo que esté por debajo de este valor, es decir, más cerca de la cámara, aparecerá borroso.

Cada objetivo tiene una distancia mínima de enfoque diferente: en un angular, esta distancia será pequeña, y en un teleobjetivo, grande. Es un factor que depende del tipo de óptica.

Más allá de las ópticas habituales, el diseño de algunos objetivos permite trabajar en distancias muy cortas, unas distancias que pueden rebasar los valores mínimos de enfoque habituales. En este caso, cuando podemos fotografiar de forma nítida a distancias muy cortas, hablamos de objetivos macro.

En general, las ópticas de las cámaras réflex permiten hacer unas aproximaciones menores que las compactas y, especialmente, los dispositivos móviles. Veamos algunos ejemplos de las distancias mínimas de enfoque en diferentes ópticas.

Zoom de 14-24 mm: distancia mínima de enfoque de 28 cm. Se ha enfocado la flor marcada con el círculo. La amplitud del ángulo visual (14 mm) hace que, a pesar de estar enfocado a la distancia mínima, se vea la totalidad de la escena en el encuadre.



Zoom de 24-70 mm: distancia mínima de enfoque de 35 cm. Se han fotografiado las setas con la distancia focal de 70 mm (muy cerca de la distancia mínima de enfoque).



105 mm: distancia mínima de enfoque de 31 cm. Se ha fotografiado el insecto con una óptica fija específica para macro.



Zoom de 70-210 mm: distancia mínima de enfoque de 1,4 m. Se ha fotografiado la flor con una distancia focal de 70 mm y una apertura de 2,8 (algo más de la distancia mínima de enfoque).



Zoom de 70-210 mm: distancia mínima de enfoque de 1,4 m



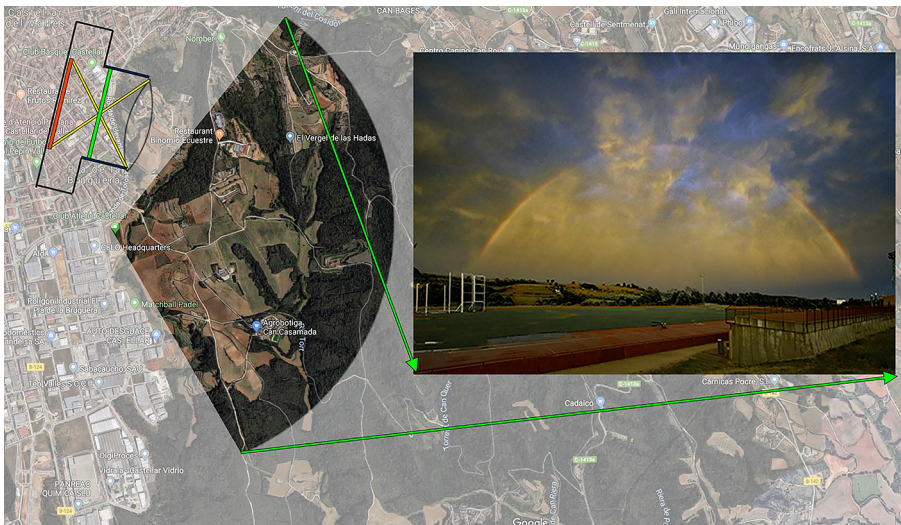
5. El ángulo visual y la distancia focal

Después de hablar del enfoque, trataremos la segunda noción importante en relación con la formación de la imagen.

El ángulo visual y la distancia focal son dos conceptos que están muy relacionados (de hecho, uno depende del otro). El ángulo visual determina la amplitud, más o menos mayor, con que se capta una escena.

Un ángulo muy amplio capta un área muy dilatada, y a medida que el ángulo se cierra, se reduce la zona que se fotografía. Este ángulo es una consecuencia de la distancia focal de la óptica con la que trabajamos. Además, la distancia focal tiene implicaciones estéticas importantes porque de esta depende, por ejemplo, el tipo de perspectiva de una fotografía. La distancia focal es un parámetro que condiciona directamente la profundidad de campo.

