

## Imagen digital y difracción



Un artículo de Rubén Osuna Guerrero  
miércoles, 07 octubre 2009



### Los límites impuestos por la difracción

En *The Luminous Landscape* ha venido apareciendo una larga discusión sobre el tema de los límites previsibles de la carrera de los megapíxeles, esa competencia entre marcas basada en la oferta de un tamaño de imagen cada vez mayor (no es correcto usar *resolución*).

Dos son los posibles límites a esa carrera. El primero es la *difracción*, tema sobre el que se trató en una primera serie cruzada de artículos de opinión. El segundo es la propia eficacia de unos fotorreceptores cada vez más pequeños en la tarea de capturar luz y generar un impulso eléctrico interpretable a partir de ella.

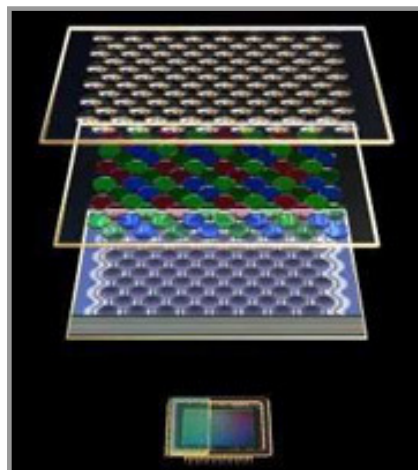
Como veremos, cuando se tratan estos temas se suelen mezclar argumentos y puntos de vista sin mucho orden, y aquí queremos ofrecer una breve guía para seguir la interesante serie de artículos mencionada.

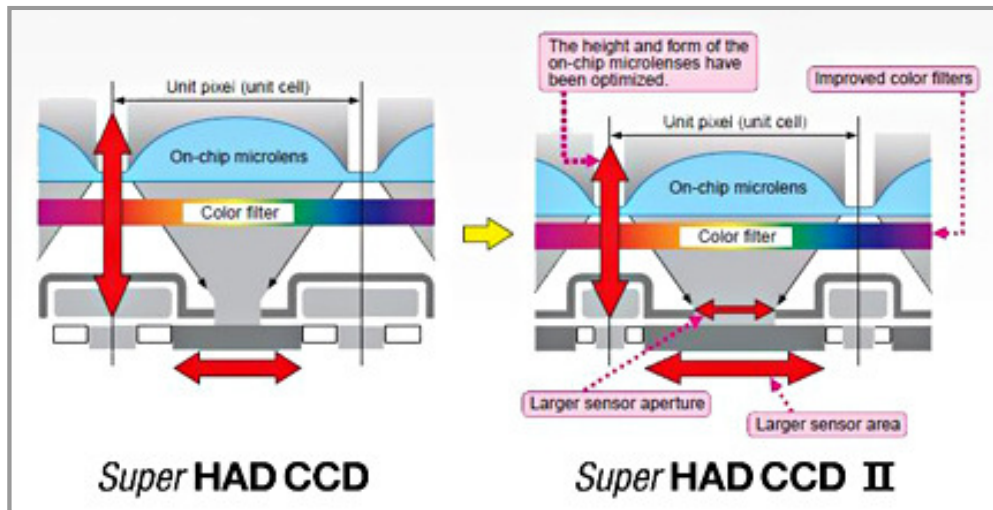
\*\*\*

Esencialmente, hay dos enfoques diferentes, y en cierto modo enfrentados. El primero asegura que la utilidad y uso prácticos de las imágenes determinará el límite deseable a su tamaño (es decir, al número total de píxeles). Este argumento se basa en definitiva en el concepto tradicional de círculo de confusión, que es el tamaño del detalle que una cámara y objetivo deben proveer para que el ojo del observador lo perciba en el positivo ampliado (la foto en papel, o en pantalla, como veremos). Esto depende por supuesto del poder resolutivo de un objetivo y del medio de captura, del tamaño de la copia final y de la distancia de observación, además de la agudeza visual del observador. El otro argumento es que cuando se trata del límite de la capacidad resolutiva de una cámara el único círculo de confusión relevante es el propio fotorreceptor del sensor, es decir, el "píxel". Según este argumento, la difracción pondría el límite al tamaño mínimo de los "píxeles", y por tanto, para un formato dado, al tamaño de la imagen (número total de píxeles). Podemos resumir diciendo que el primero es un argumento práctico o puramente fotográfico, y el segundo un argumento técnico o ingenieril.

