



“Fotoagnosis”: leer una fotografía para comprender la luz

Arq. Giuseppe Walter Libertino

Tutor: Benoit Beckers

*Master en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente:
Integración de Energías Renovables en la Arquitectura.*

Fundació UPC

Barcelona, Septiembre 2010



“Fotoagnosis”: leer una fotografía para comprender la luz

Arq. Giuseppe Walter Libertino

Tutor: Benoit Beckers

*Master en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente:
Integración de Energías Renovables en la Arquitectura.*

Fundació UPC

Barcelona, Septiembre 2010

Índice

0.0 Introducción	4
1.0 La luz	7
1.1 La luz y las superficie	9
1.2 Luz directa y luz difusa	11
1.3 Características de la luz	11
1.4 La luz diurna	12
2.0 El movimiento solar	15
2.1 Proyecciones solares: bidimensional	18
2.2 Proyecciones polares	19
2.3 Proyección Ortográfica, Equidistante y Estereográfica	20
2.4 Proyecciones cilíndricas	22
2.5 Proyección Gnomónica	22
2.6 Trayectorias solares y programas informáticos	22
3.0 La cámara y los equipos fotográficos	25
3.1 El cuerpo de la cámara	27
3.1.1 El visor	27
3.1.2 El obturador	27
3.1.3 El exposímetro	28
3.2 Los objetivos	29
3.2.1 La abertura	30
3.3 La película y el sensor de la cámara digital	31
3.3.1 La sensibilidad a la luz	31
3.4 Medición de la luz, exposición e índices de iluminación	32
4.0 Objetivo Fish-eye (ojo de pez)	33
4.1 Pequeña historia del fisheye	34
4.2 Principales características de los objetivo ultra-angulares	36
4.3 Diferentes tipos de lentes fisheye	37
4.3.1 Lentes fisheye: diferentes campos de visión	37
4.3.2 Lentes fisheye: diferente proyección	39
4.4 Lentes fisheye para cámaras analógicas tradicionales y cámaras digitales	42
4.5 Fisheye converter	42
4.6 El “Globoescopio” o espejo esférico	42
4.7 Fotografía Fisheye de un espacio virtual	43
4.8 Como construir un objetivo fisheye casero	44

5.0 La Fotografía Hemisférica para estudiar la cobertura del dosel en ciencia forestal	47
4.1 Técnica de la Fotografía Hemisférica	49
4.2 Índices geométricos	50
4.3 Índice de radiación solar	51
4.4 Índice de Área de Hoja	51
6.0 El análisis del Albedo con técnicas fotográficas	53
6.1 El Albedo	54
6.2 Análisis de la cantidad de blanco en una foto	55
6.3 Ejemplo de análisis de píxeles blancos con ImageJ	55
7.0 La fotografía HDR	59
7.1 Diferencias entre la fotografía digital tradicional y la fotografía HDR	61
7.2 Realización de una fotografía HDR	62
7.3 Estudio de la luz con imagen HDR	64
7.4 Estudio de la variación de luminancia a lo largo de un día y verificación del programa WebHDR	65
8.0 Lectura de la luz con sistemas fotográficos	69
8.1 Estudio de la radiación solar directa en un punto	70
8.2 Cálculo del factor de vista con fotografía fisheye	76
8.3 Análisis del cielo en relación a la vegetación	78
8.4 Valuación de píxeles para análisis de cielo	80
8.5 Fotografías HDR fisheye y valuación de píxeles	84
9.0 Instrumentos fotográficos portátiles para el análisis de un sitio	87
9.1 Solar Pathfinder	89
9.2 HORlcatcher	90
9.3 Panorama Master	91
9.4 SunEye	92
9.5 Solmetric IPV iPhone App	93
10.0 Conclusiones	95
Bibliografía general	99



Introducción

Introducción

Etimológicamente, el término fotografía proviene del griego *φως* phos (“luz”), y *γραφίς* grafis (“diseñar”, “escribir”) que, en su conjunto, significa “diseñar/ escribir con la luz”; nosotros, con esta tesina, a la inversa, intentaremos utilizar la fotografía para comprender la luz, forjando un nuevo término *Fotoagnosis* (leer la luz), y pretenderemos analizar fotografías para llegar a las diferentes fuentes luminosas y controlarlas.

Esta tesina nace de la voluntad de conciliar las pasiones más grandes de quien escribe: *la fotografía, la arquitectura y el medio ambiente*. Por lo tanto, se plantea como una investigación de fotografía aplicada para el control de la luz en un punto (punto de saque) en relación con el entorno. El trabajo partirá con el estudio de la luz y sus componentes, pasando por el análisis de los equipos fotográficos con la finalidad de comprender mejor los instrumentos que nos proponemos utilizar, e intentaremos finalizar con la formulación de un método para el estudio de un lugar usando como medio de control aparatos fotográficos. En particular, nuestro estudio se propone abordar las posibilidades que la fotografía digital y la fotografía hemisférica ofrecen como instrumento real para analizar un lugar en relación a la luz natural.

Hoy en día, varias ciencias utilizan fotografías para estudiar los cambios y la evolución de distintas “especies” o “cuerpos”. En el campo de la investigación farmacéutica, por ejemplo, se suele comparar imágenes de microscopio de células afectadas por bacterias y virus, para estudiar la evolución de éstos intentando comprender las causas de las enfermedades y desarrollar sus remedios. En medicina, en particular en Dermatología y Oncología, se suelen confrontar y medir fotografías cutáneas para estudiar los cambios de manchas en la piel y tumores. En Ortopedia se consultan imágenes de rayos X (radiografías) para verificar el esqueleto. En Astronomía, se suele analizar imágenes de telescopio para evaluar la distancia, la edad y el tamaño de las estrellas y cuerpos celestes. En Meteorología se analizan fotografías satelitales para estudiar el movimiento de las nubes y prever las condiciones atmosféricas.

“La fotografía es un procedimiento de fijación de trazos luminosos sobre una superficie preparada a tal efecto. El estatuto iconográfico de la imagen fotográfica se fundamenta en esta naturaleza fotoquímica: la luz incide sobre una sustancia o emulsión fotosensible provocando una reacción que altera alguna de sus propiedades. Lo más común consiste en que la acción de la luz ennegrece unas sales de plata.”(Fontuberta J.) [1]

En particular, tomaremos como base de nuestro estudio la metodología de investigación ya consolidada desde los años '70 en Agronomía y Ciencia Forestal, para el análisis de las copas de los árboles y el sotobosque de espacios cultivados y selvas, que se suele conocer con el nombre de *Técnica de la Fotografía Hemisférica*.

Actualmente, con el desarrollo y avance de las diferentes energías renovables, la incorporación en los nuevos Códigos técnicos de parámetros ambientales y la mayor sensibilidad hacia el medio ambiente, las técnicas de análisis de imágenes se han vuelto muy presentes también en el campo de la Arquitectura. En particular, tendremos como referencia varios estudios que se están desarrollando en el mundo sobre este específico tema, mirando con particular interés lo que se está experimentando por el departamento de arquitectura de la Universidad de Tokio, por el equipo de investigación de Santiago Torres.

La tesis se divide en diez capítulos que abordan diferentes temas, algunos teóricos y otros más prácticos y experimentales. Los capítulos 1 a 5, se ocupan de presentar de forma teórica y general los conceptos y las herramientas que se utilizarán en los capítulos siguientes. En los capítulos 6, 7 y 8, más prácticos y específicos, intentaremos desplegar el método que hemos utilizado y desarrollado para el análisis fotográfico de un ambiente arquitectónico, además presentaremos paso a paso los softwares utilizados, con la intención de que cualquier lector pueda realizar el experimento. El capítulo final presenta de forma breve, ciertos instrumentos usados para el análisis de la luz solar en las instalaciones de paneles fotovoltaicos y solares térmicos, que se encuentran hoy en día en el comercio.

Cabe agregar, que la fase experimental de este trabajo ha sido posible gracias al interés del equipo de investigación AVENUES de la Universidad Tecnológica de Compiègne, en el norte de Francia, que ha valorado nuestra hipótesis de trabajo y ha puesto a disposición tiempo, materiales y recursos para el desarrollo de la investigación. Por esto aprovechamos la ocasión para agradecer a profesores, doctorandos, estudiantes y personal de secretaria de la Facultad de

Ingeniería de la UTC, por su disponibilidad y por haberme acogido y ayudado en mi estancia en Compiègne. También agradecer a mi familia, por el apoyo y los recursos, a Verónica por haber sido un auxilio fundamental en la elaboración del texto y por el soporte moral.

[1]. Fontuberta, J., 1995, *Fotografía: Conceptos y procedimientos, una propuesta metodológica*, G.Gili, Barcelona



La luz

La luz y las superficies
Luz directa y luz difusa
Características de la luz
La luz diurna

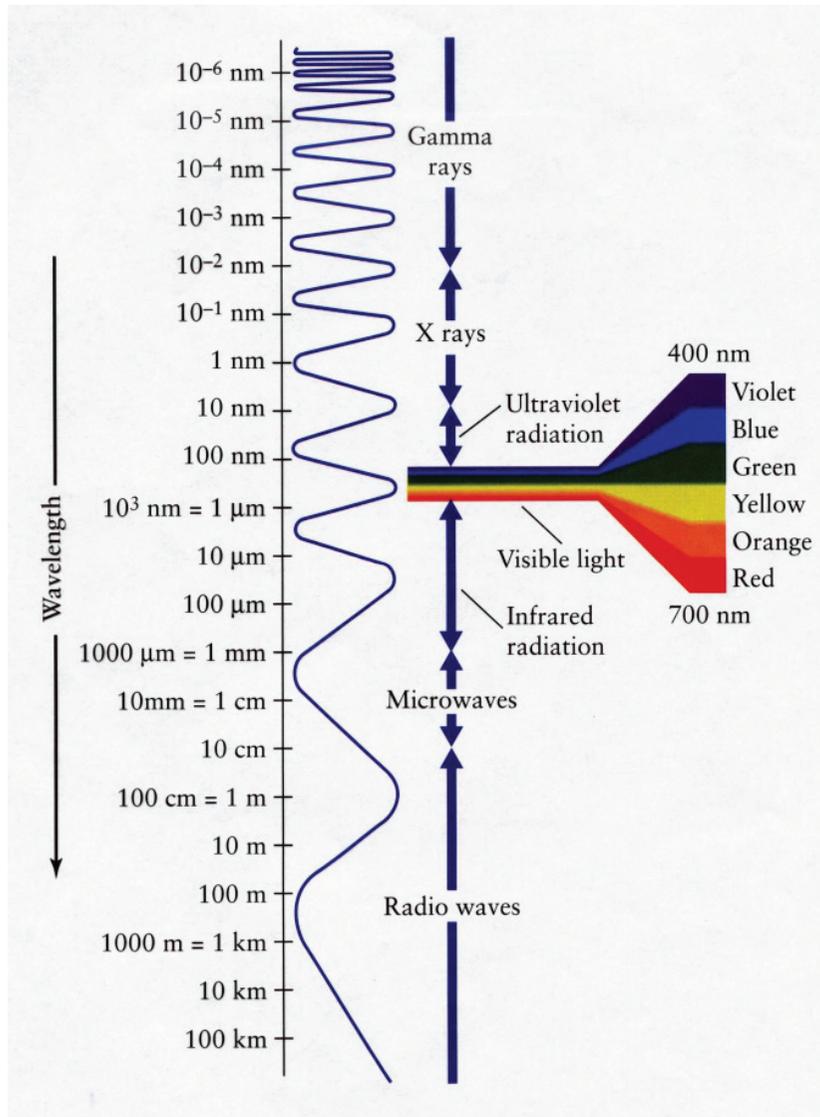
La luz

La luz es la base de la fotografía. Como dice la misma palabra *fotografía* (escribir con la luz), la iluminación es fundamental en la disciplina fotográfica. Por ello, hemos pensado incluir en esta tesis una pequeña introducción y un rápido repaso de fotometría.

Una fotografía no es nada más que luz canalizada que llega hasta una película o un sensor, en el caso de fotografía digital, a través del objetivo de la cámara y que nos da una imagen fotográfica, con la que estamos tan acostumbrados.

¿Qué es la luz? La luz es la parte de las *radiaciones electromagnéticas* que llega a la Tierra y es visible por el ojo humano. Lo que habitualmente definimos como luz es simplemente una porción de los rayos de energía que irradia el sol u otra fuente de radiación.

A la Tierra llegan una gran variedad de radiaciones con diferentes longitudes de onda, algunas filtradas por la atmósfera. La mayoría de éstas no son visibles por el ojo humano y casi no nos damos cuenta, pero sí que son perceptibles por nuestro cuerpo. La totalidad de las radiaciones se llama espectro electromagnético y van desde radiaciones de menor longitud de onda, como los *Rayos Cósmicos*, *Rayos Gamma* y los *Rayos-X*, hasta ondas electromagnéticas de mayor longitud, como las ondas *Radio*, pasando por ondas *intermedias como la luz visible*.



Esquema longitud de onda: http://cosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/Wavelengths_for_Colors.html

La mayoría de estas radiaciones no son directamente perceptibles por el ojo humano, que es sensible solamente a una pequeña banda, entre una longitud en el vacío de 380nm y 780nm (un nanómetro =

10^{-9} metros)¹. Distinta longitud de onda aporta a nuestro ojo distinta sensación de color. La longitud de onda más pequeña coincide con una luz violeta-morado, entre 380nm y 450nm, pasando por el azul-verde, 450nm y 580nm, el amarillo-naranja, entre 580nm y 650nm, hasta llegar a tonalidades rojas cuando más nos acercamos a los 700-780nm.

Cuando se presenta una mezcla de todas las longitudes de onda visibles, la iluminación es “blanca”. Los colores del espectro, violeta-azul-verde-amarillo-naranja-rojo, siempre están presentes en la luz blanca, sea natural o artificial. Con longitudes de onda inferiores a 380nm (violeta), se dice que tenemos rayos *ultra-violetas* y con longitudes superiores a 780nm (rojo) tenemos rayos *infrarrojos* o *térmicos*.

Así como el ojo humano, la mayoría de las cámaras fotográficas comunes y de las películas tradicionales son sensibles a la longitud de onda visible. Si bien, las películas son más sensibles que nuestro ojo percibiendo los rayos ultravioletas inferiores a longitud de 250nm^2 . Por esto, muchas veces se utilizan filtros que absorben los rayos ultravioletas, de modo que la imagen obtenida tenga apariencia más real.

Hay cámaras y películas que son sensibles a las ondas largas, más o menos 900nm , y se usan normalmente con fines científicos, cámaras infrarrojas o cámaras térmicas.

1.1 La luz y las superficies

No siempre la luz reacciona del mismo modo cuando encuentra una superficie. Su comportamiento depende de varios factores, entre los que podemos mencionar: el tipo de luz, el tipo de material, textura, color, espesor y densidad.

Cuando una luz incide sobre un cuerpo, éste absorbe una parte del

1 Un nanómetro equivale a una millonésima parte del milímetro

2 Este se nota cuando sacamos fotografías de paisajes lejanos, las partículas de la atmósfera dispersan la radiación solar con longitud de ondas cortas, y el cielo aparece más azul y los paisajes de segundo plano aparecen más azulados. El efecto es especialmente predominante cuando los paisajes se encuentran a gran altura o cerca del mar.

espectro, una parte se refleja y otra parte se trasmite. Si una superficie absorbe y refleja la luz y no la deja pasar, el cuerpo se dice *opaco*. Cuando una superficie, como el vidrio o el agua, transmite casi toda la luz incidente, se dice *transparente*, mientras que si deja pasar solamente una parte de la luz, como el cristal opaco o la misma atmósfera terrestre, se dice *translúcida*.

Si una superficie refleja todos los colores por igual, en la misma proporción, decimos que el objeto es blanco o gris. Si refleja una determinada gama de longitudes de onda y absorbe otras, el objeto es coloreado. Si el material es de un color concreto se refleja las longitudes de onda de ese color y las restantes longitudes de onda de la luz quedan absorbidas. Si la luz es absorbida en su totalidad, éste será un cuerpo negro. Por lo tanto, podemos considerar el color como luz, como el resultado de restar una determinada parte del espectro visible a la luz blanca.

Nuestros ojos son sensibles a tres colores: verde, rojo y azul; la visión de todas las variedades de colores se produce como resultado de la combinación de estímulos nerviosos de estos tres tonos.

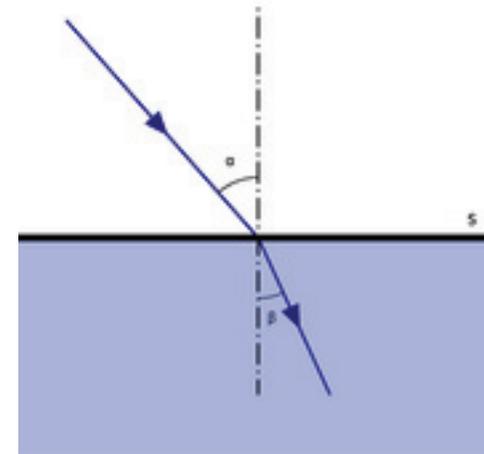
Si una superficie es transparente o translúcida, dejará pasar la luz que contenga su misma longitud de onda. Por ejemplo, un cristal blanco dejará pasar el entero espectro de luz³, mientras que un cristal azul permitirá el paso de longitudes de onda azules y será casi opaco ante una luz verde o roja⁴.

La textura del material también influye en la manera de reflejar la luz. Distinguimos principalmente dos tipos de reflexión dependiendo del tipo de material: *reflexión especular* y *reflexión difusa*.

Si la superficie es lisa y reflectiva, como un metal, actuará como un espejo y casi toda la luz se reflejará en la misma dirección, mientras que una superficie mate, como la de la piel o de una cáscara, dispersará la luz uniformemente en todas las direcciones.

Cuando una luz atraviesa un material transparente de forma

oblicua, ocurre una desviación de la luz conocida como *refracción*. Una luz al pasar por una superficie más densa que el aire, como puede ser un cristal, se mueve más despacio y cambia ligeramente su dirección. La refracción solamente desvía la luz oblicua, no la que incide en la superficie en ángulo recto. Eso es la base de las ópticas fotográficas, donde parte de la luz, al pasar por la lente, se desvía más perpendicularmente a la superficie de la luneta.



Refracción, desviación de la luz cuando encuentra atraviesa un material transparente

3 Transmisión directa: un rayo de luz que incide perpendicularmente a la superficie de esos materiales prosigue su trayectoria con igual intensidad. [7]

4 Transición selectiva: una superficie permite el paso de ciertas longitudes de onda de un rayo de luz. [7]

1.2 Luz directa y luz difusa

La luz se propaga en línea recta y en todas las direcciones. Si un rayo de luz que sale desde una fuente cualquiera de iluminación, como el sol o una bombilla, llega a una superficie sin interferir con ningún obstáculo, directamente, se dice que tal superficie está iluminada de forma *directa*. En presencia de luz directa la sombra que proyecta la superficie iluminada por una fuente compacta será muy intensa y muy bien perfilada, el borde de esta sombra es recortada y las diferencias de luminosidad están acentuadas por el drástico paso de luz a sombra. Normalmente, en fotografía, la presencia de luz directa proveniente de una fuente de luz puntual se define como *luz dura o contrastada*. Cuanto más concentrada es la fuente o mayor la distancia, más direccional es su luz.

Si un rayo que sale de una fuente de iluminación llega a una superficie después de haber pasado por un obstáculo, indirectamente, se dice que tal superficie está iluminada de forma *indirecta o difusa*. Si se interpone un obstáculo entre un objeto y una fuente de luz, no quiere decir que el objeto no esté iluminado, ya que la luz puede llegar a él por reflexión o por filtraje. Por ejemplo, si colocamos entre un cuerpo y una fuente lumínica una superficie translúcida, la superficie translúcida permitirá que pase la luz pero también la dispersará propagándola en todas las direcciones. Si pensamos en un cielo cubierto o en cualquier punto que está en la sombra, donde no llega directamente la luz del sol, no nos encontramos con una condición de oscuridad pero sí una luz más suave, esto se explica porque el cielo, la atmósfera y las nubes actúan como superficies que reflejan la luz directa del sol. El objeto que está siendo iluminado por la luz indirecta proyecta una sombra con un perfil más suave, atenuado y cuyos bordes se desdibujan. En presencia de luz indirecta, el paso de la luz a la sombra es gradual.

Podemos encontrar también condiciones de luz difusa, cuando una luz direccional se refleja contra una superficie clara como una pared blanca.

1.3 Características de la luz

La distinción entre luz difusa y luz directa es una de las características básicas de cualquier tipo de luz. Esta es la que normalmente en fotografía se denomina *calidad de luz: luz dura o contrastada y luz suave o difusa*. Otras características son: la *intensidad*, la *dirección* y el *color*.

Son tres los factores que influyen en la **intensidad de la luz** y que hay que tener en cuenta. 1) el *flujo emitido* por la fuente, que expresa la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo y depende de la potencia de la fuente y de su rendimiento. El flujo de emisión se mide en *lumen*; 2) La *illuminancia* es el flujo por unidad de superficie. Se mide en *lux* y, en el caso de una fuente puntual, disminuye como el cuadrado de la distancia entre la superficie y la fuente. 3) La *intensidad de luz reflejada*, pues la intensidad de luz que refleja una superficie. Esta depende del ángulo que forma con la dirección de luz y de la capacidad de la superficie de reflejar la luz. Este último se llama *coeficiente de reflexión o reflectancia*⁵. En general, se utiliza la *luminancia* (cd/m²), que es una magnitud direccional, a diferencia de la *illuminancia*, magnitud hemisférica.

No toda la luz tiene el mismo **color**. La mayoría de luces que normalmente se usan despiden una luz blanca, que tiene un espectro continuo, una mezcla de todos los colores. El efecto cromático que emite la luz a través de una fuente luminosa depende de su temperatura, la que definimos *temperatura de color*. La temperatura de color se mide a través del termocolorímetro en grados Kelvin⁶. Inversamente a como estamos acostumbrados a pensar, a temperaturas más bajas se intensifica la cantidad de amarillo y rojo en la luz (luz cálida), mientras

5 Coeficiente que varía de 0 a 1. El valor 1 indica que una superficie refleja el 100 % de la luz de le llega. En la práctica, no existe un material de coeficiente 1, por ejemplo la nieve, material con alto coeficiente de reflexión 0,95, quiere decir que tiene una capacidad de reflejar el 95 % de luz incidente. Un papel blanco un 70-80%, el terciopelo negro un 1%, el ladrillo rojo un 20%, ect... El fotómetro de la cámara considera una reflectancia media del 18%, por esto en el caso de una superficie que tenga una reflectancia muy alta o muy baja, la medición será incorrecta.

6 La temperatura, en escala absoluta, a la que se debe calentar el cuerpo negro ideal para compensar el color de la luz.

a temperaturas más altas se tendrá una luz más azul (luz fría).

La luz emitida por una vela mide aproximadamente 1800 grados Kelvin, la luz del sol al mediodía mide 5500 K y por la tarde 4300 K. En fotografía, es muy importante esta característica de la luz en relación a que el ojo humano se adapta rápidamente a los cambios de colores y casi sin darse cuenta, en cambio, la cámara graba todos los cambios cromáticos. Por esta razón, existen películas especiales para las diferentes temperaturas de color. Las películas normalmente están hechas para una temperatura de 5500 K, que equivale a la luz del día en un cielo del norte⁷. Para corregir las diferentes dominantes de color, de las lámparas o en dependencia de las condiciones de la luz natural, se puede aplicar un filtro al objetivo de la cámara o interponerlo entre la fuente y la escena.



Escala de temperaturas de color <http://aquaflash.blogspot.com/2008/10/2-imitando-la-luz-del-sol.html>

7 Las películas de color para luz diurna (ISA 100) están productas teniendo en cuenta una mezcla de sol y luna en el cielo de Washington hacia al atardecer) [1].

1.4 La luz diurna

La luz diurna es más variable que las fuentes de luz artificiales. Su calidad varía desde luz directa, muy dura y contrastada, de la luz del sol en un día despejado hasta condiciones de luz muy suave de luz indirecta, en un día totalmente nublado, pasando por calidades de luz variable y mixta en días de cielo parcialmente nublado. Según las horas del día y de las condiciones meteorológicas, la luz natural del sol asume coloraciones diferentes. La temperatura del color varía desde 18000 K, luz que llega a un sujeto que está a la sombra y está iluminado por el cielo azul, pasando por unos 10000 K, cielo azul, 9000 K, cielo parcialmente nublado, 5000 K, luz blanca directa de mediodía, hasta llegar a temperaturas bajas de 3000 K al amanecer o al anochecer.

La dirección del sol varía cada día, con su trayectoria cotidiana de este a oeste, sea su azimut y altura en los diferentes días del año. En invierno, el sol estará más bajo y más cerca del horizonte mientras en verano el sol se encontrará más alto y vertical. Hay que pensar que, dependiendo de la latitud, la posición del sol, y en consecuencia la sombra que proyecta, puede variar notablemente. Entre los trópicos, el sol de mediodía puede hallarse al norte o al sur según la temporada. Por esto, es recomendable, antes de fotografiar con luz natural, conocer bien las variaciones que la iluminación natural supone.

- [1]. Langford Michael, 1991, *Fotografía Básica*, Omega, Barcelona
- [2]. Pradera Alejandro, 2004, *El libro de la fotografía*, Alianza Editorial, Madrid
- [3]. Rodolò Giuseppe, Ruggero Volpes, 1999, *Appunti di fisica tecnica: Fotometri*, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Energetica, Palermo
- [4]. Torzo Giacomo, *Nozioni Elementari di Fotometria*, ICIS-CNR, INFN-PD e Dipartimento di Fisica, Padova
- [5]. <http://www.fotonostra.com/fotografia/elcolor.htm>
- [6]. <http://www.scrivereconlaluca.it/fotografia/tecnica/temperatura-colore-della-luce/181>
- [7]. Fontuberta J., 1995, *Fotografía: Conceptos y procedimientos, una propuesta metodológica*, G.Gili, Barcelona, p. 32-35



El movimiento solar

Las Proyecciones solares

Las Proyecciones polares

Proyección Ortográfica, Equidistante y Estereográfica

Las Proyecciones cilíndricas

La Proyección Gnomónica

Trayectorias solares y programas informáticos

El movimiento solar

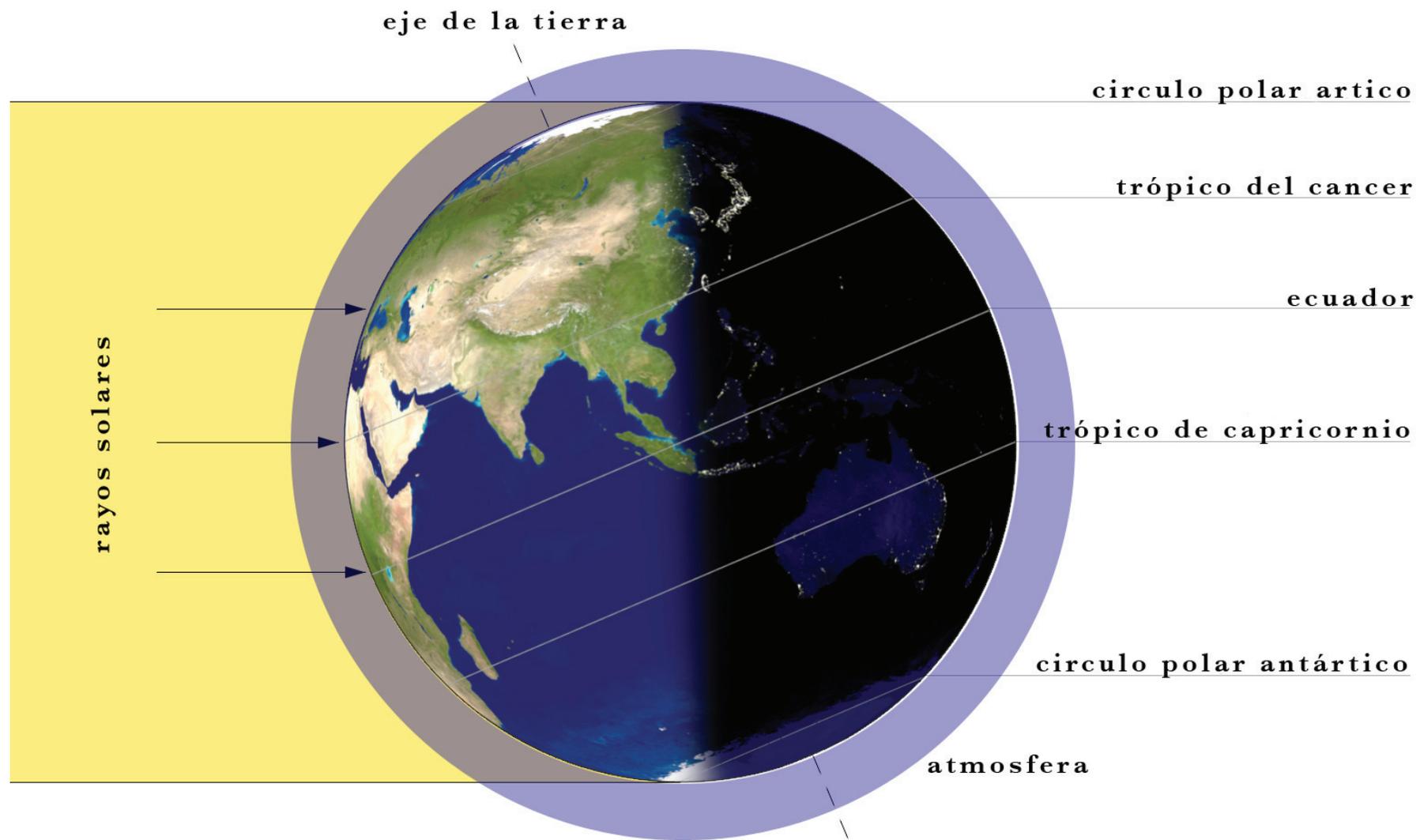
Como todos sabemos, no es el sol que se mueve alrededor de la Tierra si no la Tierra que se mueve en relación al sol, por lo tanto, no es muy correcto hablar de “*movimiento solar*”, sino más bien de “*movimiento aparente del sol*” en cuanto, aparentemente, visto desde la Tierra, es el sol que se desplaza sobre la bóveda celeste.