Localización de la fotografía sobre Google Maps desde el punto donde se perdió el ángulo cubierto. Una distancia focal corta corresponde a un ángulo visual abierto.



Localización de la fotografía sobre Google Maps desde el punto donde se perdió y el ángulo cubierto. Una distancia focal larga corresponde a un ángulo visual cerrado.



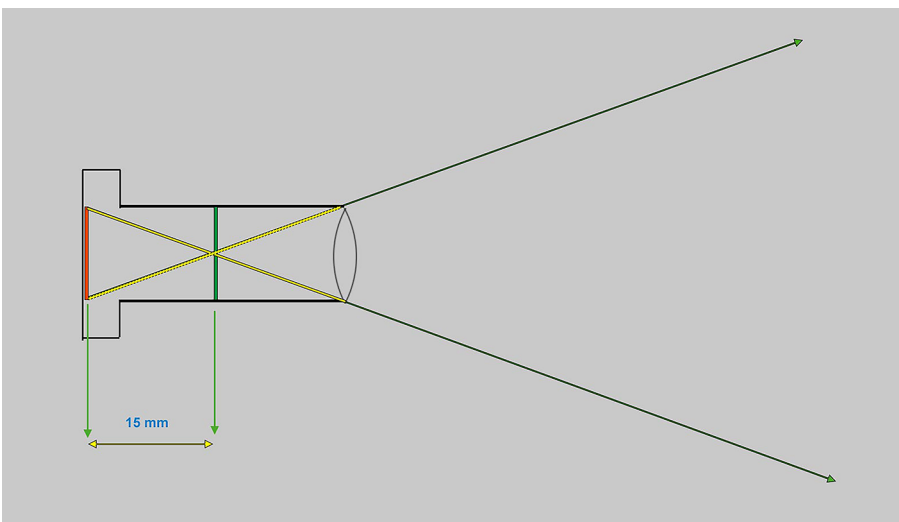
5.1. Nociones de distancia focal y ángulo visual

La distancia focal es la distancia que hay entre el plano focal y el punto focal. Este parámetro se describe en milímetros.

Cuanto más corta sea esta distancia, más amplio será el ángulo; y cuanto mayor sea el valor de la distancia focal, más cerrado será el ángulo con que se capta la escena.

El ángulo visual es el ángulo de cobertura sobre una escena y se mide en grados. Cuanto más pequeña sea la distancia entre el punto focal y el plano focal, más grande será el ángulo que se forma.

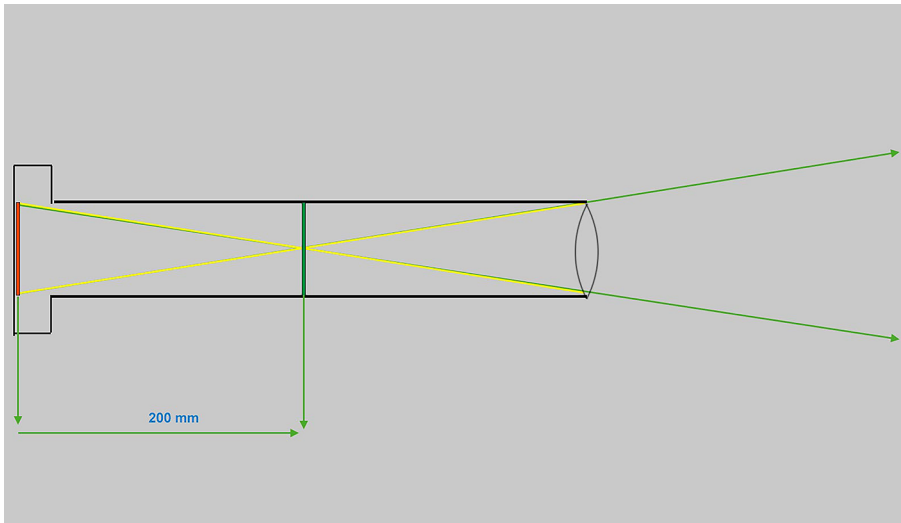
A una distancia focal de 15 mm, el ángulo que se cubre es muy grande. Es el caso de las ópticas angulares.