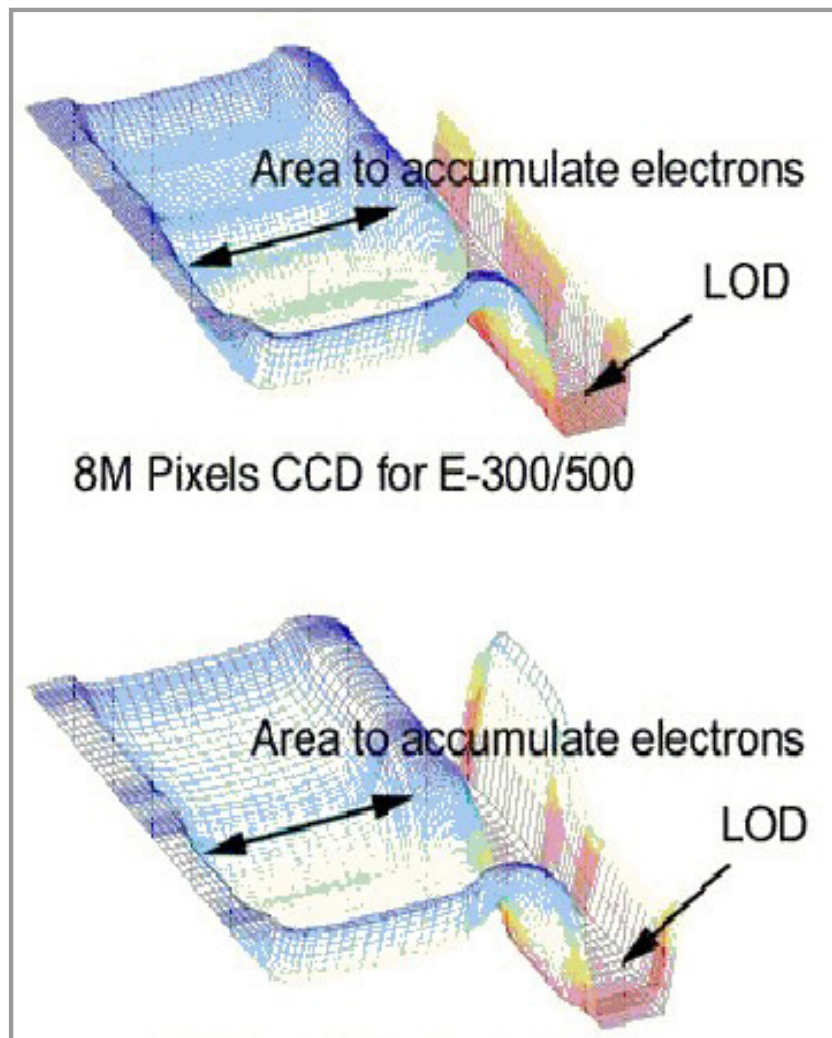
El **primer artículo** es de Charles Sidney Johnson, Jr., de 2007, y en realidad habla sobre la relación entre distancia focal y profundidad de campo, para lo cual emplea el concepto tradicional de círculo de confusión. Nathan Myhrvold, físico que trabajó con Stephen Hawkins antes de ser jefe de tecnología de Microsoft, escribió una réplica en la que cuestiona el concepto de círculo de confusión manejado por Sidney Johnson - ligado al tamaño de impresión como sabemos- e introduce la idea de que es la diagonal del píxel el verdadero círculo de confusión en el medio digital, pues fija el límite al máximo detalle que puede dar un sistema. Este nuevo criterio, desligado de las características de la impresión final, afecta también a la profundidad de campo y a la estimación de los efectos de la difracción sobre la resolución.