El movimiento solar aparente, con el movimiento de las nubes y la presencia de obstrucciones, determinan la dirección de los rayos solares, de la luz natural y de la intensidad con la cual la radiación llega a la Tierra.

Por lo tanto, no es el sol que se mueve, sino nuestro planeta que se desplaza y gira en relación al sol. Los principales movimientos de la Tierra son el *movimiento de rotación* y el *movimiento de traslación*. Estos dos movimientos juntos, son los que hacen variar la inclinación de los rayos solares y que determinan la trayectoria del sol visto desde un determinado punto del planeta.

Hablamos de **movimiento de rotación** en relación a la revolución que la Tierra, en el periodo de un día, realiza alrededor de su eje de Este a Oeste. Por esta razón, cualquier punto de nuestro planeta está iluminado durante el día y oscuro por la noche. Así también, para entender mejor la relación día-noche hay que considerar la inclinación del eje terrestre, que no es perpendicular a la eclíptica¹ sino inclinado en 66,5° o con respecto a los polos geográficos de 23,5° y el hecho que el eje siempre se mantiene paralelo a sí mismo. Cualquier paralelo de la Tierra estará iluminado de modo diferente a lo largo del año, pues en cualquier punto del planeta la posición del sol cambiará en relación al periodo del año y de la latitud.

¹ Plano hipotético sobre el que se da el movimiento elíptico de traslación de la Tierra alrededor del sol.



http://www.meteoroliri.it/meteoroliri_site/

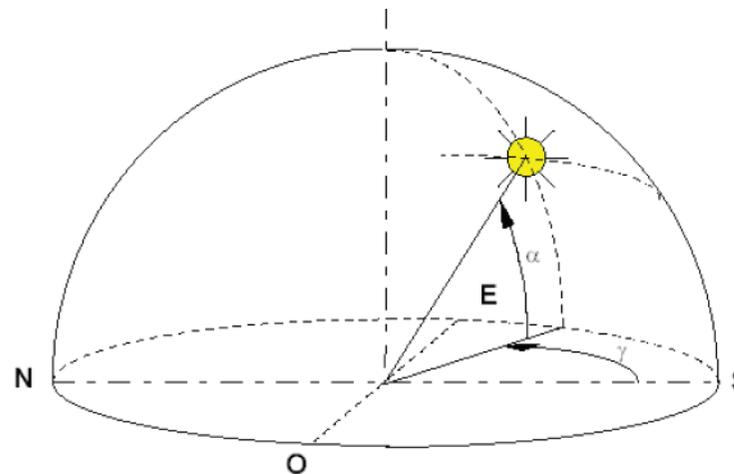
El sol, amaneciendo a oriente y atardecido a occidente, describirá un movimiento aparente diurno caracterizado por arcos diferentes que intersecan el horizonte en puntos distintos dependiendo del mes. Cuando la Tierra esté en la zona de equinoccios, el sol amanecerá exactamente al Este y se pondrá exactamente al Oeste, mientras que en los solsticios de invierno y verano el sol describirá arcos que estarán desplazados de $23,5^\circ$ hacia el Sur o el Norte.

Hablamos de **movimiento de traslación** en relación a la rotación elíptica que realiza la Tierra alrededor del sol cada 365,25 días. El movimiento de la Tierra alrededor del sol es ligeramente elíptico, pero no influye de forma sensible, por lo que decimos que este movimiento es prácticamente circular. La energía que recibe la Tierra no depende de la distancia que existe con el sol, como consecuencia de su posición en la elipse, sino de su inclinación. De hecho, las estaciones dependen de la cantidad de atmósfera que tienen que atravesar los rayos solares antes de llegar a la Tierra, dependiendo de la inclinación de la superficie que recibe la energía.

Cuanto más al norte o a sur se ubique un emplazamiento, la trayectoria del recorrido solar tenderá a inclinarse respectivamente más hacia el sur o hacia el norte. Las diferencias de horas solares serán mayores en la medida que el emplazamiento este más alejado de la línea Ecuatorial y según la estación en que se encuentre el hemisferio. Por de bajo o por encima de los trópicos el sol nunca llegará a estar perfectamente perpendicular a la Tierra. Por encima del círculo polar ártico o por debajo del círculo polar antártico habrá días de 24 horas o días con total ausencia de sol.

2.1 Proyecciones solares: bidimensional

Un modo muy inmediato para representar el movimiento aparente del sol es en forma tridimensional: una superficie plana dentro de una semiesfera. Para ubicar el sol en esta bóveda se hace uso del *ángulo acimut*² (α), y el *ángulo de altura*³ (γ).



Esquema tridimensional de la bóveda celeste con posición sol en coordenadas del *ángulo acimut* (α), y el *ángulo de altura* (γ)

Para poder trabajar con mayor simplicidad y precisión, normalmente, se utilizan representaciones en dos dimensiones de la trayectoria solar que llamamos *las proyecciones solares*, las que se distinguen en dos tipos: *polares* y *cilíndricas*. Las primeras son representaciones de la bóveda vista desde arriba, mientras que las segundas son representaciones sobre un plano vertical, como un despliegue cilíndrico.

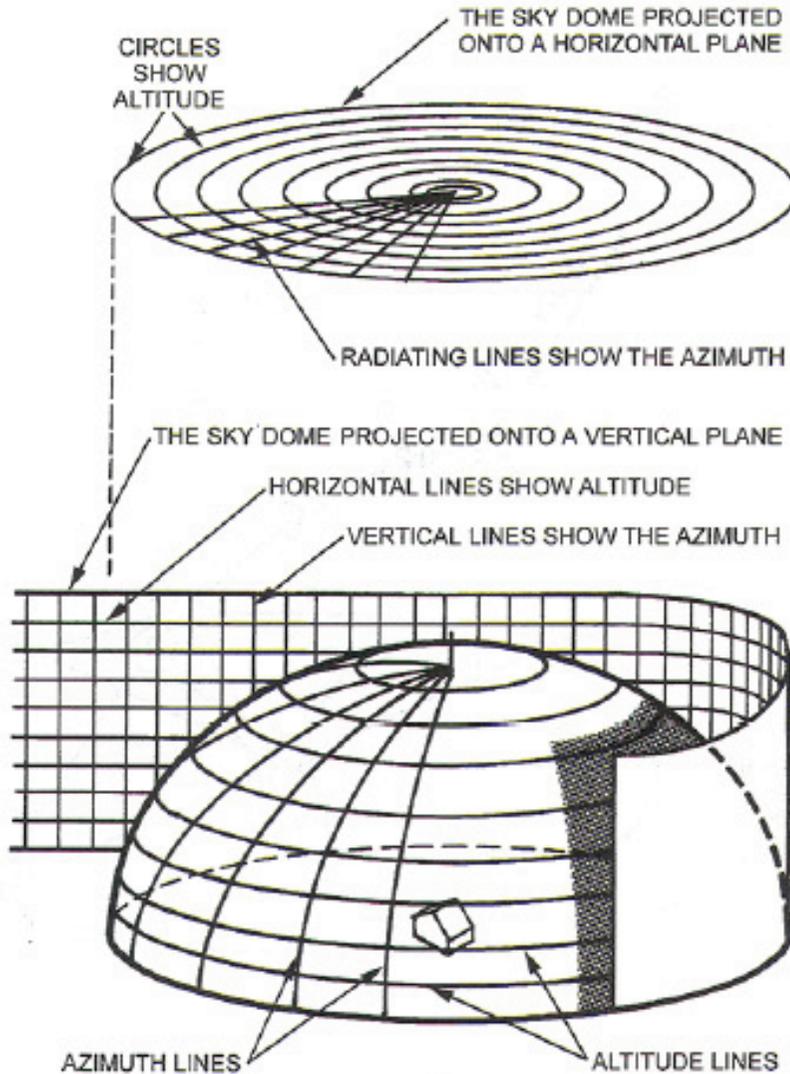
2 Los de acimut van de 0° (Norte) hasta $\pm 180^\circ$ (Sur), 90° (Este) y -90° (Oeste).

3 Los ángulos de altura van de 0° (horizonte) a los 90° (cenit)

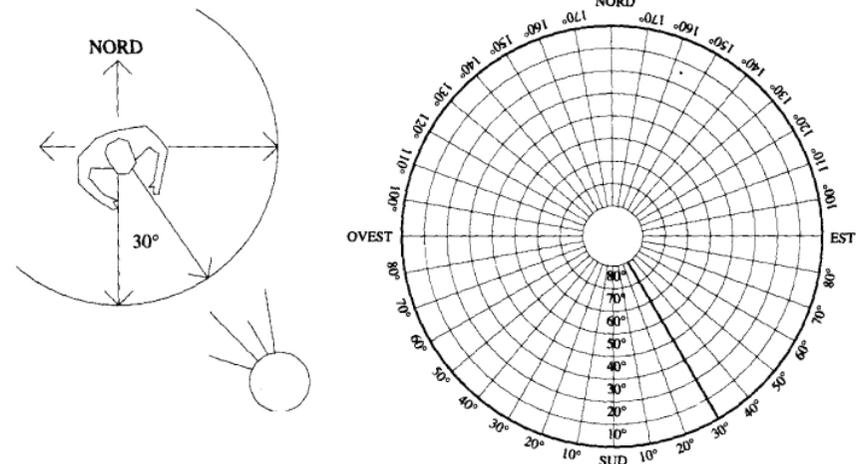
2.2 Proyecciones polares

La proyección polar es una vista superior de la bóveda celeste, una representación del cielo desde la parte alta y proyectada sobre una superficie paralela al horizonte.

En los diagramas solares el observador se encuentra en el centro de la escena. La bóveda celeste es presentada con circunferencias concéntricas que representan ángulos de alturas α constantes sobre el horizonte con un incremento de 10 grados. La circunferencia de radio máximo coincide con el horizonte, mientras que el centro coincide con el cenit. Desde de la parte central salen radios que representan ángulos acimut γ .



Esquema representaciones bidimensionales, polar y cilíndrica, de una bóveda.



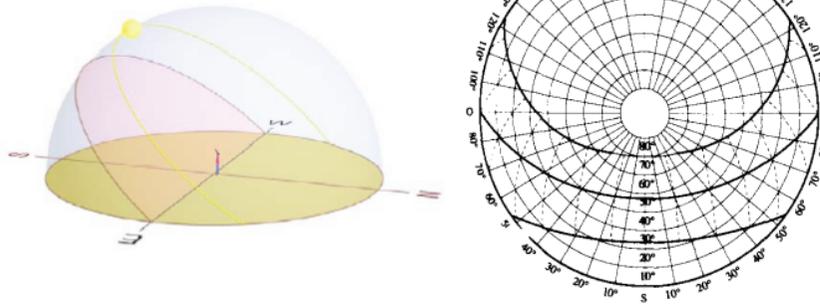
Construcción ángulo acimutal $\gamma=30^\circ$ [7] p.33

Esta primera parte del diagrama es lo que podemos definir como *mapa del cielo* (Skymap), donde cada punto de la bóveda tiene sus coordenadas y pueden ser posicionados según los ángulos acimut y altura.

En cuanto a la representación polar de la bóveda se suelen utilizar tres tipos: la proyección **Ortográfica**; la proyección **Equidistante** y la proyección **Estereográfica**. Éstas se diferencian entre sí por la

representación de las circunferencias de ángulo acimut.

Después que se ha realizado la proyección polar del cielo se pasa a trazar el recorrido solar. El cruce entre circunferencias concéntricas y radios permite marcar la posición solar en el diagrama y el cruce entre una línea dada y una línea de hora coincide con una pareja de valores α y γ . Conocidos los ángulos y conectando la posición del sol en cada hora se dibuja la trayectoria solar de algunos días. Normalmente se dibujan las líneas solares del 21 de cada mes. Cada mes, caracterizado por una declinación media, es representado sobre el diagrama por arcos simétricos respecto al eje norte-sur. Estos arcos estarán más al norte cuanto más nos acercamos al solsticio de verano y más al sur cuanto más nos acercamos al solsticio de invierno. La curva del 21 de junio, solsticio de verano, coincidirá con el semi-arco extremo, caracterizado por ser el más largo y el más al norte del diagrama. Mientras el semi-arco del 21 de diciembre será el más pequeño y el más al sur.⁴ Si conectamos las horas de cada línea se obtiene una representación de las horas de cada día.



Vista 3D y proyección polar equidistante del recorrido solar en todo el año [7] p 25,35

2.3 Proyección Ortográfica, Equidistante y Estereográfica

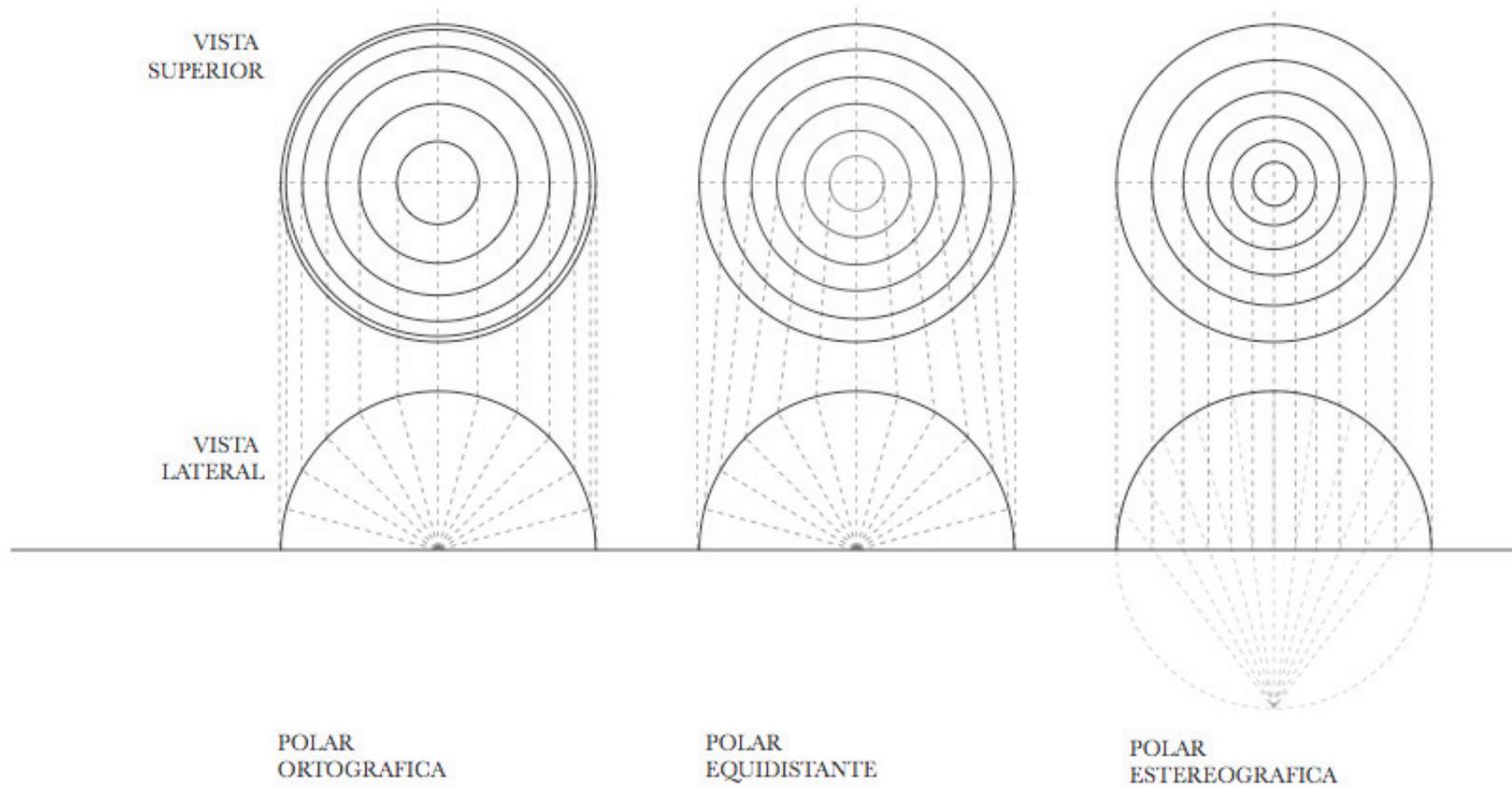
La proyección Ortográfica, también llamada Esférica u Ortogonal, es una vista real a distancia de la bóveda celeste. Siendo una representación ortogonal superior de la bóveda en el plano, presenta las circunferencias concéntricas de los ángulos de altura α cerca del horizonte más ajustadas entre ellas, como si la semiesfera hubiese sido aplastada en el plano. Esta vista suele ser acompañada de una vista lateral, vista desde el oeste. Este tipo de proyección es la más real pero, a causa de la cercanía de las circunferencias de ángulos α más bajas (exteriores), crea mayor dificultad en la lectura de la parte más cercana al horizonte.

Para corregir esta limitación se suelen usar otras proyecciones polares, como la Equidistante o la Estereográfica, que son abstracciones de la Ortográfica. Ambas proyecciones permiten apreciar con mayor facilidad las primeras y las últimas horas del día en el diagrama.

En el diagrama Equidistante, a diferencia al diagrama Ortogonal, viene forzada una equidistancia entre las circunferencias de altura, de modo tal, que los elementos de igual distancia en la bóveda mantienen su distancia en la proyección. En consecuencia, se obtendrá una mayor holgura de los ángulos bajos y una más fácil lectura, en general, de los ángulos una vez trazados los diagramas de sombras.

La proyección Estereográfica, aun más que la Equidistante, permite visualizar las eventuales posiciones solares más bajas, en cuanto, las circunferencias concéntricas en la parte más extrema del diagrama estereográfico presentan más espacios entre ellas que las circunferencias más cerca del punto central cenital. Esto se obtiene gracias una particular construcción que desplaza el centro de vista, tal como se puede observar en el esquema. Por esta razón, esta última proyección se utiliza con mayor regularidad en latitudes más extremas.

4 Esto por el hemisferio boreal y será al revés por el hemisferio austral.



Esquemas de las diferentes proyecciones polares

2.4 Proyecciones cilíndricas

Como alternativa a las proyecciones polares se pueden utilizar diagramas de proyección cilíndrica del movimiento del sol. Este tipo de diagrama da una proyección vertical del recorrido solar.

Para el diagrama cilíndrico se dibuja una reja de líneas horizontales y verticales. Las horizontales representan los ángulos de altura α con incremento constante de 10 grados, mientras que las verticales representan los ángulos de acimut γ con incrementos de 15 grados.

La totalidad del diagrama representa ángulos verticales y horizontales de toda la bóveda celeste y permite dibujar la posición del sol en el mapa bidimensional plano y, como en el caso de los diagramas polares, cada punto con fecha y hora están representados por coordenadas cartesianas α y γ .

De la misma manera que distinguimos las proyecciones ‘superiores’, podemos diferenciar tipos de proyecciones cilíndricas. Las más comunes son la proyección Ortogonal u Ortográfica, la Equidistante y una proyección cilíndrica llamada *Diagrama de Waldram*.

La proyección Ortográfica, como en el caso de las polares, coincide con un despliegue ortogonal de la bóveda celeste vista desde un punto. Presenta las líneas de altura extremas más cerca la una de la otra cuanto más nos acercamos al extremo cenital.

La proyección comúnmente usada es la Equidistante, por la facilidad de construcción, donde se corrige la diferencia de dilatación entre las “líneas de altura”.

En el Diagrama de Waldram los ángulos de altura más elevados se representan con líneas más distantes unas de otras. La utilización de este último está limitado a temas de iluminación natural.

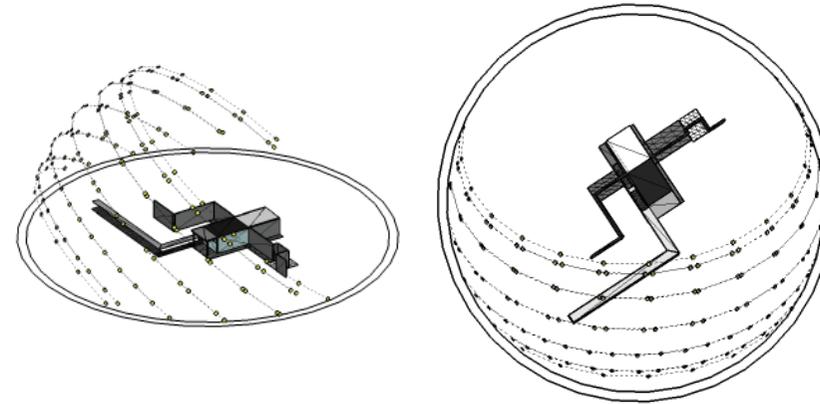
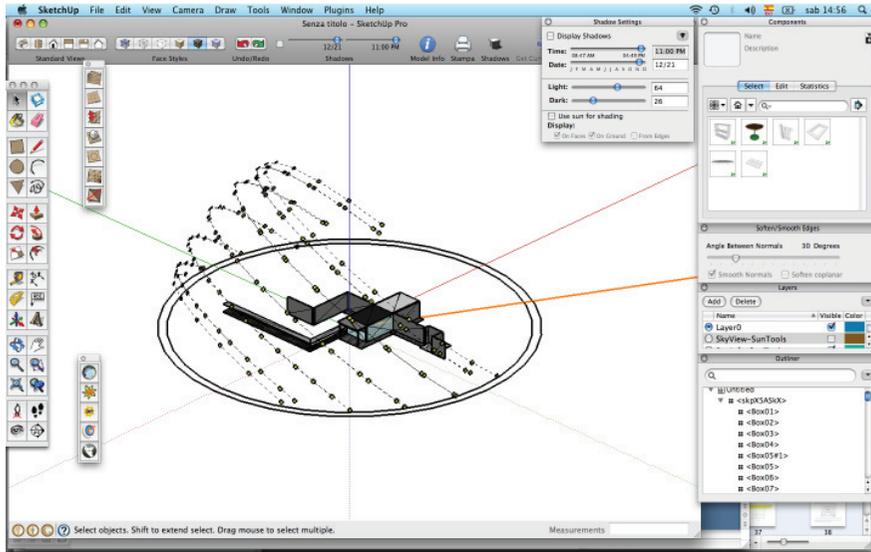
2.5 Proyección Gnomónica

Otro tipo de proyección que resulta interesante mencionar, que a diferencia de las otras proyecciones no representa la bóveda celeste sino el recorrido de las sombras, es la *Proyección Gnomónica*. Ésta se caracteriza por representar el recorrido de las sombras en la superficie que genera la presencia de un Gnomón y puede ser comparada con un reloj solar. Ésta puede utilizarse como modelo a escala para imitar situaciones de cualquier latitud al margen del emplazamiento en que se utilice. La construcción de la Gnomónica se realiza en base a la proyección Ortográfica y es necesario que ésta haya sido bien construida y es imprescindible acompañar la proyección con la indicación de la altura del gnomón con la que ha sido hecha. Esta herramienta resulta útil cuando trabajamos con un modelo en escala, para tener una idea aproximada de las horas y del día en el cual cae la sombra y la manera en que cae la radiación solar directa al edificio en el mes y hora que escojamos.

2.6 Trayectorias solares y programas informáticos

A partir de los años '90 son muchos los programas informáticos que se han desarrollado y siguen desarrollándose de dibujo de la geometría solar. Con las aplicaciones de tecnologías que aprovechan del sol, como los paneles solares, el mercado de la informática se ha ido adecuando a las necesidades de los proyectistas. Hoy es posible obtener desde Internet muchas aplicaciones, generalmente gratuitas, que permiten dibujar diagramas solares y sombras de un edificio o de un entorno. En el desarrollo de esta tesis nos ha parecido importante estudiar distintos programas informáticos especializados en acondicionamiento ambiental y que creemos interesante mencionar.

El programa que normalmente hemos utilizado para obtener diagramas solares es *Heliodon*. Este programa tiene la característica de darnos tres visiones de un espacio arquitectónico, una vista superior, una proyección polar, con posibilidad de elegir entre Estereográfica, Equidistante y Ortográfica, y una vista axonométrica. Además, nos permite realizar cálculos de incidencia solar y factores de vista.



Construcción de diagramas de la trayectoria solar con el plugin SunTools para SketchUp

Existe un plugin para SketchUp, para todos los sistemas operativos, que se puede bajar gratuitamente desde Internet, que se llama *SunTools*, que nos da una representación 3D de la bóveda celeste. La particularidad de esta herramienta es la posibilidad de ver la posición del sol con indicación de horas y meses en las perspectivas.

De la compañía Autodesk existe un programa específico para el control medio ambiental denominado *Ecotect*, que ofrece varias herramientas de dibujo y es perfectamente compatible con Autocad y 3D Studio Max. Éste además de facilitar el estudio solar de un edificio, dispone de muchos instrumentos útiles para el estudio térmico, luminoso y acústico. Pero a causa de sus diferentes funciones puede resultar complejo en su utilización.

Otro programa es el *Ener_lux*, específico para estudiantes de Física Técnica Ambiental, realizado por el arquitecto Carbonari y desarrollado por la Universidad de Arquitectura de Venecia. Permite analizar un entorno arquitectónico con proyecciones polares, sea desde vistas superiores que laterales, y añade a su interior cálculos de

incidencia solar con ábacos de radiaciones.

De todas formas, muchas son las páginas de Internet desde donde es posible obtener diagramas solares sin que sea necesario bajar ningún programa, por lo que es suficiente trabajar en la red, como por ejemplo la página www.solaritaly.enea.it que permite realizar tablas y diagramas de la posición del sol en el territorio italiano.

- [1]. Cantarell Lara Jorge, 1990, *Geometría, energía solar y arquitectura*, Trillas, México D.F.
- [2]. A. Carbonari, G. Rossi. *Ombre-Urbane: A Software to Evaluate Urban Shadows Effects on Building Facade*. Proceeding of “Solar energy in architecture and urban planing. 4th European Conference”. 26-29 March 1996 Berlin - Germany. Pagg. 362 - 365. Poster session P5.18. Editors H.S. Stephens & Associates. Bedford U.K. 1996.
- [3]. A. Carbonari, 1997, *Ombre-Urbane: Programma per il calcolo della radiazione solare disponibile su superfici edilizie in presenza di ostruzioni urbane*. Atti del 52° Congresso Nazionale ATI Associazione Termotecnica Italiana , Cernobbio (Como), 22 - 26 Settembre 1997. Vol. I Pagine 169 - 180. Edizioni SGE, Padova
- [4]. Know Alison G., Grondzik Walter T., 2007, *The Green Studio Handbook: environmental Strategies for Schematic Design*, Architectural Press, Oxford
- [5]. Olgyay Victor, 2006, *Arquitectura y Clima, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, GG, Barcelona
- [6]. Wieser Rey Martín, 2006, *Geometría solar para arquitectos. Movimiento solar y herramientas de diseño. Proyecciones solares para las diferentes latitudes del Perú*, CEETyDeS, Lima
- [7]. La Gennusa Maria, 2008, *Gestione delle ricerche energetiche per il territorio: Radiazione solare Percorsi solari Ombre Portate*, Dipartimento di ricerche energetiche e Ambientali (D.R.E.A.M), Palermo



La cámara y los equipos fotográficos

El cuerpo de la cámara

Los objetivos

La película y el sensor de la cámara digital

Medición de la luz, exposición e índices de iluminación

La cámara y los equipos fotográficos

Antes de continuar con nuestra tesis, pensamos que es importante conocer los instrumentos con los que nos proponemos trabajar, sobre todo, por el hecho que nos enfrentamos a una fotografía científica y no artística. Por esto dedicamos un pequeño capítulo a la cámara y los equipos fotográficos, que en el futuro serán nuestras principales herramientas de trabajo.

Frente a las cámaras contemporáneas y sofisticadas, es difícil pensar que la cámara en realidad es un instrumento muy simple formado principalmente por dos partes: una caja cerrada con una pequeña abertura en una extremidad, que permite entrar la luz (cámara oscura o **cuerpo**), y un **elemento fotosensible**, en la otra extremidad, que graba la luz entrante. Luego se puede añadir otro elemento, que hace al sistema un poco más complejo: el **objetivo**.

Con el paso del tiempo, las cámaras han mejorado mucho y se ha llegado a una notable evolución, pasando desde una caja de madera con una lámina de plata hasta llegar a las actuales cámaras digitales, que a pesar de ser complejas, están formadas principalmente por estas tres partes o elementos.

Podemos encontrar varios tipos de cámaras en el comercio, pero se pueden dividir principalmente por su estructura, por el tamaño de las películas y por el tipo de superficie fotosensible.

Por su estructura distinguimos cuatro grupos: *panorámicas*, *compactas*, *reflex de doble objetivo* y *reflex mono objetivo*; por el tamaño de la película

en tres tipos: *gran formato*, películas planas normalmente de 9x12; *medio formato*, normalmente 6x6; y *pequeño formato*, normalmente de 35 mm (incluyendo las perforaciones) o 24x36 (dimensión de la imagen).

Actualmente podemos distinguir también entre *analógicas*, si la superficie fotosensible es una película, y *digitales*, cuando la superficie fotosensible es sensor digital (CCD o CMOS).

No existe la cámara perfecta, cada una tiene sus puntos a favor y sus puntos débiles, así una puede ser mejor para encuadrar la escena o puede dar resultados más nítidos, otra puede ser más versátil y práctica, una más económica y otra más cara.

Entre los profesionales, las usadas por versatilidad, precio y resultado son las cámaras reflex mono objetivo de 35mm.

3.1 El cuerpo de la cámara

Las cámaras o cuerpos, están compuestas principalmente por tres elementos: un *visor*, el *obturador* y un *exposímetro*.

3.1.1 El visor

El visor nos permite ver lo que está encuadrado en la cámara y lo que se grabará en la película. Normalmente podemos distinguir en: *visor simple*, *visor reflex* y *visor reflex bifocal*.

