

# Fundamentos de fotografía digital

Efraín García y Rubén Osuna ©

## 5. Resolución e impresión.

La ventaja de tratar con formatos como el DIN A4 es que sus proporciones son muy cercanas a las del fotograma clásico, aunque no exactamente iguales. En efecto, un fotograma o sensor típico tiene unas proporciones de 2:3 (=x:y), mientras que un A4 tiene unas proporciones de 2:2,8 (=1:1,4). Ambas se aproximan bastante a la *proporción áurea* ( $\frac{\sqrt{5}-1}{2}$ ), que es aproximadamente 2:3,2 (=1:1,6). Dado que las correspondencias no son exactas, al emplear un papel de formato A4 tendremos que elegir entre recortar un poco la foto para rellenar todo el papel o bien dejar unos márgenes de papel en blanco, que es lo usual.

Para dar una idea de las necesidades de número de píxeles de distintas impresiones hemos elaborado la siguiente tabla que ofrece las *superficies máximas* que para determinadas densidades de impresión pueden alcanzar distintos tamaños de foto (en número de píxeles), respetando siempre la proporción 2:3 original de la foto.

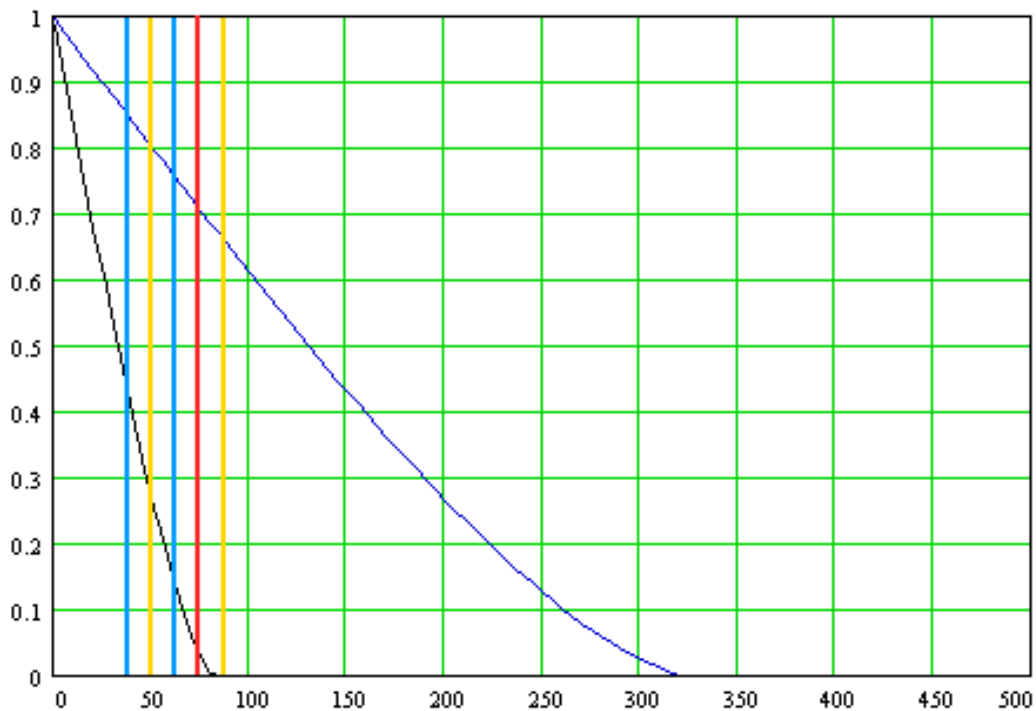
MP	300 ppp (5,9 lp/mm)				240 ppp (4,7 lp/mm)				180 ppp (3,5 lp/mm)			
	centímetros		pulgadas		centímetros		pulgadas		centímetros		pulgadas	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
2	9,8	14,7	3,8	5,8	12,2	18,3	4,8	7,2	16,3	24,4	6,4	9,6
3	12,0	18,0	4,7	7,1	15,0	22,5	5,9	8,8	20,0	29,9	7,9	11,8
4	13,8	20,7	5,4	8,2	17,3	25,9	6,8	10,2	23,0	34,6	9,1	13,6
5	15,5	23,2	6,1	9,1	19,3	29,0	7,6	11,4	25,8	38,6	10,1	15,2
6	16,9	25,4	6,7	10,0	21,2	31,8	8,3	12,5	28,2	42,3	11,1	16,7
8	19,6	29,3	7,7	11,5	24,4	36,7	9,6	14,4	32,6	48,9	12,8	19,2
10	21,9	32,8	8,6	12,9	27,3	41,0	10,8	16,1	36,4	54,7	14,3	21,5
12	23,9	35,9	9,4	14,1	29,9	44,9	11,8	17,7	39,9	59,9	15,7	23,6
16	27,7	41,5	10,9	16,3	34,6	51,8	13,6	20,4	46,1	69,1	18,1	27,2
22	32,4	48,6	12,8	19,1	40,5	60,8	16,0	23,9	54,0	81,1	21,3	31,9

