

Fotografía IR con Cámaras Digitales. Aplicación a la Conservación-Restauración

David Gómez Lozano*

La aplicación de la fotografía infrarroja como método de documentación de obras de arte cobra un nuevo impulso con el desarrollo de la fotografía digital. La posibilidad de lograr resultados satisfactorios con cámaras digitales de bajo coste constituye un aliciente añadido para emplear esta tecnología, incluso como alternativa a la reflectografía IR.

Palabras clave: IR, infrarrojo, fotografía digital, reflectografía IR, hot mirror.

IR DIGITAL PHOTOGRAPHY IN ART CONSERVATION

The application of infrared photography as a way of documenting works of art is taking on new impetus in the development of digital photography. The possibility of acquiring satisfactory results with relatively low cost cameras are some of the incentives to apply this technology, even as an alternative to IR reflectography.

Key words: IR, infrared, digital photography, IR reflectography, hot mirror.

* Licenciado en Ciencias de la Información. Profesor de la E.S.C.R.B.C. de Madrid.

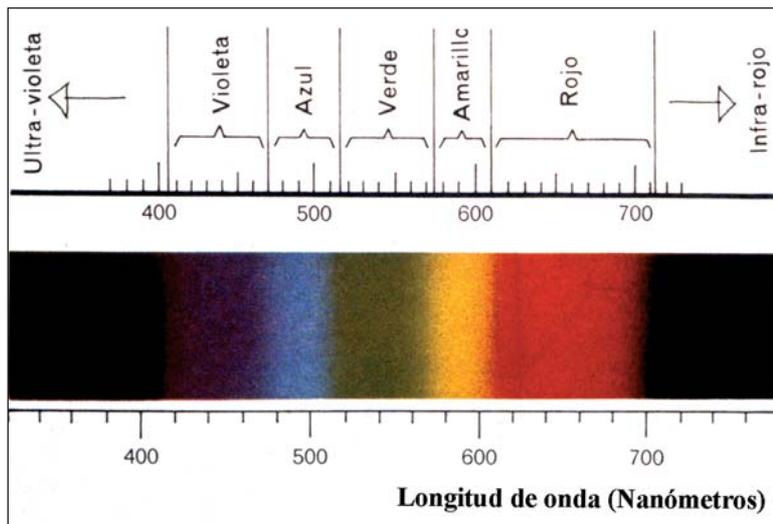
Recibido: 28/12/05
Aceptado: 16/01/06

Introducción. La visión humana y sus límites

La ensoñación del hombre por ver más allá de lo que sus ojos desnudos le muestran nos ha acompañado desde antiguo. La invención de la lupa o el telescopio dan fe de la continua búsqueda por traspasar los límites de lo visible.

Desde Newton sabemos que la luz blanca puede descomponerse en distintos colores, y que éstos siempre quedan ordenados de igual forma: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Llamamos a esto *espectro visible* y sabemos que el orden en que se nos muestran los colores se debe a la distinta longitud de las ondas asociadas a cada uno de ellos. Las longitudes de onda más cortas generan en nuestra retina (y luego, en el cerebro) la sensación del violeta y las longitudes de onda más largas, la sensación del rojo. Longitudes de onda mayores que las asociadas al rojo o menores que las asociadas al violeta resultan invisibles a nuestros ojos.

El tránsito entre los siglos XVIII y XIX coincide con el descubrimiento de ciertas radiaciones electromagnéticas que no son percibidas por nuestro sentido de la vista, y que se encuentran exactamente en el límite, a ambos lados, del espectro visible. Desde entonces, llamamos *ultravioleta* (o *UV*) a las radiaciones invisibles situadas *más acá* del límite del violeta. Y llamamos *infrarrojo* (o *IR*) a las situadas *más allá* de donde se encuentra el límite del rojo.



Espectro visible y sus límites UV e IR.