Ved también

Para definir la distancia focal hay que tener presente el esquema del subapartado 3.1 sobre los objetivos compuestos (recordad el plano focal, el punto focal y el plano de la imagen).

A una distancia focal de 200 mm, el ángulo que se cubre es muy reducido. Es el caso de las ópticas teleobjetivos.



5.2. Relación de ángulo visual y distancia focal de 35 mm

Como veremos después, en cámaras que no son de fotograma completo, los valores de referencia cambian. Por tanto, hablaremos de ángulo visual y de distancia focal en relación con las cámaras con sensor *full-frame* y, posteriormente, veremos qué pasa en el caso de los que son de dimensiones superiores o inferiores.

El ángulo visual y la distancia focal son dos parámetros totalmente dependientes el uno del otro. En la medida en que cambia la distancia que separa el plano de la óptica del punto focal principal (distancia focal), se modifica el ángulo que se cubre de una escena (ángulo visual).

Nota

Recordad que, para hablar de las ópticas, tomamos la cámara tradicional de 35 mm, la de negativo fotográfico o la réflex digital *full-frame* como referencias.

Ángulo visual	Distancia focal
84°	24 mm
34°	70 mm

Una distancia focal corta, equivalente a un ángulo visual amplio, permite captar edificios completos, por ejemplo, sin necesidad de alejarnos demasiado.



Una distancia focal larga, equivalente a un ángulo visual reducido, permite captar detalles desde unos metros de distancia, por ejemplo.



5.3. Tipo de objetivos en relación con la distancia focal

Ahora veremos qué objetivos se corresponden con las distancias focales. Principalmente hablamos de tres tipos de objetivos: normales, angulares y teleobjetivos.

5.3.1. Objetivos normales

Los **objetivos normales** tienen una distancia focal cercana a los 50 mm y proporcionan una perspectiva que se asemeja a la visión que tiene el ojo de una escena. En este caso hay un solo tipo de óptica: 50 mm.

Helecho (Madeira) a una distancia focal de 50 mm. Visión de la escena similar a la de la vista real.



Flores (Madeira) a una distancia focal de 50 mm. Visión de la escena similar a la de la vista real.



Ave (Madeira) a una distancia focal de 50 mm. Visión de la escena similar a la de la vista real.



5.3.2. Objetivos angulares

Los **objetivos angulares** o **de distancia focal corta** tienen valores significativamente por debajo de 50 mm. En cuanto a los que tienen valores inferiores a 35 mm, se denominan **grande angulares**. Por debajo de 20 mm reciben el nombre de **angulares extremos**, si amplían el ángulo de cobertura pero mantienen unas proporciones realistas de la escena, o de **ojos de pez**, si no hacen corrección y muestran una escena en forma circular. Generalmente, los valores clásicos en los objetivos de gran angular, de más a menos ángulo de cobertura, son los siguientes:

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

Destilería de ron (Madeira) a una distancia focal de 15 mm. Se capta una amplitud de la escena superior a la que se tiene a partir de la visión real.



Bicicleta en una carrera de BTT en Boca don Risco (Madeira) a una distancia focal de 15 mm. Se capta una amplitud de la escena superior a la que se tiene a partir de la visión real. El ciclista parece mucho más grande que la bicicleta.



Pescadero del Mercado dos Lavradores (Madeira) a una distancia focal de 15 mm. Se capta una amplitud de la escena superior a la que se tiene a partir de la visión real. El atún parece tan grande como el pescadero.



5.3.3. Teleobjetivos

El caso contrario de los angulares son los **teleobjetivos**. Al incrementar la distancia focal, el ángulo de cobertura se cierra. A partir de 300 mm, hablamos de teleobjetivos extremos. Algunos de los teleobjetivos más habituales son los siguientes:

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

Puente en Senja (Noruega) a una distancia focal de 200 mm. La escena parece comprimirse respecto a la visión al natural. Los motivos se ven más cercanos.