Algo más tarde, a mediados de 2008, Efraín García y Rubén Osuna, **desarrollan** los argumentos de Myhrvold, y abordando directamente el tema del límite óptico a la resolución de los sensores, que cuantifican con todo detalle.





La separación entre microlentes y la propia estructura física de la superficie fotosensible (pixel) hace que el captor sea una superficie fotosensible discontinua. Ello hace que deban producirse fenómenos de imagen diferentes que en los sistemas filmicos



Aún en los captores "full frame transfer" (no confundir con el llamado formato "full frame") como es el caso de los sensores representados, el propio canal antiblooming supone una barrera entre píxeles contiguos

La discusión se retomó un año después, en 2009, con [otro artículo](#) de Ray Maxwell, quien insiste en la idea de que la difracción fija un límite al incremento del número de píxeles en los sensores digitales. La llamada *Ley de Moore*, según la cual densidad de transistores en los microprocesadores se duplica cada año al mismo coste, no tendría una traslación directa a los sensores, debido fundamentalmente al límite resolutivo que fija la difracción. Si el objetivo proyecta detalles -círculos de luz conocidos como discos de Airy- mayores que el píxel, reducir el tamaño de estos no aumenta el detalle captado. Aunque la electrónica permita reducir el tamaño de los píxeles manteniendo la calidad, ese límite óptico lo hace innecesario, según Maxwell.

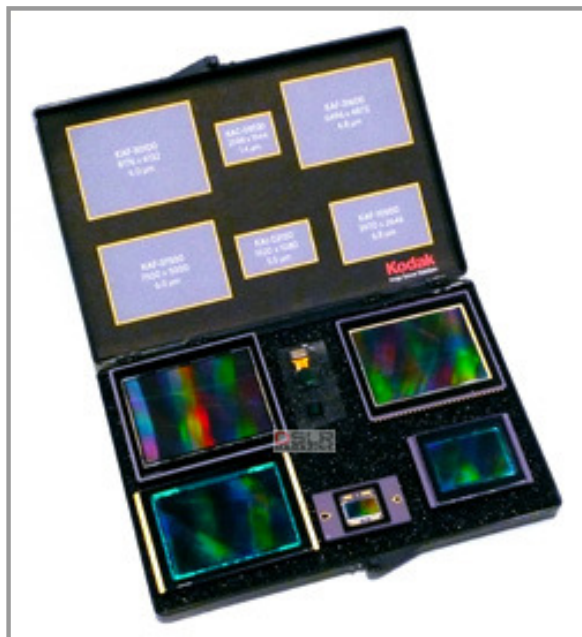
Nathan Myhrvold reaparece con **un nuevo artículo** de respuesta, cuestionando el argumento de Maxwell. Myhrvold presenta varias ideas. Los objetivos con corrección de las aberraciones a un alto nivel pueden conseguir resoluciones muy elevadas (abriendo el diafragma), y sin duda superiores a las actuales (véase la tabla). También es verdad que el límite resolutivo de un objetivo sin aberraciones es mucho mayor para longitudes de onda de la luz más pequeñas (más hacia el azul). Además, siempre se pueden aprovechar los píxeles combinando su información, y si la *Ley de Moore* hace cada vez más barato aumentar su número, no hay motivos para no hacerlo, aunque los beneficios derivados sean decrecientes. Myhrvold no parece cuestionar la idea básica de que la difracción pone un límite a la resolución de los sensores, pero lo fija en cifras muy superiores a las actuales (habla de hasta 100 megapíxeles en formato 24x36mm).

Estos dos artículos generaron una cascada de réplicas recogidas, ordenadas y publicadas por Michael Reichmann en **una página**. Maxwell insiste en la idea de la aplicabilidad práctica de sensores con cada vez mayor número de píxeles (retomando uno de los argumentos originales, como hemos visto). Harold M. Merklinger y Dan Seligson muestran su confianza en el progreso técnico, que permitirá sortear todas las barreras, incluida la difracción (aunque las imágenes fotográficas no se forman con luz ultravioleta, por lo que la experiencia en microlitografía de Seligson no es fácilmente extrapolable a la fotografía). Por último, Dan Wells vuelve a la idea de los costes que para el fotógrafo suponen los avances sin fin y la constante renovación de equipos, con ganancias decrecientes en el mejor de los casos.