La reproducción fotográfica de los colores y sus límites

Como es sabido, los primeros materiales fotográficos no eran sensibles a todos los colores. Originalmente, tanto el calotipo como el daguerrotipo eran capaces de captar únicamente las radiaciones visibles correspondientes al violeta y al azul, además de una buena parte de la región ultravioleta. Y es precisamente esto último lo que lleva al mismísimo William Henry Fox Talbot, uno de los padres de la Fotografía, a elucubrar sobre las posibilidades

que el nuevo medio abría al estudio de otras realidades distintas a la que nos es visible¹. Según Fox Talbot, la especial sensibilidad del papel emulsionado con sales de plata permitirá superar las limitaciones de la visión humana a la hora de percibir radiaciones invisibles².

Pasaron los años y la sensibilidad espectral del material fotográfico fue extendiéndose hacia longitudes de onda cada vez mayores. A principios del siglo XX, era ya posible la fabricación de emulsiones fotográficas cuya sensibilidad a la luz visible fuera similar a la del ojo humano. El siguiente paso sería lograr que la sensibilidad del material fotográfico llegara más allá que la del hombre, superando la barrera del rojo y adentrándose en la región del infrarrojo cercano.

La fotografía IR en la práctica

La fotografía infrarroja surgió en el primer tercio del siglo XX como herramienta al servicio de otras disciplinas, principalmente la aeronáutica militar. Su evolución tecnológica coincide con los conflictos bélicos que asolaron el planeta durante el pasado siglo. Entre 1940 y 1970 fueron numerosos y dispares los campos de aplicación para este tipo de emulsiones: medicina, ecología, criminología, astronomía, etcétera. También el mundo del arte adoptó la fotografía IR, unas veces como medio de expresión artística y otras como medio de documentación alternativo a la fotografía tradicional. En este segundo ámbito de aplicación, la fotografía IR constituía una valiosa y casi mágica herramienta. La reproducción de un lienzo con película IR brinda a menudo información oculta tras un barniz o una capa de pigmento. Cualquier repinte o añadido podía quedar al descubierto con ayuda de esta técnica³.

En las últimas décadas, el uso de este tipo de emulsiones ha ido reduciéndose de forma exponencial. Las causas son diversas y entre ellas cabe citar las dificultades de suministro de las (escasas) emulsiones fotográficas IR disponibles, así como los problemas de manipulación inherentes a su especial naturaleza.

En el campo de la documentación de obras de arte, el desarrollo de la reflectografía infrarroja supuso sin duda el golpe de gracia al empleo de la fotografía IR. Basada en el empleo de sistemas de captación de video sensibles a las radiaciones infrarrojas, la reflectografía IR permite monitorizar de modo instantáneo la imagen debida a ciertas radiaciones infrarrojas. Bien es cierto que la fotografía IR y la reflectografía IR no cubren las mismas porciones del espectro IR⁴, pero eso no pareció importar demasiado a la hora de sustituir una tecnología por otra. La inspección de obras de arte mediante reflectógrafo permite desestimar de inmediato la reproducción fotográfica de todas aquellas cuya imagen infrarroja no aporte novedades de interés, lo que conlleva un enorme ahorro en tiempo y material fungible. Curiosamente, el elevado coste de los equipos de reflectografía IR no supuso un obstáculo a su adquisición, al menos para las principales instituciones museísticas y empresas dedicadas a la restauración de obras

1 William Henry Fox Talbot, *The Pencil of Nature, plate VII*, citado por Armstrong (1998), pág. 127.
 2 Concretamente, Talbot se refiere en su escrito a la posibilidad de registrar fotográficamente la porción UV del espectro, pues ha comprobado la elevada sensibilidad del papel salado a estas radiaciones invisibles.
 3 Eastman Kodak Company (1987) incluye varios ejemplos de este uso de la fotografía IR. Entre ellos, las fotografías de *La Fragua de Vulcano* tomadas por A. Davidhazy en el Museo del Prado, que muestran la primitiva composición de la obra, diferente a la que hoy podemos admirar.
 4 Las emulsiones IR presentan su máxima sensibilidad en el extremo inferior del espectro IR, hacia los 700-850nm, mientras que los captadores instalados en los reflectógrafos tienen para radiaciones más largas, en torno a los 1000-1200nm.
 5 Si bien el artículo se refiere estrictamente a las cámaras digitales fotográficas, la tecnología de captación de las cámaras digitales de vídeo es básicamente la misma, por lo que podría hablarse de ellas en términos análogos a los aquí expuestos.

