

Índice general

Resumen	III
0.1 Por qué este libro y riesgos para el lector	VI
0.2 Disclaimer.	IX
0.3 Agradecimientos	IX
Índice general	XI
1 Qué es el ruido y cómo medirlo	1
1.1 Definición de ruido	2
1.2 Ruido y posterización	9
1.3 Relación señal a ruido.	13
1.4 Unidades de la relación señal a ruido.	18
1.5 Cómo medir la relación señal a ruido.	20
1.6 Ruido aleatorio	28
1.7 Ruido de patrón fijo	33
1.8 Ruido de resta y suma de imágenes.	38
1.9 Relación señal a ruido y percepción del ruido	42
1.9.1 Imagen sintética lisa	43

1.9.2 Imagen sintética con contraste	45
1.9.3 Foto en RAW lisa con ruido artificial	46
1.9.4 Foto en RAW normal con ruido artificial	48
1.9.5 Foto en RAW con ruido original	50
 2 El ruidoso camino del fotón al valor RAW: la historia corta	 53
2.1 El sensor de la cámara	54
2.2 Funcionamiento básico de un sensor	57
2.3 En el principio fue la luz: ruido fotónico.	61
2.3.1 Interpretación gráfica	70
2.4 Y después llegó la electrónica: ruido de lectura	73
2.4.1 El ISO: exposición vs. “exposición”.	74
2.4.2 Componentes del ruido de lectura	76
2.4.3 Cómo afecta el ISO al ruido	80
2.4.4 Demasiados conejos bajo la chistera	87
2.5 Cómo exponer en fotografía digital	90
 3 Ruido, SNR e ISO: la historia larga	 91
3.1 Qué es un fichero RAW	91
3.2 Ruido fotónico	95
3.3 Ruido de lectura	97
3.4 Modelo del ruido fotónico, ruido de lectura e ISO	100
3.5 Curva de transferencia fotónica	107
3.6 Curvas de relación señal a ruido	114
3.7 Relación señal a ruido e ISO	120
3.8 Rango dinámico	130
3.8.1 Cálculo gráfico del rango dinámico	132
3.9 Ruido de lectura previo y posterior	136
3.10 Modelo del ruido y exposición	141
3.11 Medidas de calidad para un sensor cualquiera	148

4 Otras fuentes de ruido: la historia completa	151
4.1 Componentes del ruido de lectura: ruido de patrón fijo	152
4.2 Respuesta no uniforme de los píxeles	162
4.3 Ruido de corriente oscura	169
4.4 Error de cuantificación	181
4.5 Otros ruidos	184
5 Reducción de ruido	187
5.1 Reducción de ruido de larga exposición	187
5.2 Reducción de ruido para ISOs altos	193
5.3 Promediado espacial y resolución	195
5.4 Combinación de fotos: promediado temporal	201
5.5 Combinación de fotos: promediado de exposiciones y HDR	203
5.6 Combinación de fotos: promediado de ISOs	208
6 Todo sobre el ISO	213
6.1 Definiciones de sensibilidad o ISO de un sensor	214
6.2 ISO real, interpolado y extendido	223
6.3 Sensor invariante al ISO	232
6.4 Sensor de ganancia dual	240
6.5 Cómo exponer en fotografía digital reboot	251
7 Análisis de cámaras	253
7.1 Introducción	255
7.2 Cámaras analizadas	260
7.3 Procedimiento y consideraciones previas	262
7.4 Resultados a nivel de píxel	267
7.4.1 Ruido de lectura en unidades RAW	267
7.4.2 Ruido de lectura equivalente en electrones	274
7.4.3 Curvas <i>SNR</i>	283
7.4.4 Rango dinámico	295
7.5 Resultados a nivel de sensor	300

7.6 Resultados a nivel de foto	318
7.7 Análisis con fotos	330
7.7.1 Cómo exponer en fotografía digital: versión final	330
7.7.2 Discusión sobre revisiones basadas únicamente en fotos	332
7.7.3 Escena de bajo rango dinámico	339
7.7.4 Escena de alto rango dinámico	356
 A Anexo	 365
A.1 Ruido de combinación de imágenes	365
A.2 Creación de ficheros RAW para la evaluación perceptual de la <i>SNR</i>	367
 Índice alfabético	 369

Capítulo 1

Qué es el ruido y cómo medirlo

La Fotografía consiste en congelar momentos de la realidad a través de la captación de la luz proveniente de la escena fotografiada.

El objetivo es registrar una versión lo más fidedigna posible a lo que existe al otro lado de la cámara.

