

# Fundamentos de fotografía digital

Efraín García y Rubén Osuna ©

## 9. Profundidad de campo y perspectiva.

La profundidad de campo es *el rango de distancias reproducidas en una fotografía impresa dentro del cual la imagen no resulta inaceptablemente menos nítida que la parte más nítida de la imagen*. Depende de cuatro factores: el círculo de confusión (y por tanto el formato y el tamaño de la impresión, además de la distancia de observación y de la capacidad resolutive de cada observador), la longitud focal, la apertura y la distancia al motivo.

Hay expresiones matemáticas alternativas para estimar la profundidad de campo. Todas las fórmulas permiten sólo aproximaciones a dicha variable, en general más exactas para distancias de enfoque de al menos diez veces la longitud focal e inferiores a la distancia hiperfocal (la distancia de enfoque que maximiza la profundidad de campo en la foto). Para distancias más cortas o más cercanas a la distancia hiperfocal las aproximaciones son peores (->).

La profundidad de campo (*depth of field*, DoF) puede aproximarse mediante la fórmula (->):

$$DoF = (2 * H * s^2) / (H^2 - s^2) \quad \text{para } H > s$$

donde  $s$  es la distancia a la que enfocamos y  $H$  es la distancia hiperfocal, que viene dada por la fórmula

$$H = L^2 / (f * CoC)$$

siendo  $L$  la longitud focal en milímetros,  $f$  la apertura y  $CoC$  el círculo de confusión para un formato determinado (que asume cierto tamaño de impresión). Dada la distancia de enfoque  $s$ , la profundidad de campo guarda una relación inversa con la distancia hiperfocal  $H$ . Por otro lado, conforme  $s$  tiende a  $H$ ,  $DoF$  tiende a infinito, y algo similar ocurre, aunque de forma menos acusada, cuando  $s$  adopta un valor muy cercano a  $L$  (macrofotografía).

Como vemos, la profundidad de campo depende de la longitud focal, de manera que, a igual distancia al motivo ( $s$ ), un objetivo gran angular a una determinada apertura ofrecerá más profundidad de campo que un teleobjetivo con esa misma apertura, si bien el motivo tendrá menor tamaño en el fotograma y el encuadre será más amplio en el primer caso. Pero si corregimos la distancia al motivo para uno de los dos objetivos, de manera que el encuadre sea el mismo, alejándonos con el teleobjetivo o acercándonos con el gran angular, la profundidad de campo será muy similar, si no igual (->). Con objetivos de focal fija, si queremos conseguir un determinado encuadre, tenemos que movernos, pero con los objetivos de focal variable solemos alterar la longitud focal reduciendo los movimientos.

Podemos decir que la profundidad de campo, *como porcentaje de la distancia al sujeto* ( $DoF * 100 / s$ ), depende *inversamente* de la longitud focal (->): si las distancias son las mismas, a *mayor* longitud focal *menor* profundidad de campo. En efecto, si hacemos  $DoF / s = G$  y mantenemos constante  $s (= s^*)$ , dado que  $G$  depende inversamente de la focal  $L$ , tendremos que si  $L_1 > L_2$ ,  $G_1 < G_2$  y por consiguiente  $DoF_1 < DoF_2$  ( $s_1 = s_2 = s^*$ ).

De igual forma, es fácil ver que hay una relación inversa entre el formato y la profundidad de campo, *si igualamos el ángulo de visión*. En efecto, la profundidad de campo y la distancia

hiperfocal (las variables  $DoF$  y  $H$ ) mantienen una relación inversa entre sí, por lo que, si sustituimos el círculo de confusión por otro menor (dividiendo por un factor de recorte  $q$ ), y hacemos lo propio con la longitud focal ( $L$ ), tendremos una nueva distancia hiperfocal menor que la original. En efecto,  $H_1 = L^2 / (f * CoC_1) > H_2 = (L/q)^2 / (f * CoC_2)$ , donde  $CoC_2 = CoC_1/q$ . Obsérvese que hemos dividido el numerador de  $H_2$  por  $q^2$  pero el denominador sólo por  $q$ . Dada la relación inversa antes mencionada, un formato menor, con un círculo de confusión menor, tendrá, para el mismo ángulo de visión, abertura y distancia de enfoque, mayor profundidad de campo.

Para cuantificar la relación entre profundidad de campo y formato vamos a acudir a una regla sencilla (->), que se cumple para unos valores fijos de la distancia de enfoque ( $s$ ), ángulo de visión y abertura ( $f$ ), y según la cual

$$DoF \propto CoC / L^2$$

Es decir, la profundidad de campo es *proporcional* a la razón entre el círculo de confusión y el cuadrado de la longitud focal. Una vez más, la fórmula no funciona bien si la distancia de enfoque ( $s$ ) está cerca de la longitud focal ( $L$ ) o de la distancia hiperfocal ( $H$ ). Si adoptamos el ángulo de visión que corresponde a un objetivo de 50mm en el formato de 35mm (47 grados de ángulo de cobertura diagonal), y una distancia de enfoque y aberturas determinadas, obtendríamos la siguiente tabla con ayuda de la fórmula anterior para tres formatos distintos. Como puede verse, las diferencias en profundidades de campo se corresponden, aproximadamente, con los factores de recorte que relacionan los distintos formatos, de manera que la profundidad de campo es inversamente proporcional al tamaño del formato.