de arte. En todo caso, se consideraba una valiosa inversión que liberaría definitivamente de la necesidad de fotografiar “a ciegas”:

Una nueva herramienta: la fotografía IR digital

Lo cierto es que los equipos de reflectografía IR no están al alcance de cualquier profesional de la restauración. Aquéllos que trabajan de forma autónoma difícilmente pueden justificar la gran inversión que supone adquirir este tipo de equipamiento. Para ellos, la fotografía digital puede ofrecer un sustituto perfectamente válido a la hora de documentar la apariencia en el infrarrojo de las obras de arte.

Como es sabido, las llamadas cámaras digitales⁵ emplean para la captación de la imagen un dispositivo compuesto de minúsculas células fotosensibles, llamadas píxeles. Existen 3 tipos fundamentales de sensores digitales: *CCD*, *CMOS* y *Foveon X3*. Todos ellos coinciden en su extensa sensibilidad espectral, que incluye, además del espectro visible, una buena parte de las regiones UV e IR. Por lo tanto, no existe impedimento alguno, al menos a priori, para que puedan obtenerse imágenes infrarrojas con cualquier cámara digital⁶.

La realidad es más compleja. La mayoría de los fabricantes tratan de limitar estrictamente al espectro visible la sensibilidad de sus captadores, pues ello favorece la reproducción de los colores tal y como los vemos. Para ello, no dudan en colocar sobre el captador un filtro “anti-IR”, llamado a menudo filtro *hot mirror*, cuya misión es la de impedir la llegada de longitudes de onda no visibles a la superficie del captador.

Afortunadamente, no todos los modelos emplean el mismo tipo de filtro anti-IR. Algunos de estos filtros son bastante permeables al IR por lo que no suponen un obstáculo insalvable para la obtención de fotografías infrarrojas⁷. Otros modelos disponen incluso de la posibilidad de retirar temporal⁸ e incluso definitivamente⁹ el filtro *hot mirror*, de modo que la cantidad de radiación IR captada crezca exponencialmente.

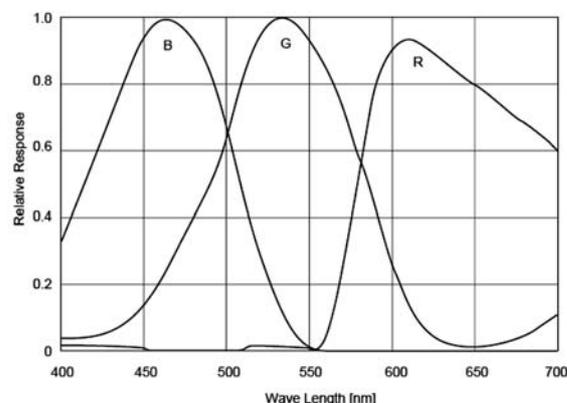
Para el resto de modelos, existe aún una última opción: la eliminación del citado filtro y su sustitución por una pieza de vidrio óptico de idéntico grosor pero inocuo a las radiaciones infrarrojas¹⁰. Esta última solución, si bien es la más compleja, mejora sustancialmente la sensibilidad al IR del captador, por lo que puede permitírnos incluso la toma de imágenes a tiempos de exposición lo suficientemente breves como para hacer innecesario el uso del trípode.

La fotografía IR digital en la práctica

En todo caso, y sea cual sea la opción elegida, si queremos obtener imágenes debidas única y exclusivamente a las radiaciones infrarrojas reflejadas por un determinado sujeto, será preciso colocar sobre el objetivo un filtro opaco a la luz visible pero que al tiempo permita el paso de los rayos IR. El filtro más empleado es el Wratten 89b o equivalente (B+W 092 u Hoya R72), si bien puede utilizarse cualquier otro de los recomendados para fotografía IR convencional¹¹.