\*\*\*

La fotografía siempre fue el positivo sobre papel, lo que hoy sería la foto impresa. Los tiempos han cambiado, pero en general los nuevos medios de presentación y uso de las fotografías (pantallas de diverso tipo) no requieren más detalle (pensemos también en el video o el cine). Las pantallas actuales tienen resoluciones de unos 72 a 96 píxeles por pulgada, frente a las resoluciones típicas de entre 200 y 300 píxeles por pulgada de las copias impresas. Sí es verdad que antes la inspección directa y ampliada del negativo era más complicada, mientras que hoy es fácil conseguir una ampliación enorme del "negativo" fotográfico digital en cualquier ordenador, resultando además mucho más rápidas y sencillas las comparaciones y la distribución de imágenes. Hay por tanto dos mundos diferentes, relacionados entre sí pero también separados: el de la fotografía (en papel, u otro soporte físico) y el de la imagen digital (en pantalla).

Para la imagen en papel la utilidad práctica de un cada vez mayor tamaño de imagen tiene unos límites fáciles de calcular. Una impresión A3 (297x420mm, 11,7x16,5 pulgadas) a 300 píxeles por pulgada requiere casi 18 millones de píxeles, y una impresión A2 (420x594mm, 16,5x23,4 pulgadas) con esa misma densidad requeriría casi 35 millones. Mientras que la primera puede considerarse aún "doméstica" o "habitual", la segunda es un tipo de impresión más excepcional y especializada (y cara). Hay trabajos fotográficos que requieren eso y más, pero está claro que dichos requerimientos afectan a un determinado tipo de cámaras, y que tamaños de imagen superiores a los 30 millones de píxeles tienen poca utilidad práctica para la mayoría de las aplicaciones, y sí algunos serios inconvenientes (relacionados sobre todo con el tamaño de los archivos asociados). Habrá cámaras con esos tamaños de imagen, o superiores (ya las hay, de 60 millones), pero es dudoso que se extiendan a las cámaras de consumo masivo, además de a muchas profesionales diseñadas para otras aplicaciones. Charles S. Johnson y Maxwell tienen razón en esto.



Captore de diversos tamaños, fabricados todos ellos por Kodak: ¿cuánta "resolución" es necesaria para cada tamaño de impresión?

Podemos preguntarnos también si los objetivos son capaces de aprovechar toda la capacidad de captar detalle de un sensor. Para números *f* pequeños (una gran abertura) todo dependerá de la calidad del diseño óptico y construcción del objetivo. Para números *f* grandes (cerrando el diafragma) la difracción, que no tiene cura, establece los límites. Éstos dependen también de la longitud de onda de la luz, y por supuesto del tamaño del sensor o fotograma. La existencia de filtros Bayer y anti-alias en

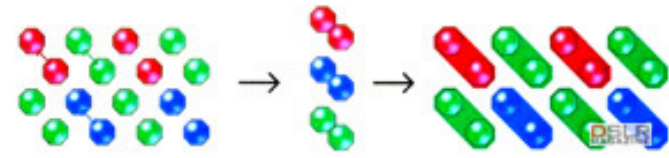
sensores digitales hace más complicados los cálculos, pero se puede llegar a una estimación que nos de una idea aproximada (véase la tabla). En resumen, los sensores de alta resolución se desaprovechan cuando cerramos mucho el diafragma en cualquier caso, y también cuando empleamos objetivos de mediana calidad cuando lo abrimos. Por tanto la difracción, en la práctica, también impone un cierto límite al tamaño de imagen máximo y útil, aunque es más difuso, pues depende de muchas variables.

*Tabla.* Número de píxeles aprovechables para un objetivo libre de aberraciones, para luz día (longitud de onda media,  $w = 0,55 \mu$ ) y distintos formatos, considerando 4 píxeles para toda la circunferencia de un disco de Airy.