El elemento que se encarga de registrar esa información lo mejor posible es el sensor de la cámara. Pero hay un elemento que va en contra de ese objetivo: el ruido.

En este capítulo explicamos qué es el ruido en fotografía digital, cómo medirlo y cómo afecta perceptualmente a nuestras fotos.

Presentamos el concepto clave para cuantificar el ruido, la llamada relación señal a ruido, y qué se entiende por señal y ruido en términos precisos matemáticos para poder cuantificarlos en próximos capítulos y así poder hacer comparativas de sensores en términos de comportamiento frente al ruido.

1.1 Definición de ruido

Un sensor se compone de un conjunto de píxeles cuya misión es recoger los rayos de luz que durante el tiempo de exposición atraviesan el diafragma y son desviados por el objetivo.

Los fotones captados por cada píxel se convierten en electrones que, a su vez, representan una carga eléctrica que es convertida en voltaje. Éste es posteriormente amplificado más o menos según el valor del ISO seleccionado. Por último, esa señal es digitalizada obteniendo el valor RAW del píxel.

En un mundo ideal, el valor RAW registrado debería ser una transcripción perfecta de la luz que incide en el píxel. Sin embargo, la realidad no es así. Esa diferencia entre el valor teórico y el registrado es lo que se denomina ruido.

En cada etapa del proceso antes referido, la señal (la luz en el caso de la fotografía) sufre un deterioro que es debido a multitud de factores diferentes; por ejemplo, ruido fotónico debido a la inherente naturaleza estadística de la luz, ruido de lectura, debido a inexactitudes en el proceso de amplificación-lectura de la señal, ruido térmico, debido al calentamiento del sensor, y así unas cuantas más fuentes de ruido.

El ruido se manifiesta visualmente en la foto en forma de pequeños puntos, unos más claros y otros más oscuros, distribuidos aleatoriamente sobre la superficie de la imagen; se suele decir que es como si le hubiesen echado *sal y pimienta* a la foto.

El ruido es especialmente visible en dos tipos de fotos.

La primera es cuando se intentan recuperar las sombras profundas durante el postprocesado de la imagen. A lo largo del libro usaremos Lightroom como procesador RAW.

Lightroom tiene un ajuste llamado Exposición que permite modificar la exposición de la foto. Un valor positivo permite aclarar la foto y un valor negativo oscurecerla. Usaremos este ajuste para corregir el brillo de una foto cuando sea necesario. Puedes encontrar las curvas tonales que aplica cada ajuste de Lightroom en el libro <http://fotoigual.com/libro-fotografia-digital-con-lightroom-6-y-cc/>.

Por ejemplo, en la Figura 1.1 tenemos una foto subexpuesta. Después de aplicarle un ajuste de Exposición = +3 en Lightroom, se obtiene la Figura 1.2.



Figura 1.1: Imagen original subexpuesta.



Figura 1.2: Foto de la Figura 1.1 corregida la exposición en Lightroom (+3 EV).

Si ampliamos una zona de la Figura 1.2, podemos apreciar claramente el ruido (Figura 1.3).



Figura 1.3: Detalle ampliado de la foto de la Figura 1.2.

En este caso, el ruido también viene caracterizado por una coloración aleatoria (ruido de crominancia), debido a la forma en que se aplican los algoritmos de demosaicing que se encargan de obtener los valores RGB de un píxel a partir de los valores de las componentes de color de los píxeles vecinos. Esas manchas de colores no dejan de ser un artefacto inherente al ruido original presente en el fichero RAW.

Para saber cómo funciona una cámara, cómo se pasa de luz a un fichero RAW y en qué consiste éste, puedes consultar el tutorial:

<http://fotoigual.com/tutoriales/como-funciona-una-camara-de-fotos-obtencion-del-fichero-raw/>

El segundo caso donde el ruido se manifiesta más claramente es cuando se sube el ISO de la cámara. En la Figura 1.4 tenemos una foto hecha sin trípode y con una focal larga con ISO 3200 sin ningún ajuste de brillo durante el revelado (hubo que subir mucho el ISO para poder disparar a una velocidad suficientemente alta para minimizar los efectos del posible movimiento del animal y de la cámara).

Si observamos un detalle de la foto, el ruido se hace evidente (Figura 1.5). En este caso es un ruido sin color (ruido de luminancia).



Figura 1.4: Foto original con ISO 3200.

