

Apuntes de
Fotografía

CapturaRaw
Gamma
Lineal
Exposición

Daniel Sosa

Captura Raw, Gamma lineal y Exposición

El concepto de Respuesta

Tal vez la mayor diferencia entre la fotografía con película y la digital es el modo en que cada medio (la película por un lado y el sensor por el otro) responde frente a la luz. La película responde de una forma muy similar al ojo humano mientras que el sensor lo hace de una manera lineal.

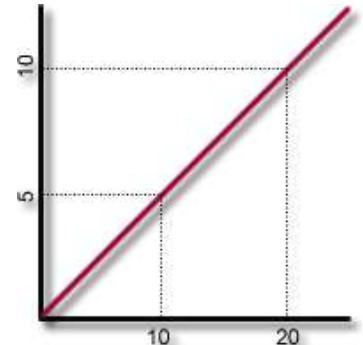
Antes de continuar desarrollando las cuestiones que esto implica deberíamos comprender con claridad qué se entiende por respuesta. Para no ingresar en el tema del funcionamiento del ojo, lo que nos alejaría mucho de nuestro tema, hablaremos de respuesta de sensores. El sensor recibe una señal de entrada (suponemos que es intensidad luminosa pero para el caso podría ser cualquier otra, como audio, temperatura, etc.) y entrega una señal de salida, usualmente es una señal eléctrica que luego, en los sistemas digitales, es convertida a un valor numérico, el valor de salida depende de la cantidad de luz recibida.



Si registramos los valores de entrada y los correspondientes valores de salida y los graficamos en un par de ejes obtendremos una curva de respuesta o, simplemente, la respuesta.

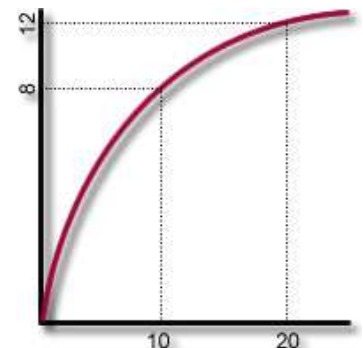
La Respuesta Lineal

La forma más simple de respuesta es la respuesta lineal, en ella se observa que el valor de salida se modifica proporcionalmente al cambiar el valor de entrada, esto significa que si el valor de entrada se duplica el valor de salida se duplica, si la entrada se reduce a la mitad la salida también se reduce a la mitad. La gráfica de una respuesta lineal es una línea recta. La figura de la derecha muestra un ejemplo, los valores que se muestran no indican nada en particular y son solo para mostrar cómo se duplica la salida al duplicarse la entrada.



La respuesta Alineal

En este caso no se mantiene la proporcionalidad y como consecuencia la gráfica es algún tipo de curva. La figura de la derecha muestra un ejemplo, se observa que al duplicar la entrada (de 10 a 20) la salida aumenta solo en un 50% (de 8 a 12), si la respuesta hubiera sido lineal la salida debería haber aumentado hasta 16. Dependiendo del sensor la curva puede tener diferente forma e inclusive puede ocurrir que el valor de salida disminuya a medida que aumenta el valor de la entrada.



Rango dinámico

En este punto deberíamos asegurarnos de comprender el concepto de rango dinámico, diremos aquí que es, básicamente, la capacidad del sensor en capturar la información desde las sombras hasta las luces, se lo indica habitualmente en el número de diafragmas (o pasos) que es capaz de registrar desde las sombras más profundas hasta las altas

luzes, en una cámara digital de gama media es de 5 a 6 diafragmas y en una cámara de gama alta puede alcanzar 8 ó 9 diafragmas mientras que el ojo humano puede tener hasta 24 pasos. En las representaciones gráficas de la respuesta lo habitual es que los valores de entrada sean registrados dentro del rango dinámico del sensor.