En aquellos casos en que se haya optado por la eliminación del filtro anti-IR interno, es posible sustituir éste por un filtro Wratten 89b o equivalente del mismo grosor¹². De este modo, podremos operar con nuestra cámara IR sin el inconveniente de tener que montar y desmontar el filtro opaco sobre el objetivo cada vez que queramos encuadrar, enfocar o disparar.

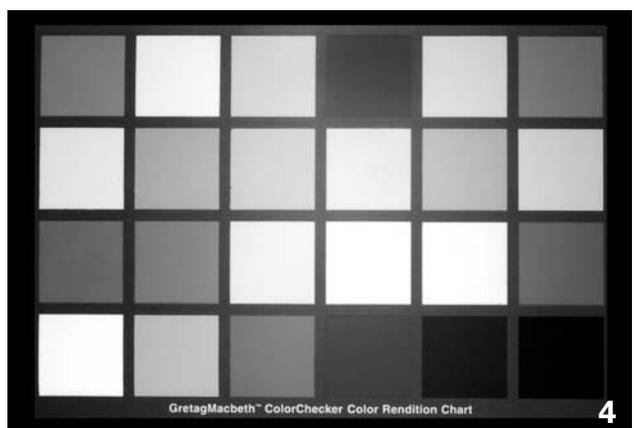
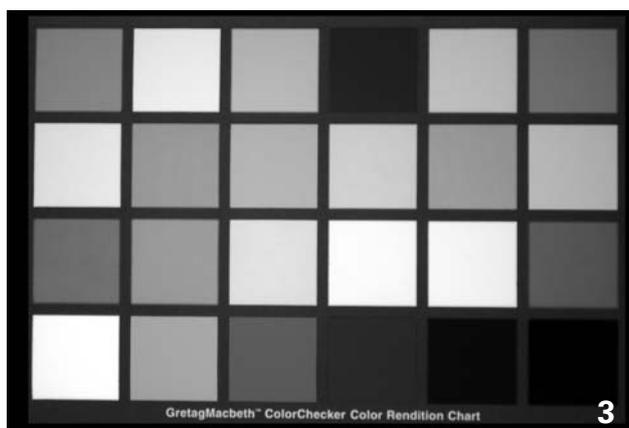
Cuando se opte por emplear un modelo que permita el modo de disparo nocturno¹³, y dado que en dicho modo la exposición queda limitada a unos pocos (y largos) tiempos de exposición,



⁶ La ilustración de arriba muestra la curva de sensibilidad espectral de un CCD fabricado por Sony, concretamente el modelo *ICX252Q*. En ella puede apreciarse cómo la sensibilidad del captador es muy elevada para longitudes de onda de 700nm, correspondientes al límite inferior del espectro infrarrojo. Nótese que dicha sensibilidad es mayor incluso que la que muestra el mismo captador para radiaciones de entre 400 y 425nm, correspondientes al violeta y al azul-violeta [fuente: Sony, <http://products.sel.sony.com/semi/PDF/ICX252AQ.pdf>].

⁷ Por lo general, las cámaras más antiguas son las que presentan mayor permeabilidad a las radiaciones IR, por lo que paradójicamente, una cámara digital ya obsoleta puede brindar mejores resultados para su empleo como cámara IR que un modelo más reciente.

⁸ Muchos modelos de gama media y alta de fabricantes tales como Casio, Olympus o Sony, disponen de una función llamada *night scene*, *night shot* o algo similar. Al seleccionar este modo de disparo, se eleva la sensibilidad del captador, lo que permite obtener tomas con iluminación escasa. Este aumento en la sensibilidad del captador (que suele ser de tipo CMOS), viene generado por la retirada momentánea del filtro anti-IR situado sobre él. Así se obtienen imágenes de apariencia irreal, nitidez limitada y a menudo monocromáticas, producto de la superposición en un mismo plano de enfoque de distintas longitudes de onda (visibles e invisibles).