Abertura	Cuatro Tercios (13,5x18)	APS-C (16x24)	35mm (24x36)	FM (36x48)
f/1	530	838	1885	3769
f/1,4	270	427	962	1923
f/2	133	209	471	942
f/2,8	68	107	240	481
f/4	33	52	118	236
f/5,6	17	27	<b>60</b>	120
f/8	8	13	29	59
f/11	4	7	<b>16</b>	31
f/16	2	3	7	15
f/22	1	2	4	8

Como puede verse, en un formato 24x36mm, con un objetivo limitado sólo por la difracción, tenemos un límite de resolución equivalente a 16 millones de píxeles cuando cerramos a f/11, tratándose de un límite óptico, es decir, válida incluso si el sensor es capaz de generar una imagen mucho mayor. Si abrimos a f/5,6 el límite óptico se relaja hasta los 60 millones de píxeles, pero para ello se requeriría un objetivo con las aberraciones totalmente corregidas para esa abertura. Puede haber objetivos, sobre todo teleobjetivos de distancia focal fija, limitados por la difracción para esas aberturas (o incluso mayores, con lo que alcanzaríamos los 100 millones de los que hablaba Myhrvold). Sin embargo, la mayoría de los objetivos, o los más populares, son de focal variable, con distancias focales más cortas, o de construcción más modesta y económica. También hay que tener en cuenta que en formatos más pequeños el límite óptico es más bajo en términos absolutos.

## EXR Pixel Binning



The unique EXR matrix with its diagonal rows of G cells and pairs of R and B cells combines with innovative pixel binning using Close Incline Pixel Coupling to reproduce colors with exceptional accuracy and free from false colors.

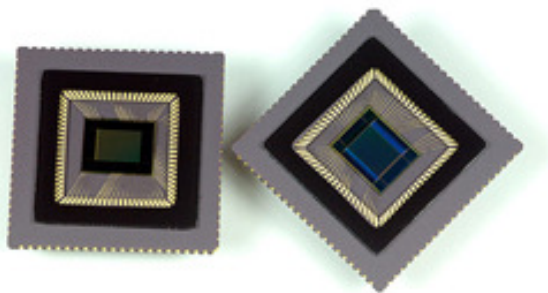
Los nuevos sensores Fujifilm "EXR" agrupan cargas de píxeles contiguos a fin de ofrecer, bien menor ruido a altos índices ISO; bien un más extenso rango dinámico. Aunque con una arquitectura distinta, Phase One en sus respaldos "Sensor+" emplea también el "pixel binning".

Nada impide, por otro lado, que los sensores aumenten su resolución a la vez que ofrecen posibilidades de combinar la información de varios píxeles adyacentes para conseguir imágenes más pequeñas pero con mejores propiedades, como apunta también Myhrvold. En este caso, si se necesita un gran tamaño de imagen, y si se dan las condiciones para aprovechar la capacidad resolutoria extra, sólo habría que desactivar la combinación. Otra salida tecnológica y comercial sería detener el incremento en el número de píxeles pero aumentando la calidad de la información que se obtiene de cada uno de ellos, y una forma evidente de hacerlo sería captando el color real en cada "píxel" con sensores multicapa. El tiempo dirá qué camino tomarán las compañías de fotografía (y video).

Siempre es difícil predecir cómo evolucionará la tecnología. La dimensión electrónica no debería preocuparnos: se obrarán prodigios. En ese aspecto estamos aún en la infancia de la fotografía digital. Pero sigue habiendo dos límites contundentes, difíciles de superar. Uno viene dado por los tamaños y resoluciones de impresión (o proyección) comunes, habituales, que a su vez dependen de sus aplicaciones prácticas y de la agudeza visual humana; y el otro por la difracción, que hace que cada

incremento adicional en el número de “píxeles” aporte ganancias decrecientes en cuanto a detalle realmente captado (a no ser que saltemos de formato), y problemas e incomodidades crecientes (por el tamaño de los archivos).

Que cada uno se forme su opinión.



Última actualización ( jueves, 08 octubre 2009 )