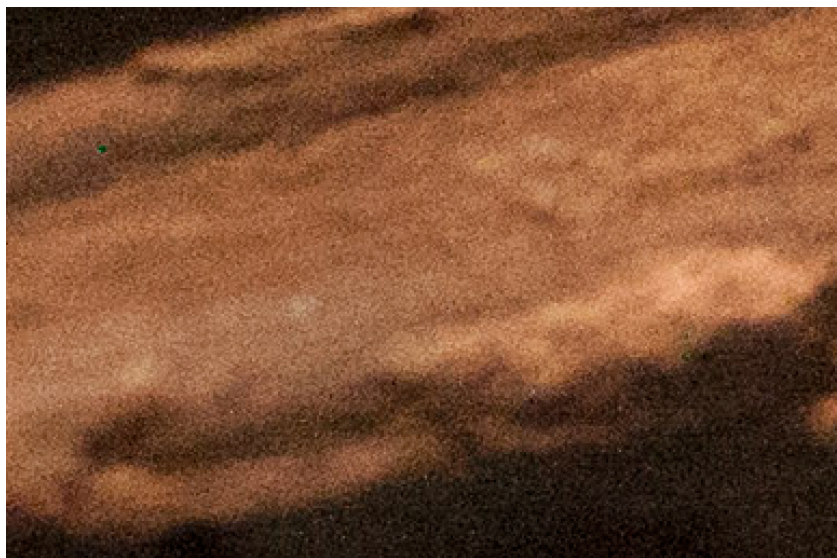


Figura 1.5: Detalle de la foto de la Figura 1.4.

Así pues, nuestra experiencia fotográfica nos dice que el ruido es especialmente visible en las sombras más profundas y cuando usamos ISOs muy altos.

A lo largo de este documento obtendremos la respuesta a estos fenómenos así como otros que irán apareciendo relacionados con el ruido y el funcionamiento de un sensor de una cámara de fotos digital.

Que el ruido resulte más o menos perceptible depende de muchos factores. En los ejemplos previos hemos visto que suele presentarse con un patrón de sal y pimienta coloreado o no. Pero hay otros patrones que irán saliendo a lo largo del documento, dependiendo del origen del ruido.

Del mismo modo, el motivo fotografiado y el sistema visual humano tienen mucho que decir en la percepción del ruido. Es muy probable que la misma cantidad de ruido en dos fotos de motivos diferentes con la misma exposición produzcan percepciones muy diferentes del ruido; puede que en una no lo notes y en la otra sea tan molesto que descartes la foto.

Por ejemplo, en la Figura 1.6 tenemos otro detalle de la foto de la Figura 1.4.

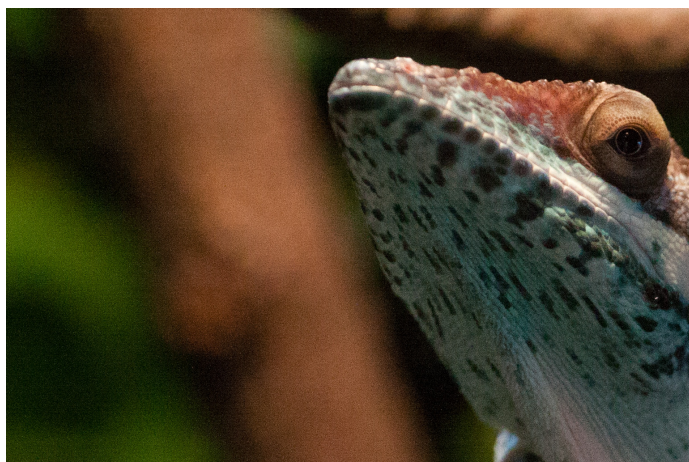


Figura 1.6: Percepción del ruido.

Aunque el ruido es el mismo en todas las zonas con un mismo nivel de brillo, resulta más visible en las superficies uniformes (rama) que donde hay textura (animal).

El ojo humano es muy bueno detectando bordes, así que le va a ser más fácil detectar ruido en superficies lisas que en objetos con textura.

Para que quede más claro todavía, vamos a generar una imagen ruidosa a partir de una imagen sin ruido. Para ello, partimos de la foto original de la Figura 1.7.



Figura 1.7: Foto sin ruido.

A continuación le añadimos artificialmente ruido a cada uno de los canales RGB, obteniendo la imagen de la Figura 1.8.



Figura 1.8: Foto con ruido.

El ruido es especialmente molesto en el cielo, las nubes y las paredes lisas de las montañas, en parte por el color que produce rechazo en nuestro cerebro, en parte por ser superficies lisas, sin texturas.