La respuesta del sensor de la cámara y la respuesta del ojo

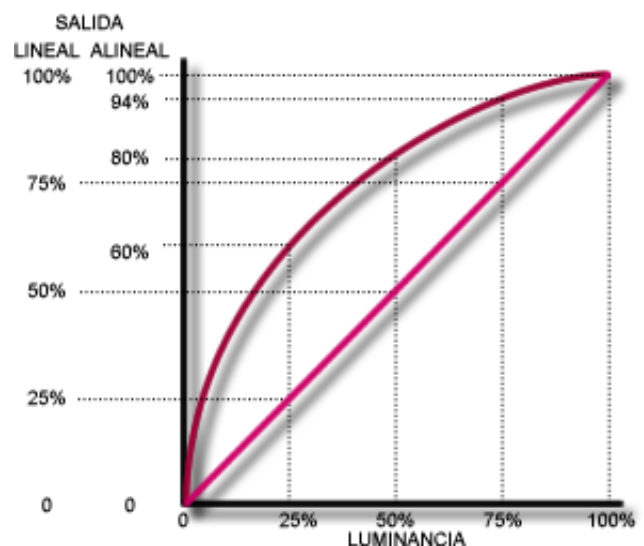
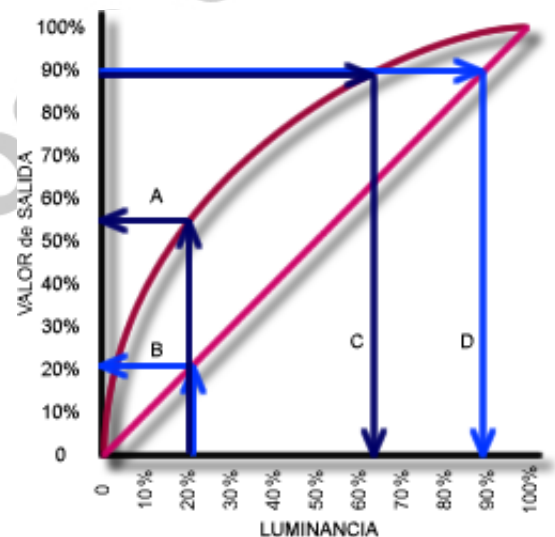
Ya hemos dicho que la respuesta del sensor de la cámara es lineal, ello significa que cuando se aumenta la intensidad de la luz recibida (la cantidad de fotones, la luminancia) el valor entregado por el sensor aumenta en la misma proporción.

Sin embargo el ojo humano y la película fotográfica tienen una respuesta que es alineal, de manera que, si una escena que estamos observando de pronto aumenta su brillo al doble, la veremos más brillante pero no el doble de brillante. Imaginémosnos que la diferencia de iluminación entre un ambiente en penumbra y un exterior a pleno sol puede ser de 10000 veces o más, si la respuesta de nuestro ojo fuera lineal el estímulo que recibiría nuestro sistema al pasar de la penumbra al pleno sol aumentaría en 10000 veces pero no es así. En otras palabras, esto significa que el ojo humano puede captar con mayor facilidad las variaciones de iluminación en las sombras que las mismas variaciones en las altas luces.

La gráfica de la derecha muestra una comparación entre una respuesta lineal y una respuesta alineal similar a la del ojo humano, para simplificar se han hecho coincidir ambas respuestas por sus extremos (lo cual no necesariamente es así), el eje horizontal corresponde a la intensidad luminosa y abarca todo el rango dinámico y el eje vertical indica los valores de salida (pueden ser valores eléctricos, números binarios, o algún otro).

Las líneas A y B nos dicen que para una intensidad de entrada del 20% del rango el sensor lineal (B) indica, como era de esperar, el 20% mientras que el alineal marca aproximadamente un 55%. Las líneas C y D nos muestran que valores de entrada deberíamos tener para obtener un determinado valor de salida (en este caso el 90%), el sensor lineal debería recibir una señal del 90% del rango mientras que para el alineal es suficiente con poco más del 60%.

La siguiente figura nos ofrece una mirada más detallada de esta comparación, observemos que en el primer 25% del rango de entrada (las sombras), el sensor lineal incrementa su salida en un 25% mientras que el alineal la incrementa en el 60%, esto indica que el segundo es más sensible, sin embargo en la última parte del rango (las altas luces) el mismo incremento del 25% en la entrada, aunque sigue produciendo el 25% en la sali-