Hemos marcado con negrita el tamaño máximo que cabe en una hoja A4, que tiene unas dimensiones de 21x29,7cm o bien 8,3x11,7 pulgadas. También se ofrecen los límites para un A3, que tiene dimensiones 29,7x42,0cm (11,7x16,5 pulgadas). Se dan las correspondencias en píxeles por pulgada y en pares de píxeles (o líneas) por milímetro.

Si aceptamos 5-6 pares por milímetro como un buen indicador de calidad de imagen a 25 centímetros de observación, para una impresión de proporciones 2:3 que quepa en un A4 no querremos más de 300 píxeles por pulgada, y eso requiere una foto de unos 8 millones de píxeles. Si empleamos papel de tamaño A3 tendremos que ver la foto a más distancia (la diagonal es 1,4 veces mayor que la de un A4), y podremos reducir un poco la resolución, teniendo suficiente con unos 240 píxeles por pulgada (5 pares por milímetro), lo que se logra cómodamente con 10 millones de píxeles. Sin embargo, para algunos trabajos profesionales nos pueden pedir fotos de tamaño A3 a 300 píxeles por pulgada, para lo que necesitaríamos 16 millones de píxeles. Parece por tanto que el rango que va de 10 a 16 millones de píxeles es un *tamaño de foto* confortable para la gran mayoría de aplicaciones (->).

Pero vimos que la resolución *efectiva* (detalle real captado) es inferior a la resolución *teórica* (tamaño de la foto, o de la matriz de píxeles). Si queremos reproducir en el papel 6 pares por milímetro de *detalle real* a un tamaño aproximadamente igual a un A4, necesitaremos *más* de 8 millones de píxeles, para después reducir el tamaño de la foto preservando el detalle real captado en la medida de lo posible. De la misma forma, los requerimientos de 10 y 16 millones de píxeles deberían modificarse al alza. Otro argumento a favor de imágenes de más tamaño es la posibilidad de disponer de un margen para recortes.

Por ejemplo, las Nikon D2X ofrece imágenes de 12 millones de píxeles, más que de sobra para un A4 a 300 píxeles por pulgada, pero su resolución horizontal real está situada en torno a las 2000 líneas, que quedan por debajo de las 2520 que un papel de tamaño A4 impreso a 6 pares por milímetro *puede mostrar*. En cambio, la Canon 1Ds-Mark II no sólo genera imágenes de tamaño suficiente, sino que el detalle real que es capaz de captar excede las posibilidades de mostrar detalle de una impresión A4 a 300 píxeles por pulgada. Por último, la Sigma SD10 resuelve en imágenes de 3,5 millones de píxeles unas 1550 líneas horizontales y 2325 verticales, cifras que no se verán afectadas (->) si *interpolamos* (->) eficientemente para obtener los píxeles que faltan para una impresión A4 a 300 píxeles por pulgada (aunque el papel podría mostrar más detalle). La ventaja del sensor Foveon de la cámara Sigma es que genera imágenes digitales que *almacenan* más detalle real en menos píxeles.



Curvas MTF, requerimientos de impresión, resolución real y frecuencia de muestreo.

En el gráfico que acabamos de presentar mostramos distintas posibilidades que pueden darse en un sensor. La línea amarilla representaría el requerimiento de número de píxeles que una impresión determinada impone al sensor (tamaño de la foto necesario). La línea roja es la frecuencia de muestreo de ese sensor. Las dos líneas azules representan dos posibles resoluciones reales o efectivas. Si la línea amarilla estuviera a la derecha de la roja sería necesario interpolar para obtener la impresión que deseamos. Las líneas azules siempre estarán algo a la izquierda de la línea roja, pero pueden estar a la derecha o a la izquierda de la amarilla. En el primer caso el sensor habrá captado más detalle del que la impresión podrá reproducir (se pueda percibir o no a simple vista). En el segundo caso la impresión tendrá una capacidad de mostrar detalles superior al sensor.