El **visor simple o fijo** es típico de las cámaras compactas y es una abertura en la cámara que simula el encuadre de ella. Normalmente presenta el problema que no estando en el mismo eje del objetivo, la escena visualizada no coincide perfectamente con la imagen que se obtiene. Este se llama error de paralaje vertical y horizontal, éste se nota principalmente en los enfoques de distancia corta. Actualmente con las cámaras digitales compactas este error ha sido superado, al ser sustituido por una pantalla LCD ubicada en el mismo eje del objetivo.

En el **visor reflex** la imagen que se ve pasa por el mismo objetivo de la cámara, que se refleja en un espejo puesto a 45° entre la lente y la película, pasando por un prisma corrector para llegar hasta el ojo. El espejo al momento del saque se levanta y permite a la luz llegar a

la superficie fotosensible sin encontrar obstáculos.¹

Se usan **visores bifocales** en cámaras que tienen dos lentes iguales, una que sirve para el visor, donde la imagen se refleja también en un espejo puesto a 45°, y otra lente para la foto. En estos tipos de cámaras no es necesario que el espejo se levante al momento del saque.

3.1.2 El obturador

El obturador de la cámara es una unidad mecánica, compuesto por láminas opacas, normalmente colocada entre el objetivo y la película.² Este raciona el tiempo de exposición de la película a la luz, abriéndose durante el tiempo seleccionado para que la luz pueda grabarse en la lámina fotosensible.

Distinguimos dos tipos de obturadores: a *cortina*, donde dos láminas se abren y se cierran horizontalmente; y *central*, donde una “flor” o “iris” se abre desde el centro hacia el exterior.

El obturador es uno de los elementos más importantes de la cámara y fundamental para nuestro trabajo en cuanto es, con el diafragma de la lente, uno de los dispositivos que controla la cantidad de luz que llega al sensor.

Hay que pensar en el obturador como una puerta o una cortina de una ventana, cuanto más tiempo la cortina esté abierta más luz llegará a la habitación.

El obturador de la cámara puede ser mecánico o electrónico. Actualmente las cámaras modernas están dotadas de obturador electrónico alimentado por una batería.

Las velocidades normales de obturación van de 1 a 1/500 segundos, mientras que las cámaras digitales tienen una “selección” de tiempos más amplia, desde 5s hasta 1/8000. La mayoría de cámaras manuales tienen unos tiempos llamados “B” y “T”. En el primer caso, el obturador se abre cuando se acciona el disparador y seguirá abierto en tanto se siga presionando, mientras que en el segundo caso, se

1 En unas cámaras, principalmente de grande o medio formato, la imagen se ve al revés, *cámaras a pozo*.

2 En algunas cámaras, normalmente de grande o medio formato, el obturador se encuentra en medio del objetivo, junto a la abertura.

abrirá con un golpe al disparador y se cerrará accionando otra vez el botón de disparo.

Con tiempos de exposición más largos de $1/60s^3$, las fotos pueden salir movidas, ya que hasta nuestra respiración puede influir en el movimiento de la cámara.

3.1.3 El exposímetro

El *exposímetro* o *fotómetro*, como dice la misma palabra “expo” o “foto” más “metro”, es un instrumento que nos ayuda en la medición de la luz o de la exposición. Hablamos de este último en este capítulo, en cuanto esta herramienta está presente en casi todas las cámaras, pero existen exposímetros externos o manuales, muy utilizados por los profesionales de la fotografía.

Los **fotómetros externos** a las cámaras, son instrumentos que nos permiten medir la luz en diferentes modos. A diferencia de los internos, nos permiten también medir la luz incidente total en el sujeto que queremos fotografiar, acercando el aparato al sujeto y apuntándolo hacia la cámara. Sin embargo, resultan caros y poco prácticos al momento de sacar fotografías rápidas.

Los **exposímetros internos**, presentes en la mayoría de cámaras, sea de forma automática, sea de forma manual o a prioridades⁴, nos permiten solamente la medición de la luz reflejada por el sujeto hacia la cámara.

Existen principalmente cuatro tipos de exposímetros, dependiendo de la zona de la escena donde se realiza la medición: de lectura *media o integral*, que hace una medición de la mayoría de la imagen; *centrado*,

que realiza dos lecturas de la luz, una de la parte central y otra de la parte periférica de la escena; *spot*, que realiza la medición en una pequeña parte de la imagen; lectura *integrada, comparada o matrix*, que es capaz de cubrir varias zonas de la imagen y hacer una media, por un algoritmo, eligiendo el nivel de exposición más oportuno.

No podemos decir que exista un tipo mejor o peor de exposímetro, sino que depende mucho del tipo de foto que se quiere sacar. Los exposímetros de lectura integradas son los más fiables y normalmente no necesitan correcciones técnicas por el fotógrafo.



Exposímetro profesional Sekonic - SE L398A - Studio Deluxe III - L398A precio 153€. http://www.tuttofoto.com/Catalogo.abl?cmd=md&id_articulo=9859429

3 En realidad este depende también del tipo de focal que estamos utilizando, con teleobjetivo podemos tener una velocidad mínima de $1/250$ o $1/500$

4 Prioridad de tiempo o de apertura. En el primer caso el fotógrafo fija el tiempo de saque y la cámara automáticamente elige la apertura del diafragma, mientras que en el segundo caso el fotógrafo elegirá el tipo de apertura y la cámara en consecuencia el tiempo.

3.2 Los objetivos

El objetivo es un dispositivo óptico, aplicado a la cámara, que permite a la luz pasar e impresionar la película o el sensor de nuestra fotocámara.

Los objetivos “pioneros” estaban compuestos por una sola lente. Con el pasar del tiempo y la evolución de la técnica, para evitar aberraciones, distorsiones ópticas y cromáticas, éstos se han vuelto más complejos, multiplicando el número de lentes hasta 17-18 “vidrios”.

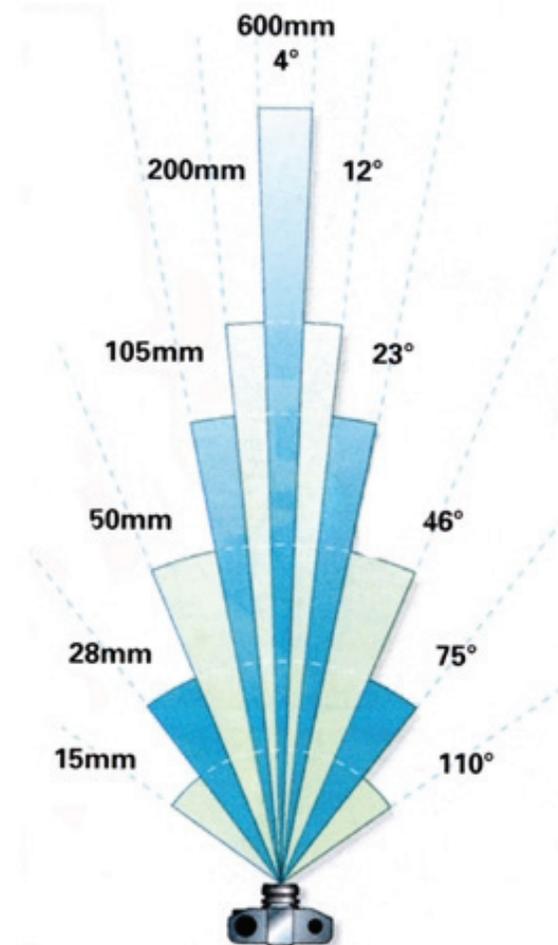
Existen varios tipos de objetivos por marcas y modelos, pero se pueden dividir, sustancialmente, en cuatro grandes grupos dependiendo de la *distancia focal*. Ésta es la distancia que separa la película o plano focal del centro del objetivo⁵, siendo regulado con el infinito. La distancia focal, expresada con una cifra en milímetros, está grabada normalmente en la parte exterior del objetivo junto a la abertura máxima.

Los cuatro grandes grupos de lentes son: *fisheye*⁶, objetivos de ángulo de visión extrema con distancia focal que varía entre 8 y 16 mm; *gran angular*, objetivos que pueden tener un notable ángulo de visión, cuya longitud focal varía entre 18 y 35 mm; *estándar o normal*, siendo su distancia focal de 45 -50 -55 mm; *teleobjetivo*, con distancia focal a partir de 80 mm.

Cambiar distancia focal quiere decir, alterar el ángulo de visión y cambiar la distancia de encuadramiento de la escena disimulando lo cerca o lo lejos que pueda estar un sujeto, y reducir o exagerar la perspectiva fotográfica. Para entenderlo mejor, podemos pensar que los objetivos *estándar o normales*, que tienen un ángulo visual alrededor de los 45°, reproducen los tamaños de las cosas a distinta distancia de modo equiparable a la visión de nuestros ojos. Pues, es fácil de entender, como objetivos con distancia focal más pequeña de la “normal” tendrán ángulo de visión mayor a lo que puede llegar el ojo humano, mientras los que tendrán distancia focal mayor, alcanzarán un ángulo de visión más estrecho y darán una visión más grande de

las cosas. Distancias cortas abarcan campos muy anchos mientras enfoques largos, un campo más restringido.

Hay objetivos de distancia focal fija y *zooms* (distancia focal variable)⁷. Los primeros son, normalmente, de mejor calidad y permiten imágenes más luminosas y nítidas, mientras que los segundos son más prácticos, en cuanto permiten obtener campos de vista diferentes.

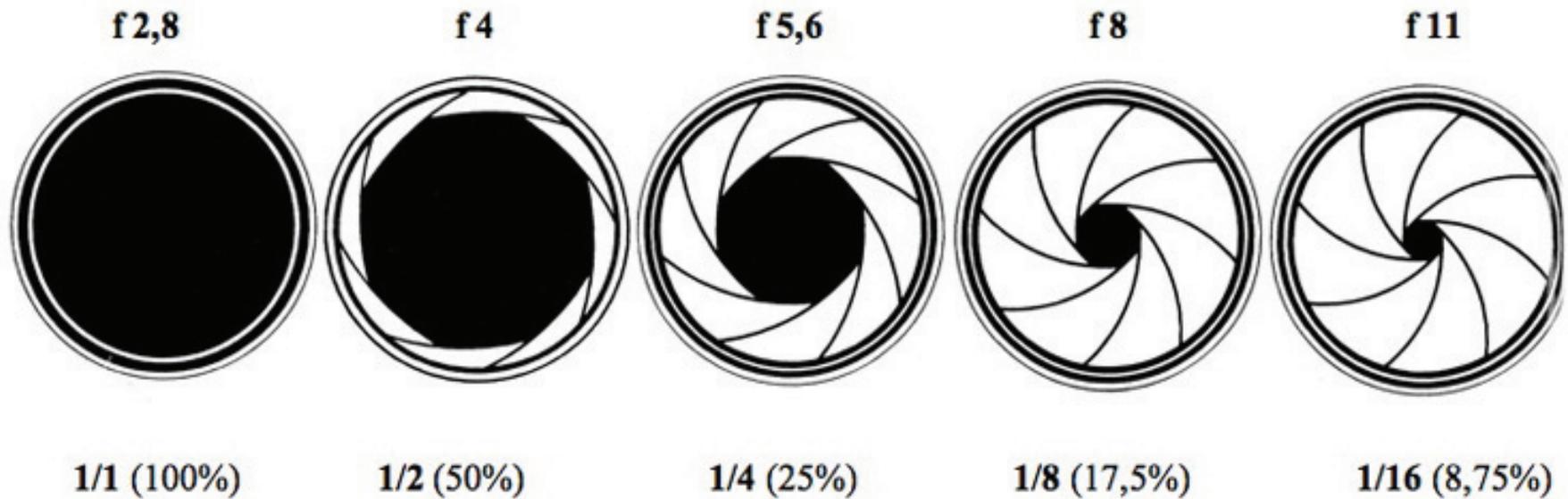


Ángulo de visión y distancia focal; <http://www.robertosartori.net/corsofoto.htm>

5 Este coincide con el centro en que se situaría el centro de un objetivo de lente simple de esta misma distancia focal.

6 Hablaremos más en detalle de estos tipo de objetivos en el próximo capítulo

7 Estos pueden variar desde granangular/ granangula, granangular/ normal, normal/tele, tele/tele...



Ejemplo de diafragma más abierto y más cerrado.

3.2.1 La abertura

En el interior de los objetivos hay un dispositivo, formado por una serie de láminas metálicas negras superpuestas (normalmente de 5 a 9), llamado *diafragma*. Éste es una de las herramientas más útiles para el fotógrafo, ya que permite el control de luz que entra en la cámara a través de un orificio o *abertura*. Junto al tiempo de saque, el diafragma permite regular la exposición de una foto, cambiando el tamaño de la abertura. La extensión del diafragma puede llegar a coincidir con el diámetro del objetivo, lo que se dice totalmente “abierto”, mientras que puede llegar a tener un diámetro minúsculo en el centro, lo que se define totalmente “cerrado”. Un diafragma abierto o cerrado se muestra por una escala de números llamados *números f*, lo cual no se refiere al diámetro del agujero dejado por las láminas, sino a la fracción entre la longitud focal y el diámetro de abertura. Esto quiere decir, que el valor es inversamente proporcional a la dimensión del orificio, a valores más bajos coinciden con más luz que entra y a la inversa. Cada valor de la escala de abertura o de cierre del diafragma,

significa duplicar o dividir la cantidad de luz que llega a la superficie fotosensible. Es importante recordar que, siendo el valor f relacionado a la distancia focal de las lentes, a diferentes objetivos, iguales valores de abertura no coinciden con igual diámetro.

Cada objetivo en su exterior lleva grabado, junto a la distancia focal, un valor que coincide con la abertura máxima. Ésta es una abertura relativa, igual a la longitud del objetivo dividida por el diámetro de la lente frontal.

La abertura no influye únicamente en la capacidad de aclarar u oscurecer la imagen sino también en la que se llama *profundidad de campo*⁸, pues tiene que ver con la nitidez de la foto. A abertura más pequeña coincide mayor profundidad de campo, mientras que a menor abertura corresponde mayor profundidad.

⁸ La profundidad de campo es la distancia comprendida entre el punto más próximo y el más lejano del sujeto que está siendo enfocado, cuyos detalles pueden ser reproducidos nítidamente ajustando al enfoque del objetivo. [2] p.47

3.3 La película y el sensor de la cámara digital

Las superficies fotosensibles son fundamentales en la técnica fotográfica en cuanto son los instrumentos que nos permiten fijar la imagen en el tiempo⁹. Varios han sido los materiales que, desde el 1827 cuando Joseph Niepce realiza la primera foto, han evolucionado y se han probado, pasando desde láminas de peltre o de plata hasta los contemporáneos sensores.

Como hemos dicho anteriormente describiendo los diferentes tipos de cámaras fotográficas, hay diferencia entre las varias superficies fotosensibles por su formato (pequeña, media y grande), por sus dimensiones (alargada, cuadrada, rectangular, ect..) o por tipo (negativa o diapositiva), por el color (blanco y negro, color), por el embalaje (plana, cartucho, disco,...), de sensor (CCD o CMOS¹⁰) y por su sensibilidad (alta, baja, ect..).

En este capítulo nos ocuparemos de las películas, o de los sensores en el caso de la fotografía digital, únicamente desde el punto de vista de la sensibilidad a luz, en cuanto no queremos transformar esta tesina en un manual de fotografía pero si consideramos fundamental describir unos conceptos básicos que nos servirán para nuestro análisis.

3.3.1 La sensibilidad a la luz

La sensibilidad de una película va acompañada de una cifra que indica la rapidez de emulsión que normalmente llamamos valor ISO (International Standard Organization). Este es un valor que coincide con la sensibilidad de los carretes a la luz y está señalizado en la caja

9 Ya en el 400 a.C. Aristóteles había descrito las características de la cámara oscura; Leonardo Da Vinci, luego perfeccionó esta herramienta y con el Renacimiento el uso de éste fue implementado y muy utilizado en pintura. Pero el problema era poder grabar la imagen luminosa producida de modo que permaneciera en el tiempo.

10 En los sensores CCD, la conversión desde la luz al dato digital, hecha por los fotodiodos, es realizada en el exterior del sensor, mientras que en un sensor CMOS, la transformación se realiza internamente, sin pasar por dispositivos externos. Actualmente los CCD siguen siendo más fiables.

con dos cifras, por ejemplo, ISO 100/21°, que derivan de dos escalas de velocidad. La primera que se usaba en los Estados Unidos, ASA, y la segunda, acompañada del símbolo de grados, de la escala alemana, DIN.

La escala ISO, sigue siendo utilizada en el dispositivo digital para definir la sensibilidad del sensor en un momento dado. Los valores comunes son 25, 100, 200, 400, 800 y 1600, cuando más alta sea la cifra, la película o el sensor necesitará menos luz y será más rápida, y cuando más pequeña sea la cifra, más lenta será la película y necesitará más luz. Una película de 50 ISO requiere el doble de la luz que una de 100 ISO.

Para sacar una foto de día, normalmente, usamos una sensibilidad de 100 ISO, mientras que para sacar fotos nocturnas o en un interior oscuro usamos sensibilidades (o velocidad) más altas, como un 1600 ISO.

Subiendo en la escala de los ISO aumenta la sensibilidad de los elementos fotosensibles, pues la posibilidad de sacar fotos con condiciones de luz más “difíciles”, con tiempos de exposición más bajos, pero al mismo tiempo, las imagen tendrán problemas de *ruido* o *granos*.

Se define ruido o grano de una foto, la presencia de picaduras monocromáticas (luminance noise) o manchas coloradas (chroma noise) en las áreas más uniformes o más oscuras de la imagen.

Este problema se presenta, aumentando la sensibilidad de las películas, por el hecho que, técnicamente, una película más rápida se obtiene aumentando el tamaño de los haluros de plata y como consecuencia, aumentando el volumen del grano. Este inconveniente sigue permaneciendo en la moderna fotografía digital debido a varios problemas, como la necesidad de amplificar las señales débiles, sea por el hecho que un único fotodiodo¹¹ afectado por la misma cantidad de luz en momentos distintos genera señales de intensidad diferentes.[6]

11 El fotodiodo es un particular componente electrónico que funciona como sensor óptico capaz de reconocer una determinada longitud de onda y trasformarla en una señal eléctrica.

Actualmente, el problema del ruido ha sido notablemente corregido y existen cámaras profesionales que casi no tienen este inconveniente gracias a sensores más complejos.

3.4 Medición de la luz, exposición e índices de iluminación

Se puede describir la exposición como la suma de *tiempo/abertura/velocidad de la película*, cuya relación entre estos tres valores se llama *reciprocidad*. A partir de las mismas condiciones de luz, se obtiene el mismo resultado¹² bajando, por reciprocidad, un valor y subiendo otro. Muchas veces se usa el término exposición para indicar la cantidad total de luz que llega en la película en un período de tiempo.

La exposición se mide en EV, *Exposure Value*, y los índices van de -9 a +22. El valor 0 nos indica una exposición correcta, mientras que los valores negativos se refieren a *bajaexposición*, pues saldrán imágenes más oscuras, y los valores positivos indican una *sobreexposición*, pues una excesiva exposición a luz de un material fotográfico. En la medida que los valores se alejan de cero, las imágenes que obtendremos serán quemadas u oscuras.

La exposición se mide a través del exposímetro, regulando la velocidad de la película o del sensor, y modificando la pareja *tiempo/diafragma* según los valores de reciprocidad.

12 La reciprocidad nos da la misma exposición pero no el mismo resultado fotográfico. Recordamos que moviendo el diafragma nos cambia la profundidad de campo, aumentando el tiempo la imagen puede salir movida y aumentando la sensibilidad corremos el riesgo de obtener foto con ruido.

- [1]. Hedgece John, 1992, Manual de Técnica Fotográfica, Tursan, Madrid
- [2]. Langford Michael, 1991, Fotografía Básica, Omega, Barcelona
- [3]. Pradera Alejandro, 2004, El libro de la fotografía, Alianza Editorial, Madrid
- [4]. Zanner Italo, 1993, Storia e Tecnica della fotografia, Laterza, Bari
- [5]. De Vomécourt A., Consejos y trucos de profesionales, Editions VM
- [6]. <http://www.3megapixel.it/tips-rumore.html>
- [7]. <http://www.robertosartori.net/corsofoto.htm>



Objetivo Fish-eye (ojo de pez)

Pequeña historia del fisheye

Principales características de los objetivo ultra-angulares

Diferentes tipos de lentes fisheye

Fisheye converter

El “Globoescopio” o espejo esférico

Fotografía Fisheye de un espacio virtual

Como construir un objetivo fisheye casero

Objetivo Fish-eye (ojo de pez)

Los “ojo de pez”, son unos especiales objetivos fotográficos con ángulo de visión extremo. La mayoría de estos objetivos permiten sacar fotos con un campo escénico de 180°, pero dependiendo del tipo y del productor, el ángulo de visión puede variar entre 160° y 220°¹. Con el paso del tiempo, han sido construidos prototipos que alcanzan una vista de hasta de 270°, llegando a dar una visión espectacular, alcanzando a representar incluso lo que hay detrás del fotógrafo².

1 En el año 1969 Nikkor produjo un objetivo comercializado pero con escaso suceso por su especialización. De 430 g de peso, *Nikkor 6,3mm f/5,6* con un ángulo de visión de 220°; en 1977 Nikon realizó, por una expedición en el Antártico, un objetivo que alcanza un ángulo de visión de 220°, un *6mm f/2.8s*. Actualmente este objetivo está fuera de producción a causa de su peso y tamaño (5,2 kg y un diámetro 236 mm) [1]. Hoy en día, Sunex produce un ojo de pez que obtiene imágenes con ángulo de 185°.

2 Ya en 1968, el doctor Masaki Isshiki, experto de la óptica de la casa japonesa Nikkor, había realizado dos prototipos *fish-eye-Nikkor 5,4mm f/5,6* con ángulo de visión de 270°, capaces de obtener imágenes detrás del fotógrafo.[5]

4.1 Pequeña historia del fisheye

El primer objetivo fisheye fue realizado en 1921, cuando el doctor Roben Hill desarrolló una primera lente *ultra-angular* para estudiar la formación de las nubes, construida por la firma Beck de Londres, y llamada “whole-sky-lens” (lente de cielo entero) por su capacidad de dar una visión total del cielo en una única imagen.

En los años '30 la casa Zeiss, cree en las posibilidades de estas lentes y produce ciertos prototipos, desarrollando y estudiando el sistema óptico *ultra-angular*; pero es con los años '60 que la Nikkor, casa japonesa que produce ópticas para Nikon, que comienza el verdadero desarrollo de estos objetivos visualizándoles un futuro y una comercialización, reconociéndoles una posible aplicación en el campo de la fotografía tradicional y no solamente en el campo científico. De todas formas, las primeras lentes continuaron produciéndose para un grupo de usuarios muy restringido, muchas se quedaron como prototipos o fueron construidas por encargo especial para el Ministerio Japonés de Defensa y para agencias meteorológicas.

Es entre los años 1960 y 1961 que fueron producidas y comercializadas las primeras cámaras compactas que usan este especial objetivo con el nombre de “Fisheye cámara”, a partir del modelo de la lente *Fisheye-Nikkor 16,3mm f/8* realizada en el año 1948 y ya comercializada en 1957. [5]

Actualmente las fotos sacadas con objetivo ultra-angular son muy conocidas y valoradas por fotógrafos y profesionales de la fotografía. Una de las aplicaciones más frecuentes son las imágenes panorámicas, alcanzando así, un mayor ángulo horizontal de lo que se podría lograr con normales objetivos rectilíneos. De todos modos, las lentes fisheye tienen su apreciación por el particular efecto que dan a las fotos y para proponer la curvatura de la Tierra.

Otras aplicaciones se encuentran principalmente en el campo científico, en biología, agricultura y ciencia forestal, por análisis del dosel y de la canopea.



Nikon “Fisheye camera” comercializada el 1960 con funda y tapón; www.luciolepri.it/lc2/marcocavina/articoli_fotografici/Nikkor_fisheye_story

Así también, se utiliza la visión a ojo de pez en los simuladores de vuelo y en los planetarios, por las proyecciones de la bóveda celeste. Es muy frecuente el uso de la imagen fisheye en la gráfica 3d, para construcciones de escenas más reales y con ambientes panorámicos. [6]

El término “fish-eye” tiene su origen en un estudio sobre la refracción de los rayos de luz en la superficie de un lago, en el cual en el año 1911 Robert W. Wood en su libro, *Physical Optics*, habla de la capacidad óptica de los peces de ver la totalidad de una semiesfera [2].

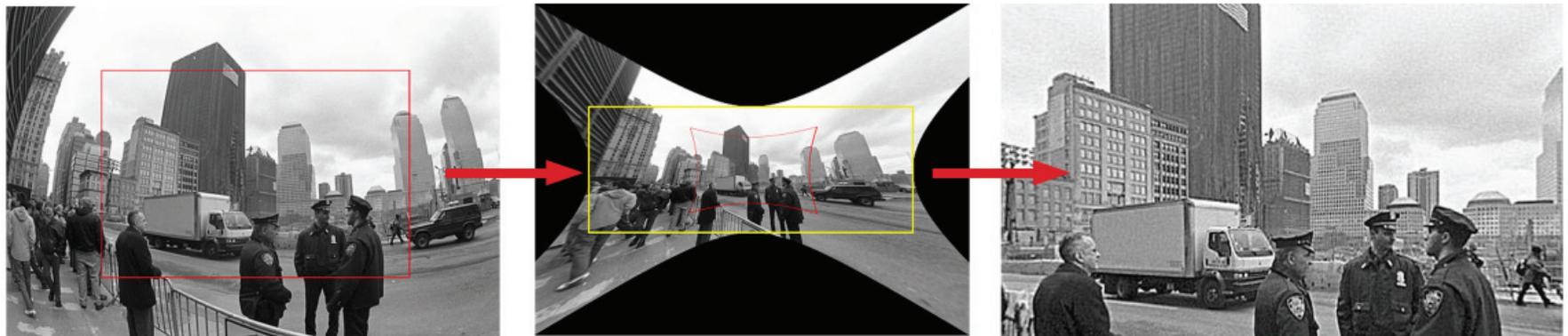


4.2 Principales características de los objetivo ultra-angulares

Son dos las principales características que se encuentran en todas las lentes de ojo de pez: la primera es la capacidad de alcanzar ángulos de visión muy grandes, y la segunda el particular efecto deformado. Una imagen obtenida con objetivo ultra-angular presenta una fuerte distorsión a “barril”, lo que significa, que se deforma lo que en la realidad aparece como una línea recta en una curva. La imagen se presenta más deformada cuanto más nos alejamos del centro y nos acercamos al borde de la foto.

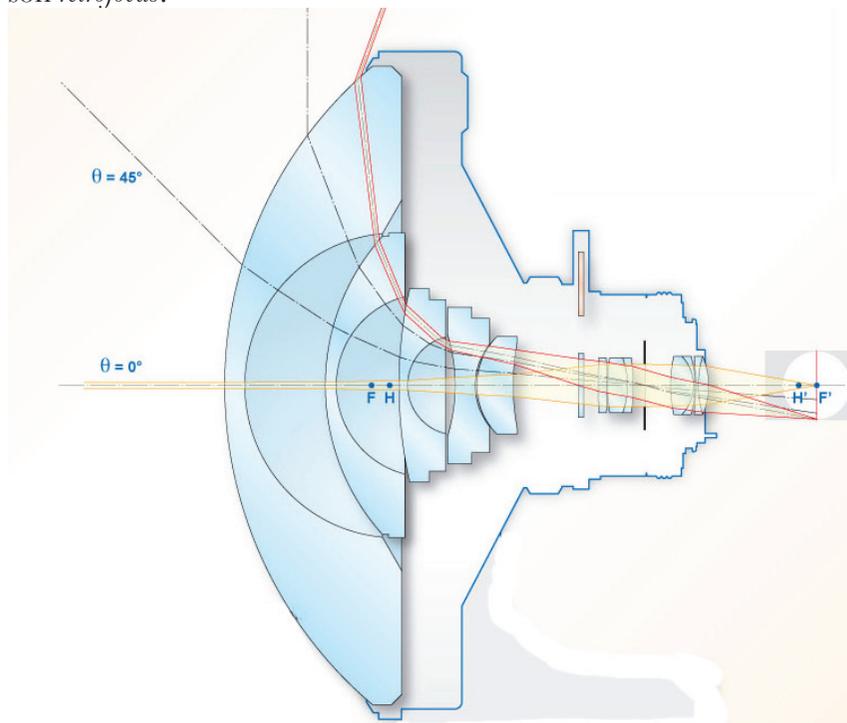
Actualmente existen varios correctores de imagen: hay lentes que intentan corregir la distorsión para obtener imágenes rectilíneas, más parecidas a la visión de nuestro ojo. Pero todavía no existe una lente con ángulo de captura superior a 100° horizontales que no deforme las fotos. De todos modos, las fotos sacadas con una lente fisheye pueden ser transformadas por medio de diferentes softwares apropiados, ya sea de foto retoque o de elaboración de imágenes, como Photoshop. La corrección digital tiene su contrapartida, y es que resulta una pérdida de calidad y detalle a los extremos de la imagen. [3]

Deformación de las líneas rectas en una foto fisheye; http://wiki.panotools.org/Fisheye_Projection



Conversión rectilínea de una foto fisheye 35mm full frame fisheye de 911 Ground Zero. Nueva York; <http://photo.net/learn/fisheye>

La mayoría de los objetivos fisheye, sobre todo los que están realizados para cámaras reflex, son ópticas *retrofocus*³ (realizadas por primera vez en los años '60). Estos objetivos están formados como un “tele-objetivo invertido”, con unas lentes anteriores divergentes y unas posteriores más pequeñas convergentes. Esta es una característica frecuente, pero no todos los objetivos ojos de pez tienen este tipo de óptica. Por ejemplo, los primeros objetivos, como el *fisheye-Nikkor 8mm f/8*, no estaban dotados de tecnología *retrofocus*, eran muy compactos pero, a causa de su profundidad, obligaban a levantar el espejo de la cámara y a usar una mirilla exterior. Muchas cámaras compactas no son *retrofocus*.