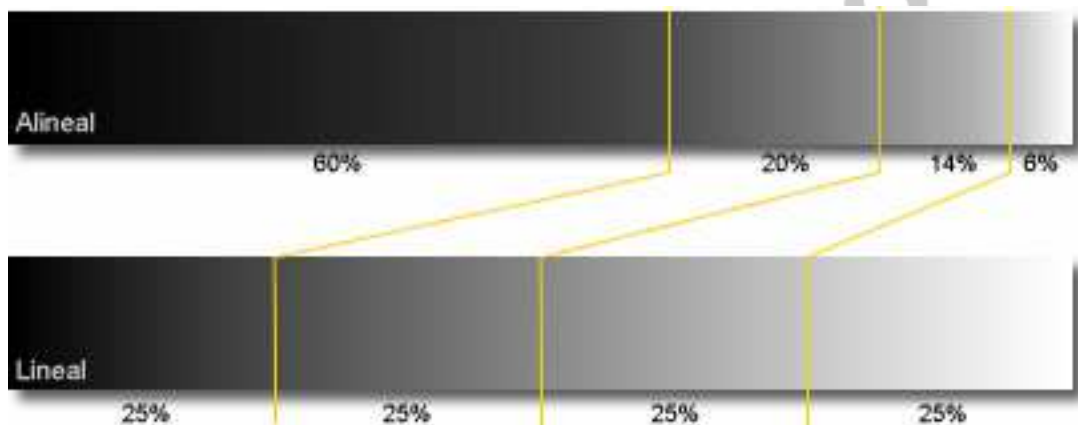


da del sensor lineal, produce solo un 6% de incremento en la salida del alineal, lo que indica que, en esa zona del rango dinámico el sensor alineal tiene menos sensibilidad que el lineal y mucha menos sensibilidad que en las sombras.

La siguiente figura muestra la anterior comparación como dos bandas degradadas desde el negro (luminancia mínima) hasta el blanco (luminancia máxima), en una de ellas los grises se distribuyen de forma lineal y en la otra de forma alineal.

En la banda lineal la diferencia de luminancia mínima y máxima en el primer sector, que abarca el 25%, es la misma diferencia que aparece entre los extremos del segundo sector y también del tercero y del cuarto, esto es consecuencia de la linealidad, es decir que diferencias iguales en luminancia abarcan zonas iguales en la gráfica.

Pero, cuando estas diferencias se trasladan a la banda alineal (las líneas amarillas marcan zonas de igual luminancia) se observa que si bien son las mismas diferencias que antes, no son iguales los anchos de los sectores correspondientes, la porción más oscura abarca el 60% de la banda mientras la más luminosa solo abarca el 6%.



Si bien estos números son solo aproximados y corresponden a una respuesta que no necesariamente es la del ojo, nos permiten establecer que si se dejaran las imágenes tal como las adquiere el sensor, sin contemplar la alinealidad del ojo, estaríamos dedicando muchos bits (demasiado ancho de banda o excesiva información) a los valores más brillantes de la imagen que el ser humano no es capaz de diferenciar, y pocos bits (poco ancho de banda o escasa información) a valores más oscuros a los que es más sensible y que requieren más bits para la misma calidad visual.

La curva de respuesta del ojo humano tiene el nombre de 'curva gamma', la corrección gamma es una de las tareas que realiza la cámara fotográfica digital luego de la captura, con la finalidad de aproximar la respuesta a la del ojo y optimizar así el uso de la información obtenida.

La 'visión' del sensor

El hecho de que la cámara realice la corrección del gamma implica que usualmente no vemos las imágenes como las ve el sensor, entonces, ¿cómo ve las imágenes el sensor de la cámara?

Por lo que hemos visto hasta ahora, una intensidad luminosa que produce cierto valor de salida en el sensor alineal (por ejemplo el ojo), producirá un valor de salida menor en el sensor lineal, si en una determinada imagen disminuimos el valor de luminancia de cada píxel obtenemos una imagen más oscura, esto es precisamente lo que ocurre, la imagen 'cruda' entregada por el sensor de la cámara es más oscura que la que observamos con nuestros ojos y solo se convierte en algo similar a lo que estamos viendo luego que la cámara realiza la corrección gamma.

Debe quedar en claro que además de efectuar esta corrección para que la imagen se vea de la misma manera que la percibimos con los ojos, se busca aprovechar mejor la información obtenida dedicando más rango de la resolución de nuestra cámara a aquella parte del rango dinámico que apreciamos mejor, esto es, las sombras.

Para comprender esto pongámoslo en números, supongamos que nuestra cámara tiene una resolución de 16 bits, esto significa que abarcamos desde el número binario 0000 0000 0000 0000 para el valor más oscuro que detecte el sensor, hasta el número 1111 1111 1111 1111 para las luces más altas. Eso abarca un rango de aproximadamente 64000 valores, sin la corrección gamma estaríamos destinando $\frac{1}{4}$ de estos valores (unos 16000) a las sombras e igual cantidad a las luces, pero al efectuar la corrección, la cámara está dedicando unos 38000 valores a las sombras (allí donde nuestro ojo es capaz de percibir mejor los detalles) y solo unos 3800 a las luces (donde, de tener más detalles no seríamos capaces de detectarlos).