Sin embargo, en la zona de los árboles el ruido resulta casi inapreciable si no fuese por su componente cromática. Tan es así, que si pasamos la imagen a blanco y negro (Figura 1.9), la percepción del ruido en algunas zonas boscosas resulta más que difícil.



Figura 1.9: Foto con ruido en blanco y negro.

En conclusión, el ruido desde el punto de vista fotográfico es una variable artística más que queda sujeta a la valoración particular de cada uno de nosotros.

De hecho, cualquier software de revelado que se precie tiene un menú para añadir ruido artificialmente simulando el grano del ruido químico (potencia, rugosidad y tamaño del grano).

Ese ruido no tiene nada que ver con el ruido que introduce un sensor digital y que es el motivo de este libro: cuantificar en términos objetivos el ruido que introduce el sensor de una cámara digital.

Su uso queda para el libre albedrío del lector. Una cosa es cuánto ruido hay y otra muy distinta cómo afecta perceptualmente a la foto. La siguiente sección es un buen ejemplo de esto.

Capítulo 7

Análisis de cámaras

Es el momento de analizar algunas cámaras.

El objetivo no es tanto realizar comparativas entre sensores o marcas de cámaras, sino el uso práctico de las técnicas explicadas previamente para que cada persona sea capaz de realizar sus propias medidas y así poder emitir juicios razonados sobre las bondades en cuanto al comportamiento frente al ruido de un sensor cualquiera.

Una comparativa tiene sentido cuando se especifican las condiciones en las que se realiza la comparación. Es importante leer la letra pequeña de la comparativa para saber si estás comparando peras con peras o con manzanas y poder interpretar bien los resultados. En el caso de cámaras, en muchas ocasiones no es tarea sencilla, pues, salvo el tiempo de exposición, el resto de parámetros no se encuentran normalizados en términos de cantidad de luz absoluta.

Comprobamos cómo la evolución tecnológica ha conseguido mejorar las prestaciones de las cámaras aumentando su rango dinámico y reduciendo drásticamente el ruido de lectura (unas más que otras).

El límite físico que impone el comportamiento de la luz es la barrera final. Todas las cámaras son iguales si las pones a trabajar en régimen de dominio del ruido fotónico. Es más importante saber optimizar la forma de exponer (conseguir la máxima luz posible) o usar una lente rápida (número f pequeño) que cambiarse de cámara porque el nuevo modelo ofrece medio punto más de rango dinámico.

7.1 Introducción

Durante todo el libro hemos ido exponiendo una serie de conceptos y métodos que nos permiten caracterizar el sensor de una cámara de fotos de forma objetiva en términos de ruido. Básicamente, se resumen en la estimación del ruido de lectura y la ganancia para cada ISO. A partir de estos datos podemos sintetizar las curvas SNR para diferentes ISOs y obtener otras medidas de mérito como el rango dinámico.

Si quisiésemos un modelo más completo de un sensor, sería necesario estimar el ruido de corriente oscura y los patrones de ruido fijo (RUSO y RNUP) tal y como hemos explicado a lo largo del libro.

El propósito del libro está claro: establecer unas magnitudes relacionadas con el ruido que sean mensurables para así poder emitir juicios de manera fundamentada sobre si la cámara A es mejor que la cámara B en cuestiones de ruido.

Pero obtener una estimación correcta estadísticamente significativa de cualquier magnitud no es tarea sencilla. Cualquier artículo científico dispone de un apartado de validación de resultados donde básicamente el objetivo es demostrar que los resultados obtenidos son de fiar.

Este es un libro de carácter didáctico para enseñar los conceptos básicos del ruido, no un repositorio de datos y análisis riguroso de los mismos. Afortunadamente hay en internet dos buenas fuentes de información al respecto (ambas en inglés): DxOMark y Photonstophotos. Tienen perfiles muy diferentes, pero ambas son excelentes.

En el caso del análisis de cámaras, hay dos aspectos a tener en cuenta. El primero es el procedimiento para obtener las medidas. El segundo es el análisis estadístico que se realiza de los datos. Aun consiguiendo un procedimiento estándar de obtención de medidas idéntico para todas las cámaras, lo que implicaría tener controladas variables como la temperatura, la iluminación, equipos de medida calibrados, etc, la parte de análisis no es trivial.

Por ejemplo, supongamos que encontramos en algún sitio que el rango dinámico de la cámara A a ISO 100 es 10 EV. Lo primero que hay que hacer es saber la definición de rango dinámico que están usando.