Formato	Factor de recorte	CoC (micras)	Longitud focal para 47 grados	$CoC / L^2$	Profundidad de campo relativa
4/3	2	15	25	0,024	2
APS	1,5	20	33	0,018	1,5
35mm	1	30	50	0,012	1

Por tanto, en términos de factor de recorte ( $q$ ) la regla quedaría como

$$DoF \propto 1 / (q * L^2)$$

Como se ve, la longitud focal tiene un efecto más poderoso sobre la profundidad de campo (al entrar al cuadrado) que el factor de recorte, y al emplear una longitud focal menor en la cámara de formato menor (para conseguir el mismo ángulo de visión) compensamos de sobra la pérdida inicial de profundidad de campo del formato menor por reducción del círculo de confusión.

A diferencia de lo que ocurre con la profundidad de campo, a igual distancia de enfoque la longitud focal *no* tiene efectos sobre la perspectiva. Ésta cambia sólo si nos movemos, como apuntamos en la cuarta sección de este documento. Si empleamos distintas longitudes focales desde el mismo punto para fotografiar un motivo la perspectiva captada será la misma (->). Sin embargo, ocurre que la distancia al motivo suele estar correlacionada positivamente con la longitud focal, de manera que a más distancia solemos emplear mayores longitudes focales, lo que nos puede llevar a pensar (erróneamente) que es la longitud focal lo que está condicionando nuestra experiencia con la perspectiva.

Recordamos que la impresión visual que tenemos de la perspectiva en una foto impresa no se verá alterada si respetamos ciertas reglas al mirarla. La distancia de observación de una foto que nos proporciona una perspectiva natural viene dada por la fórmula

$$e = L * v$$

donde  $e$  es la distancia a la que se debe contemplar la foto,  $L$  es la longitud focal y  $v (=D/d)$  son las veces que hemos ampliado el fotograma para alcanzar el tamaño de la foto impresa. A esa distancia podremos ver la foto completa sin necesidad de mover los ojos.

Si usamos un objetivo de 50mm y observamos el negativo directamente, necesitamos 50mm de distancia para evitar distorsiones en nuestra observación. Pero a menos de 250mm (25 centímetros) el ojo humano no es capaz de captar todo el detalle, por lo que habría que imprimir la foto a un tamaño al menos 5 veces superior al fotograma, es decir, a 12x18cm ó 5x7 pulgadas.

Si la distancia de observación de 25 centímetros es incómoda por demasiado próxima (peor con la edad), y queremos ver la foto a más distancia, *un tamaño de impresión mayor será necesario* para tener una perspectiva natural que no distorsione nuestra percepción de la imagen. Pero si queremos mantener el tamaño de impresión original y una perspectiva natural observando a más distancia, necesitaremos un objetivo de mayor longitud focal, siguiendo la fórmula.

Un retrato con un objetivo de 100mm hecho a dos metros del sujeto nos permite ver una foto impresa de 5 veces el tamaño del negativo a 50 centímetros. El mismo retrato con objetivo de 50mm (hecho a un metro del retratado para tener la misma foto) nos exigiría ver el resultado ampliado a sólo 25 centímetros, una distancia suficiente pero menos cómoda. Por esto, entre otras cosas, son ideales los teleobjetivos cortos para retratos.

Recordemos que un A4 requiere, redondeando, una ampliación de unas 8 veces el fotograma de 35 milímetros (24x36mm). Para mirar un A4 a una distancia de 25 centímetros con una perspectiva natural la longitud focal debería ser de unos 30mm ( $\approx 250/8$ ), mientras que para una distancia de observación de 50 centímetros la focal ideal es de unos 60mm ( $\approx 500/8$ ).

Hay un aspecto más a considerar. Es sabido que muchos objetivos tienen marcas que indican la profundidad de campo para cada abertura. ¿Cómo se ven afectadas esas marcas cuando empleamos uno de esos objetivos diseñados para el formato de 35mm sobre un sensor más pequeño?