Casas en Senja (Noruega) a una distancia focal de 200 mm. La escena parece comprimirse respecto a la visión al natural. Los motivos se ven más cercanos.



Paisaje de Senja (Noruega) a una distancia focal de 200 mm. La escena parece comprimirse respecto a la visión al natural. Los motivos se ven más cercanos.



5.4. Las focales de las compactas y de los móviles

Las cámaras compactas y los móviles son casos de ópticas que no son equivalentes a 35 mm. En todos estos casos, el sensor es menor, puesto que tiene unas dimensiones más reducidas. Las medidas totales son inferiores en anchura y en altura a un sensor *full-frame*, pero en cambio el número total de píxeles del sensor puede ser muy elevado.

En cuanto a la distancia focal, el hecho de que un sensor tenga ocho o dieciséis millones de píxeles no importa, porque la resolución no es un parámetro que influya en el ángulo visual. Lo que sí importa son los milímetros de anchura y altura que tiene su superficie. Para unas mismas medidas, la distancia focal será la misma, tanto si tenemos ocho como dieciséis millones de píxeles. Si tenemos dieciséis, los píxeles serán más pequeños que si tenemos ocho, pero la superficie total será la misma. Lo que nos importa en este caso no es la densidad de los píxeles que tiene el sensor, sino sus dimensiones totales.

Tomamos como ejemplo la Sony RX100 IV, una cámara compacta con un sensor que tiene unas dimensiones de 13,2 × 8,8 mm (mucho más reducidas, por tanto, que los 35 mm). En este caso, para cubrir unos mismos ángulos de cobertura que con un modelo de 35 mm, harán falta unas distancias focales mucho más reducidas. Las dimensiones menores del sensor hacen que, para un mismo ángulo, la distancia que separa el plano focal del plano de la imagen tenga que ser menor.

Ángulo que hay que cubrir	Distancia focal de la cámara con sensor 13,2 × 8,8 mm	Equivalente de la distancia focal de la cámara con sensor 35 × 24 mm
84°	8,8 mm	24 mm
34°	25,7 mm	70 mm



Sony RX100 IV

Veamos algunos ejemplos de fotografías hechas con esta cámara.

Edificio del Algarve (Portugal) a una distancia focal de 8,8 mm. El ángulo visual se corresponde con una focal de 28 mm en formato *full-frame*.



Edificio del Algarve (Portugal) a una distancia focal de 25,7 mm. El ángulo visual se corresponde con una focal de 70 mm en formato *full-frame*.



Podemos decir, por tanto, que en cámaras compactas y en dispositivos móviles los valores equivalentes de la distancia focal son mucho menores que en las cámaras réflex. Al montar sensores electrónicos más pequeños que un negativo de 35 mm, los valores de la distancia focal en estos dispositivos varían notablemente. Así, para cubrir la misma área de una escena es necesaria una distancia focal inferior al equivalente en 35 mm. Observamos los casos siguientes: la primera fotografía está hecha en angular, con una cámara compacta cuyo valor es de 8 mm; la segunda se hizo desde el mismo punto, en una posición de teleobjetivo (en este caso, el valor es de 20 mm). Las mismas fotografías hechas con una cámara de 35 mm corresponderían a ópticas angular y teleobjetivo, respectivamente.



A continuación exponemos ejemplos de imágenes captadas con un móvil. Además de los modelos con varias ópticas, que consiguen los *zoom* ópticos a partir de la combinación de la información de las diversas lentes, muchos móviles tienen una focal angular fija. El ángulo de visión de los ejemplos siguientes es de 28 mm, aproximadamente, pero la focal de la óptica es, en este caso, de 4,3 mm.

Sant Joan de Pladecorts (El Vallespir) a una distancia focal de 4,3 mm. El ángulo visual se corresponde con una focal de 28 mm en formato *full-frame*.



Paulilles (El Vallespir) a una distancia focal de 4,3 mm. El ángulo visual se corresponde con una focal de 28 mm en formato *full-frame*.