Esquema de refracción de la luz de un Objetivo Fisheye Retrofocus de 220° de ángulo de vista
http://www.pierretoscanni.com/echo_fisheyes.html

3 Retrofocus: cuando la distancia focal es menor que la distancia entre el punto nodal principal y el plano focal. Esto permite que el objetivo no se introduzca demasiado adentro de la cámara réflex, evitando problemas en libre movimiento del espejo, cosa que pasaba con las primeras lentes fisheye.

4.3 Diferentes tipos de lentes fisheye

Existen diferentes tipos de lente fisheye, sea por la visión que éstas ofrecen sea por los diferentes tipos de distorsión.

4.3.1 Lentes fisheye: diferentes campos de visión

Hay dos tipos de lentes teniendo en consideración el campo de visión: *circular* y *fullframe*.

Los objetivos **fisheye circulares** fueron los primeros en ser fabricados, tienen un ángulo de visión de 180° en las tres direcciones de la foto, por tanto en diagonal, vertical y horizontal. En el normal soporte fotográfico aparece un círculo negro inscripto en el marco de la fotografía. Siempre los ángulos y la parte extrema de cada imagen aparece negra. En las cámaras tradicionales de 35 mm el círculo se puede adaptar al lado más corto o puede ser recortado en los extremos de la vertical del campo de visión. Un tamaño cuadrado, como un 8mm, sería más apto a este tipo de fotografía.⁴ Estos tipos de lentes son las más usadas para estudios científicos.⁵

Los objetivo **fisheye fullframe** son lentes que se han ido fabricando como consecuencia de la difusión de las fotografías a ojo de pez y al aumentar la popularidad de éstas. Son lentes que obtienen fotogramas que se adaptan al formato de la 35 mm, ocupando por entero el espacio de la foto. Con este tipo de lente se realizan imágenes con el ángulo de 180° solamente en diagonal, reduciéndolo en horizontal a 147° y en vertical a 94°. Con estos objetivos no encontramos en la fotografía los tradicionales marcos negros que hay en las fotografías sacadas con un fisheye circular. Actualmente estos tipos de objetivos

4 Zeiss F-Distagon 24mm f3.5-5.6; Kowa 19mm f4.5; [4]

5 Peleng 8 mm f/3.5; Canon FD 7.5 mm f/5.6 (fuera producción); Nikkor 8mm f/2.8 (fuera producción); Nikkor 6mm f/2.8 lens (fuera producción); Sigma 8 mm f/3.5 EX DG (fuera producción); Sigma 8 mm f/4 EX DG; Sigma 4.5 mm f/2.8 EX DC Circular Fisheye HSM ; Sunex 185 deg SuperFisheye 5.6mm f/5.6 for DSLRs; Vemar 12mm f/5.6 Fish-Eye / Ultra-Wideangle—circular image on full-frame 135 cameras [4]

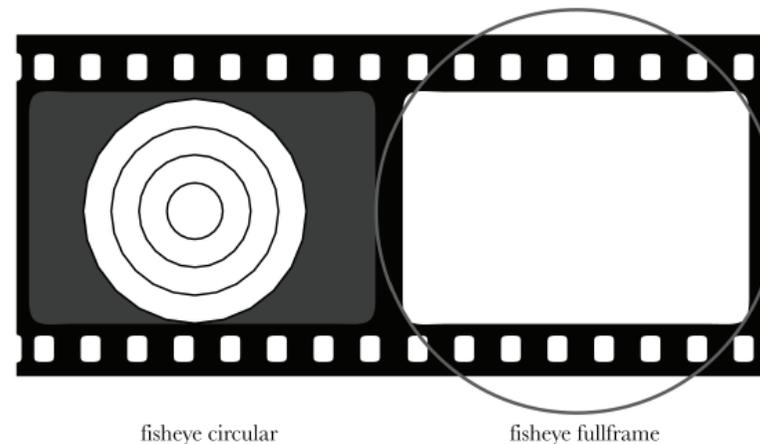


Imagen tomada con lente fisheye circular del centro astronómico Joint: <http://www.jach.hawaii.edu/UKIRT/instruments/wfcam/photos>



Imagen sacada con lente fisheye fullframe de Nueva York: <http://www.ronsaari.com/stockImages/nyc/FlatironAndMetlifeBuildingFisheye.php>

son los más usados por los profesionales de fotografía. Se fabrican muchas lentes fullframe, sea para cámaras 35 mm⁶, sea para cámaras de medio formato⁷.



Esquema de diferentes adaptación al fotograma en relación al campo de visión

6 AF DX Fisheye-Nikkor 10.5mm $f/2.8$ G ED; MC Zenitar 16mm $f/2.8$; Sigma 15 mm $f/2.8$ EX DG Diagonal Fisheye; Sigma 10 mm $f/2.8$ EX DC Fisheye HSM; Zoom Tokina 10-17mm $f/3.5-4.5$ fisheye lens for APS-C sensors Canon EF 15mm $f/2.8$; Minolta/Sony AF 16mm $f/2.8$ Fisheye; Olympus Zuiko Digital ED 8mm $f/3.5$ Fisheye; Pentax DA 10-17mm $f/3.5-4.5$ ED; Samyang Optics 8 mm $f/3.5$ Fisheye CS (stereographic projection) [4]

7 Zeiss F-Distagon 30mm CF $f/3.5$; Zeiss F-Distagon 30mm CFI $f/3.5$; Zeiss F-Distagon 30mm IHI $f/3.5$; Kiev Arsat 30mm $f/4.0$; Mamiya 24mm $f/4.0$; Mamiya 37mm $f/4.5$ fisheye C; Mamiya 37mm $f/4.5$ fisheye Z; Pentax Super Multi Coated Fish-eye-takumar 35mm $f/4.5$; SMC Pentax 67 fish-eye 1:4.5 35mm; Rollei Zeiss F-Distagon 30mm $f/3.5$; Rollei Zeiss PQ F-Distagon $f/3.5$ 30mm; Zenza Bionica PE 30mm $f/3.5$ fisheye; Zenza Bionica PS 35mm $f/3.5$ fisheye; Zodiak 180 fisheye; [4]

4.3.2 Lentes fisheye: diferente proyección

Otra diferencia que se puede encontrar entre los varios objetivos es la proyección que se obtiene de una realidad tridimensional (espacio) y la imagen bidimensional (foto).⁸ Cada óptica, de diferentes productores, con diferentes curvaturas y distancia focal de las lentes, puede dar imágenes con importantes diferencias. Es fundamental conocer el tipo de lente que se está utilizando y los diferentes modos que ésta representa la realidad en el papel, sobre todo si estas imágenes son utilizadas para estudios científicos.

Las proyecciones más comunes son de 4 tipos: ortográfica, estereográfica, equisólida y equidistante. Actualmente se fabrican específicos objetivos con diferente distorsión, por encargos especiales y para diferentes fines.

Hay **lentes ortográficas** que producen imágenes donde los bordes de la foto son muy reducidos, aún cuando se tenga un ángulo de visión de 180°. Las imágenes aparecen como una semiesfera vista desde arriba y aplastada en el plano.⁹ Estos tipos de objetivos no son muy comunes y son poco comercializados a causa de la pérdida de detalle en la parte periférica de las imágenes, pero son muy aptos para estudios científicos.

Otros objetivos fisheye, poco comunes y específicos, son las **lentes estereográficas**. Éstas son muy aptas a los fotógrafos porque no comprimen mucho la parte perimetral de la foto, son muy útiles con fines de estudios solares, por la información que éstos pueden dar de las partes más anguladas de las fotos. Una particularidad muy importante, es el hecho que éstos conservan los ángulos y no la distancia. Esta característica es la principal causa por la que las imágenes estereográficas se utilizan para varios fines científicos. No obstante sus buenas propiedades, este tipo de lente es muy poco producido, pocas casas realizan estos tipo de objetivos, porque son de difícil fabricación sus convergencias.



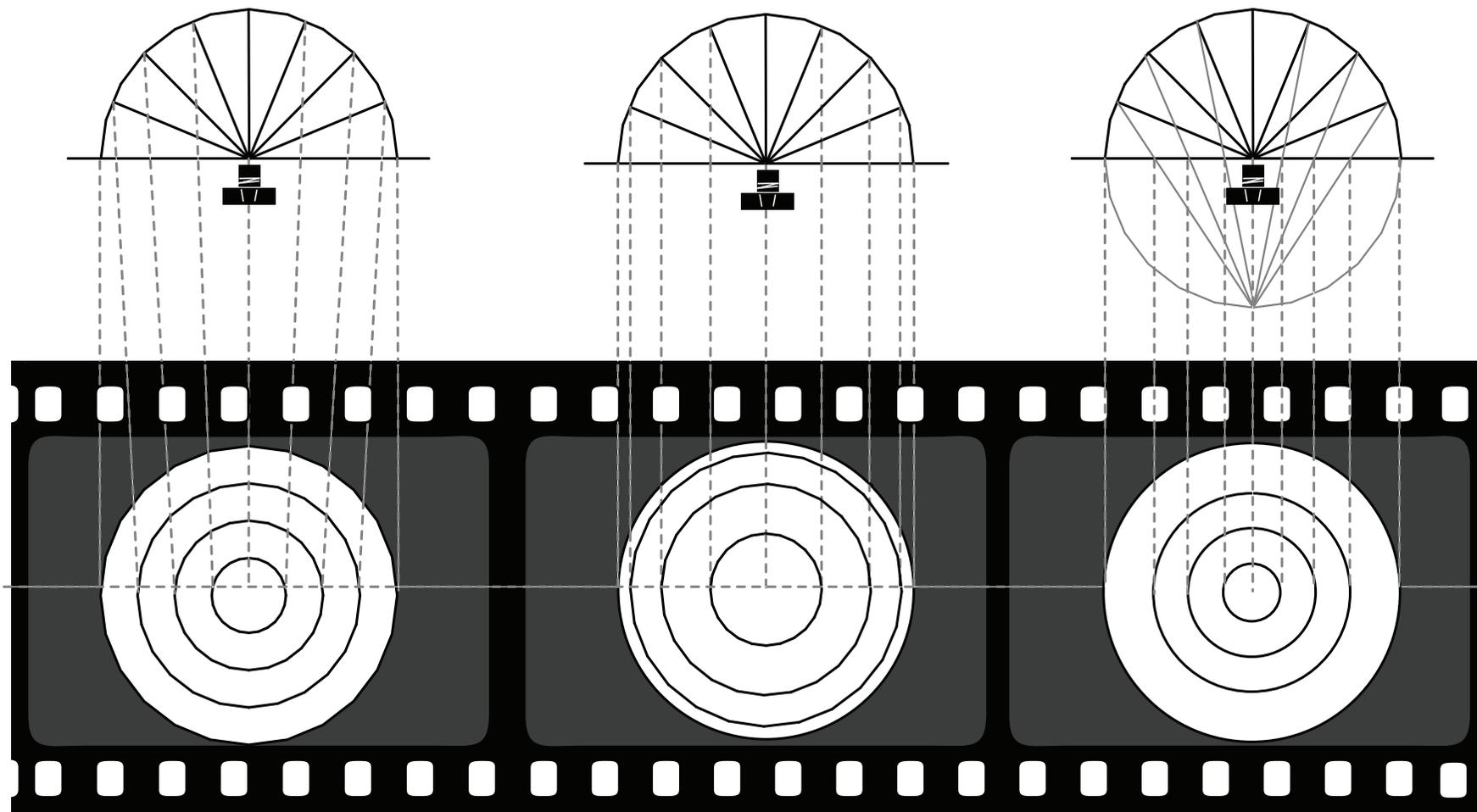
Foto fisheye ortográfica; http://imaging.nikon.com/products/imaging/technology/nikkor/n06_e.htm



Foto fisheye estereográfica; http://imaging.nikon.com/products/imaging/technology/nikkor/n06_e.htm

8 ver capítulo 2

9 Este es el tipo de lente que usamos en la parte experimental de la tesis



proyección equidistante

proyección ortográfica

proyección esteriográfica

Un tipo de ojo de pez muy habitual es la **lente con ángulo de proyección equisólido**. Este tipo de lente obtiene proyecciones similares a las que se obtienen con un *globoscopio*, como las imágenes que se pueden lograr con el reflejo de un espejo esférico. Asimismo, como otras lentes, aplasta mucho la parte periférica del campo de visión.

Una lente muy parecida a la equisólida es el **fish-eye con proyección**

equidistante. Este tipo de objetivo es muy interesante por su capacidad de mantener en la proyección la misma proporción en la distancia. Elementos de igual dimensión en la realidad, posicionados a igual distancia del punto de saque, quedarán de igual dimensión en la foto. Si un objeto dado se encuentra en la realidad a 45° desde el eje de la foto, en la imagen se encontrará a media distancia entre el centro de la foto y el borde. Estos objetivos son idóneos en el análisis

de la luz indirecta para obtener *factores de cielo*. [7]

Las fotos equidistantes se pueden comparar con los valores de un escáner del cielo, realizando oportunas correcciones.

Hay en mercado otros tipos de ojo de pez con distorsiones diferentes, pero estos normalmente se obtienen por encargos especiales y hay empresas que producen lentes con ángulo de proyección y campo de visión por específicos pedidos¹⁰. [8]

Actualmente se están desarrollando varios softwares y algoritmos que permiten transformar una foto con un tipo de proyección en otra. Uno de lo más conocido es “PanoTools” o “Panorama Tools”, pero existen además varios plugin para software de foto retoque como el Flaming Pear para Photoshop.

En relación al tipo de proyección que tenemos se puede obtener la posición de un punto R en el espacio real a partir de una imagen. Existen para cada proyección unos simples algoritmos que calculan en relación al punto R , la distancia focal f y el ángulo θ entre el eje de la foto y el punto.

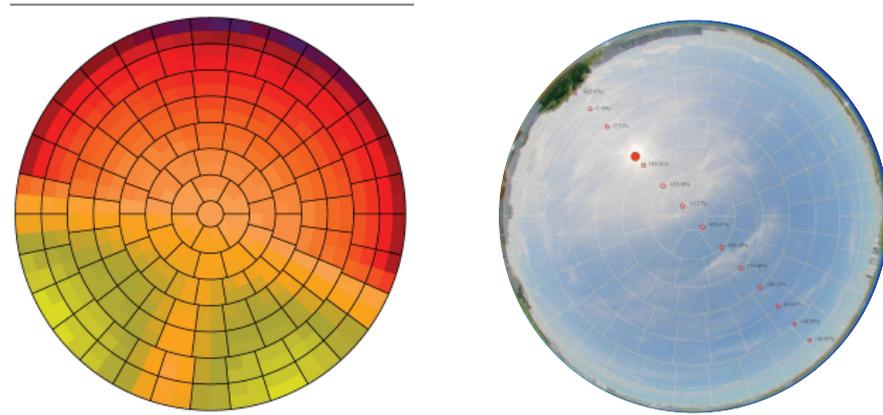
Proyección ortográfica: $R = f * \sin(\theta)$

Proyección estereográfica: $R = 2f * \tan(\theta / 2)$

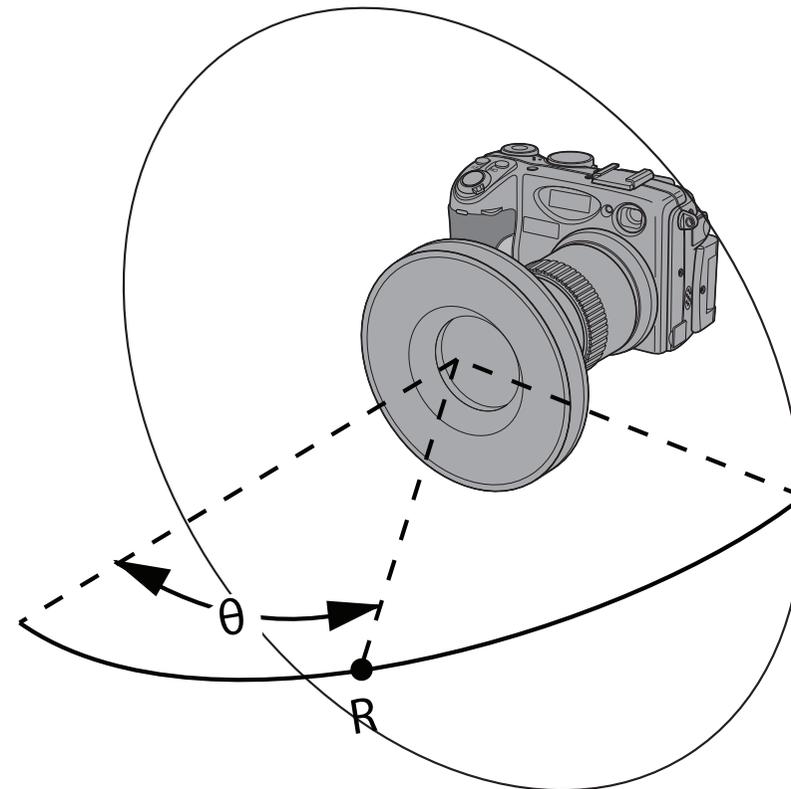
Proyección equidistante: $R = f * \theta$

Proyección equisólida: $R = 2f * \sin(\theta / 2)$

Actualmente la investigación sobre este campo esta avanzando rápidamente, gracias al desarrollo de programas para corrección de la distorsión a barril y el uso de imagen de gran ángulo en la realidad virtual y en los videojuegos.



Comparación entre imagen obtenida con un Sky scanner y una foto fisheye equisolid



Esquema de relación entre punto R de una foto y ángulo θ

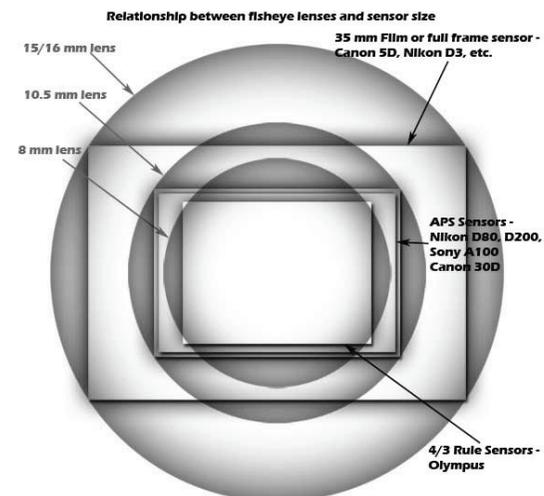
4.4 Lentes fisheye para cámaras analógicas tradicionales y cámaras digitales

Lo que puede cambiar entre una tradicional cámara analógica y una cámara digital es principalmente la distancia focal y el campo de visión. El campo de visión depende de la distancia focal de la lente y el tamaño de la película. En las cámaras analógicas con película 35 mm la distancia focal tradicional por un objetivo fisheye circular es de 8-10 mm y 15-16mm por un fullframe.

En la fotografía digital ya no encontramos las películas si no los sensores, que normalmente tienen un tamaño más pequeño del tradicional fotograma de 35 mm.

Para una cámara digital el tipo de campo de visión puede variar en relación al tipo de sensor de la cámara, se puede llegar hasta un 1-2 mm. Este tipo de lentes se llaman “miniaturas” y se usan normalmente en cámaras de seguridad.

Las fotos cámaras digitales están dotadas de multiplicadores que normalmente aparecen en las fichas técnicas de cada producto con un valor seguido de una “x”. En la práctica es el valor por el cual hay que multiplicar la distancia focal de un objetivo puesto en una cámara con sensor para obtener el mismo campo de visión en una cámara con película 35 mm. Por ejemplo un objetivo 100 mm montado sobre una cámara con multiplicador “1.6x” tiene el mismo ángulo de visión de un 160 mm en una cámara 35 mm.



http://www.northlight-images.co.uk/Canon_new_lenses.html

4.5 Fisheye converter

Son dispositivos “no focales” que varían la longitud de la óptica sobre la cual están montados. Normalmente estas lentes se acoplan como si fuesen unos filtros, es decir, enroscándolos y añadiéndolos a otras lentes¹¹. La calidad de las imágenes obtenidas no es muy buena, pero los *convertidores* son una forma económica de obtener fotos con efectos fisheye y pueden ser una alternativa de bajo costo a los caros objetivos ojo de pez.

Estos están en el mercado desde hace mucho tiempo y principalmente eran comercializados en los años '70, cuando el coste de las cámaras fotográficas era muy alto. En nuestros días, han vuelto a ser frecuentes en el comercio, cuando con la introducción de las fotocámaras digitales muchos aficionados se han acercado a la fotografía. En los últimos años, con la bajada de los precios y la mayor competencia en el mercado, ha disminuido la venta de estos adaptadores coincidiendo

¹¹ Kenko 0.19x; Nikon FC-E8; Nikon FC-E9; Olympus F-con02; raynox 180; raynox 185; Soligor 0.19X; [4]



Varios ejemplos de convertidores fisheye; <http://panopticus.altervista.org/fishlist/adapters.htm>

con la bajada de los precios de los objetivos fisheye, en cuanto se han acercado los precios, con lo que resultan preferidas las ópticas que ofrecen mejor calidad.

Estos tipos de convertidores no son aptos para fotografías con fines científicos, sino más bien, para los amantes del efecto a barril y para fotos panorámicas, porque con éstos se obtienen imágenes que no dan la geometría de las proyecciones clásicas y controladas. Es fácil entender cómo la distorsión fisheye del adaptador se suma a la deformación, también si mínima, del objetivo de base.

4.6 El “Globoescopio” o espejo esférico

Hay otro sistema para obtener imágenes de 180° o más: el globoescopio o espejo esférico. Este sistema consiste en fotografiar una esfera brillante de alta refracción. Es una técnica muy simple, práctica y económica. Las propiedades de un espejo esférico son conocidas desde hace mucho tiempo, es muy común ver estos tipos de espejos en

las esquinas de las calles, permitiendo a los conductores ver los coches detrás de una curva.

Hoy este método continúa desarrollándose y perfeccionando, son muchas las investigaciones sobre el reflejo de la imagen en un cuerpo curvo. Con este sistema se pueden obtener diferentes proyecciones del espacio, estos dependen de la forma de la esfera y del tipo de cámara utilizada.¹² Son bastantes conocidos los efectos de la reflexión que las diferentes formas y curvaturas pueden dar. [11] Para los aficionados a la fotografía, y sobre todo de fotografía panorámica, hay varios productos en el comercio que utilizan este método.

La del espejo esférico es una técnica que se puede utilizar para obtener, con programas de gráficas 3D, renders con efecto fisheye sin que sea necesario añadir plugin a los software, será suficiente crear una esfera brillante y orientar la cámara virtual sobre la

¹² Es importante que la cámara utilizada tenga un objetivo sin distorsiones añadidas, con proyección rectilínea porque este podría llevar a una suma de efectos difícil de controlar.

misma. Son interesantes varios estudios sobre esta técnica invertida, pues proyectando una imagen sobre un espejo curvo, permite dar proyecciones tridimensionales del espacio proyectado.



Globoescopio y vista superior de la esfera; <http://www.hdrlabs.com/cgi-bin/forum/YaBB.pl?num=1187252545/10>

4.7 Fotografía Fisheye de un espacio virtual

Es posible obtener imágenes ojo de pez de una maqueta virtual realizada con un programa de animación 3D. Por ejemplo, el plugin *V-Ray* para *3D Studio* permite establecer la cámara de rendering en dispositivo fisheye. De esta forma se posibilita renderizar imágenes con una visión de 360° de la escena y distorsión a barril de las líneas verticales de un modelo virtual 3D. Esta herramienta nos permite analizar proyectos del mismo modo que espacios existentes, y nos deja extender la técnica de la fotografía hemisférica a espacios urbanos y arquitectónicos todavía en fase de realización. Con este

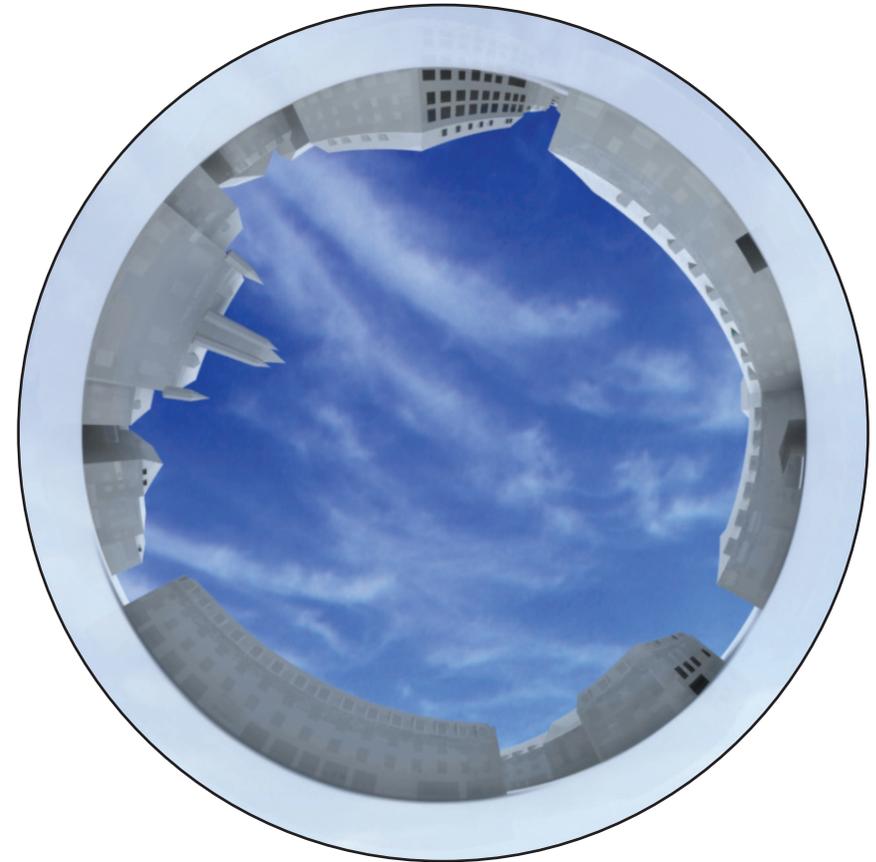


Imagen fisheye de un modelo urbano de Compiègne, realizada con el plugin V-Ray para 3D Studio

instrumento se obtienen imágenes fisheye circulares y de proyección estereográfica. De todas formas podemos modificar las características de la foto virtual según nuestros intereses, cambiando las selecciones en las propiedades de saque antes de proceder a la elaboración de la imagen. Es fácil entender cómo superponer una imagen fisheye de un modelo virtual a una imagen fisheye del entorno de un punto puede añadir una notable cantidad de información real a un proyecto. Este tipo de visión de rendering es usado para estudios con *Radiance*, permitiendo controlar la luminancia en el momento de desarrollar un proyecto en toda la escena y registrando todo el entorno de un punto.



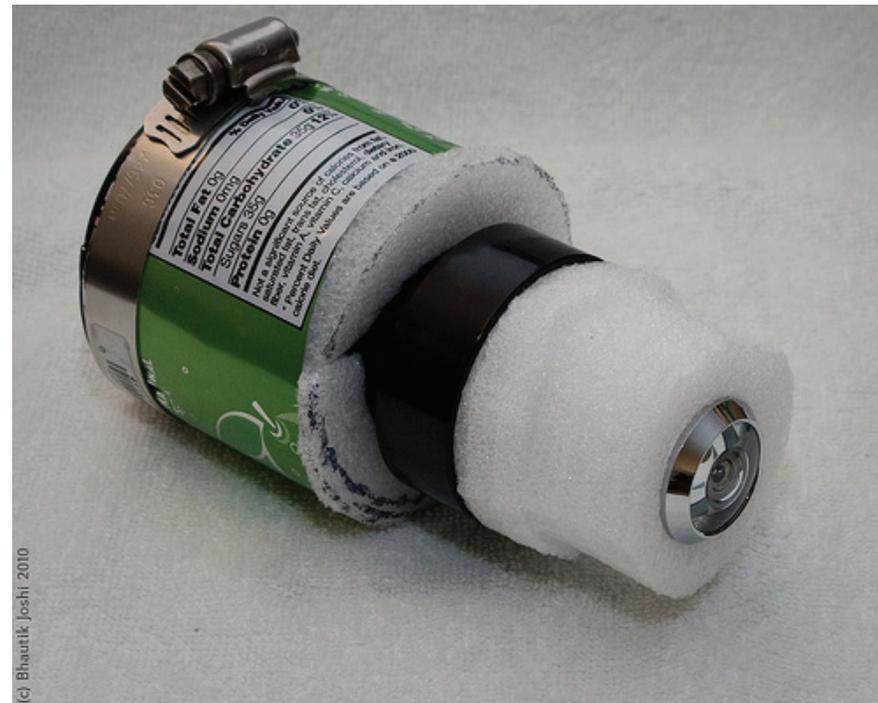
Imagen fisheye de un modelo tridimensional de un proyecto para una vivienda en Castelldefels, realizada con el plugin V-Ray para 3D Studio

4.8 Como construir un objetivo fisheye casero. [10]

Parecerá raro pero es posible construir un objetivo fisheye casero. Éste seguramente no será un instrumento perfecto y no dará resultados fiables, con ángulos de proyecciones no estándar. En realidad, lo que construiremos será un convertidor y será fácil encontrar manuales en Internet de cómo hacerlo.

Todo el mundo en casa tiene en la puerta de entrada una mirilla. Las tradicionales mirillas están hechas con lentes de doble curvatura, como un objetivo *retrofocus*, ofreciendo una visión muy amplia de lo que puede pasar del otro lado de nuestras puertas.

Un modo para construir adaptadores con efectos fisheye será buscar en cualquiera ferretería una mirilla del mayor tamaño posible y crear además un adaptador o “anillo” que pueda enroscarse a nuestra cámara.