Vimos en la primera sección que la resolución efectiva (línea azul) está ligada a la frecuencia de muestreo (línea roja) y a la capacidad resolutive del objetivo (función de transferencia de contraste, MTF). Lo ideal es situar la línea azul sobre la línea amarilla o a su derecha, para lo cual la línea roja debe estar situada más a la derecha aún. Antes de la impresión puede ajustarse el tamaño de la foto (*downsampling*, que puede presentar nuevos problemas de *aliasing*, [->](#)) montando la línea roja sobre la amarilla (en principio el proceso no debería alterar la posición de la azul). Por tanto,

- Si se cumple que azul < amarilla < roja, tendremos suficientes píxeles para la impresión, pero una cámara con mayor resolución real mostrará más detalle en el papel.
- Si se cumple que amarilla < azul < roja, tendremos suficientes píxeles para la impresión, y ninguna cámara podrá mostrar más detalle en ese tipo de impresión (otra cosa es el contraste, como veremos ahora).

- Si se cumple que  $\text{amarilla} > \text{roja} \geq \text{azul}$ , no tendremos suficientes píxeles para la impresión y será necesario interpolar, y una cámara con mayor resolución real mostrará más detalle.

La calidad de imagen percibida por observación directa del papel impreso depende no de la resolución máxima del sensor, sino del contraste con que el objetivo proporciona los detalles que el sensor puede captar (siempre por debajo de su frecuencia de muestreo, debido al *aliasing*) o que el ojo humano puede percibir.

Eso determina un rango de resoluciones relevantes que el sensor y el objetivo *deben* ofrecer con la mayor calidad (contraste) posibles, dependiendo del tamaño de la copia impresa. Si llevamos una foto al papel, con formato A3 (30x40cm) necesitaremos ampliar el detalle captado por el sensor de formato 24x36mm unas 12 veces (redondeando). Supongamos que el objetivo y la cámara resuelven efectivamente 60 lp/mm con buen nivel de contraste (ese es el límite Nyquist de una Canon 5D o una Nikon D3, de unos 12 millones de píxeles), lo que se traduce en 5 lp/mm en el papel de nuestro ejemplo ( $60/12 = 5$ ).

Pero, como vimos, el rango que va de 0,5 a 2 lp/mm en el papel ( $\rightarrow$ ), a una distancia de observación de unos 34 cm, ya es un determinante muy importante de la calidad de imagen percibida en la copia final. Eso supone, para sistema, un rango de resoluciones que va de 6 lp/mm ( $0,5 \cdot 12$ ) a 24 lp/mm ( $12 \cdot 2$  lp/mm) si hablamos de una impresión A3 obtenida a partir de un sensor de formato 35mm sin recorte.

Esos valores parecen poca cosa comparados con lo que, fuera de todo contexto *práctico* razonable, se cree necesitar. En efecto, cuando vemos una imagen de 12 millones de píxeles ampliada al 100% en un monitor con 96 píxeles por pulgada de resolución, ¡estamos viendo el equivalente de una copia en papel de tamaño superior a 1 metro por 70 centímetros! Más y más detalle en un sensor pequeño implica que éste, en combinación con el objetivo, tendrá que resolver más detalle por milímetro, es decir, el mismo detalle en menos superficie que uno más grande, y las exigencias, por irreales que sean, aumentan hasta un punto en que, a la larga, los formatos de menor tamaño quedan lejos de poder satisfacerlas.

La clave está en el nivel de contraste que da el objetivo *para el rango de resoluciones relevante*, sea cual sea, para distintas aberturas, distancias y en distintos puntos del círculo de luz (centro, bordes, esquinas). Muchos objetivos son suficientemente buenos, e incluso muy similares en general, pero siempre se pueden encontrar diferencias en circunstancias difíciles: a aberturas extremas, a distancias muy cortas, en los bordes, etc. Y no hay que olvidar otros aspectos importantes para el fotógrafo (desde el viñeteo, la distorsión, las aberraciones cromáticas, etc.), además de la resolución.

Por tanto, lo relevante no es tanto el número de píxeles que proporciona la cámara (pues siempre se puede interpolar) como la resolución y contraste reales en relación a las posibilidades de mostrar detalle del papel impreso, *y del ojo humano de captarlo*. Entonces, ¿podemos suponer que se detendrá aquí el crecimiento en la resolución nominal de los sensores?