Las 4 imágenes muestran una carta de color Color Checker de Gretag Macbeth, y han sido realizadas, respectivamente, con una cámara Nikon D100 (fotos 1, 2 y 3) y con una cámara Sigma SD10 a la que se le ha retirado el filtro hot mirror interno (foto 4). Obsérvese la similar respuesta de las 2 cámaras a las radiaciones infrarrojas, patente en las fotos 3 y 4.

puede añadirse al filtro Wratten 89b algún otro de densidad neutra o bien 2 polarizadores superpuestos de forma que uno gire sobre el otro. De este modo podrá reducirse a voluntad la cantidad de radiación que llega al captador, adecuándola a alguno de los tiempos de exposición utilizables.

Las imágenes así captadas son monocromáticas, de tono más o menos rojizo, y por lo general deberán ser manipuladas para que nos ofrezcan un nivel de información satisfactorio. La manipulación puede realizarse con cualquier programa de retoque, siendo Adobe Photoshop® la primera opción para la mayor parte de usuarios.

Un ejemplo

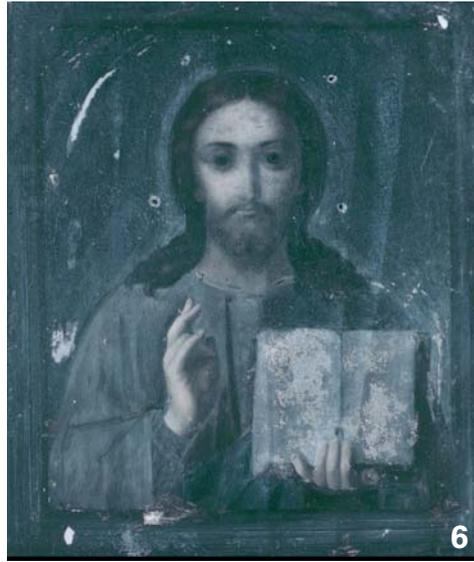
Para ilustrar de algún modo las posibilidades que brinda esta técnica de documentación fotográfica, se han tomado fotos IR de un mismo sujeto con una cámara digital SLR sin manipular (Nikon D100) y con una cámara digital SLR a la que se le ha retirado el filtro anti-IR (Sigma SD10). En ambos casos, se ha empleado un filtro opaco (B+W092) sobre el objetivo, de modo que el captador sólo recibiera radiaciones infrarrojas de longitudes de onda superiores a los 720nm.

Todas las imágenes han sido tomadas en formato bruto (*RAW*), y han sido manipuladas posteriormente para ofrecer la mayor carga informativa posible¹⁴. Finalmente, y dado que las imágenes tomadas con la cámara Sigma no ofrecen una imagen en color aprovechable, se ha optado por desaturar totalmente las imágenes tomadas con ambas cámaras, de modo que puedan compararse ambas en igualdad de condiciones.

El ejercicio se ha realizado con distintos modelos y en todos los casos se ha tomado una imagen en color real de los mismos, de modo que se pueda estudiar para cada uno de ellos si las imágenes IR aportan algún dato significativo a la imagen convencional.

⁹ Un ejemplo de esto podría ser el modelo SD10 del fabricante Sigma, que incorpora en su diseño un filtro interno anti-IR removible. Las instrucciones que acompañan al producto explican el modo de retirar este filtro, unido al captador (de tipo Foveon 3x) por un par de microtornillos. Véase <http://heim.ifi.uio.no/~gisle/photo/ir4.html>

¹⁰ Los más osados pueden encontrar en Internet información de particulares que han llevado a cabo personalmente dicha sustitución. Los más prudentes pueden dirigirse a alguna de las empresas especializadas en hacer este tipo de transformaciones. Conviene indicar que en ambos casos, y como es lógico al tratarse de una alteración intencionada de la estructura interna del producto, la garantía del fabricante queda revocada.



Las 4 imágenes reproducen una obra en proceso de restauración por alumnos de la ESCRBC de Madrid. Las pautas de obtención de las imágenes son las mismas observadas para la realización de las Figuras 1 a la 4. Obsérvese que las imágenes IR (Figuras 6, 7 y 8) muestran detalles que aparecen ocultos o velados en la imagen convencional (Figura 5).