Lo segundo, y más difícil, es saber cómo han llegado a ese número. Por ejemplo, ¿es el resultado del análisis de una única cámara o se han analizado varias cámaras del mismo tipo?, ¿es el resultado medio de varios experimentos o de

una única prueba?, ¿han sido utilizados todos los datos o se ha realizado algún preprocesado previo de validación de datos? Podríamos seguir así con una larga lista de dudas sobre el procedimiento de análisis seguido para llegar al resultado final.

Dando por supuesto que los resultados son válidos y que tenemos clara la definición de la variable en cuestión (el rango dinámico, por ejemplo), todavía queda lo más difícil desde un punto de vista fotográfico: saber interpretar los resultados y contextualizarlos dentro de tu ecosistema fotográfico.

Un ejemplo sencillo: la cámara A versión II del año 2020 tiene el mismo rango dinámico que la cámara A versión I del 2017. Entonces no me cambio de cámara. Sí, pero el rango dinámico no lo dice todo: ¿cuánto ha aumentado la resolución?, ¿dispara más rápido la versión II?

Otro ejemplo más sofisticado: la versión I tiene medio punto más de rango dinámico a ISO 100 que la versión II. Interpretación: la nueva versión tiene menos rango dinámico según la página web XXX. ¡Vaya decepción!

Lo primero es cierto; lo segundo depende del usuario tipo de la cámara. Por ejemplo, quizás no te hayas dado cuenta que, a partir de ISO 800, es la versión II la que tiene un poco más de rango dinámico que la versión I.

Si la prioridad del fabricante es diseñar una cámara rápida para fotografía deportiva, sabe que la mayoría de las veces el fotógrafo va a usar ISOs altos, así que le da igual si pierde algo de rango dinámico a ISO 100 si consigue mayor rango dinámico a ISOs altos y con un mayor número de fotos por segundo.

Si quieres hacer un paisaje al atardecer con mucho rango dinámico, entonces quédate con la versión I; la versión II no está pensada para fotografía de paisajes. Es importante cuando te compres una cámara que sepas qué tipo de fotos vas a hacer y para qué tipo de fotos está pensada la cámara.

Así que no somos conscientes muchas veces de todo lo que implica una comparativa de cámaras.

Los resultados que muestro en este capítulo han sido obtenidos a partir de fotos realizadas por mí y de algunos colaboradores de fotoigual.com que gentilmente me han mandado sus fotos para analizar. Estos resultados no tienen el mínimo rigor científico que sería aplicable a cualquier estudio científico que se precie. Más allá de los números, lo importante es que adquieras una capacidad crítica para saber interpretarlos. Así, cuando accedas a repositorios de comparativas con datos más fiables podrás sacar tú mismo tus conclusiones.

7.4 Resultados a nivel de píxel

Casi todo lo explicado en el libro a nivel teórico se centra en el análisis a nivel de píxel de un sensor cualquiera. Es decir, cómo obtener el ruido de lectura de un píxel, cuál es su SNR , su rango dinámico, modelo del ruido función del ISO, etc.

Vamos a representar en figuras los valores obtenidos para los píxeles de las distintas cámaras analizadas y cómo interpretarlos. Dichas figuras nos servirán para repasar lo explicado durante el libro y para entender mejor el comportamiento de nuestra cámara.

Es importante recalcar que en esta sección comparamos cámaras a nivel de píxel, no a nivel de fotos. Para un fotógrafo la única comparación de interés es a nivel foto. Es decir, cuando vea dos fotos idénticas tomadas con cámaras diferentes, ¿en qué foto verá menos ruido?

Este análisis lo realizaremos luego, porque ni siquiera resulta trivial ponernos de acuerdo en qué entendemos por dos fotos idénticas cuando estamos usando sensores de diferente tamaño.

7.4.1 Ruido de lectura en unidades RAW

Utilizando el procedimiento explicado en la Sección 3.3, a partir del análisis de fotos negras de cada cámara, obtenemos su ruido de lectura en unidades RAW para cada ISO.

La Figura 7.1 muestra el resultado obtenido para el rango de ISOs de cada cámara con un valor límite de ISO 12800. Observa que los ejes están en escala logarítmica, es decir, aumentar una unidad en cada eje implica multiplicar por dos sus correspondientes valores.

Los círculos representan los valores medidos para cada cámara. La Canon M10 no tiene valores para ISOs intermedios porque no tiene esos ISOs (al menos yo no encontré cómo seleccionarlos).

Algunas cámaras cubren todo el rango de ISOs y otras no; por ejemplo, la Fuji XT-2 comienza con ISO 200 y la Nikon D5100 no pasa de 6400. Algunas cámaras admiten ISOs superiores a 12800 pero aportan poco a la figura.