Efecto de la corrección gamma sobre los datos

Sin embargo, el hecho de efectuar la corrección gamma debe tener un costo, al fin y al cabo estamos manipulando los datos entregados por el sensor y esto no necesariamente significa que el resultado obtenido es mejor que el original.

Recordemos que el hecho de tomar la fotografía implica, entre otras cosas, el deseo de capturar la información de la imagen de manera tan fiel como sea posible (ese es, al fin y al cabo, el motivo fundamental por el cual capturamos en raw), independientemente de que luego, al procesar la fotografía, alteremos esos datos a propósito.

Supongamos que contamos con un sensor con una resolución de 8 bits (no es mucho pero es suficiente para nuestro análisis), este sensor nos entregará valores enteros entre 0 y 255 (por simplicidad se convierten los números binarios que entrega el sensor a sus decimales equivalentes), a cada uno de estos valores le aplicamos la corrección gamma y volcamos los resultados en una tabla, efectuamos el análisis con un valor de $\gamma = 0,45$ el que, según los textos, es similar al del ojo humano.

La primera y la última parte de la tabla se muestran a la derecha, observemos lo que ocurre, cuando la entrada vale 1 el valor convertido es 21, esto significa que todos los valores entre 1 y 20 se han perdido, el valor 2 se convierte en 28, o sea que se han perdido los valores hasta el 27, lo mismo se observa con el resto de los datos en esa zona de la tabla esto significa que los valores de luminancia asociados a esos números no existen en la corrección gamma, en el extremo superior se observa, por otra parte que algunos valores empiezan a aparecer repetidos lo que es razonable pues de alguna manera deben compensarse los datos faltantes en el extremo inferior. A modo de cierre de esta parte: ¿podemos recuperar el dato original a partir del dato convertido?, si aplicamos el proceso inverso a los datos calculados con la corrección gamma observaremos que eso no es posible, de hecho resulta evidente a partir de la simple ob-

Entrada	Salida ($\gamma=0,45$)
0	0
1	21
2	28
3	34
4	39
5	43
6	47
7	50
8	53
9	56
10	59
245	250
246	250
247	251
248	251
249	252
250	252
251	253
252	253
253	254
254	254
255	255

servación de la tabla, consideremos por ejemplo los valores de entrada 245 y 246, ambos dan como salida 250 por lo tanto es impensable que se puedan recuperar ambos valores de entrada a partir de un mismo dato. Obviamente, las diferencias que surgen de este análisis no resultan ser críticas pues este tipo de conversión es utilizado en todas las cámaras fotográficas en la actualidad, puede comprobarse que el error relativo cometido (esto es la mayor diferencia en relación al valor máximo) disminuye a medida que aumenta la resolución del sensor, con 14 bits es del orden del 1,2%, con 15 bits es del 0,98% y con 16 bits del 0,68%, valores que resultan ser aceptablemente pequeños. La capacidad del ojo para detectar esta diferencia se denomina 'umbral diferencial' y su análisis escapa al alcance de este texto.

Exposición y captura

Todo lo que se ha explicado hasta ahora tiene consecuencias sobre la forma en que debería exponerse al momento de tomar una fotografía.

Partamos de la base de que una correcta exposición es aquella que captura todos los detalles en todo el rango dinámico de la imagen, sin presentar zonas quemadas en las altas luces ni regiones empastadas en las sombras (tal vez no sea la mejor definición pero es aceptable a efectos del análisis que se pretende realizar), una exposición tal presentará un histograma que abarca desde las sombras hasta las altas luces sin estar exageradamente desplazado hacia ninguno de los dos de los extremos, un histograma de estas características nos dice que en la captura están presentes todos los valores de



luminancia que puede detectar el sensor.