(c) Bhautik Joshi 2010

Objetivo Fisheye casero: <http://blog.cow.mooh.org/2010/04/fisheye-tin-cam.html>

- [1].<http://www.mir.com.my/rb/photography/companies/nikon/nikkoresources/fisheyes/6mmf28.htm>
- [2].<http://it.wikipedia.org/wiki/Fish-eye>
- [3].<http://photo.net/learn/fisheye>
- [4].<http://panopticus.altervista.org/fishlist/fishlist-mf.htm>
- [5].http://www.luciolepri.it/lc2/marcocavina/articoli_fotografici/Nikkor_fisheye_story/00_pag.htm
- [6].<http://webuser.fh-furtwangen.de/~dersch/>
- [7].<http://www.tonipuma.it/tecnica/10.5/index.htm>
- [8].<http://www.superfisheye.com/>
- [9].<http://hugin.sourceforge.net/docs/manual/Projections.html>
- [10].<http://cow.mooh.org/>
- [11].<http://cmp.felk.cvut.cz/>



La fotografía hemisférica en ciencia foresta

La técnica de la fotografía hemisférica

Índices geométricos

Índice de radiación solar

Índice de Área de Hoja

La *Fotografía Hemisférica* para estudiar la cobertura del dosel en ciencia forestal

Como anticipamos en el capítulo sobre el objetivo fisheye, una de las ciencias que más ha desarrollado la aplicación de la fotografía para estudios sobre la luz, es la ciencia forestal.

Las imágenes obtenidas con cámaras de video o fotográficas equipadas con lente hemisférica, orientada hacia arriba, se utilizan para medir la cantidad de luz que penetra hasta el suelo de un bosque. Con ellas se pueden capturar las diferencias en la arquitectura del dosel, por especie, por sitio y por edad, y determinar que parte del cielo es visible y cual está siendo obstruida por las copas de los árboles.

Las fotografías hemisféricas pueden usarse para calcular regímenes de radiación solar y características adicionales del dosel, como el *índice de área foliar* (LAI), ángulo medio de las hojas a diversas horas del día. Cuando se permite la penetración de una gran cantidad de luz solar en áreas del dosel, puede llegar a desarrollarse un denso sotobosque. Después que Robin Hill en el año 1924 usara el objetivo fisheye para estudiar el movimiento de las nubes, recién es en 1959 que Evans y Coombe, usan fotografías hemisféricas para estimar la penetración a través de la cobertura forestal de la luz solar, sobreponiendo a las fotos diagramas polares de la trayectoria solar. Después, entre 1964 y

1971, Margaret Anderson, teoriza el cálculo de la transmisión directa e indirecta de la radiación solar en un bosque, usando fotografías hemisféricas.

Actualmente, con el uso de los ordenadores y la difusión de la fotografía digital, la técnica de la fotografía fisheye para análisis forestales ha pasado a ser frecuente y rápida, siendo aplicada en varios campos de ecología, selvicultura y agricultura. Esta técnica permite además la creación de registros permanentes, fáciles de consultar, para el análisis evolutivo de un sitio o de una especie.

Hoy existen y se han desarrollado varios programas de análisis y algoritmos, que facilitan notablemente el trabajo de investigación permitiendo un estudio rápido y procesando gran número de fotografías. Muchos de éstos son simples en su utilización y varios son gratuitos como Scion Image y ImageJ, que pueden descargarse de Internet sin costos. Además, hay softwares hechos expresamente para el análisis de fotografías hemisféricas del dosel de bosques, pudiendo mencionarse el Delta-T Hemi-View, el Tropenbos Hemiphot y el Regen WinScanopy, entre otros. Existen, también, plugins para Adobe Photoshop.

4.1 Técnica de la Fotografía Hemisférica

La técnica de la fotografía hemisférica es bastante simple y rápida, pero hay que conocer el procedimiento, para que no surjan errores. Esta prevé cinco fases: toma de la foto, digitalización, registro, clasificación y cálculo;

Es fundamental para el saque de las fotos que la cámara esté posicionada sobre un trípode bien firme y que el objetivo esté orientado hacia arriba, apuntado perfectamente al cenit. Es preferible usar un nivel de burbuja para que la cámara esté perfectamente horizontal. Tiene que considerarse la posición y la altura de la cámara. Muchas veces es preferible tumbarse en el suelo para no salir en la foto. Como puede entenderse fácilmente, la presencia de cualquier cuerpo externo puede cambiar el análisis, por esto, es aconsejable usar un mando a distancia para accionar el saque o usar un temporizador, para darnos el tiempo de salir del campo de visión y para que la cámara esté lo más firme posible. Si las fotos son circulares es aconsejable orientar la parte superior de la cámara hacia el norte magnético, para no tener problema de orientación al momento del análisis, así la parte superior de la foto coincidirá con el norte.

Es muy importante que la escena tenga la mayor uniformidad de iluminación posible, por esta razón, los mejores resultados se obtienen en días donde la contraluz sea pareja, días con cielo nublado, sin que el sol aparezca en la foto, evitando, así, reflejos en el follaje y áreas muy brillantes alrededor del sol. Usos de filtros rojos o azules pueden ayudar a conseguir mayor contraste entre el follaje y el cielo.

Es preferible sacar fotos con la velocidad de obturador a 1/125 de segundos y ajustar consecuentemente la exposición. En caso de fotografía analógica, películas ISO 400 suelen dar buenos resultados.

Una vez sacada la foto, tiene que ser digitalizada, en el caso de fotografías analógicas éstas tienen que ser pasadas por escáner de negativos o un digitalizador de videos. En el caso de imágenes digitales, es suficiente el pasaje de las fotos de la cámara al ordenador.

Después que las imágenes están en formato digital son “registradas”, entonces se verifican las dimensiones, es decir, que el borde coincida con el horizonte, centrada de modo que el centro de la foto coincida con el cenit y rotada hasta que el norte de la foto sea alineado con el azimut y el norte cardinal. Es importante recordar que el Este y el Oeste estarán invertidos, pues el Este estará a la izquierda y el Oeste estará a la derecha, en cuanto es una imagen sacada desde abajo, invertida a lo que estamos normalmente acostumbrados como las proyecciones desde arriba.

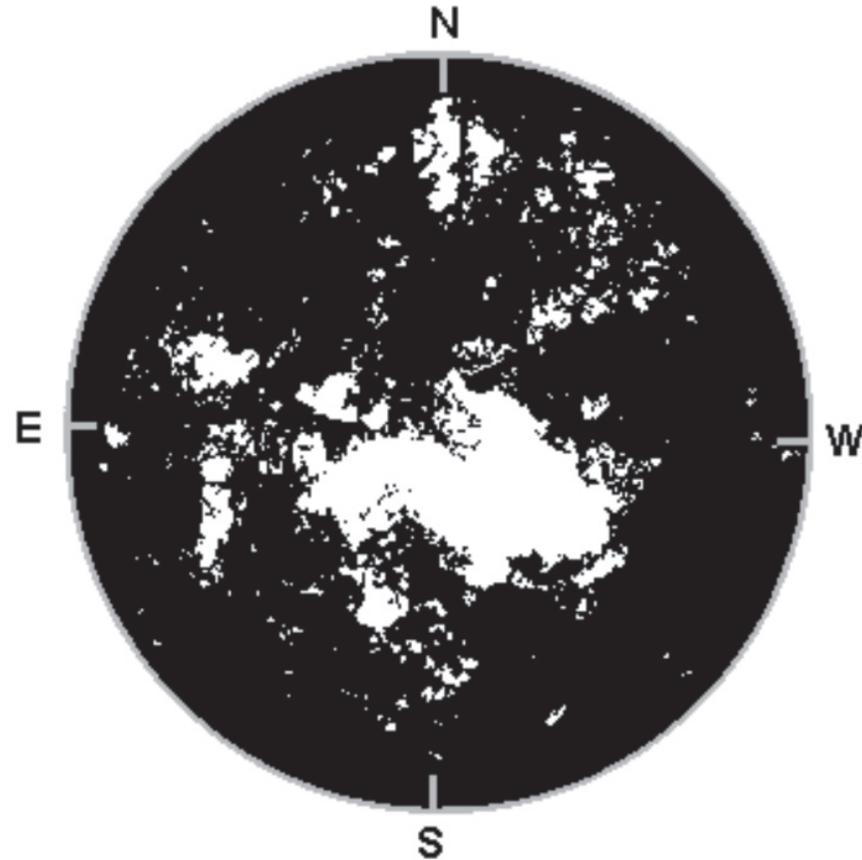
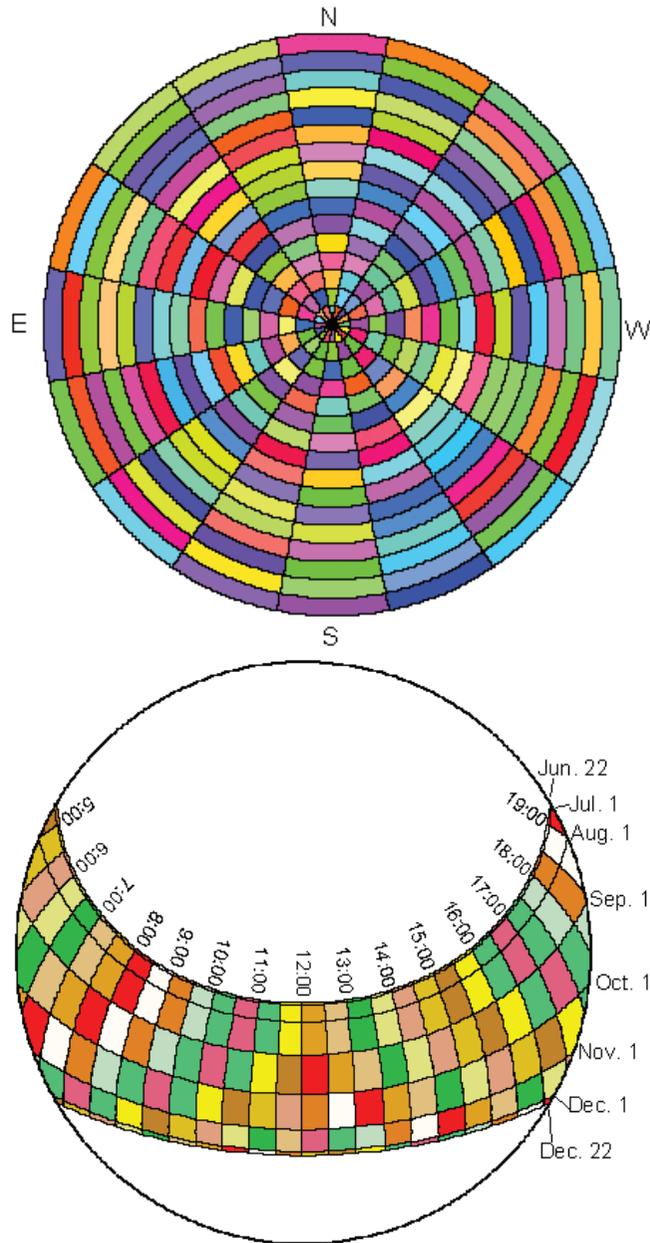


Imagen Hemisférica Binaria de la cubierta forestal [1]



Mapa del cielo con los sectores definidos por las divisiones 16 cenit y 16 azimuth; mapa solar anual de 39° de latitud norte con intervalos de 0,5 horas a través del día y el mes intervalos durante todo el año. <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>

Una vez registradas, las imágenes son pasadas a programas específicos, donde se realizará la clasificación de los píxeles, esto es, la distinción de la parte visible cielo desde el área de follaje, luego el cálculo y el análisis la foto. Las imágenes pueden ser analizadas para obtener diferentes índices, entre éstos distinguimos: el *índice geométrico*, el *índice de radiación solar* y el *índice de cobertura o índice de área de hoja LAI*.

4.2 Índices geométricos

Los índices geométricos son valores dados en relación a la cantidad de cielo visible y la cantidad de cielo obstruido en una particular “gap fraction”, literalmente “brecha de fracción”, en función de la dirección del cielo, donde el “gap fraction” es una porción de cielo visible en un específico sector de cielo, definido por los ángulos cenit y azimuth.

Normalmente la imagen estará dividida en sectores de cielo y será calculada la *gap fraction* de cada uno de ellos. Una “fracción”, en un específico sector, será igual a 0 cuando el cielo esté totalmente obstruido en el sector dado, mientras que será igual a 1 cuando esté totalmente abierto.

Se utilizan principalmente dos tipos de sectorización de la imagen, una en relación al mapa del cielo y otra en relación al mapa del sol. La primera divide la foto en áreas que representan las diferentes direcciones, enseñando la variación en el espacio. La segunda divide la foto en áreas que representan el tiempo, en cuanto coincide con la proyección solar en el año.

Hay estudios que consideran la foto completa como un único sector, por ejemplo, para una rápida clasificación de la cantidad de luz que llega en un dosel forestal. Los científicos clasifican como doseles abiertos cuando el cielo está obstruido entre el 10-39% por los doseles de los árboles; moderadamente cerrados, el 40-69% del cielo está obstruido por los doseles de los árboles, o cerrados, el 70-100% del cielo está obstruido por los doseles de los árboles. Esto es lo que se define como *índice de sitio*, que es 0 cuando no llega ninguna radiación y 1 cuando llega en su totalidad sin encontrar obstáculos.

4.3 Índice de radiación solar

Podemos distinguir, principalmente, dos tipos de radiaciones solares: radiación directa y radiación difusa. La Directa es la radiación del sol que pasa por la atmósfera sin encontrar obstáculos en su camino, mientras que la Difusa es la radiación solar difundida por la atmósfera.

La suma de las radiaciones directa y difusa es definida como *radiación global o llegada*, y es aquella que llega en el punto indirectamente, reflejada por los elementos de la cobertura.

La radiación solar directa en un sitio definido depende de la posición del sol en el día y en el año y de las condiciones atmosféricas, mientras que la radiación difusa depende de las condiciones atmosféricas y de al ángulo de llegada en el punto en análisis.

Normalmente, un rápido cálculo de la radiación solar puede hacerse sin tener en cuenta la radiación reflejada, y considerando unos valores de radiación hipotéticos que se pueden esperar en un punto dado en una dirección dada. Sea para calcular la radiación directa, sea para calcular la radiación difusa, se considera el *gap fraction* de un específico sector multiplicado por al *ángulo de incidencia*, donde como ángulo de incidencia entendemos el ángulo entre una superficie y la radiación que llega en el punto medido por la normal de la superficie. Así, la radiación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia. Esto es fácil de entender en cuanto, una radiación que llega perpendicular a la superficie, más cerca al cenit, será mucho más fuerte que una radiación que llega a un punto cerca del horizonte.

4.4 Índice de Área de Hoja

El índice de Área de hoja, que en sistema internacional se define como LAI¹, es la cantidad de superficie de hoja por la unidad de superficie de suelo. De este modo, damos una breve descripción en cuanto es poco importante para nuestro estudio, pero muy importante en el campo forestal, porque se utiliza para describir la fotosíntesis de las

plantas y la transpiración de las hojas de la cubierta. A su vez, tiene aplicaciones en eco-fisiología, en los modelos de balance de agua y para caracterizar la interacción entre vegetación y atmósfera. Este índice es una relación entre el ángulo cenit y el valor *gap fraction* en los sectores.

1 Leaf Area Index

- [1]. A.A.V.V., 1994, *Hemiview User Manual*, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, p. 5-19
- [2]. Rich Paul M., 1989, *A Manual for Analysis of Hemispherical Canopy Photography*, Los Alamos National Laboratory Los Alamos, New Mexico
- [3]. Facchi A., Baroni G., Boschetti M., Gandolfi C.,, *Comparazione di metodi per la determinazione dell'indice di area fogliaria (LAI) in un campo a mais*, IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, a Ischia Porto, 12-16 settembre 2009, memoria n. 2-29
- [4]. Huang Shengli, Fu Pinde, “*Modeling Small Areas Is a Big Challenge ,Using the solar radiation analysis tools in ArcGIS Spatial AnalystMay*”, ArcUser, Spring 2009, p 28-30
- [5]. <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>
- [6]. http://en.wikipedia.org/wiki/Hemispherical_photography
- [7]. http://en.wikipedia.org/wiki/Leaf_area_index
- [8]. <http://www1.gifu-u.ac.jp/~ishidam/RGBFisheye.htm>



El análisis del Albedo con técnicas fotográficas

El Albedo

Análisis de la cantidad de blanco en una foto

Ejemplo de análisis de píxeles blancos con ImageJ

El análisis del Albedo con técnicas fotográficas

Como expusimos en el capítulo 1º, el poder de una superficie de reflejar la luz que recibe depende principalmente del tipo de material y del color de la misma. Materiales iguales pero de distintos colores reflejan la luz de modo diferente, lo mismo sucede con superficies del mismo color y diferente material.

6.1 El Albedo

La luz, como todas las radiaciones electromagnéticas, lleva energía. Cuando la luz encuentra una superficie, una parte de ella es reflejada y se lleva su energía, mientras otra parte es absorbida. La parte que no se refleja se queda en la superficie y la energía que llevaba se transforma en calor.

El *Albedo*, del latín albedo “blancura” y álbum “blanco”, de una superficie es la fracción de luz o de radiación que es reflejada en todas las direcciones. El Albedo indica el valor reflectante de una superficie, y el exacto valor de la fracción depende, por el mismo material, de la longitud de onda de la radiación considerada [3]. El albedo es una forma más específica de la *reflectividad*¹.

Si el término *albedo* no está seguido de ninguna especificación se refiere a la luz visible.

El valor de albedo es una magnitud adimensional que varía entre 0 y 1, donde 0 es el valor que se da a un cuerpo negro, ya que es un material que absorbe totalmente la luz, y 1 es el valor que se da a un cuerpo que es capaz de reflejar por entero la luz, como podría ser un espejo. El albedo medio de la Tierra es de 0,3 y realmente no existe cuerpo con albedo 0 ó 1. La superficie con un valor albedo más cerca de 1 es la nieve fresca con 0,9, mientras que el valor más bajo es el del carbón con 0,04. Muchas veces podemos encontrar el valor albedo expresado en porcentual, donde el 100 % equivale a 1.

El Albedo es un concepto muy importante en climatología, en cuanto está muy relacionado con la temperatura, ya sea a gran escala (energía reflejada o absorbida por selvas o glaciares, que cambian la temperatura del planeta o de grandes áreas), a escala urbana (por ejemplo un suelo asfaltado refleja las radiaciones de modo diferente que un suelo cultivado, creando un microclima urbano), o a pequeña escala (una camiseta negra al sol absorbe más calor que una camiseta blanca).

¹ Esta es una magnitud adimensional que representa la relación entre intensidad del flujo radiante transmitido y la intensidad del flujo radiante incidente en una superficie.

6.2 Análisis de la cantidad de blanco en una foto

El análisis de la luminosidad de una fotografía digital se hace evaluando cuántos son los píxeles blancos que la componen. Normalmente definimos como píxel *apagado* a un píxel negro, mientras que píxel *encendido* o *luminoso* a un píxel blanco.

En las imágenes digitales cada píxel tiene un valor de luminosidad que varía entre 0 y 255. Como en el caso del valor de albedo, el 0 coincide con el negro, mientras que el valor más alto, en este caso 255, se refiere al blanco. Un píxel con valor 0 o cercano a cero, será un píxel más *apagado* u *oscuro*, mientras al contrario, un píxel más *luminoso* o *claro* estará más cerca del valor máximo.

Para evaluar el grado de luminosidad de los píxeles se pueden usar varios programas de manipulación de imágenes, o con las cámaras fotográficas digitales más modernas seleccionando directamente este tipo de información en la pantalla.

La luminosidad no depende de los colores, si no de la cantidad de píxeles blancos y negros, por esto, para hacer análisis de la luminosidad de una foto se suele trabajar con imágenes en escala de grises. Normalmente, una vez hecha la foto en color, se convierte en blanco y negro o en diferentes tonalidades de grises.

Ya que nuestro ojo como máximo, nos permite distinguir alrededor de 200 diferentes niveles de grises, el análisis digital, con 256 tonos, nos da una mayor precisión, superior a la que normalmente podemos ver y distinguir, representando suficientes variaciones de tonalidades.

6.3 Ejemplo de análisis de píxeles blancos con ImageJ

Hemos elegido para nuestro análisis una foto de la fachada Sur de un patio interior de una manzana de Barcelona, en el barrio de Les Corts, para poder rápidamente observar cómo la luz solar que llega en las ventanas se refleja en la fachada norte del mismo patio de manzana (punto de saque).

De esta foto hemos seleccionado 2 partes, una con predominio de ventanas tapadas por toldos verdes, que llamaremos porción 1, y otra parte donde las ventanas están abiertas, sin toldos, o con prevalencia de toldos más claros, que llamaremos porción 2.



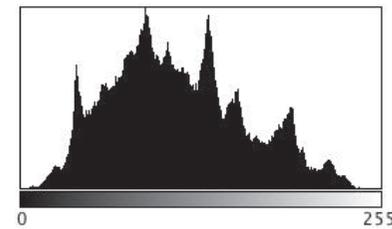
Fachada Sur de un patio interior de una manzana de Barcelona, en el barrio de Les Corts, en el mes de Agosto con condiciones de cielo semi-nublado



Porción 1



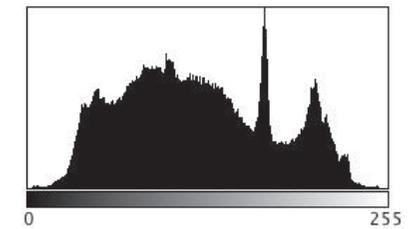
Porción 2



Count: 458577
 Mean: 111.0
 StdDev: 47.8

Min: 1
 Max: 242
 Mode: 88 (4758)

Histograma porción 1



Count: 458577
 Mean: 120.3
 StdDev: 53.3

Min: 1
 Max: 252
 Mode: 168 (4747)

Histograma porción 2

Se han analizados estas partes de la fotografía con el programa de elaboración de imágenes ImageJ². Este programa, muy usado en varios campos científicos como ciencia forestal, medicina y astronomía, está disponible gratuitamente en Internet y es apto tanto para sistema operativo Windows como para Macintosh. Este software permite de modo muy simple pasar las imágenes de color (RGB) a imágenes en tonos de grises, y después, siempre con el mismo programa, analizar el perfil luminoso de los píxeles de la foto.

Primero hemos convertido la imagen en tonos de grises (*Image > Type > 8-bit*) y una vez seleccionadas las partes que nos interesaban, con el rectángulo de selección de la barra de instrumentos, hemos analizado la gradación de saturación de los píxeles (*Analyze > Histogram*).

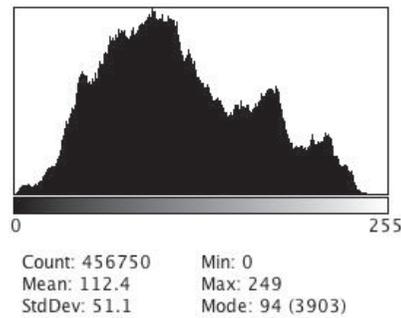
Se han obtenido de este modo, dos histogramas que representan esquemáticamente la distribución de los píxeles en relación a la luminosidad.

Como se puede observar, los dos histogramas no son muy diferentes entre sí, porque las porciones de imagen elegidas, en realidad, no son muy distintas a nivel de luminosidad, pero de todas formas serán muy útiles para nuestro análisis.

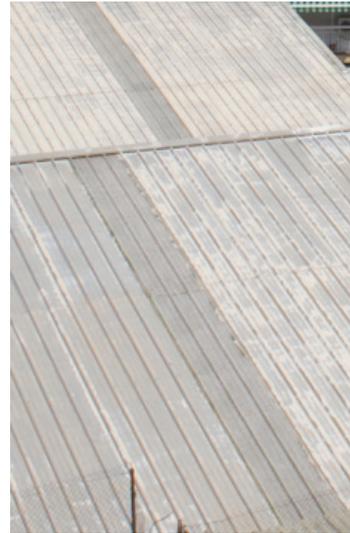
En ambos fragmentos de la imagen están presentes varios tonos de grises: en la porción 1, desde 1 a 242 y en la porción 2 desde 1 a 252 (notar valores *Min* y *Max* abajo de los histogramas). Esta primera indicación nos dice ya que en la parte donde los toldos son de color más claros (fragmento 2) hay píxeles más luminosos que en la parte con toldos verdes (fragmento 1). Podemos advertir, observando tanto en los gráficos como en el valor *Mode*, cómo el pico más alto está en la primera porción del histograma, en la zona más oscura, hacia la izquierda, precisamente 4758 píxeles sobre 458577 en el valor 88 (relativo a nivel específico de gris); mientras que, en la segunda, el pico más considerable se encuentra en la zona más clara del gráfico, precisamente a 4747 píxeles sobre 458577 en el valor 168. Podemos, además, observar cómo la primera parte de la imagen analizada tiene un valor medio de gris de 111, mientras que la segunda tiene un valor



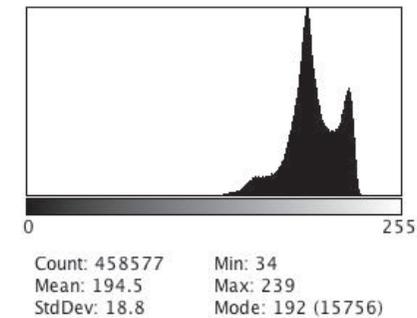
Porción 3



Histograma porción 3



Porción 4



Histograma porción 4

medio de 120^3 .

Este rápido análisis nos está indicando cómo los toldos verdes resultan más oscuros con respecto a los toldos claros, y cómo los segundos están reflejando más luz en la fachada norte.

Nos parece interesante presentar una tercera parte de la imagen (que llamaremos *porción 3*) y analizarla como hemos hecho anteriormente. A primera vista, esta tercera porción parece bastante clara y esperamos resultados similares a la porción 2. Una vez que obtenemos los histogramas, notamos cómo en realidad los resultados son más parecidos a la porción 1, la imagen de toldos verdes, que a la de toldos claros, contrariamente a lo que esperábamos.

Esto demuestra que el análisis no es tan evidente y que nuestro ojo nos puede hacer llegar a conclusiones demasiado rápidas y no totalmente verdaderas.

Analizando la porción 3 y comparándola con las otras porciones analizadas, notamos, que hay una buena cantidad de píxeles claros pero también muchos *apagados*, que quizás en un primer momento no consideramos, que hacen perder una buena cantidad de luz reflejada.

Para finalizar, nos parece interesante mostrar cómo la parte de la foto que nos da más luminosidad, no es la relativa a las ventanas, si no desde el tejado claro del parking.

Advertimos así, cómo la cubierta gris del parking nos da con claridad un histograma totalmente diferente de los anteriores, con los picos y la media de niveles de gris hacia la parte más clara del gráfico.

3 Recordamos como los valores son adimensionales porque se refieren a los 256 niveles de gris.

- [1]. Bosetti M., Galetto M., 2008, *Esperimento Albedo*, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento
- [2]. Ferreira, T. & Rasband, W., *The ImageJ User Guide – Version 1.43*, <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf>, Apr 2010
- [3]. Battiato S., 2005, *Studio del software Java per l' Image Processing ImageJ*, Dipartimento di Matematica e Informatica, Catania
- [4]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Albedo>
- [5]. <http://it.wikipedia.org/wiki/Albedo>
- [6]. <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/concepts.html>



La fotografía HDR

Diferencias entre la fotografía digital tradicional y HDR

Realización de una fotografía HDR

Estudio de la luz con imagen HDR

Estudio de la variación de luminancia a lo largo de un día Verificación del programa

WebHDR

La fotografía HDR

El término HDR es una sigla que viene del inglés High Dynamic Range, Alto Rango Dinámico, y es una técnica usada en fotografía y gráfica informática, para realizar cálculos de iluminación en una fracción más amplia, alto rango, permitiendo representar valores de iluminación muy bajos y muy altos. Una imagen HDR, prácticamente, es una grabación digital obtenida mediante una particular técnica fotográfica/informática y guardada en un archivo gráfico, capaz de contener una paleta de diferentes valores de luminosidad más amplios en comparación con la tradicional fotografía digital.

A diferencia del ojo humano, que puede distinguir un rango dinámico hasta 10.000:1, el conjunto cámara/ memoria/ pantalla distingue un rango dinámico de 255:1, así es que en escenas con mucho contraste de luminosidad, como en una escena a contraluz o un atardecer, aunque se haya regulado la exposición de modo correcto, partes de la imagen saldrán totalmente blancas, quemadas por la excesiva exposición, y partes muy oscuras por falta de luminosidad en estos puntos.

Con la técnica HDR, trabajando con varias fotos contemporáneamente, se consigue obtener un rango dinámico superior al del ojo humano,

presentando una imagen final mucho más real.

Por esta capacidad de presentar imágenes parecidas a la realidad, junto a la posibilidad de ofrecer mayor profundidad en la escena, casi tridimensional debida a la elevada posibilidad de contraste, ésta es una técnica que se ha desarrollado mucho en el campo de la gráfica informática, sobre todo en animación virtual y videojuegos. Los primeros videojuegos que utilizan esta técnica fueron lanzados en el 2004¹, hoy hay una gran gama de juegos que para mejorar el realismo gráfico utilizan, para detallar la escena, imágenes HDR. Es fácil imaginar cómo desde el campo del entretenimiento a pasado a ser utilizada en arquitectura, el campo del diseño reenderezado virtual.

También si parece una innovación tecnológica muy compleja y actual, esta técnica fue experimentada ya en el siglo XIX², para realizar vistas de la playa, por Gustave Le Gray, aunque la tecnología de la época no permitía mucho. En el año '40, la técnica fue desarrollada y mejorada, tanto que fotógrafos como Charles Wyckoff la usan para poder fotografiar las explosiones nucleares, pero es a partir de los años '80, que la *evolución informática* y lo ordenadores permiten una mayor aplicación, con la creación de un formato de archivos RGBE de radiancia. Actualmente, con la difusión de la fotografía digital y softwares de control de imágenes accesibles a todas las categorías de público, esta técnica empieza a ser más conocida y difundida, gracias a su facilidad y a los óptimos resultados que se obtienen, tanto que mucho creen que en un futuro muy próximo, permitirá sustituir el uso del flash en las cámaras fotográficas compactas. Ya varias cámaras³ y sistemas portátiles, como el Iphone, ofrecen la posibilidad de sacar fotos en HDR sin pasar por un ordenador.