Casi todas ellas tienen ISOs extendidos por arriba (y algunas por abajo también) que no representamos pues ya vimos que se obtienen a partir de ISOs reales.

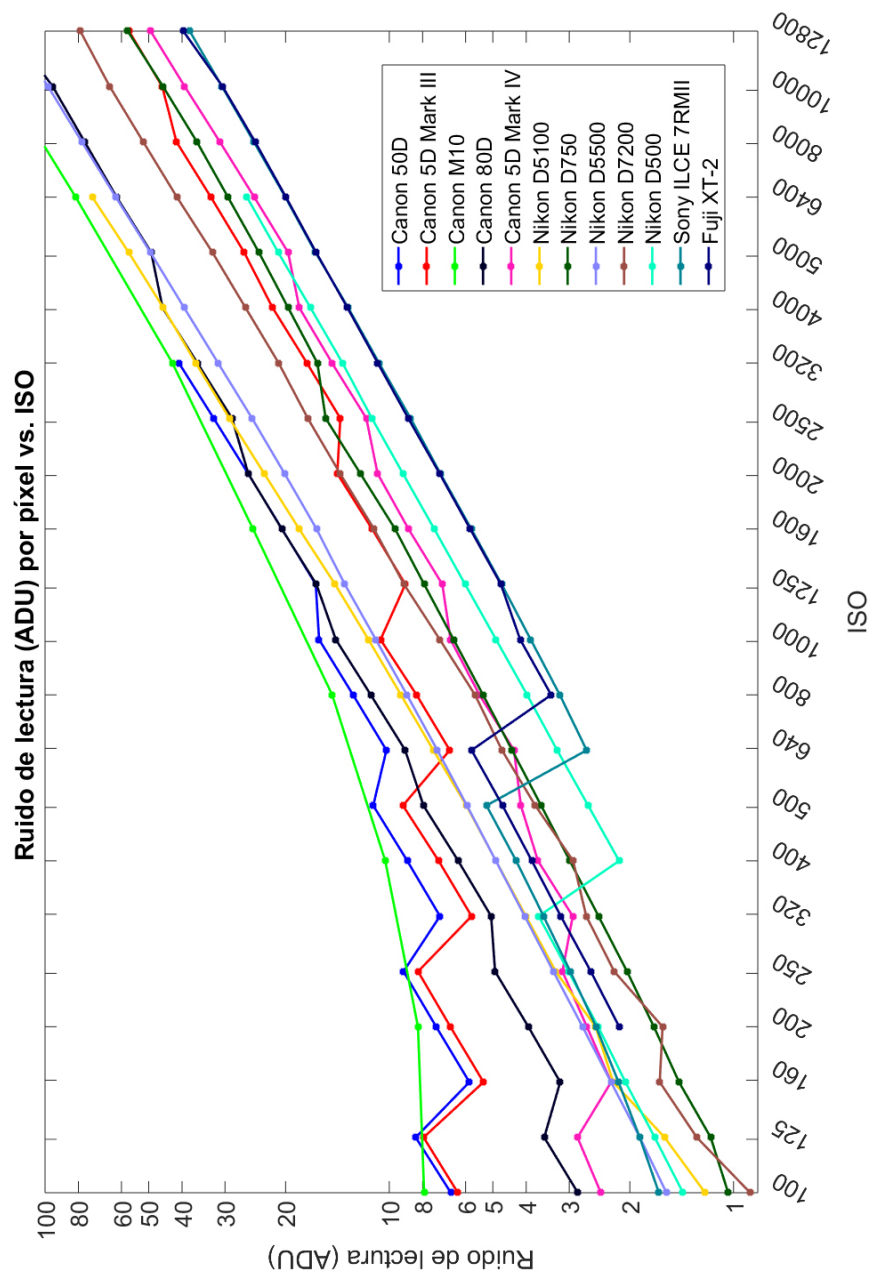


Figura 7.1: Ruido de lectura en unidades RAW vs. ISO.

Interpretación

Cuanto más pequeño el ruido de lectura en unidades RAW, mejor.

Discusión

Recuerda que el ruido de lectura en unidades RAW nos dice el ruido mínimo que va a existir en una foto para un ISO dado. Observa que hay cámaras como la Nikon D750 o la Nikon D7200 que tienen un valor cercano a 1 para ISO 100, y un buen puñado más de cámaras con valores menores a 2 unidades RAW.