Cuando el histograma está desplazado hacia alguno de los extremos sabemos que no están presentes o bien los valores más oscuros o bien los más claros. Esto no necesariamente podría indicar que la fotografía está mal expuesta ya que es posible que el rango dinámico de la imagen sea menor que el de nuestro



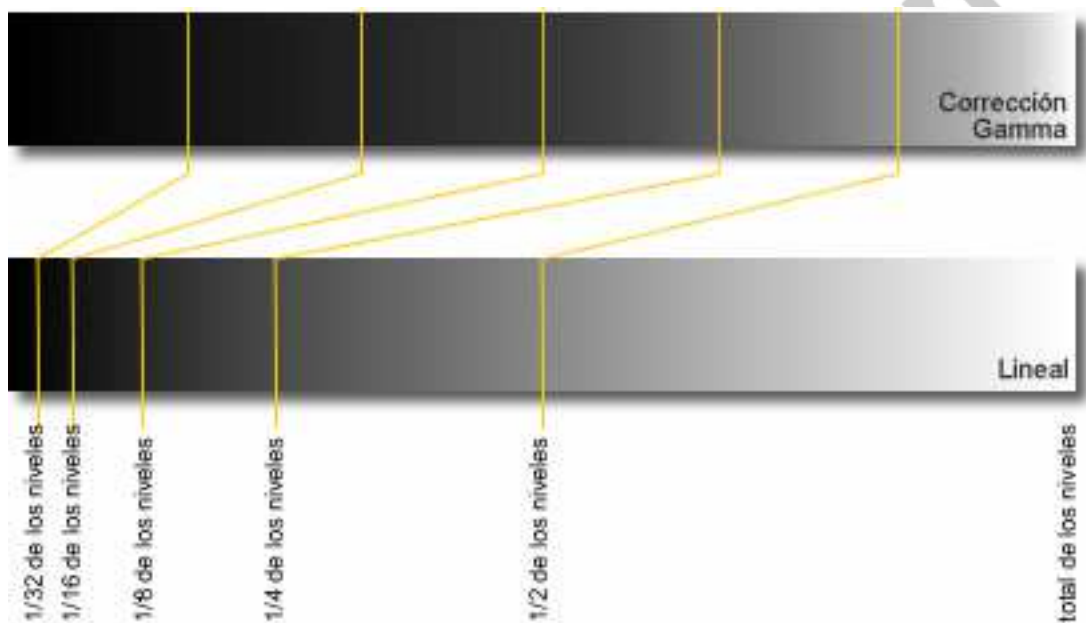
sensor, en esos casos tendríamos imágenes con una baja gama tonal y poco contraste, podría ser oscura o clara pero en todo caso no habría blancos quemados ni negros empastados.

El punto más crítico en relación con la exposición se presenta cuando la diferencia entre las luces y las sombras en la imagen excede el rango dinámico del sensor, en esta situación nos veremos en el compromiso de decidir cuál será el extremo que deseamos exponer correctamente, podríamos decidir exponer bien las sombras, dejando que las altas luces se quemen o, por el contrario, exponer correctamente las altas luces y obtener sombras empastadas, en todo caso, en alguno de los extremos nos quedaremos sin detalles, la cuestión está en saber cuál es la situación con menor pérdida de información.



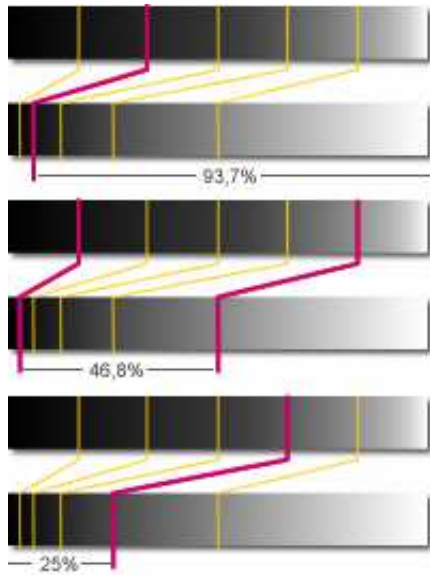
Posiblemente, lo primero que la mayoría tendería a hacer es subexponer la imagen para evitar quemar las altas luces, esta práctica, que fue adecuada en la época en que se utilizaba película, en la que el medio tenía una curva de respuesta similar a la del ojo humano, no es adecuada en el caso del sensor que tiene un respuesta lineal y su consecuencia más inmediata es la pérdida de información más el riesgo de introducir ruido en los medios tonos y en las sombras.

¿Por qué ocurre esto? Observemos nuevamente las gráficas de la banda de grises con la distribución lineal y la corregida, ahora hemos dividido la escala lineal en términos de 'niveles' binarios, recordemos que en numeración binaria, cada vez que se agrega un bit se duplica la cantidad de números que se puede representar, también recordemos que en nuestra cámara, cada vez que reducimos un paso o un diafragma la exposición reducimos a la mitad la cantidad de luz que ingresa y por lo tanto se reduce a la mitad el valor que entrega el sensor.