5.5. Cámaras APS-C y el factor de focal

Un segundo caso de cámara con un sensor con dimensiones inferiores a las del negativo de 35 mm son las cámaras réflex o *mirrorless* que presentan sensores de dimensiones inferiores. Naturalmente, son más grandes que los que corresponden a móviles y compactas, pero no llegan a las medidas de una *full-frame*. Estas cámaras reciben varias denominaciones, a menudo con palabras que son propias o utilizadas especialmente por una determinada marca comercial. APS-C es uno de los nombres habituales de estos tipos de sensores.

El común denominador en cualquiera de estos sensores es que, a consecuencia de sus dimensiones reducidas, presentan una multiplicación de la distancia focal.

Cuando utilizamos una óptica de 50 mm, por ejemplo, se ha de tener en cuenta que la imagen que capta el sensor es solo un recorte de la que se captaría con la misma óptica con una cámara *full-frame*.

El valor de esta multiplicación es lo que conocemos como factor de focal.

El factor de focal acostumbra a tener un valor entre 1,3 y 1,8. En el caso de las ópticas Nikon (que la empresa identifica como DX), el factor de focal es de 1,5. En las Canon, tiene un valor ligeramente superior (1,6).

Por tanto, el factor de focal es un parámetro que se aplica a las cámaras réflex o sin espejo (*mirrorless*) que tienen sensores con valores inferiores a los del sensor de las cámaras de fotograma completo o *full-frame*. Los modelos que montan sensores con una medida equivalente al negativo de 35 mm y en los que los

valores de las ópticas se corresponden al ciento por ciento con los valores de las mismas ópticas en cámaras de negativo se denominan FX. Las cámaras con sensores de medida inferior son modelos APS-C.

Aparentemente, las *full-frame* y APS-C pueden parecer iguales. Unas son más voluminosas que las otras, pero dentro de una misma marca todas admiten las mismas ópticas. Ahora bien, los resultados de una y otra, en cuanto al ángulo visual, difieren bastante. Las fotografías hechas con la cámara APS-C tienen claramente un ángulo visual más cerrado.

La misma óptica es menos angular y más tele en una cámara APS-C que en una cámara FX. La diferencia viene definida por las diferentes dimensiones del sensor y se debe al factor de focal. Así pues, un factor focal de 1,5 significa que hay que multiplicar por esta cifra la distancia focal de una óptica para conocer el valor efectivo. Las empresas de marcas fotográficas facilitan el factor focal de cada cámara.

Equivalencias de ópticas fijas para formatos FX y APS-C

FX sin factor de focal	APS-C con un factor focal de 1,5	APS-C con un factor focal de 1,6
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

Muchos de los objetivos actuales son de focal variable y se conocen habitualmente como *zoom*. Al variar la distancia focal, pueden cubrir un campo de distancias focales determinado. Algunos lo hacen en la parte del gran angular (ópticas del tipo 12-24, 14-24, 19-35...); otros oscilan en torno a los objetivos normales (por ejemplo, las 35-70); otros cubren la gama de los teleobjetivos (105-210 o 200-500), y otros oscilan entre angulares más o menos pronunciados o teleobjetivos más o menos potentes. La gama es muy variada y la elección se basa en criterios de utilidad, de presupuesto y de la calidad requerida. Naturalmente, el factor de focal también se aplica en el caso del *zoom* cuando una óptica se usa en una cámara APS-C.

Campos de distancias focales en objetivos *zoom* para formato APS-C

FX sin factor de focal	APS-C con un factor focal de 1,5	APS-C con un factor focal de 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

Los objetivos válidos para cámaras FX se pueden usar en cámaras APS-C aplicando el factor de focal. En el caso inverso, sin embargo, no es posible la utilización aprovechando todo el ángulo visual de la óptica.

Con los mismos ángulos visuales, el sensor FX capta un área mayor de la escena que un sensor DX. La diferencia entre ambos es proporcional al factor de focal que tenga el sensor. En el gráfico se representa como área diluida lo que capta de más un sensor FX respecto de un DX.