El ruido de lectura en unidades RAW no nos dice nada en cuanto a la relación señal a ruido, que es el parámetro que de verdad cuenta a la hora de saber si el ruido se va a ver más o menos.

Puede que una cámara tenga más ruido de lectura que otra en unidades RAW; pero recuerda que al ruido de lectura hay que añadir en potencia el ruido fotónico $\sqrt{G \cdot S}$, con lo que hasta que no conozcas G no puedes hacerte una idea de cuánto se va a ver el ruido para un nivel de brillo dado S .

El ruido de lectura tan sólo tiene relevancia cuando el valor de S es muy pequeño, es decir, en las sombras más profundas de una foto. Pero, aun en ese caso, el valor de G es necesario para poder comparar píxeles de diferentes cámaras.

El ruido de lectura no influye para nada en la SNR de las zonas de la imagen bien expuestas. En esa zona lo único que cuenta es el ruido fotónico y sabemos que $SNR = \sqrt{G \cdot S}$, con lo que, para un mismo valor RAW S (dos píxeles con el mismo brillo), cuanto más grande G , mejor SNR ; dicho de otra forma, cuanto más electrones hagan falta por unidad RAW, mejor SNR para un mismo S .

Por eso un sensor de tamaño más grande es mejor, pues puede captar más luz (a igualdad de tecnología). Observa en la Tabla 7.1 cómo el valor de k de los sensores full frame es superior al de los APS-C.

Recuerda que, cada vez que multiplicas por dos el ISO (doblas G), el ruido de lectura previo se multiplica por dos. Así que, como mínimo, el ruido de lectura debe doblarse cada vez que doblamos el ISO. Pero además hay que añadir el ruido de lectura posterior que añade el conversor analógico digital ADC y su circuitería.

Como vimos en la teoría, aunque este ruido sea alto, a medida que subimos el ISO queda enmascarado por el ruido previo amplificado. Por eso todas las curvas para ISOs altos son rectas más o menos paralelas.

El ISO a partir del cual se produce este comportamiento marca el ISO a partir del cual la cámara es invariante al ISO: da igual que el ajuste de “exposición” o brillo lo hagas en la cámara que con el ordenador.

Teniendo en cuenta estas explicaciones y a la vista de las diferentes curvas de la Figura 7.1, podemos identificar tres tipos de tecnologías.

Unas cámaras (las Canon) tan sólo son invariantes al ISO a partir de un ISO alto. Esto significa que la tecnología de Canon no ha conseguido reducir el ruido posterior al amplificador a valores despreciables frente al ruido previo (el generado propiamente en la lectura del sensor).

Sus mejoras con los años son evidentes (compara la 50D con la 80D separadas 8 años o la 5DMIII con la 5DMIV separadas 4 años) y verás cómo el ruido de lectura ha disminuido significativamente, pero siguen estando lejos de ser invariantes a ISOs bajos (el ruido de lectura a ISO 100 es parecido al de ISO 200 incluso para los modelos más recientes).

Esto significa que, aun aumentando la ganancia del amplificador al doble al pasar de ISO 100 a ISO 200, el ruido apenas crece, con lo que el ruido de lectura previo no es el factor limitante para los sensores Canon a ISOs bajos.

Dicho de otra forma, todavía queda recorrido para mejorar en la reducción del ruido posterior, aunque es evidente que el diseño de los sensores Canon tiene algo que imposibilita conseguir este objetivo (¿dificultades para integrar el ADC en el mismo píxel?).

El precio a pagar por ese ruido extra añadido a ISOs bajos respecto a otras marcas va a ser la pérdida de rango dinámico a ISOs bajos.

En cualquier caso, aun habiendo margen de mejora, ese margen cada vez es más estrecho, con lo que es cuestión de tiempo que otras fuentes de ruido como el ruido térmico (aun para tiempos de exposición no muy largos) comiencen a marcar los límites prácticos fotográficos.

Cuando todas las cámaras comerciales consigan ruidos de lectura del orden de 1 unidad RAW a ISO 100, también será el momento de empezar a plantearse cámaras de 16 bits, con el reto tecnológico consiguiente (no tanto la parte técnica como la parte comercial, es decir, que se conviertan en el estándar a nivel consumidor medio).

Al igual que vimos con la percepción del ruido, a partir de cierto número absoluto deja de tener sentido fotográfico que un sensor tenga más o menos ruido de lectura (piensa siempre en términos de *SNR*, nunca en ruido).