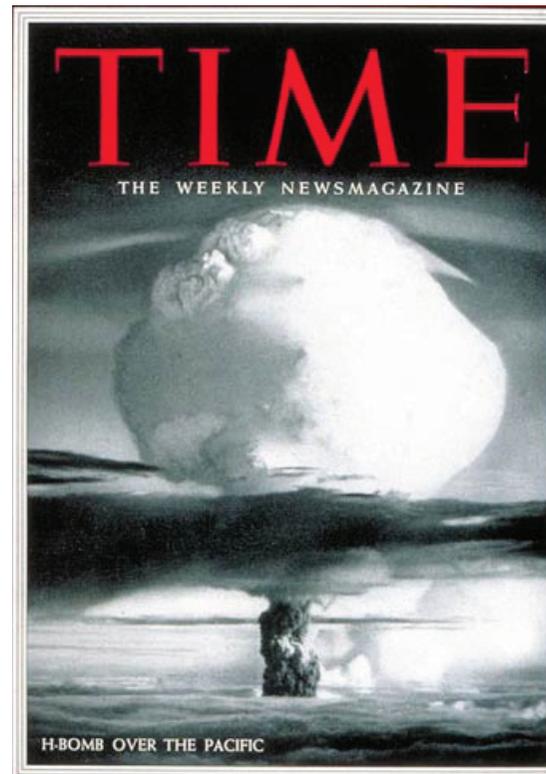
1 *Far Cry* y *Half-Life 2: Lost Coast*.

2 1850 Le Gray (1820-1884), fotógrafo francés, para realizar la foto de paisajes marinos utiliza un negativo para el cielo, y otro con una exposición mayor para el mar, y posteriormente combina ambos en una sola imagen en positivo. [7]

3 Pentax K-7 DSLR

7.1 Diferencias entre la fotografía digital tradicional y la fotografía HDR

Una normal foto en JPEG sacada con una cámara cualquiera memoriza cada píxel con tres valores, rojo, verde y azul, RGB (red/green/blue), a 8 bit, que juntos dan el color del píxel, pues más o menos 16 millones de diferentes colores. Mientras una imagen RAW, sacada con una cámara reflex, contiene 10 o 12 bit por píxel, entre cuatro y ocho veces más definición, hablando de valores de luminosidad. En una imagen HDR, los píxeles están guardados con valores de 16 o 32 bit. Esto quiere decir, que los píxeles pueden contener suficiente información para describir cada variación, desde la oscuridad absoluta hasta una luminosidad mil veces más alta que el sol. [5]



Portada revista "TIME" 12 Abril 1954 foto HDR de C.Wyckoff; <http://www.time.com/time/covers/0,16641,19540412,00.html>



7.2 Realización de una fotografía HDR

Como hemos dicho anteriormente, el concepto HDR, parece muy complejo y realizable solamente con sistemas tecnológicos muy sofisticados mientras, que en realidad, es una simple superposición y elaboración de tres, cinco o nueve imágenes de la misma escena sacadas con tiempos de exposición diferentes. Para obtener una buena fotografía HDR hay que seguir ciertos pasos muy simples.

Primordialmente, hay que buscar una escena muy contrastada, como puede ser un paisaje contraluz, paisajes urbanos nocturnos o una foto de interior, para poder aprovechar al máximo las potencialidades de esta técnica. Para nuestro ejemplo hemos elegido una foto de interior, posicionando la cámara hacia una ventana. Es fundamental el uso del trípode, en cuanto la superposición de las imágenes debe ser

perfecta y no pueden verificarse movimientos de la cámara, además normalmente muchas fotos necesitan tiempos de exposición muy largos. Una vez ubicada la cámara sobre el trípode, hay que elegir la abertura y sacar varias fotos cambiando el tiempo de exposición, obteniendo así, sea fotos sobreexpuestas sea fotos subexpuestas. Hoy muchas cámaras reflex permiten regular el saque de una serie de fotos con diferentes valores de exposición. Para nuestra prueba hemos usado una cámara reflex Canon EOS-350D y hemos utilizado el sistema AEB (Automatic Exposure Bracketing), que permite sacar tres fotos con valores EV diferentes, en nuestro caso -2, 0 y +2. Normalmente es aconsejable sacar las fotografías en modalidad “Prioridad de Abertura”⁴.

Una vez sacadas las fotos hay que pasarlas al ordenador y analizarlas con un programa de elaboración de imágenes, capaz de fusionar las tres fotos en un HDR. Para nuestra tesina, hemos probados tres programas diferentes, el Photoshop CS3, el PhotospherU y Qtpsfigui, pero hay una gran variedad de softwares que se pueden bajar gratuitamente desde Internet y otros que permiten trabajar online, en modalidad *open*, sin que haga falta instalar nuevos elementos en el ordenador. Estos programas reconocen y analizan las fotos gracias a unos archivos, *file Exif*, que cada cámara digital, graba al momento del saque. Los archivos *exif*, registran cierta información que es posible consultar en cada foto, sea al momento del saque sea a posteriori, recordando el nombre y la dimensión de la imagen, la escala de colores, el tipo de cámara utilizada, la fecha y la hora de cuando ha sido hecha la foto, y además la sensibilidad del sensor, el tiempo de obturación, la abertura y consecuentemente el valor de exposición EV.

La imagen obtenida será cargada de información que no aparecía en ninguna de las tres imágenes precedentes. Esta imagen, siendo un gravado de 24-32bit, no puede ser guardada en un tradicional formato JPEG (8-bit), sino en un formato más apto para mantener la cantidad de información por píxel obtenido. De estos recordamos algunos: *radiance RGBE (.hdr)*; *Pixar Log Tiff (.tif)*; *LogLuv 24-bit*; *LogLuv 32-bit* ; *ILM OpenEXR (.exr)*; *TIFF 48-bit (.tif)*; *Portable Bit Map (.pbm)*; *Large Document Format (.psb)*; *IEEE TIFF 96-bit (.tif)*. Cada uno de estos formatos tienen diferentes extensiones, rango dinámico, precisión y guardan distintas cantidades de bit por píxel. Los más comunes son: el radiance RGBE, que es la extensión más antigua y todavía muy utilizada, codificando 76 órdenes de magnitud de luminancia con un 1% de precisión; el Open EXR, desarrollado para superar la limitada gama dinámica y la precisión del color en las aplicaciones de creación de imagen por el ordenador y está disponible Open Source; el Tiff, capaz de guardar hasta 79 gamas dinámicas con una precisión del 1% y 32bit por cada color en el píxel y es compatible con la mayoría de las aplicaciones. [8]

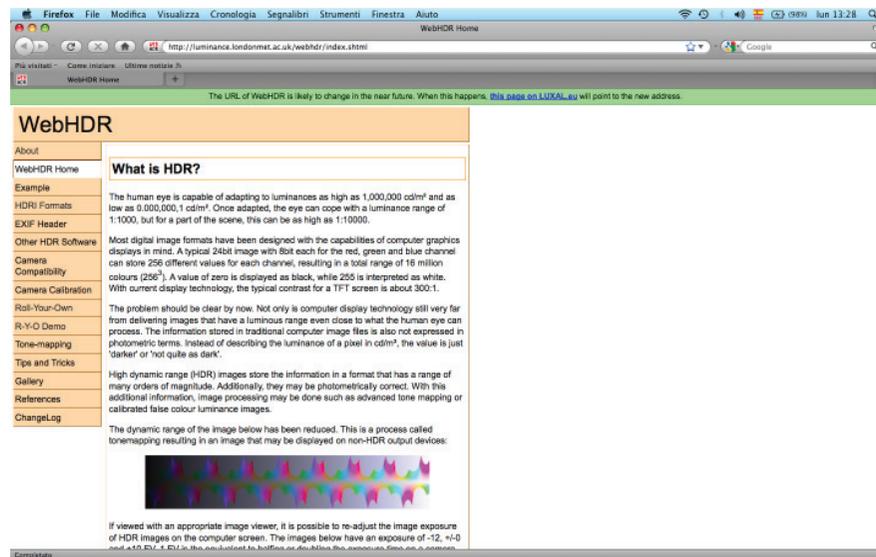


Canon EOS-350D , posicionamos la rueda de los programas en el simbolito “Av”

7.3 Estudio de la luz con imagen HDR

Hasta ahora hemos hablado de la técnica fotográfica HDR, no tanto por la calidad de iluminación y la realidad de las imágenes que se pueden obtener, sino por la posibilidad que esta técnica nos da de cuantificar la luminancia de los píxeles en términos fotométricos, y no simplemente en valores aproximados de claridad u oscuridad de una escala de grises⁵.

Para nuestra tesina hemos utilizado un programa gratuito y de uso libre: **WebHDR**, [8] desarrollado por el investigador londinense Alex Jacobs.



Este es un programa muy fácil de utilizar y es suficiente ir a la página de Internet: <http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr/index.shtml>, seguir las instrucciones o ver una prueba, cargar imágenes digitales que contengan *informaciones exif* y que han sido sacadas con cualquier cámara digital que permita un buen control de la exposición⁶, para

5 Ver capítulo anterior por el cálculo del albedo.

6 Es posible en la misma página consultar un listado de cámaras compatibles

obtener información sobre la luminancia, sea gráficamente que en valores Nit^7 (cd/m^2), de la escena fotografiada.

Este programa ha sido desarrollado para permitir un estudio de cualquier ambiente luminoso, de modo fácil y contemporáneamente preciso en los cálculos, sin utilizar sistemas sofisticados y costosos. Esta página web permite a cualquier interesado un análisis de la luminancia de una escena de modo rápido y suficientemente fiable.

Una vez cargadas las fotografías y que el programa analiza la compatibilidad, automáticamente obtenemos: una imagen HDR, que puede fácilmente descargarse; una imagen en *falsos colores*, y en su margen izquierdo una escala de valores en cd/m^2 ; un histograma de la curva de los colores; un polinomio de la curva de respuesta en extensión *.Rsp*, como una matriz de tres líneas, refiriéndose cada una a los relativos colores Rojo, Verde y Azul.

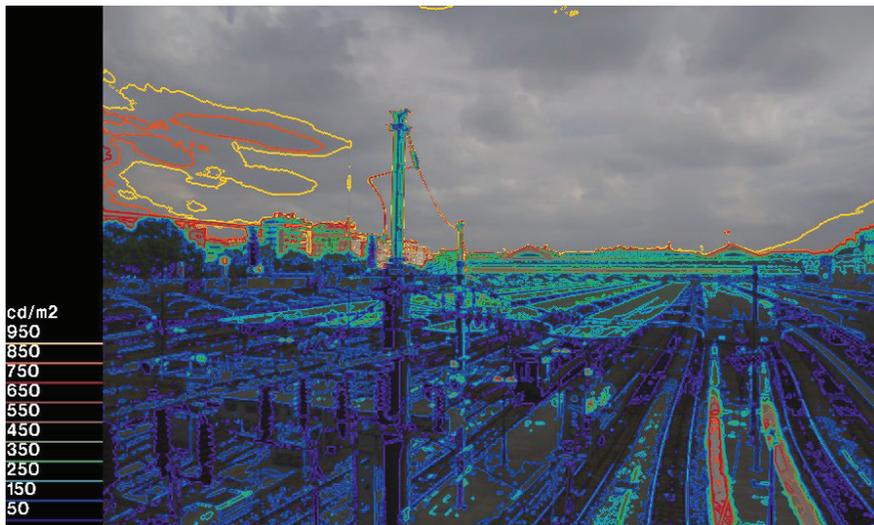
A diferencia de otros programas de elaboración de fotos HDR, la página que utilizamos nos permite una lectura muy rápida y eficaz de los diferentes niveles de luminancia de la escena, procesando una imagen en *falsos colores*, donde cada color en ésta corresponde a un intervalo de valores cuantificables de luminancia, acompañada de su relativa escala métrica.

Como se puede ver en las imágenes del estudio de luminaria, realizadas con *webHDR*, con fotografías de la Gare de l'Est de Paris, se pueden obtener dos tipos diferentes de imagen en falsos colores, una que marca unos perfiles de las áreas de igual luminancia y otra que pinta enteramente las áreas según la cantidad de Nit. Las zonas menos luminosas de cada imagen están marcadas en color morado o azul, mientras que las zonas más radiantes en color amarillo y rojo.

El programa tiene una limitación en cuanto para una mayor rapidez, no analiza fotos con extremos de exposición muy oscuros o muy claros, no leyendo y en consecuencia no analizando, en la escala que va entre 0 y 255, valores más bajos del 20 y mayores de 200, por esto no analiza colores como el negro y el blanco puro.

7 Denominación de la unidad de medida de la luminancia en el Sistema métrico internacional, candela por metro cuadrado.

Una vez obtenidas las imágenes en falsos colores es posible trabajar sobre éstas, analizar cada punto de la escena con mayor precisión, gracias a un extensión, *interactive luminance map reader*, que nos dice, pasando el ratón encima de la foto, de modo más específico el valor en cd/m² de cada píxel.



7.4 Estudio de la variación de luminancia a lo largo de un día y verificación del programa WebHDR.

Hemos realizado una serie de 7⁸ imágenes HDR, obtenidas cada una con un grupo de 5 fotos, a lo largo de un día. Hemos usado una cámara digital Canon EOS 350-D con objetivo con longitud focal f 18 y apertura constante de 16. Los saques han sido realizados en el interior de una habitación en Compiègne, en el Norte de Francia, el día 26 de junio 2010, a intervalos variables de tiempo, con trípode y escena fija. Seis imágenes sobre siete han sido realizadas en condiciones de luz natural mientras la última, con luz artificial.

Los resultados obtenidos revelan una gran oscilación de luminancia, que va desde valores máximos en la escala relativa de 4097, 260 cd/m², obtenidos en la toma 3, de las 18:19 horas, y valores mínimos de 1,047 cd/m², obtenidos en la toma 7, de las 23:44 horas.

8 En principio se han sacado fotos para 8 imágenes, pero por una de estas, tomada a las 15:45 horas, el programa no ha podido elaborar el estudio.

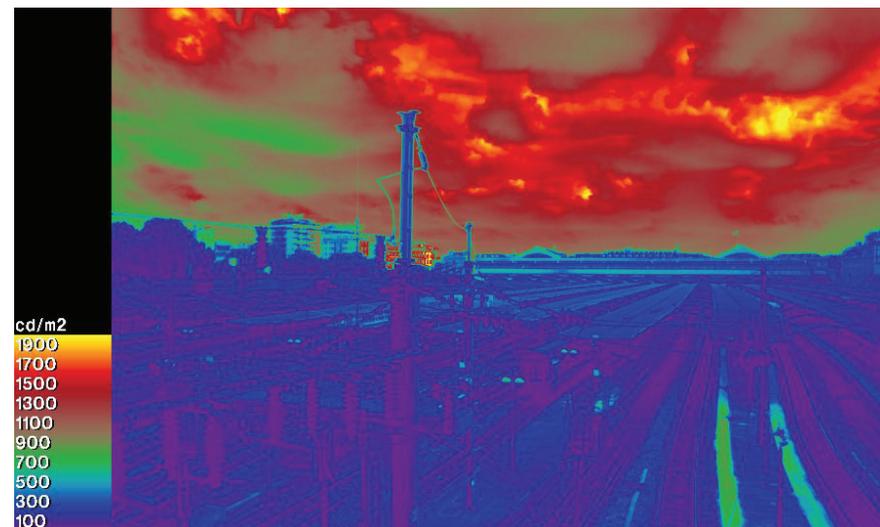
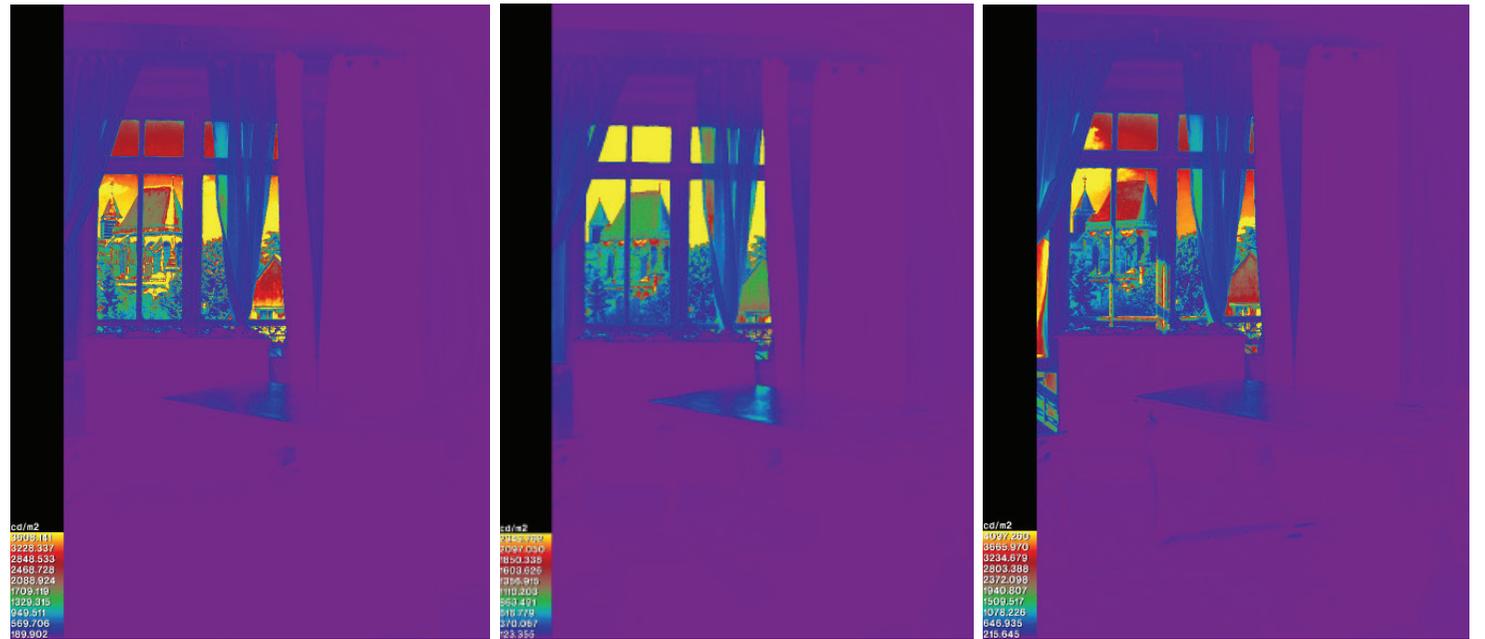


Foto de la Gare de l'Est de Paris, sacada el 07 de junio 2010 y analizada con WebHDR.

Más específicamente, tenemos intervalos en la escala relativa de: toma 1- 14:57 h- 3608,141 max 189,902 min; toma 2- 16:44 h- 2343,762 max 123,355 min; toma 3- 4097,220 max 215, 645 min; toma 4- 18:51 h- 3650,510 max 192,132 min; toma 5- 19:26 h- 3732,446 max 196,444 min; toma 6- 21:40 h- 212,287 max 11,173 min; toma 7- 23:44 h- 19,908 max 1,047 min.

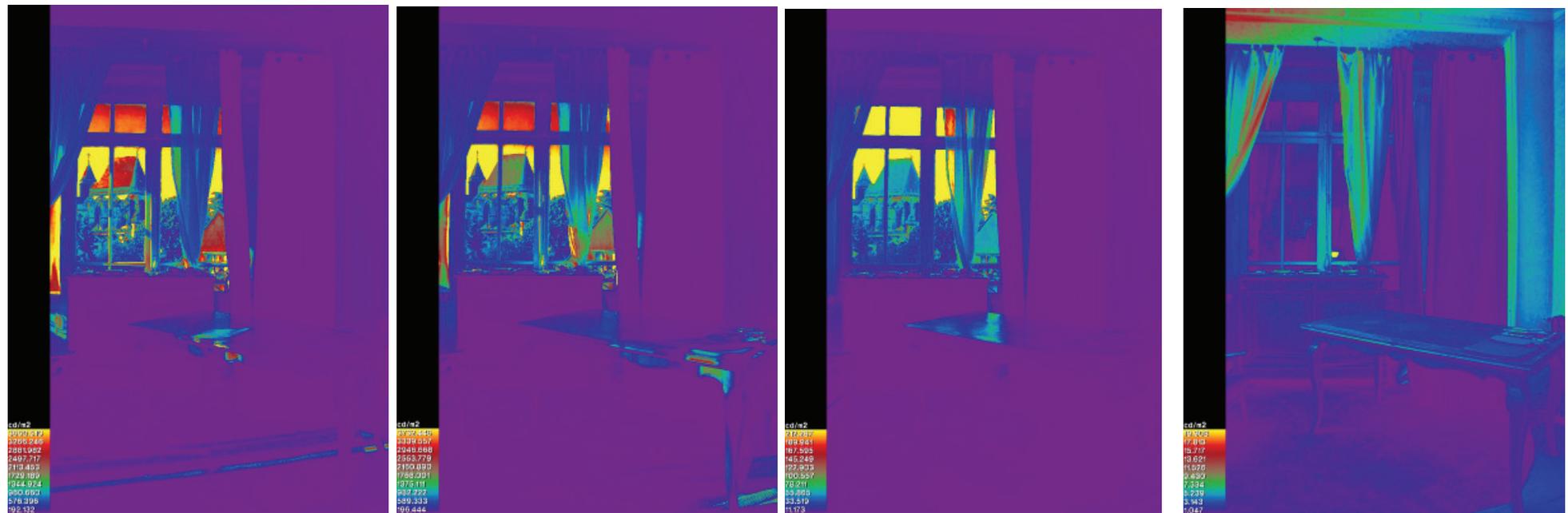
Como podemos advertir en las imágenes, las zonas más luminosas son siempre externas, mientras que las zonas más oscuras son la cortina de terciopelo azul y la alfombra del piso.



14:57 h

16:44 h

18:19 h



18:51 h

19:29 h

21:40 h

23:41 h

Para comprobar los resultados que se pueden obtener con el programa webHDR, hemos precedido a la toma de las fotos con la lectura de 7 puntos de la escena con un luminancímetro Minolta y hemos comparado los resultados medidos con los resultados obtenidos en el mismo punto con el sistema de mapa interactivo.

Se puede notar cómo los valores elaborados con WebHDR son la mayoría similares a los que hemos obtenido con la lectura por el luminancímetro. Tal como aconseja el mismo programa, una elaboración puede considerarse aceptable si la relación *luminancia real / luminaria hdr* está cerca del valor 1. En nuestro análisis hay ciertos valores que han salido muy diferentes, probablemente ha sido causado por un control incorrecto del luminancímetro. El valor más contrastante se ha presentado en la tercera imagen, analizando el punto sobre la cobertura de la iglesia al fondo de la escena. Muy probablemente en este caso no hemos enfocado bien el lector lumínico al momento



de la medición, tanto que el aparato probablemente ha leído los reflejos del vidrio de la ventana. Otros valores muy contrastantes se encuentran en la imagen 4, en la medición hecha en la parte alta de la cortina. Probablemente esta diferencia es debida al material muy oscuro y absorbente del tapiz que se presenta poco apto a este tipo de medición. De todas formas, estamos muy satisfechos de los datos obtenidos y consideramos este primer análisis con webHDR suficientemente fiable y preciso.

- [1]. AJ, SW, LG, 2008, *Per-pixel Sky Luminance with HDR Photography*; Fribourg
- [2]. Cheney K., 2008, Image Based Rendering: Using High Dynamic Range Photographs to Light Architectural Scenes, Master of Science In Architecture, University Of Washington
- [3]. Debevec P. E., Malik J., *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*, Computer Science Division, University of California at Berkeley , <http://www.cs.berkeley.edu/~debevec/Research>
- [4]. http://www.abfotografia.it/articoli/Consigli_Pratici_Fotografie_HDR.htm
- [5]. <http://www.3megapixel.it/tips-hdr.html>
- [6]. http://www.anyhere.com/gward/hdrenc/hdr_encodings.html
- [7]. http://www.getty.edu/art/exhibitions/le_gray/
- [8]. <http://luminance.londonmet.ac.uk/webhdr/index.shtml>



Lectura de la luz con sistemas fotográficos

Estudio de la radiación solar directa en un punto

Cálculo del factor de vista con fotografía fisheye

Análisis del cielo en relación a la vegetación

Valuación de píxeles para análisis de cielo

Fotografías HDR fisheye y valuación de píxeles

Lectura de la luz con sistemas fotográficos

Esta tesina está compuesta por dos partes, una primera, ya desarrollada en los capítulos anteriores, que se ocupa de presentar las herramientas de fotografía y dibujo, y una segunda, que intentaremos desplegar en este capítulo, donde se quiere formular un método para el análisis de la luz, estudiando fotografías. El desarrollo de esta fase, más experimental y investigativa, ha sido realizada gracias a la disponibilidad y el apoyo del grupo de investigación AVENUES (Analyses des Vulnérabilités Environnementales et UrbainES) de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Tecnología de Compiègne, UTC, en el norte de Francia.

8.1 Estudio de la radiación solar directa en un punto

Analizar a través de fotografías, cuándo un punto de un espacio arquitectónico recibe luz solar directa o cuándo este mismo está a la sombra, es una operación muy fácil de realizar. Para este tipo de estudio es suficiente tener una fotografía completa del entorno del punto y un diagrama adecuado de la trayectoria solar. De esta técnica existen dos variantes: una primera, que usa fotografías del espacio, obtenidas con cámaras equipada de objetivo a ojo de pez orientada hacia el cenit y diagramas polares, y una segunda, que utiliza fotografías panorámicas del horizonte y diagramas solares cilíndricos.

Nosotros, para nuestro análisis, usando como base la técnica de la fotografía hemisférica para el estudio del dosel, ya experimentada con éxito en ciencia forestal. Hemos utilizado una cámara fotográfica con objetivo ojo de pez y proyecciones polares del recorrido del sol.

Nos valemos de una cámara fotográfica compacta modelo Lomography Fisheye, analógica de 35mm, tiempo de exposición 1/100 s, con objetivo fijo de distancia focal 10mm, apertura f/8 y campo de visión de 170°. Luego, como aconseja el método hemisférico en los manuales de ciencia forestal, hemos utilizado películas de media velocidad 200 y 400 ISO, para obtener mejor contraste entre obstrucción y cielo y para permitir una mejor adaptabilidad del carrete en situaciones de poca luz.

La cámara fotográfica que hemos utilizado es una herramienta muy económica (su coste varía alrededor de los 40€), fácil de encontrar, muy ligera (su peso es de 230 gramos), de muy fácil uso, utiliza películas tradicionales y además el objetivo nos deja imágenes circulares de la escena de proyección ortogonal, muy apta para estudios científicos.

Como contrapartida, presenta varias limitaciones en cuanto tiene un campo de visión de 170°, no de 180°, deja fuera de la imagen la parte de la escena más cerca del horizonte, además siendo analógica, crea límites de flexibilidad y necesita una digitalización a posteriori de la película.¹

Hemos realizado nuestros estudios en Barcelona (41°22'00"N 2°10'00"E), en particular en dos plazas del Barrio de Gracia, y en la sede del departamento de Sistemas Urbanos en Compiègne (49°25'00"N 2°49'00"E).

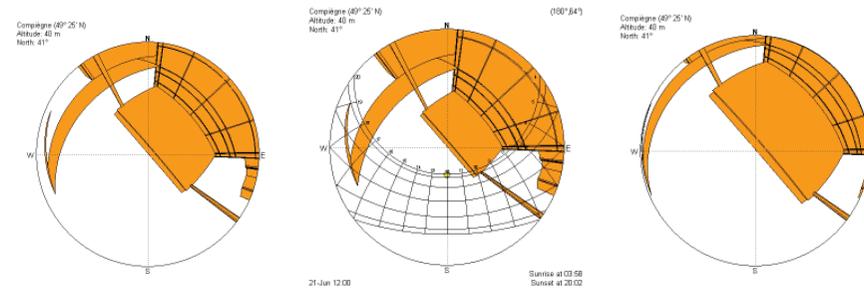
Una vez sacadas las fotos, reveladas y digitalizadas, las hemos comparado con imágenes obtenidas de la construcción de un modelo 3D y analizado con *Heliodon* para estar seguros del tipo de proyección que nos ofrecía nuestra cámara. Como se puede ver en las imágenes, hemos superpuesto los tres diferentes tipos de proyecciones con la foto y este coincide casi perfectamente con la proyección Ortográfica.

Una vez que estamos seguros del tipo de imagen, pues de la proyección, que obtenemos con nuestra cámara nos queda construir, manualmente o por ordenador, un diagrama polar del recorrido solar.

En nuestro caso, hemos obtenido los diagramas por el *Heliodon* y *SunTools* de *SketchUp*.

Será suficiente superponer una máscara solar a nuestra foto y obtendremos un esquema de sombras para todo el año solar, con horas y meses. Es importante notar, analizando la imagen, que la foto tiene que estar bien orientada y perfectamente horizontal, apuntando hacia el cenit. En este caso hemos elegido una foto con cielo tapado de modo que haya mucho contraste entre el cielo y las obstrucciones. El este y el oeste están “invertidos”, en cuanto la foto es una imagen desde abajo, mientras normalmente las proyecciones son representaciones de la bóveda celeste vista de arriba.

¹ De todos modos nuestra tesis quiere desarrollar e investigar un método accesible a todos, por esto hemos utilizado una cámara que fuese principalmente barata y al alcance de cualquier persona.