Los resultados obtenidos son esclarecedores de los beneficios que una imagen IR puede aportar a la documentación de una obra de arte. Las imágenes tomadas con ambas cámaras ofrecen resultados similares, si bien cabe comentar ciertos matices:

- 1) La respuesta a las radiaciones infrarrojas de ambas cámaras es similar en cuanto al espectro cubierto, si bien es obviamente mayor la de aquella cuyo filtro anti-IR ha sido retirado. Esto puede ser una ventaja a la hora de trabajar en condiciones de baja iluminación. Una cámara más sensible al IR podrá ser empleada con tiempos de exposición más breves (incluso sin trípode) y a menores aberturas de diafragma (ofreciendo mayor profundidad de campo). Nótese que el empleo de tiempos de exposición prolongados acarrea por lo general una disminución en la relación señal-ruido, lo que se traduce en una merma en la calidad de la imagen¹⁵.
- 2) Las imágenes IR tomadas con la cámara manipulada (Sigma SD10) adolecen de cierta [ligera] pérdida de nitidez. Esto bien podría deberse a que no se sustituyó el filtro interno anti-IR por vidrio alguno, con el consiguiente desplazamiento [mínimo] del plano de enfoque respecto a la superficie del captador.

- 11 Para una descripción detallada del procedimiento ordinario de obtención de imágenes IR con cámaras fotográficas convencionales, véase Eastman Kodak Company (1996).
- 12 Nótese en la insistencia de que el grosor del filtro sustituido sea idéntico al de su sustituto. Sólo así aseguraremos que no se produce un desajuste entre el plano de enfoque y la superficie del captador.
- 13 Véase nota 8.
- 14 Al tratarse de imágenes en bruto, no se ha realizado balance de color previo y sí durante la posterior manipulación de las imágenes en Photoshop. Para ello, se ha optado por un ajuste manual de los niveles, con medición sobre un gris medio patrón situado junto al sujeto (y eliminado de la imagen final).
- 15 En todo caso, y en honor a la verdad, debemos decir que, al menos en los ejemplos realizados, el comportamiento de la cámara menos sensible al IR (Nikon D100) ha sido magnífico.

- 3) Las imágenes IR tomadas con la cámara sin manipular (Nikon D100) pueden incorporar cierto componente de color [falso], que en ocasiones aporta información adicional sobre la naturaleza de los barnices, aglutinantes, pigmentos y demás componentes de la pieza estudiada.

Conclusión

En resumen, cualquiera de los modelos probados podría sustituir, y con ventaja, a muchos de los reflectógrafos actualmente en uso, y a una fracción del precio de éstos. Otros modelos de cámara digital de menor precio pueden ofrecer incluso mejores resultados que los aquí obtenidos.

Para el profesional autónomo de la restauración de obras de arte, las conclusiones que cabe deducir de este artículo podrían ser, pues, las siguientes:

- En primer lugar, y si dispone de una cámara digital más o menos obsoleta, no se deshaga de ella sin antes probar su capacidad para fotografiar en el infrarrojo. Podría estar tirando a la basura una joya.
- Por otro lado, y ante la posible adquisición de una cámara digital, consulte la información disponible (fundamentalmente en Internet) sobre los distintos modelos que ofrece el mercado. Una elección acertada le permitirá, por el mismo precio, hacerse con un fiel compañero de ocio al tiempo que con una útil herramienta de trabajo.