Las marcas de profundidad de campo dependen de unos supuestos que se establecieron en los años 30, y que eran aceptables para las costumbres y limitaciones técnicas de la época (también se basan en una estimación errónea de la capacidad de discernir detalle del ojo humano). Se asume un formato de 35mm y una ampliación máxima del negativo de unas 8 veces, es decir, aproximadamente un A4, lo que determina un círculo de confusión de unas 30 micras (aunque cada fabricante asumía un valor ligeramente distinto). Sin embargo hoy se emplean frecuentemente tamaños de papel mucho mayores, y el A3 es una referencia posiblemente más razonable. Por otro lado es verdad que los objetivos, películas y sensores actuales son capaces de resolver mucho más detalle que hace 80 años, y las fotografías a mayor tamaño requieren una mayor distancia de observación. Por tanto, como indicadores aproximados esas marcas de profundidad de campo siguen siendo válidas (aunque no todo el mundo estaría de acuerdo con esto, [->](#)).

Si asumimos que las convenciones sobre el círculo de confusión son útiles en la práctica, cuando el formato del medio de captura cambia el círculo de confusión cambia también, debido a la alteración en el factor de multiplicación que hay que aplicar al detalle captado para llevarlo al papel. Con un sensor más pequeño, el detalle se amplía más. Pensemos en el caso de la Leica M8 (->), que tiene un sensor con una diagonal 1,33 veces más pequeña que la del formato de 35mm. En ese caso tenemos que  $CoC_f = CoC_d * 1,33$ , donde  $f$  indica *película* (formato 35mm) y  $d$  indica *digital* (recorte 1,33). El círculo de confusión de la Leica M8 ( $CoC_d$ ) es 1,33 veces más pequeño que el círculo de confusión de una Leica M equipada con película fotosensible ( $CoC_f$ ). Obviamente, esto afecta a la distancia hiperfocal ( $H_d = H_f * 1,33$ ) y a la profundidad de campo, dada su relación inversa con  $H$  (por tanto,  $DoF_d < DoF_f$ ). En resumen, si las demás variables son iguales, las impresiones obtenidas a partir de imágenes de la M8 mostrarán una profundidad de campo *menor* que las impresiones que proceden de película fotográfica debido al menor círculo de confusión. Una conclusión interesante es esta: cuando se recorta una fotografía digital siempre estaremos perdiendo profundidad de campo en la imagen impresa.

Pero ocurre que, por otra parte, debido al recorte en el tamaño del sensor, no todas las variables pueden ser iguales. El ángulo de visión para cada longitud focal será diferente en uno y otro caso (película y sensor), y si modificamos la distancia al sujeto o la longitud focal para tener el mismo ángulo, la profundidad de campo se verá afectada una vez más.

Centrémonos en las marcas que hay en los objetivos y en su uso para pre-enfocar. La distancia hiperfocal cambia por un factor igual a 1,33 en la Leica M8, y la consecuencia es que deben usarse las marcas de la abertura con un número inmediatamente inferior al que estamos usando. Por ejemplo, si estamos trabajando con una abertura  $f/11$ , hay que usar las marcas de  $f/8$  para seleccionar la distancia hiperfocal. El recorte de 1,33 en el sensor se corresponde con una diferencia de un paso casi exacto en cuando a profundidad de campo para cada abertura.

Veamos un ejemplo con un objetivo 35/2 M de Leica (una versión anterior a la actual, con una lente asférica). Se ha seleccionado una abertura de  $f/11$  y se está enfocando a la distancia hiperfocal, apuntando la marca derecha de  $f/11$  a infinito. En este caso la distancia hiperfocal es de 3,3 metros (para un círculo de confusión típico de 33 micras, [->](#)). La profundidad de campo iría de infinito a unos 1,7 metros en impresiones de tamaño A4 (8x12 pulgadas).



Ahora aplicamos la regla de usar las marcas del número  $f$  inmediatamente inferior para un sensor con un recorte de 1,33 y el mismo objetivo. El círculo de confusión se verá reducido a 25 micras. La apertura seguirá siendo  $f/11$ , pero las marcas empleadas para seleccionar la distancia hiperfocal serán las de  $f/8$ . La marca derecha (según la vemos en la foto) de ese número  $f$  apunta ahora a infinito, siendo la distancia hiperfocal de 4,4 metros, y abarcando la profundidad de campo de infinito a 2,2 metros.



La razón de las dos distancias hiperfocales es  $4,4/3,3 = 1,33$  ( $= 1/0,75$ ). Por tanto, las diferencias en las distancias hiperfocales dependen de las diferencias en las diagonales de los distintos formatos.

Un recorte de 1,33 permite aplicar una regla sencilla: usar las marcas del número  $f$  inmediatamente inferior a aquel con el que estamos trabajando. Si el recorte es el típico de las cámaras Canon de formato reducido, igual a 1,6, hay que seleccionar una abertura un paso y un tercio mayor (un número  $f$  menor) ( $\rightarrow$ ,  $\rightarrow$ ). Es fácil hacer los cálculos para cámaras con otros recortes en sus formatos de captura (relativos al formato de cobertura del objetivo).

[Efraín García](#) y [Rubén Osuna](#) ©