Proyecciones de Modelo en Heliodon: Equidistante; Estereográfica; Ortogonal;

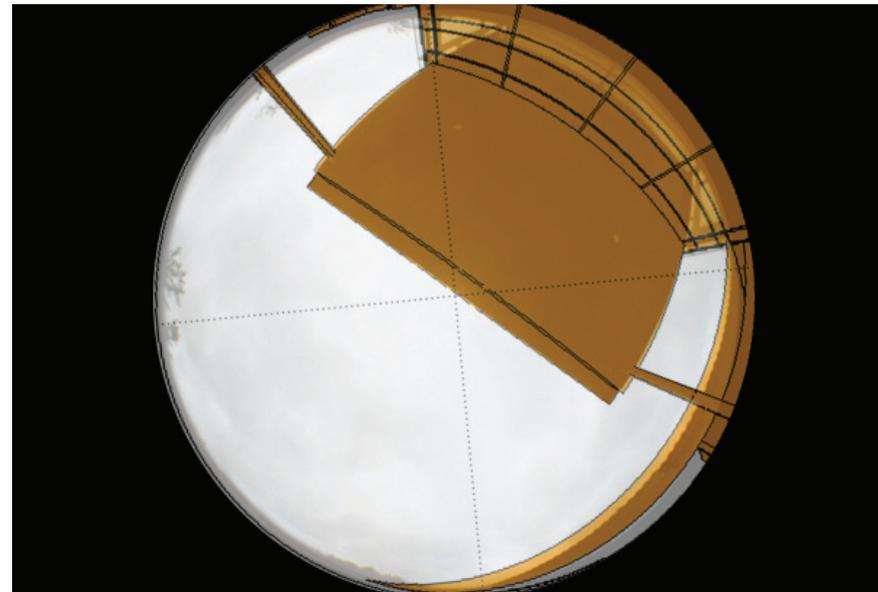
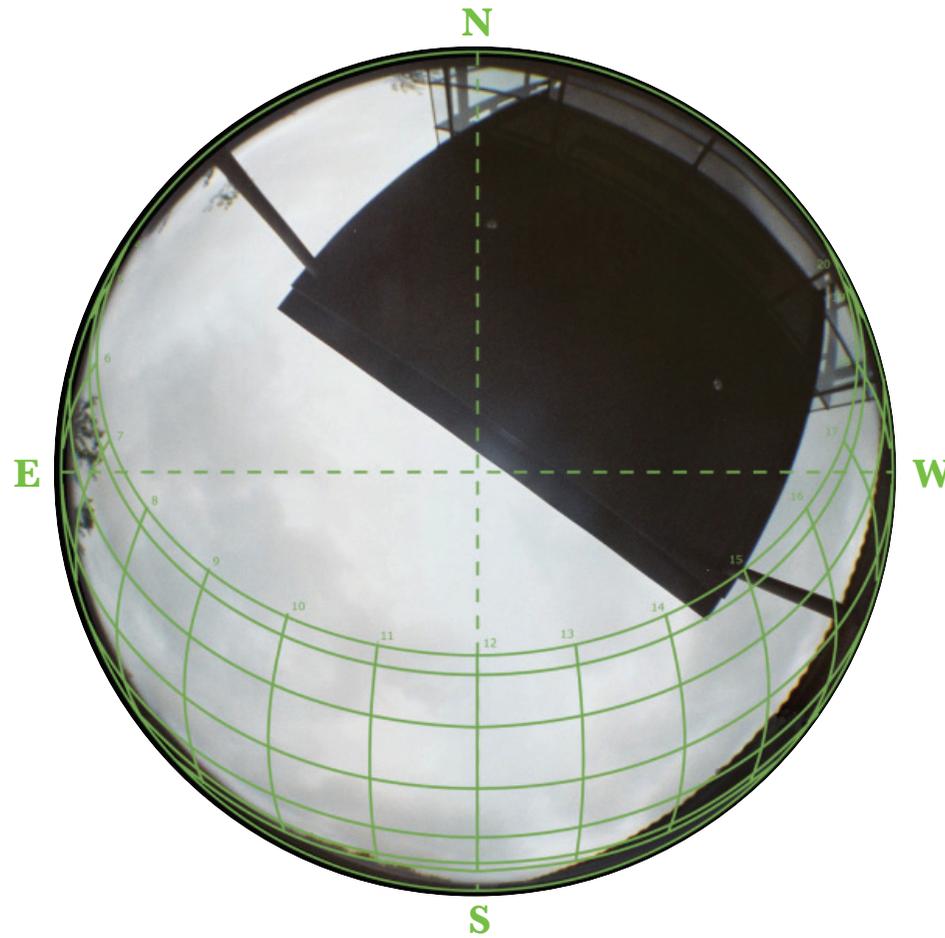


Foto Fisheye del departamento de ingeniería UTC, Compiègne y superposición con proyección ortogonal de Modelo en Heliodon

Las horas que aparecen en el diagrama marcan el tiempo solar, que no coincide con el tiempo “civil” de nuestro reloj. Será necesario, dependiendo de la temporada y la posición del lugar, considerar la presencia o no de hora oficial y la posición en relación al huso horario. Por ejemplo, en una foto sacada en Barcelona en verano habrá que añadir a la hora marcada en la máscara una hora, debido a la *hora oficial europea*, y una hora debido a la posición, en cuanto Europa regula sus relojes en relación a las horas solares de Berlín, unos grados más al Este de la capital catalana.



Superposición de un diagrama polar a una foto fisheye de un porche del departamento de Ingeniería de Sistemas Urbanos en Compiègne (Francia) 49°25'00"N

Observamos cómo el punto de saque potencialmente recibe iluminación solar directa casi todos los días del año, a todas las horas, menos que una pequeña fracción de tiempo, entre las 14 y las 15, horas solares, en el mes de Junio, que recibe sombra de la cubierta superior, y en las últimas horas del día en los períodos invernales, cuando recibe la sombra del pequeño tejado al sur-oeste.

Hemos analizado también, fotos sacadas el día 04 de agosto de 2010 a las 15:00 hs., hora civil, en la Plaça de la Villa, ex Plaça Rius i Taulet, en el Barrio de Gracia en Barcelona (41°22'00"N). Hemos estudiado juntas una foto sacada hacia el cielo, con cámara ubicada horizontalmente, y una foto con vista hacia el oeste, con cámara vertical. A las dos imágenes hemos superpuesto unos diagramas polares de la trayectoria solar con vistas horizontal y lateral. Ambas fotos están sacadas a una altura de un metro del suelo, por esto en la vista lateral la línea de horizonte no coincide con el nivel del



Fotos Fisheye Plaça de la Vila, Gracia, Barcelona, vista polar ortogonal superior y lateral de la trayectoria solar.

suelo. Desafortunadamente, la imagen vertical, hay que tomarla de forma orientativa, en cuanto se ha cometido un pequeño error de inclinación de la cámara al momento del saque; la foto no está orientada exactamente hacia el horizonte sino un punto hacia arriba. Este error se manifiesta en que la obstrucción del edificio al sur-oeste no proyecta exactamente la misma sombra, en hora y mes, que en la proyección del cielo.

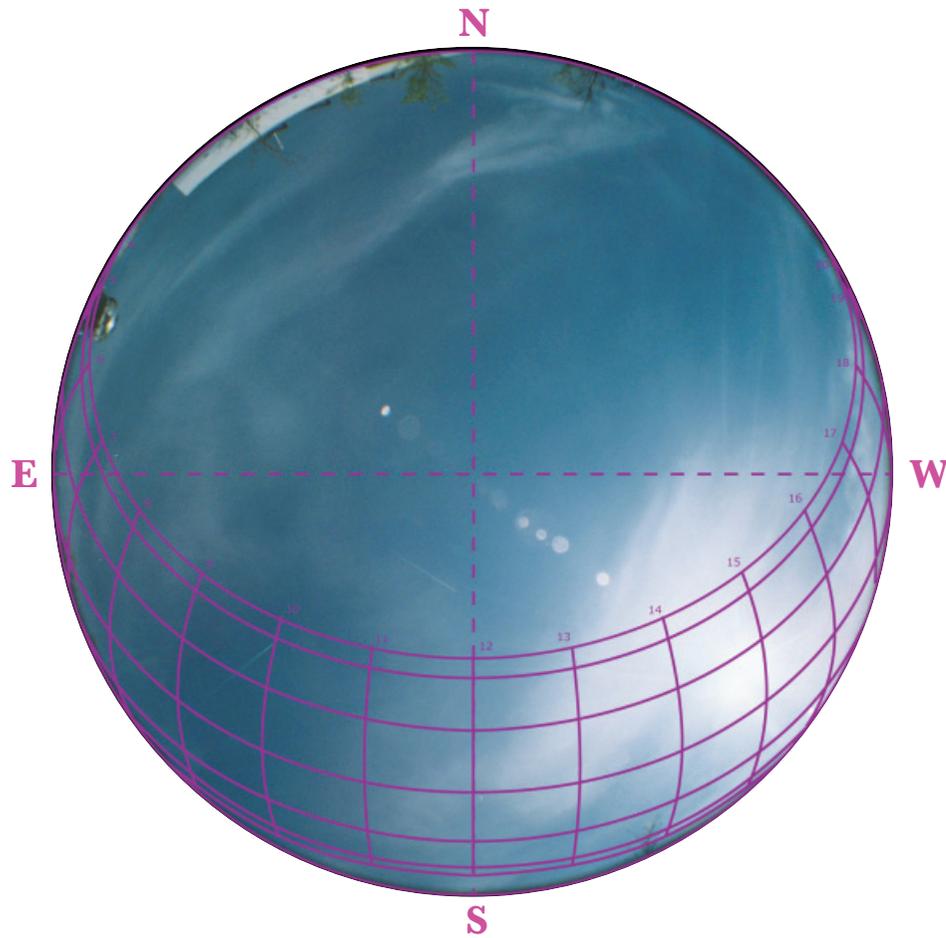
La vista lateral, fundamental para la construcción del diagrama polar ortográfico, en realidad añade poca información a nuestro análisis. Si bien, con ella se puede compensar la falta de información en la parte más extrema de la vista horizontal, nos brinda la mitad de información

en cuanto encuadra solamente una parte de la bóveda, la oeste o la este. De todas formas, puede resultar muy interesante, superponer los diagramas laterales a una foto de una ventana, para saber cuándo y cómo el sol puede incidir en ésta.

Actualmente, con el uso del ordenador, es muy fácil obtener diagramas que responden a cualquier tipo de orientación e inclinación. En particular, hemos encontrado un plugin de SketchUp muy interesante, el *Sun Tools*², que trabajando en tres dimensiones resulta muy flexible, inmediato y fácil de entender.

2

<http://tx.technion.ac.il/~arrguedi/SunTools/download.html>

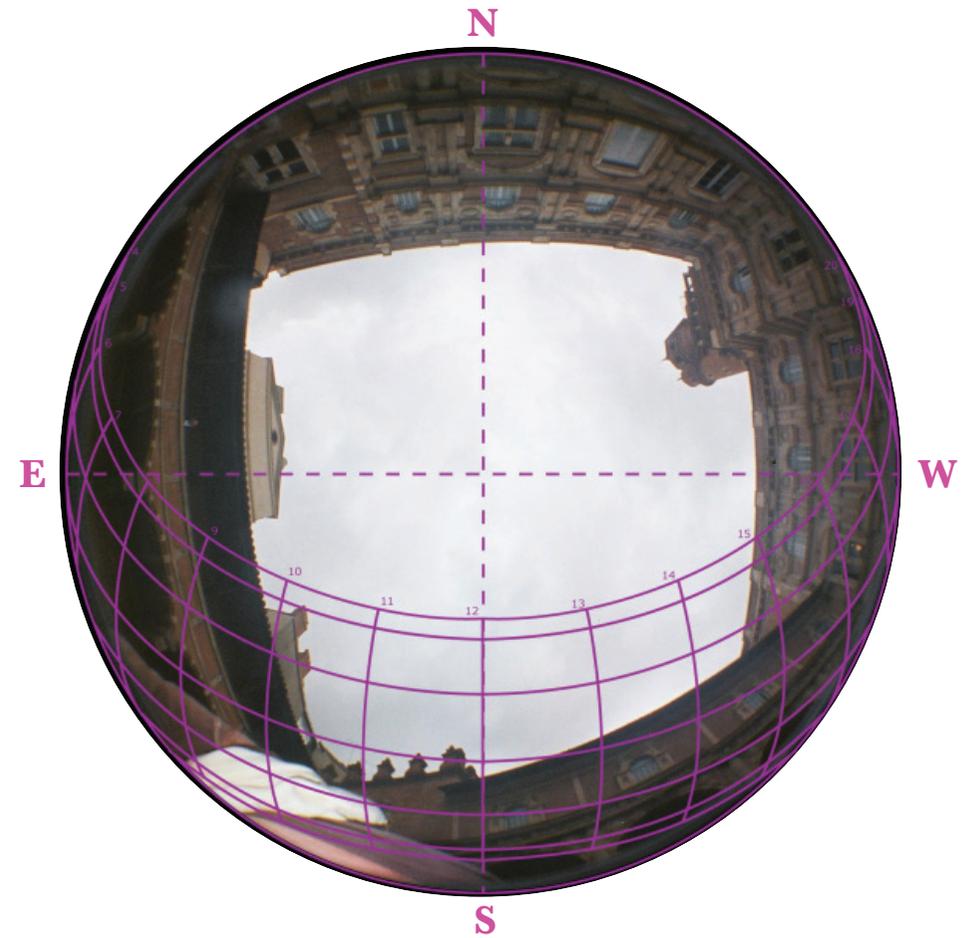


Compiègne (Francia)

UTC

$49^{\circ}25'00''\text{N}$

$2^{\circ}49'00''\text{E}$

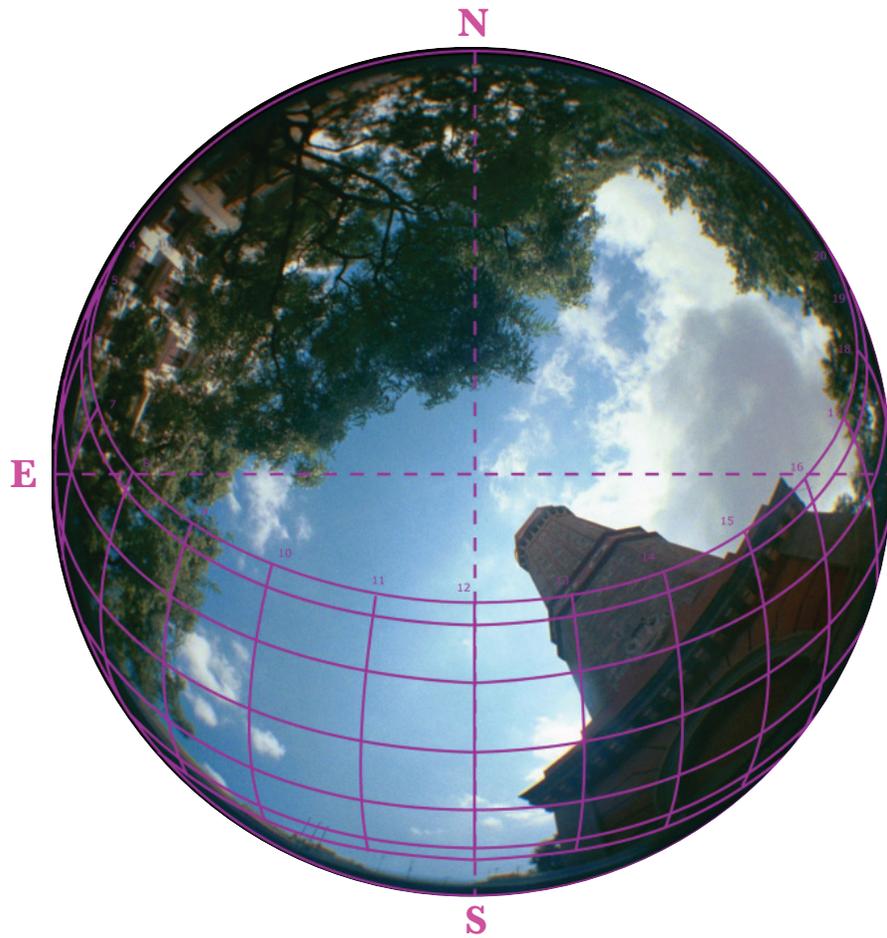


Toulouse (Francia)

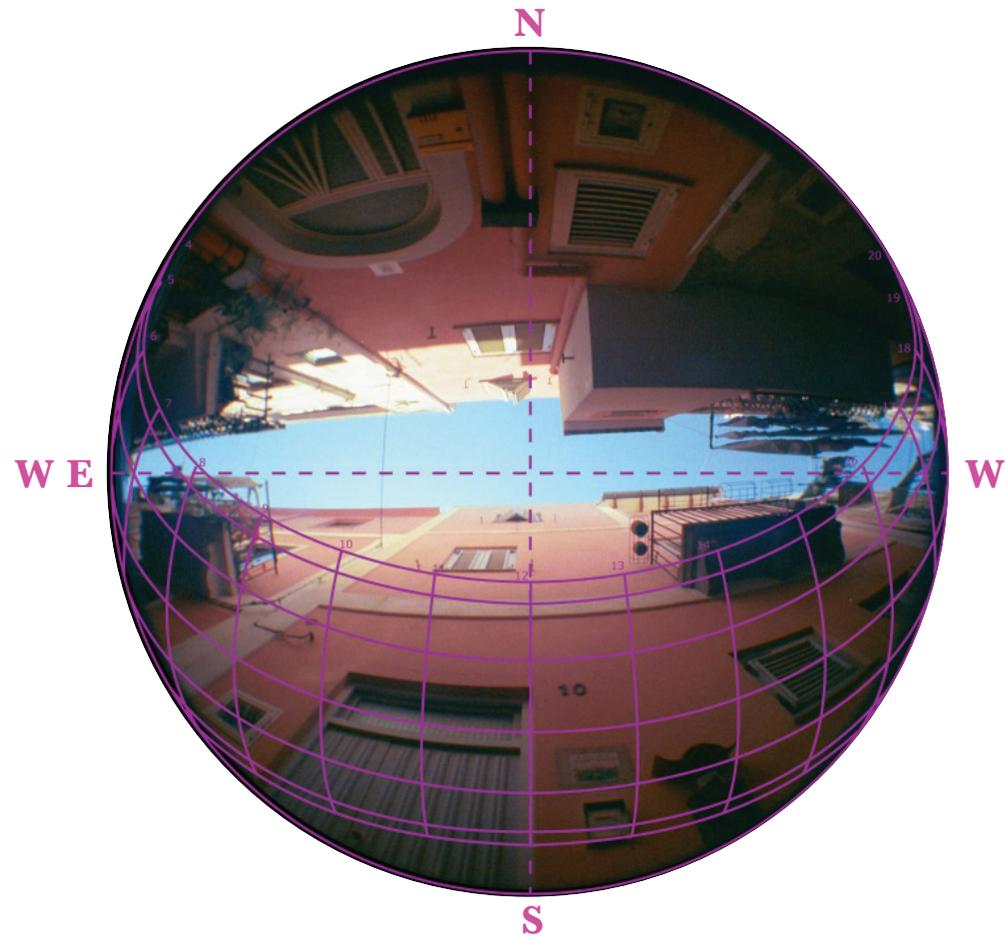
L'hôtel d'Assézat

$43^{\circ}36'19''\text{N}$

$1^{\circ}26'34''\text{E}$



Barcelona (España)
Plaça de la Villa
 $41^{\circ} 24' 7''$ N
 $2^{\circ} 10' 17''$ E



Lipari (Italia)
Vico Vulcano
 $38^{\circ} 28' 0''$ N
 $14^{\circ} 57' 0''$ E

8.2 Cálculo del factor de vista con fotografía fisheye

Saber cuánto porcentaje de cielo es visible desde un punto, puede resultar interesante para entender cuánto un entorno construido puede afectar en un punto determinado de una escena.

Si tenemos, por ejemplo, una ventana abierta, es fácil entender cómo la cantidad de luz que entra a través de ésta será diferente si la abertura tiene en frente un edificio o si tiene delante un espacio libre. El porcentaje de cielo visible en la totalidad de la escena se llama *factor de cielo*, y será máximo cuando la escena esté totalmente despejada y mínimo cuando presente más obstáculos. Hay normativas, como la inglesa, que recomiendan calcular el factor de cielo para prever el impacto en el entorno de nuevas construcciones³ [1].

En realidad, no todo el cielo que está en frente de una ventana incide de la misma manera. Una porción de cielo que está justo en frente de nuestra ventana dará más luz que si la misma porción estuviese tangente a la abertura. Como sucede con la radiación directa, la cantidad por la cual el cielo ilumina una superficie depende del ángulo de incidencia. El factor de cielo ponderado por el *ángulo de incidencia*⁴ se llama *factor de vista*.

Si recordamos las diferencias entre las varias proyecciones polares de la bóveda celeste, tendremos presente como la proyección Ortogonal representa de modo diferente porciones iguales de la escena en relación a su ángulo de incidencia. Un elemento cualquiera, que se encuentra en posición más angulada en la escena, es representado en la imagen de modo mucho más pequeño de como nos aparecería si este mismo estaría posicionado cerca del cenit. Por esta característica, las proyecciones Ortogonales son aptas a un análisis de factor de vista, en cuanto ya ponderadas por el ángulo de incidencia.

La cámara fisheye, que hemos utilizado para sacar nuestras fotos, nos da imágenes con proyección Ortogonal que nos permiten calcular de

3 El software Heliodon, nos permite calcular el factor de cielo (Sky factor), analizando proyecciones equidistantes, pasando del modo “sol” al modo “cielo” y es posible visualizarlo sea con valores sea de forma grafica.

4 El ángulo de incidencia es una medición en grados de la incitación de un objeto de la posición de referencia en relación a su Normal.

modo rápido los factores de cielo.

Como ya hemos hecho en el capítulo cinco, para calcular el Albedo en una fotografía, utilizaremos para desarrollar nuestro nuevo análisis el software libre *ImageJ*⁵.



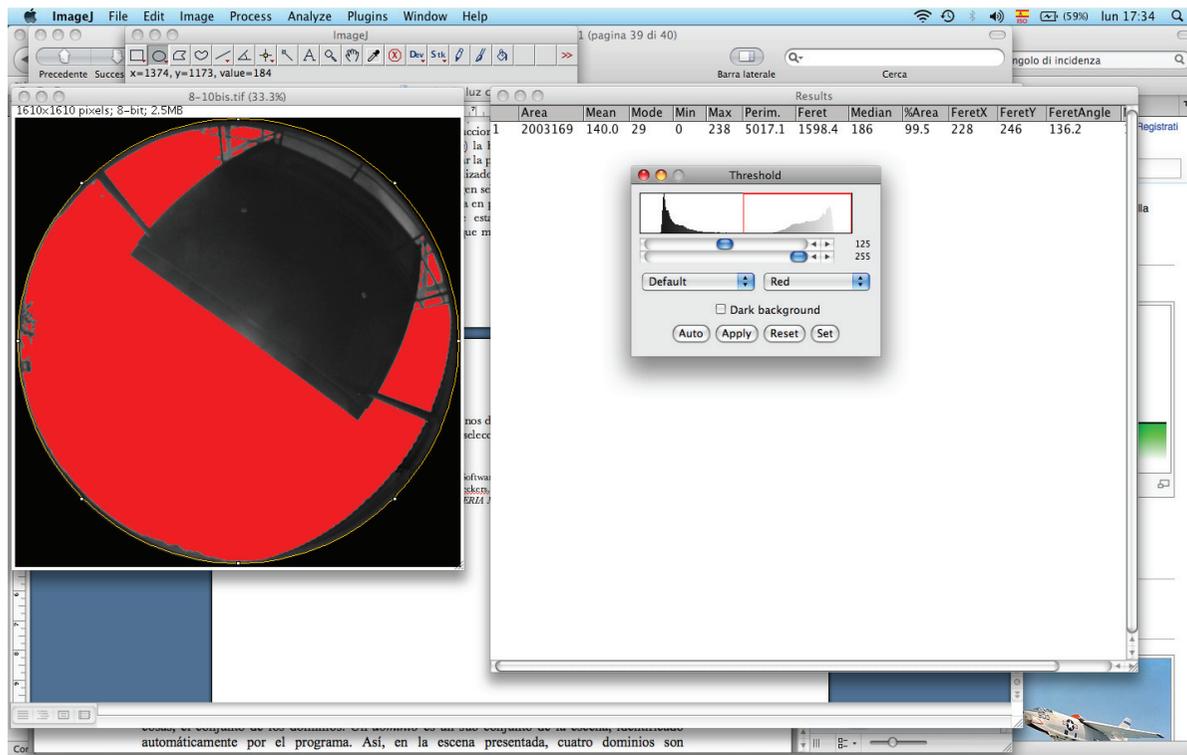
Foto Fisheye Circular Ortografica del departamento de ingeniería y superposición con mascara Ortografica de la bóveda celeste.

Para proceder con nuestro primer análisis hemos elegido una foto fisheye sacada en Compiègne, el día 3 de Mayo del 2010, a las 16:30 hs., en condiciones de cielo cubierto, para favorecer un mayor contraste entre cielo y obstrucciones.

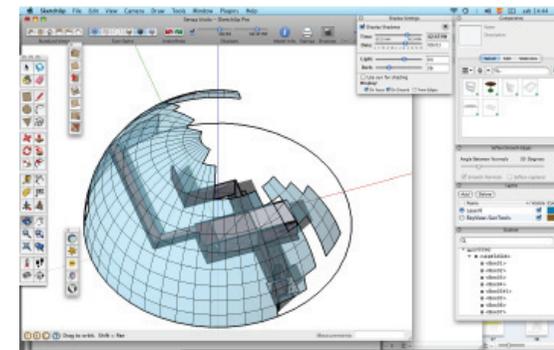
5 <http://rsbweb.nih.gov/ij/>

Abierta la foto con ImageJ (*File>Open*) la hemos pasado a una imagen en escala de gris a 8 bit (*Image>Type>8-bit*). Luego, seleccionamos la parte de imagen que nos interesa, en este caso tratándose de una foto fisheye circular, hemos utilizado el seleccionador circular, y contamos la cantidad de píxeles que componen la totalidad de la imagen seleccionada (*Analyze>Measure*). Se abre una ventana con diferentes valores, el primero indica el área en píxel. En nuestro caso la superficie seleccionada cuenta con 2.003.169 píxeles. Es importante estar seguros que esté seleccionada la modalidad Área (*Analyze>Set Measurement*). Luego hay que marcar los límites de gris, de modo de evidenciar lo que queremos contar y que resulten distintos, así el software pueda distinguirlos cuando los vaya a contar (*Image>Adjust>Threshold*).

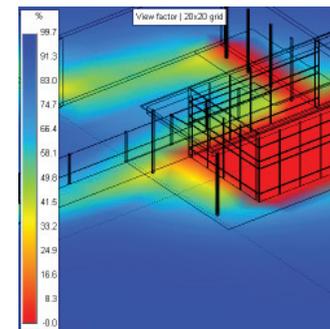
Seleccionamos los valores, en nuestro caso de 125 a 255, que coinciden con los valores del cielo y aplicar. Se vuelve a repetir la operación de medición (*Analyze>Measure*). Obtendremos un nuevo valor en píxeles de la cantidad del área del cielo, 1186011 píxeles. En conclusión, sabemos que en la imagen 1.186.011 sobre 2.003.169 píxeles, coinciden con el cielo, es decir, el 59% de la imagen. Este último porcentaje coincidirá con nuestro factor de cielo. Hemos desarrollado el mismo análisis del factor de vista con los simuladores virtuales Heliodon y Sun Tools, de lo que hemos obtenido como resultados el 58,9% y el 54% respectivamente. La diferencia entre el porcentaje obtenido por medios fotográficos y los porcentajes que resultan de Sun Tools, es debido al hecho que en nuestro análisis consideramos el cielo visible a través del cristal, mientras que esta parte es considerada en la simulación virtual como obstrucción.



Análisis del factor de vista con ImageJ, búsqueda de los límites de gris.



Análisis de factor de vista con Sun Tools de SketchUp



Análisis de factor de vista con Heliodon

8.3 Análisis del cielo en relación a la vegetación

Hemos querido analizar cómo puede cambiar el factor de vista de un mismo punto en relación al cambio de la vegetación en diferentes temporadas, sacando dos fotos en el mismo espacio en distintas épocas del año. El sitio elegido, Plaça Raspall, en el barrio de Gracia, presenta un grupo de siete árboles de altura media de 15 metros aproximadamente, en verano ricos en hojas y en invierno totalmente desnudos. La plaza es suficientemente tranquila y eso nos ha permitido hacer todas las mediciones necesarias para la toma de las fotos, además presenta unas marcas en el suelo que nos han permitido reconocer el punto de saque después de unos meses.



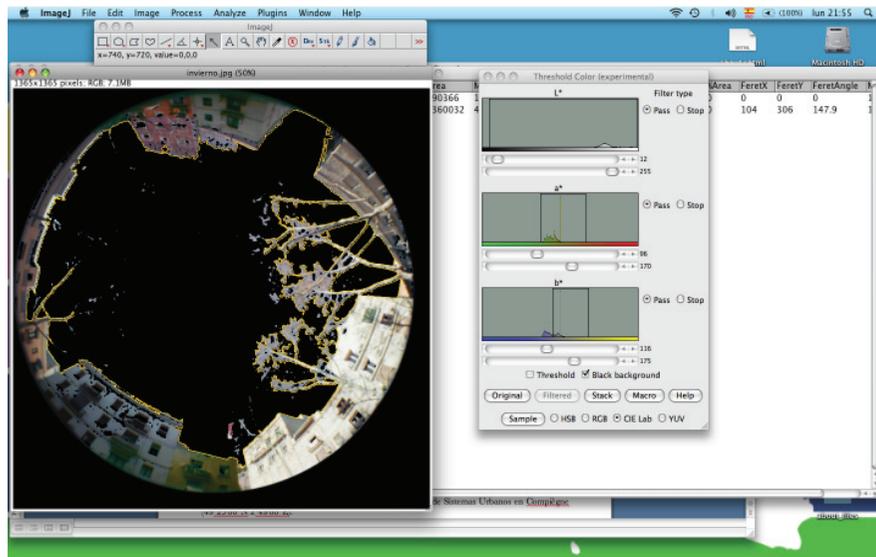
Plaça Raspall, Barrio de Gracia, Barcelona; imagen obtenida por el Google Street View

La primera foto la hemos sacado el 2 de febrero del 2010 a las 16.00 horas, en un día de cielo azul despejado y una temperatura del aire de 15° grados, mientras que la segunda foto ha sido sacada seis meses de después, el 4 de agosto a las 15.00 horas, en un día de cielo variable con temperatura del aire de 27°.