Ópticas APS-C en cámaras

Las casas comerciales fabrican ópticas APS-C que solo se pueden usar en cámaras con el factor de focal recomendado por el fabricante. Son más económicas que las ópticas FX por el hecho de que descartan prácticamente la calidad en las zonas laterales. Solo dan una imagen de calidad en el área correspondiente a la aplicación del factor de focal. Si se usan en una cámara FX, solo se puede aprovechar la zona equivalente a la que hay en una cámara APS-C.



Hasselblad H4X

5.6. Las focales en cámaras de formatos grandes

Ahora veremos la situación inversa a la anterior; es decir, qué ocurre con la distancia focal cuando el sensor tiene unas dimensiones superiores a las *full-frame*. Se trata de cámaras con sensores de formato medio (4,5 × 6 cm o 6 × 6 cm). Tanto los modelos analógicos como los modelos digitales actuales son dispositivos que proporcionan mucho detalle y ofrecen una gran resolución. No son cámaras de uso doméstico, pero cabe señalar que esporádicamente se pueden ver en manos de profesionales y usuarios avanzados.

En este caso, la óptica normal es el 80 mm, mientras que un 50 mm es ya un angular; es decir, las dimensiones más grandes del sensor provocan el efecto contrario al caso de las APS-C.

5.7. Zoom óptico y zoom digital

Una distinción importante que debemos hacer es entre el *zoom* óptico y el *zoom* digital, sobre todo por el elevado número de cámaras compactas y móviles que los incorporan. ¿Es lo mismo usar uno que otro? ¿Son igual de útiles? La respuesta es que no. No son lo mismo y no se recomienda para nada usar un *zoom* digital. De todas maneras, primero tenemos que hablar de las características del *zoom*.

Un *zoom* de 35-70 tiene un factor de ampliación de 2x, y uno de 70-210, de 3x. Es decir, al dividir el parámetro más grande por el más pequeño, obtendremos el factor de ampliación. Actualmente, los factores de ampliación del *zoom* se incrementan y es fácil encontrar modelos con recorridos importantes. Se trata de ampliaciones que dependen de la óptica, que son el resultado del desplazamiento de posición de las lentes.

No obstante, más allá de las opciones ópticas en los modelos digitales, es frecuente encontrar factores de ampliación que responden a los denominados *zoom* digitales.

Un *zoom* digital incrementa notablemente la imagen, pero la ampliación no se realiza mediante las lentes, como en el *zoom* óptico, sino con *software*.

La imagen original se aumenta por interpolación. Este tipo de *zoom*, aunque puede redimensionar al alza la imagen, no produce fotografías de calidad. Normalmente obtendremos más calidad si captamos la fotografía sin ampliación con la compacta o con el móvil y llevamos a cabo la ampliación en el ordenador durante el proceso de edición.

Algunas cámaras compactas y muchos móviles incorporan rangos de *zoom* elevados, pero normalmente se trata de aumentos digitales, no ópticos. La calidad del aumento obtenido electrónicamente es muy inferior a la que proporciona un buen conjunto óptico. Por eso es preferible llevar a cabo la ampliación durante la edición si fuese necesario.

Las dos imágenes siguientes fueron tomadas con la misma cámara. El fotógrafo no se desplazó; las dos se hicieron, pues, desde la misma distancia. La primera corresponde al aumento del *zoom* óptico y en la segunda se usó el digital. El número de aumentos es notable. Con todo, aparte del aumento, hay que señalar que en la imagen correspondiente al *zoom* digital el efecto de pixelación es mucho más evidente y aparece cuando ampliamos excesivamente la imagen. Por otro lado, también podemos observar ruido. Analizando en detalle la zona azul del agua, en la fotografía siguiente podemos ver con claridad puntos de color. La comparativa de las dos imágenes corresponde a áreas similares de la imagen en bruto, tal como fue captada por la cámara.



Nikkor 16-85. Un *zoom* con un factor de ampliación de 5,31



Nikkor 16-35. Un *zoom* con un factor de ampliación de 2,18

Dos imágenes de la misma escena. En la primera (izquierda) solo se utilizó el *zoom* óptico. En la segunda (derecha), también el *zoom* digital. La pérdida de calidad y el incremento de ruido son evidentes.