Apéndice

Listado de páginas de Internet y foros con información sobre manipulación de cámaras IR y ejemplos de fotos hechas con distintas cámaras:

- http://groups.yahoo.com/group/Infrared_Photography/
Foro de Internet dedicado a la fotografía digital infrarroja. Muy activo.
- <http://hannemyr.com/photo/ir.html>
Completa página de Gisle Hannemyr, que explica de modo didáctico diferentes aspectos de la fotografía infrarroja.
- <http://www.dimagemaker.com/article.php?articleID=466>
Puerta de entrada a varios artículos interesantes sobre fotografía infrarroja, incluyendo pruebas de idoneidad de más de diez modelos de cámaras digitales utilizables para la obtención de fotografías infrarrojas. Original de Wayne Cosshall.
- <http://www.apogeephoto.com/may2003/odell52003.shtml>
Página en la que su autor, Dale O'Dell, muestra de modo sencillo los aspectos elementales de la fotografía IR con cámaras digitales.
- http://www.jr-worldwi.de/photo/index.html?ir_comparisons.html
Página que informa sobre la capacidad de diversos modelos de cámaras digitales para fotografía IR.
- <http://www.a1.nl/phomepag/markerink/mainpage.htm>
Pese a que hace tiempo que no se pone al día, esta página pasa por ser *la Biblia* para los internautas interesados en fotografía IR.
- <http://www.outdooreyes.com/photo94.php3>
Página original de Brad Buskey con información técnica y ejemplos de cómo obtener imágenes IR con una cámara Canon G3.

- http://www.pbase.com/catson/color_infrared_workflow
Página que describe el modo de operar de su autor, Joseph Levy, para obtener imágenes IR empleando distintas cámaras digitales Sony.
- http://www.naturfotograf.com/UV_IR_rev00.html#top_page
En palabras de su autor, Bjørn Rørslett, esta página explica “todo lo que Vd siempre deseo conocer sobre fotografía digital IR y no se atrevió a preguntar...”. El autor se ciñe al modelo Nikon D1.
- <http://www.outdooreyes.com/photo95.php3>
En esta otra página de Brad Buskey puede encontrarse para su descarga gratuita una acción de Photoshop que permite crear automáticamente un canal IR.
- <http://www.wrotniak.net/photo/infrared/>
Página original de J. Andrzej Wrotniak que aglutina mucha e interesante información sobre fotografía digital IR, especialmente con cámaras Olympus.
- <http://www.parsel.abe.msstate.edu/james/camera/lense.html>
Donde se explica cómo retirar el filtro *hot mirror* de una Nikon Coolpix 950, 990 o 995.
- <http://www.kleptography.com/notes-irconvert.htm>
Donde se muestra cómo retirar el filtro *hot mirror* de una Canon G1.
- http://www.jf-worldwi.de/photo/index.html?mod_oly_ir.html
Donde se muestra cómo retirar el filtro *hot mirror* de una Olympus 2040.
- <http://canonir.blogspot.com/2005/11/how-to-do-it.html>
Donde se muestra cómo retirar el filtro *hot mirror* de una Canon EOS D30.
- <http://homepage.ntlworld.com/geoff.johnson2/IR/>
Donde se muestra cómo convertir una *webcam* en un dispositivo sensible al IR.
- <http://www.jf-worldwi.de/photo/index.html?polarizer.html>
Donde se muestran ejemplos del uso de 2 polarizadores montados sobre el objetivo en combinación con un filtro IR.
- <http://www.sciencecenter.net/hutech/irphoto/index.htm>
- <http://www.lifepixel.com/>
- <http://www.maxmax.com/aXRayIRCameras.htm>
- http://burren.cx/photo/ir_conversions.html
Sitios web de diversas empresas especializadas en la conversión y/o venta de cámaras digitales para fotografía IR.
- <http://www.luminous-landscape.com/reviews/cameras/infrared%20dslr.shtml>
Dónde el fotógrafo Michael Reichmann relata su experiencia con una cámara Canon 20D preparada para fotografía IR por una de las empresas citadas más arriba.

Bibliografía

- | | |
|---|--|
| Armstrong, Carol. <i>Scenes in a Library. Reading the Photograph in the Book, 1843-1875</i> . Cambridge, October, 1998. | Eastman Kodak Company. <i>Applied Infrared Photography</i> . Rochester, 1987. |
| | Eastman Kodak Company. <i>Copying & Duplicating</i> . Rochester, Silver Pixel, 1996. |