Pongamos esto en números para comprenderlo mejor: supongamos que nuestro sensor tiene una resolución de 16 bits y el fotómetro nos indica que usando 250/16 los blancos estarán justo al borde de reventarse, esto es, los puntos más luminosos de la escena se corresponderían con un valor binario máximo: 1111 1111 1111 1111 (65535), ahora decidimos que queremos subexponer un punto y aumentamos la velocidad a 500, por lo tanto desde aquellos puntos que antes casi reventaban la imagen ahora el sensor recibirá la mitad de luz, es decir que entregara 0111 1111 1111 1111 (32767), esto significa que estamos desperdiciando la mitad de los valores que es capaz de entregar el sensor ya que 15 bits serían suficientes para representar todos los valores disponibles. Siguiendo con el razonamiento, si volvemos a reducir un paso, por ejemplo aumentando la velocidad a 1000, nuevamente se reducirá a la mitad el valor correspondiente a la máxima luminosidad que estamos viendo y el sensor nos entregará la mitad de valor anterior, es decir: 0011 1111 1111 1111 (16383), o sea que al reducir dos pasos la exposición hemos reducido al 25% la cantidad de bits útiles de los entregados por el sensor, cada punto que reducimos la exposición (o bien hemos desperdiciado el 75% de nuestras posibilidades de capturar información).

Para terminar este análisis, supongamos que estamos fotografiando una escena que tiene un rango dinámico de 4 pasos y nuestro sensor tiene 6 pasos, la figura de que sigue muestra tres casos posibles en relación con la exposición, en el primero hemos elegido



exponer de manera que los puntos más luminosos de la imagen aparezcan casi reventados, y se han marcado los 4 pasos que abarca la escena, como se ve, se utiliza el 93,7% de la capacidad del sensor, en el segundo caso hemos reducido un paso la exposición, nuestra imagen será un poco más oscura y el uso del sensor se ha reducido al 46,8% de sus posibilidades, por último hemos reducido un paso más la exposición llegando al extremo inferior del sensor (si lo redujéramos más se empastarían los negros) en este caso solo se utiliza el 25% de la capacidad del sensor. Debe quedar en claro que en los tres casos la exposición es la correcta, no hay blancos reventados ni negros empastados, sin embargo se presenta una diferencia en la cantidad de información obtenida que surge de la capacidad del sensor utilizada en cada caso.

Si a esto le agregamos la corrección de gamma, que como hemos visto en anteriormente modifica los datos e introduce un error en la zona de las sombras, queda claro que, dentro de lo posible, es preferible evitar las bajas luces en el momento de la captura.

La idea entonces es exponer casi hasta el punto de reventar los blancos pero sin llegar a hacerlo, esto suele denominarse 'exponer a la derecha' por la ubicación del histograma. Es importante tener en cuenta además que el fotómetro integrado de la cámara, que es el que seguramente utilizaremos en la mayoría de las oportunidades, está calibrado asumiendo que la zona medida tienen un nivel de luminancia correspondiente a un gris medio lo que significa que nos indicará una exposición para lograr ese nivel.

Entonces, supongamos que deseamos exponer de manera que las altas luces estén al límite, configuramos nuestra cámara para que efectúe una lectura puntual y ubicamos el punto de enfoque en la zona que consideramos la más luminosa de la escena de allí obtendremos el valor de apertura y velocidad adecuados para ese punto, cuando veamos la imagen, ese punto que habíamos elegido como blanco debería verse más o menos gris (porque el fotómetro de la cámara supone que ese punto es gris y se ajusta para que así sea), esto nos dice que, al menos cuando efectuamos una medición en forma puntual, todavía nos queda margen para sobreexponer un poco la escena y aún así no quemar los blancos. Cuánto sobreexponer es algo que debe experimentar cada uno con su propia cámara pero hay quienes sugieren que es posible hacerlo hasta 2 puntos de lo indicado por el exposímetro.

Debe tenerse cuidado al consultar el histograma que presenta la cámara así como la vista previa de la imagen que se ha capturado pues ambos corresponden al formato jpeg, no al raw, y además de la corrección gamma suelen estar afectados por algún proceso posterior que altera el aspecto de la imagen y por lo tanto es posible que tiendan a mostrar la imagen más clara de lo que es y blancos reventados cuando en realidad no lo están.

Referencia Bibliográfica: Raw Capture, Linear Gamma and Exposure - Adobe.com
(http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/linear_gamma.pdf)