Pasar de una 5DMIII a una 5DMIV (sólo hablando de ruido) supone reducir el ruido de lectura de 6.3 a 2.4 unidades RAW a ISO 100, menos de la mitad; eso sí es un cambio significativo en términos relativos y absolutos.

Pero la mitad de nada es nada; así que hay que tener cuidado con valoraciones como “esta cámara es mucho mejor porque tiene la mitad de ruido de lectura”.

Pasar de ganar cero euros a 1 euro es un incremento del infinito por ciento, pero no creo que puedas comer con ese sueldo; comprar el nuevo yogurt con un 100 % más en fibra puede ser pasar de prácticamente nada a casi nada de fibra; no te están mintiendo, simplemente están jugando con el lenguaje (da igual si de buena o mala fe).

Como siempre, utiliza tu cerebro para sacar tus propias conclusiones (creo que fue Einstein el que dijo eso de “La mente es como un paracaídas: sólo funciona si la tenemos abierta”).

Las Canon también se caracterizan por usar ISOs interpolados, como se observa en sus dientes de sierra para ISOs bajos (ver Sección 6.2).

La segunda tecnología corresponde a las cámaras que son invariantes al ISO para cualquier ISO (ver Sección 6.3).

Utilizamos el término invariante al ISO de manera laxa, es decir, basta con que la curva sea aproximadamente una recta de pendiente 1 para cualquier ISO, dejando un cierto margen de variación en la pendiente de la recta (no hace falta que sea exactamente 1 y además puede sufrir pequeñas variaciones según el ISO, sobre todo a ISOs bajos).

Decir que el sensor A es invariante al ISO y el sensor B no es invariante al ISO no es lo mismo que decir que el sensor A es mejor que el sensor B, ni siquiera es lo mismo que decir que el sensor A tiene menos ruido de lectura que el sensor B.

Observa cómo algunas cámaras de Canon tienen menos ruido de lectura para ciertos ISOs que otras cámaras invariantes al ISO (el objetivo de esta frase no es comparar sensores porque habría que tener en cuenta otros factores como el tamaño del píxel o el sensor en la comparativa, sino resaltar que ser invariante al ISO es una propiedad, no necesariamente un sinónimo de mejor).

La tercera tecnología que se reconoce en la figura es la de sensores invariantes al ISO de ganancia dual (ver Sección 6.4). Dichas cámaras son la Sony 7RMII, la Nikon D500 y la Fuji XT-2.

En dichos sensores, a un ISO dado, el ruido de lectura baja drásticamente. Para cada intervalo de ISOs, el sensor se comporta de manera invariante al ISO. La diferencia está en el valor de ISO donde conmutan de ganancia.

Observa que invarianza y ganancia dual son propiedades diferentes: un sensor puede ser de ganancia dual y no ser invariante al ISO. Pero, casualmente, para las tres cámaras que hemos encontrado que usan la tecnología de ganancia dual, hemos comprobado que también son invariantes al ISO.

Independientemente de la tecnología usada, para ISOs más altos, donde el ruido previo es el que cuenta, los comportamientos son similares entre todas las tecnologías.

Estas figuras ocultan múltiples riesgos en sus interpretaciones (aun suponiendo que las medidas fuesen perfectas, con todas las cámaras a la misma temperatura, realizando un análisis estadístico riguroso con validaciones cruzadas, midiendo intervalos de confianza, ...). Por ejemplo, ¿y si el ruido de lectura baja porque el sensor realiza algún tipo de procesamiento de señal antes de guardar el fichero RAW?

Pensemos en un fabricante que sabe que a ISOs muy altos el ruido de lectura es muy elevado. Decide que, en vez de guardar el valor tal cual, va a filtrar la señal previamente y va a aplicar un filtro paso bajo para reducir el ruido.

El efecto es que para ISOs muy altos el ruido de lectura no crece tanto como debería. Esto es una ventaja si ese filtrado no afecta a la parte de señal, es decir si la señal no varía muy rápidamente (un píxel es parecido al de al lado).

No hay forma de averiguarlo a priori. Se puede intuir este comportamiento haciendo un análisis en frecuencia y viendo que la potencia del ruido no se reparte por igual en todas las frecuencias a partir de cierto ISO. O simplemente viendo que el ruido de lectura no crece al ritmo debido.

En otros casos puede que el mecanismo se active en función del tiempo de exposición de la foto. Por ejemplo, el fabricante sabe que, para fotos que superen cierto tiempo de exposición, el ruido de corriente oscura puede ser un problema. Para reducir su efecto, tiene un mecanismo de reducción de ruido que se activa sólo para fotos que superen dicho tiempo.