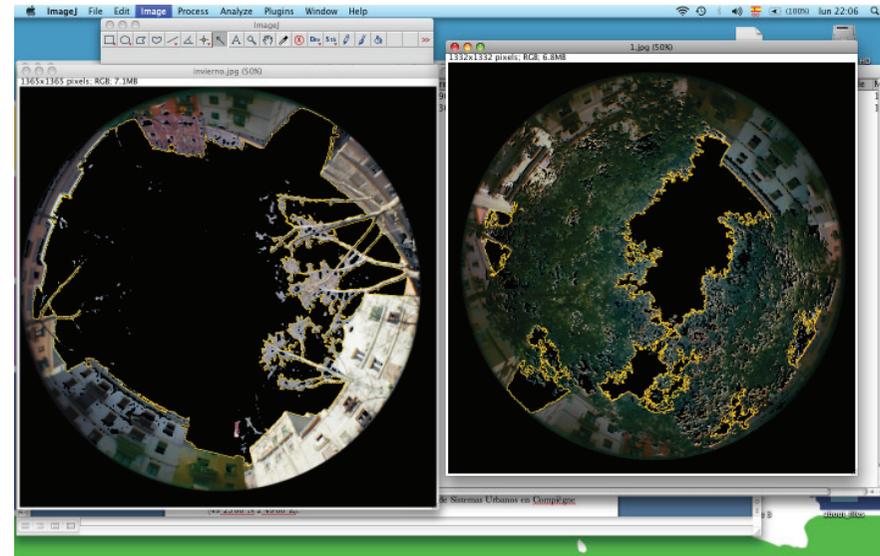
Fotos fisheye Plaça Raspall, Barrio de Gracia, Barcelona, 02/02/2010 – 04/08/2010

Ambas fotos han sido analizadas con el programa ImageJ y una técnica de cuentas de píxeles de colores. Hemos cargado las imágenes (*File>Open*) y esta vez hemos seguido nuestro análisis sin pasar las imágenes en escala de grises. El hecho que el cielo estuviese despejado, no nos ha ayudado en cuanto no hay suficiente contraste, entre el cielo y las obstrucciones, además, en el caso de la foto de invierno, hay edificios mas claros que cielo. Por esto ha sido necesario marcar límites de colores, no de grises, para evidenciar la zona que queremos contabilizar (*Image>Adjust>Color Threshold*).



Una vez marcados los límites y realizada la máscara es suficiente seleccionar las áreas y medirlas (*Analyze>Measure*). Comparando las cantidades de píxeles con el área total, conoceremos el porcentaje y consecuentemente el factor de vista. En nuestro caso específico, hemos comprobado que en el punto elegido de la Plaça Raspall, en invierno el cielo cuenta aproximadamente 790.366 píxeles sobre 1.360.032 totales, pues un 58% de factor de vista, mientras que en verano el cielo cuenta 219.228 píxeles sobre 1.254.828, un 17% de la totalidad.⁶

6 La diferencia de la cantidad de píxeles totales, 1.360.032 contra



En conclusión las copas de los árboles influyen un 41% en el factor de vista, pues en invierno tendremos un 41% más de luz que llega del cielo. Además, superponiendo a las fotos la máscara solar de Barcelona, notamos cómo en verano las hojas de los árboles no permiten a los rayos solares alcanzar el punto de saque. Se advierte, cómo un cálculo de este tipo hecho con simulación por ordenador será mucho más aproximado, en cuanto es muy difícil pronosticar el crecimiento de las plantas, en cambio las fotos nos ofrecen una imagen real de las obstrucciones en el punto.

1.254.828, es debida a una diferente calidad en el momento de digitalizar las fotos.



8.4 Valuación de píxeles para análisis de cielo

Usando el método de la fotografía fisheye, quisimos comparar cómo puede variar la cantidad de luz que llega en un punto y cómo cambian las reflexiones en el entorno del mismo.

Hemos analizado una serie de fotos sacadas en Compiègne en dos puntos diferentes del centro de investigación, punto A y punto B. La toma de las fotos ha sido integrada con mediciones de luz global, sirviéndonos de un luxómetro *CHAUVIN ARNOUX CA813*, y mediciones de la temperatura en diferentes puntos, gracias a un termómetro *Fluke 62 Mini*.

En el punto A hemos realizado 3 fotos en diferentes días, cada una en condiciones atmosféricas diferentes: un día totalmente nublado, un día totalmente despejado con luz directa, un día en parte nublado y sol tapado. En el punto B, al contrario, hemos sacado y analizado 2 fotos en el mismo día pero con variaciones de luz: luz directa y luz indirecta.

Una vez digitalizada las fotos, las hemos elaborado con el programa ImageJ. Para facilitar el cálculo, hemos pasado las imágenes originales desde color RGB a escala de gris 8-bit (*Image>Type>8-bit*). Siendo que el programa nos propone una variación de 256 tonalidades diferentes de grises, variación no distinguible por el ojo humano, hemos acentuado las diferencias que lee el ordenador asignando a pequeños rangos de luminosidad otros colores netamente diferentes (*Image>Lookup Tables> 16 colours*). Esta específica herramienta coge los 256 tonos de grises y los divide en 16 partes ($256/16=16$) y asigna el color según el nivel de saturación de este modo:

0 <= P _v < 16	Negro	128 <= P _v < 144	Amarillo
16 <= P _v < 32	Azul oscuro	144 <= P _v < 160	Amarillo claro
32 <= P _v < 48	Azul	160 <= P _v < 176	Naranja
48 <= P _v < 64	Cian oscuro	176 <= P _v < 192	Naranja oscuro
64 <= P _v < 80	Cian	192 <= P _v < 208	Rojo
80 <= P _v < 96	Cian claro	208 <= P _v < 224	Fucsia
96 <= P _v < 112	Verde	224 <= P _v < 240	Lila
112 <= P _v < 128	Verde ácido	240 <= P _v < 256	Blanco

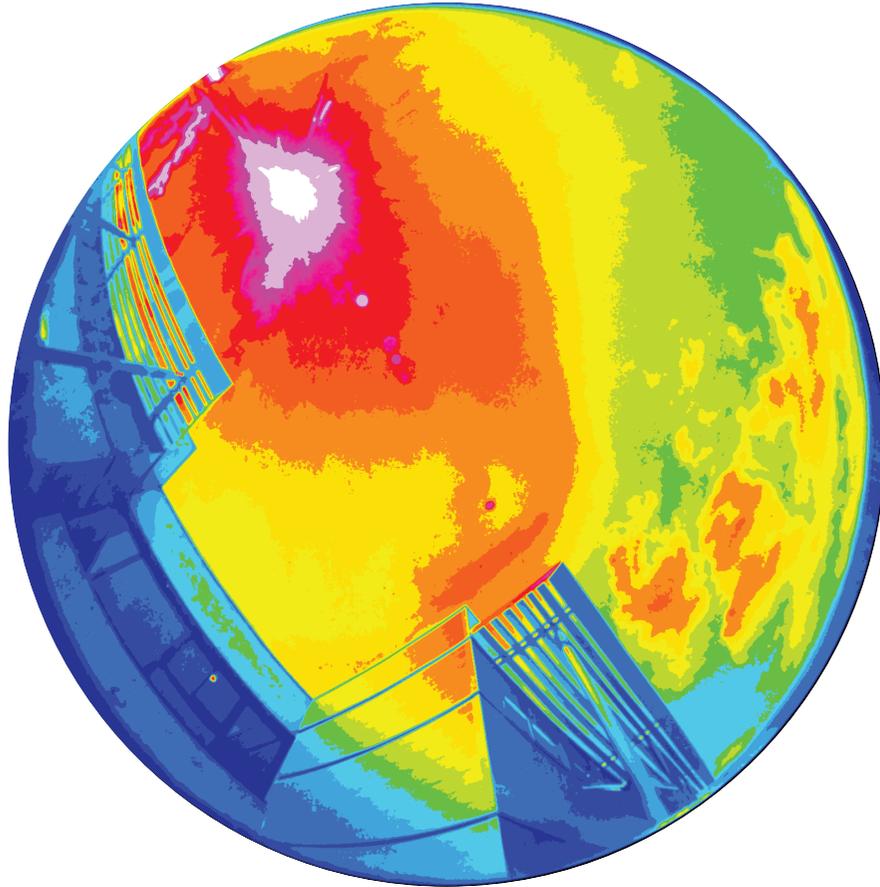


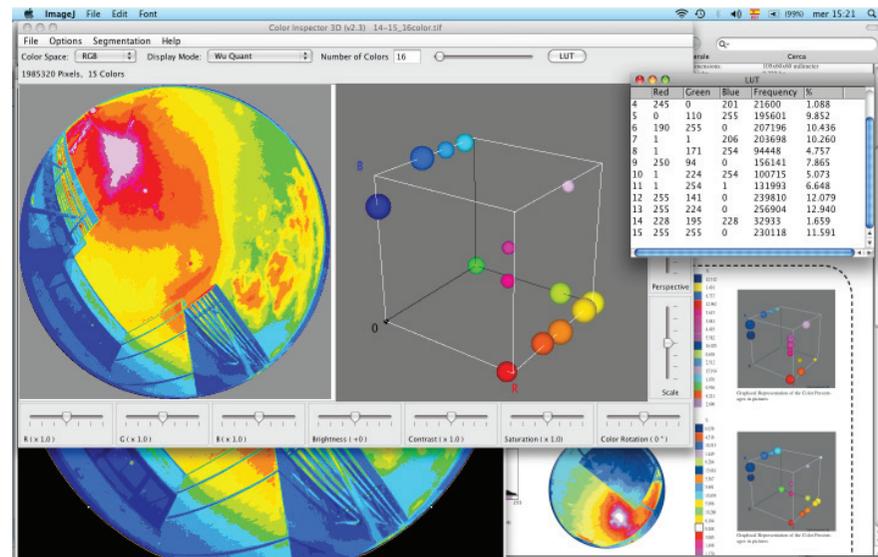
Imagen de 16 colores de ImageJ

Como se puede ver en las imágenes, aparece muy evidente cómo varía la luminosidad en las diferentes partes de éstas y será suficiente realizar un histograma, seleccionado antes el círculo de la foto, para saber cómo cada rango de luminosidad influye en el conjunto de la foto. Nos parece interesante evidenciar, cómo la luz que alcanza el punto no viene únicamente desde el cielo sino también de los elementos arquitectónicos que la reflejan.

Si queremos, además, cuantificar el peso, en porcentaje, de cada color en la totalidad de la imagen podemos guardarla en cualquier tipo de extensión y analizar esta última con un plugin específico, Color

Inspector, que se puede bajar libremente de Internet⁷.

Una vez instalado el plugin, tenemos que abrir la imagen guardada (*File>Open*) y abrir el plugin (*Plugins>Color Inspector 3D*). La ventana que aparece presenta una visión tridimensional de la distribución de color en la imagen. Cambiando el Display Mode en *Median Cut* y bajando la cantidad a 16, sabemos cuánto cada color, (pues cada nivel de luminosidad), influye en la escena. Pasando con el ratón en una parte cualquiera de la imagen, el programa nos está diciendo la posición, el tipo de color y el porcentaje (frequency) en relación al conjunto. El esquema tridimensional RGB nos está dando una rápida representación gráfica de las proporciones entre los colores. Con el ratón, se puede rotar el gráfico para verlo de modo óptimo. Pinchando el botón *LUT*, tendremos un listado de los valores que buscábamos.

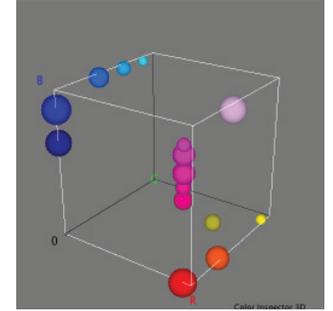
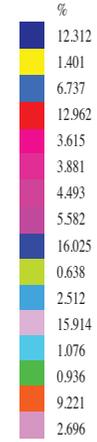
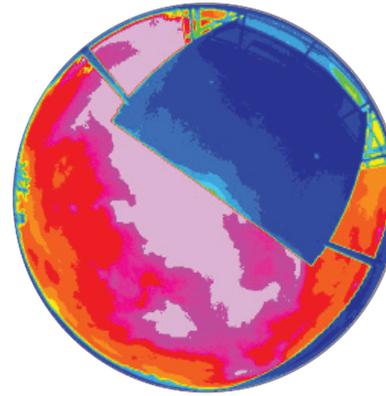
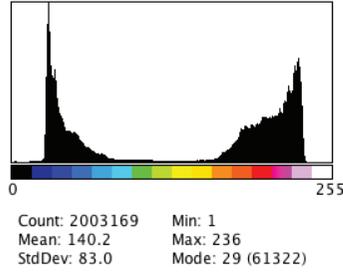
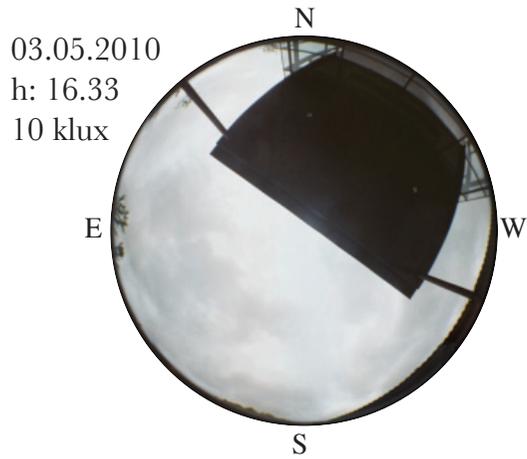


Es fácil entender cómo comparando los valores tomados por un luminancímetro podemos saber, cuándo, dónde y con qué porcentaje una determinada cantidad de luz incide en un punto.

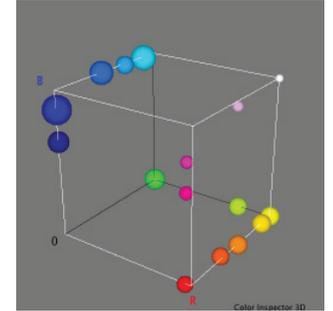
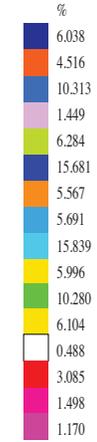
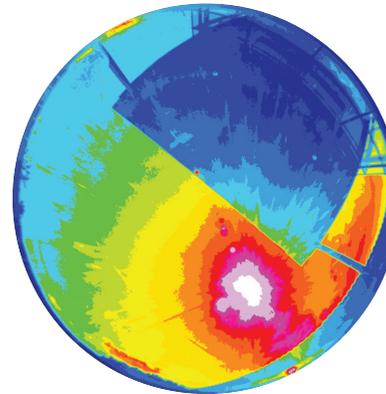
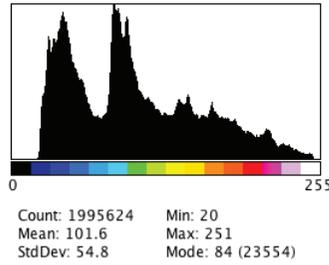
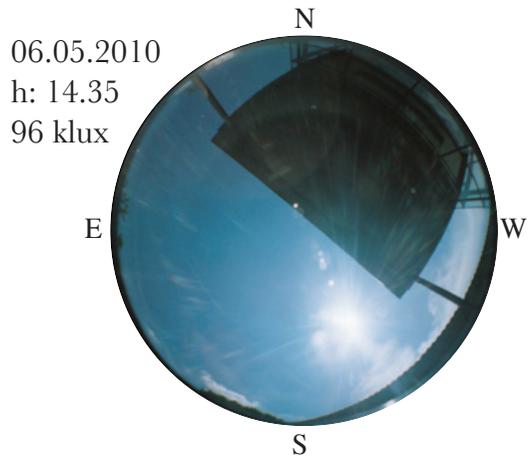
7

<http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/color-inspector.html>

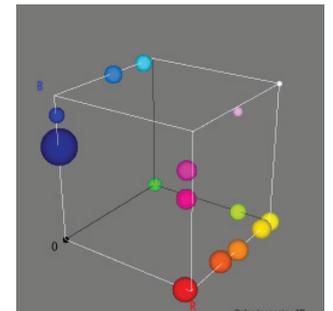
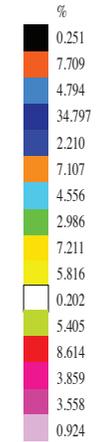
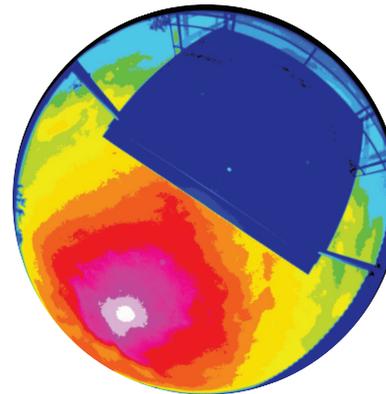
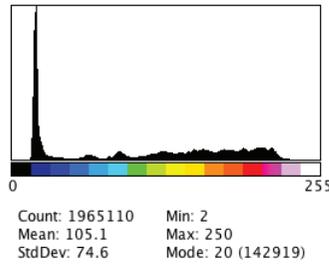
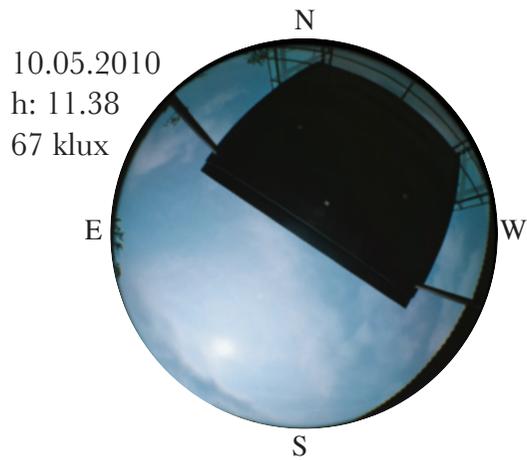
Análisis de píxeles de fotos sacadas en el punto "A" en diferentes días y condiciones atmosféricas diferentes



Graphical Representation of the Color Percentages in pictures



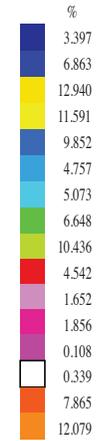
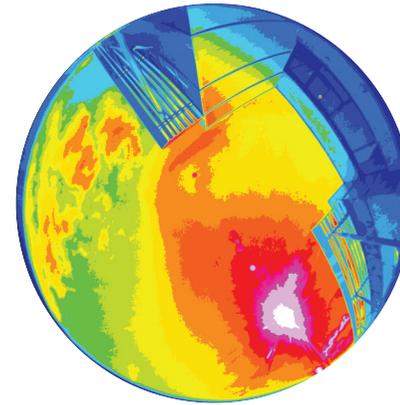
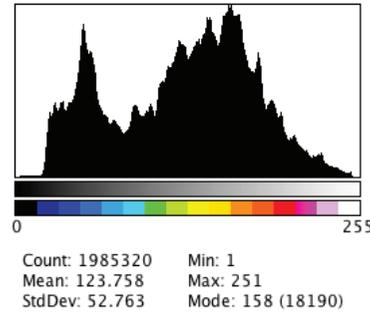
Graphical Representation of the Color Percentages in pictures



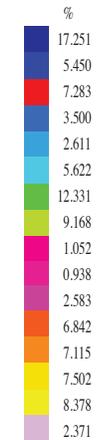
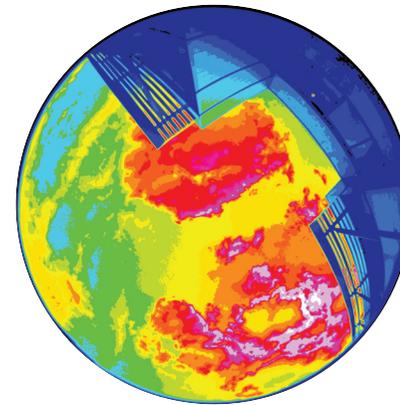
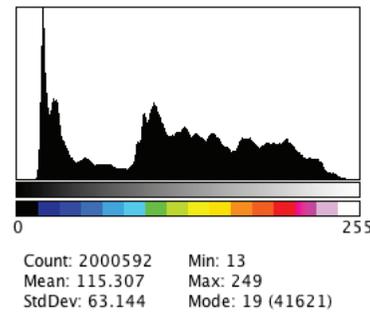
Graphical Representation of the Color Percentages in pictures

Análisis de píxeles de fotos sacadas en el punto "B" en el mismo día y condiciones de luz diferentes

06.05.2010
h: 15.20
79 klux



06.05.2010
h: 15.35
22 klux



Foto

Histogramas de grises

Imagen en 16 colores

Porcentaje de albedo por porciones de colores

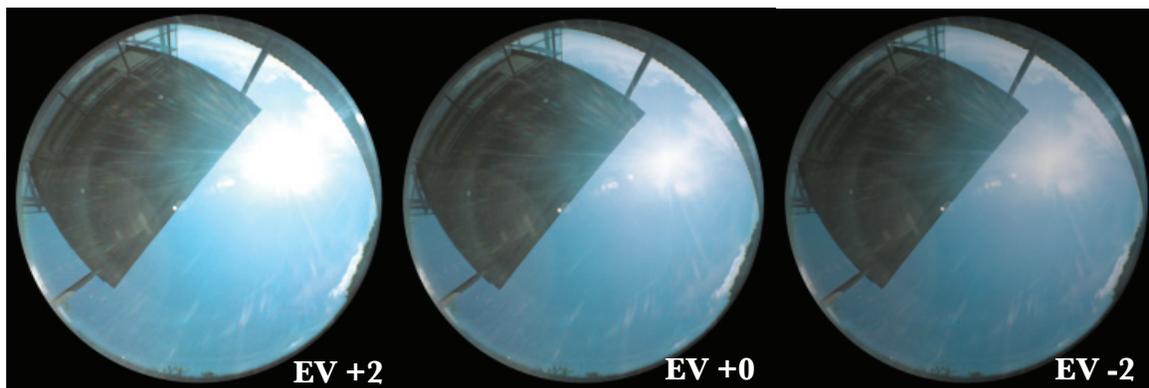


8.5 Fotografías HDR fisheye y valuación de píxeles

Nos parece muy interesante presentar una técnica para analizar el cielo y el entorno en un punto, en este momento pionera pero que dentro de algunos años será, seguramente, importante en estudios del cielo y energía solar, que mezcla las posibilidades que nos da la fotografía hemisférica con las sorprendentes potencialidades de las imágenes digitales HDR.

A causa de los elevados costos de los objetivos ojo de pez para cámaras digitales, hemos tenido que utilizar pequeños trucos de ordenador para poder experimentar lo que sigue a continuación. Por esto, no hay que considerar totalmente fiables los valores que hemos obtenido y habrá que tomar esta parte como el intento de formular un método, más que como un estudio puramente científico⁸.

Teniendo un mínimo de tres imágenes fisheye de la bóveda celeste sacadas con tiempo de exposición diferentes es posible obtener fotografías de alto rango dinámico que pueden ser analizadas con programas, como el WebHDR, como presentamos en el capítulo 8 de esta tesina, y realizar elaboraciones de valores de luminancia en una escena.



8 Por el hecho de haber utilizado una cámara analógica compacta que no nos permite modificar el tiempo de exposición en saque de una foto y en cuanto la digitalización y las informaciones *Exif*, fundamentales para el análisis de imagen HDR, están hechas posteriormente al saque, ha sido necesario cambiar los valores de exposición con el Photoshop y construir unos archivos *Exif* manualmente.

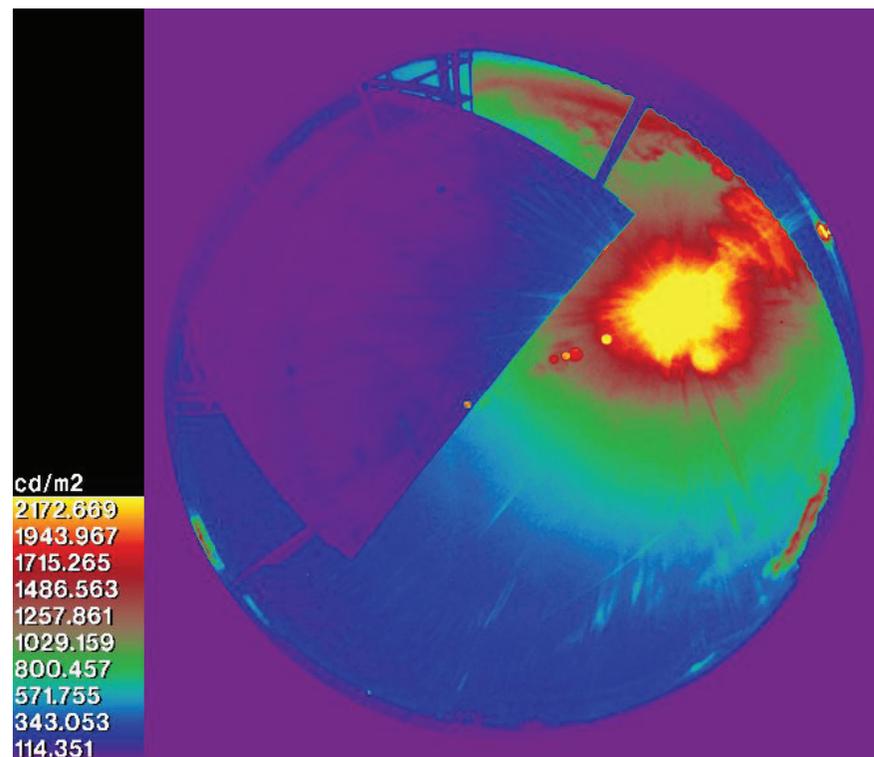


Imagen falsos colores del Análisis de luminancia obtenida con WebHDR

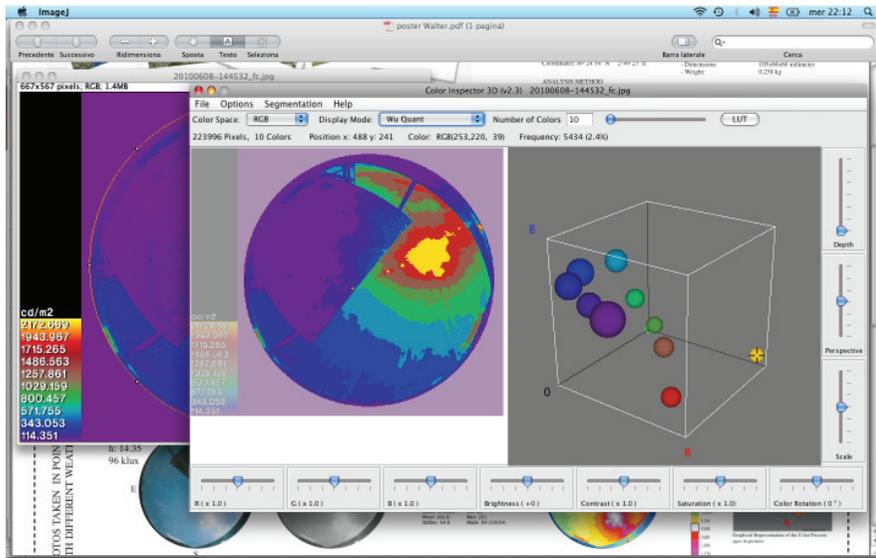
Con el análisis de WebHDR conseguimos cuantificar en cd/m^2 todo el entorno a 360° , sabiendo cuales son las porciones de cielo más o menos luminosas, y cual parte del construido puede reflejar u obstruir la luz que llega en el punto, sin que sea necesario un cálculo de la luminancia con sofisticados instrumentos.

Una vez elaborada la imagen gráfica y la escala de valores se puede pasar al análisis de píxeles con ImageJ para saber en qué porcentaje influye cada fracción de luminancia.

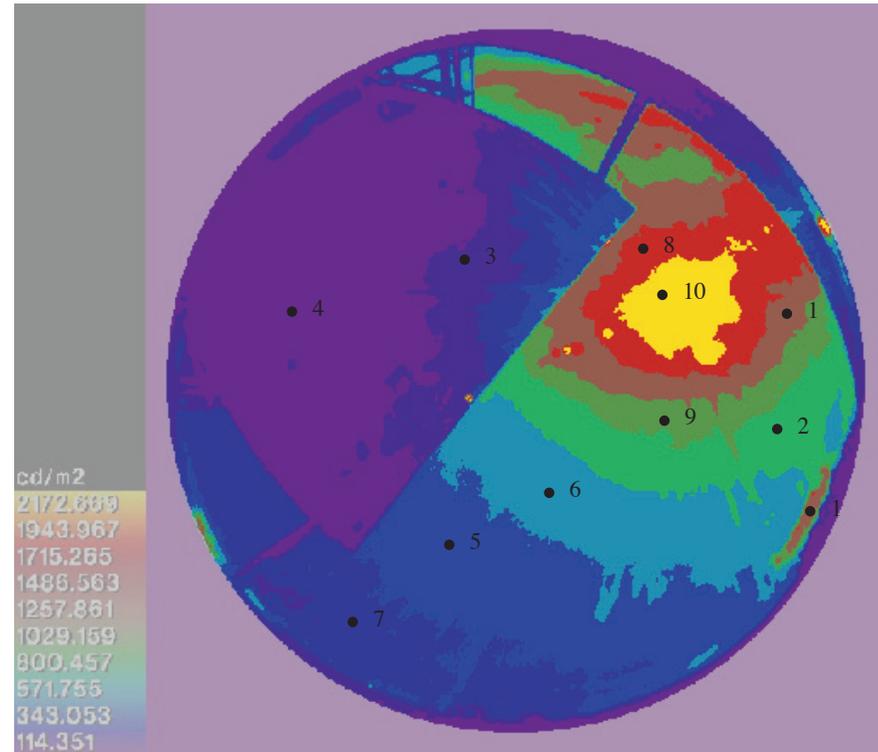
Abriendo la imagen guardada desde WebHDR, seleccionado el círculo de la foto, es posible analizar la imagen en color con el plugin Color Inspector (*Plugins>Color Inspector 3D*).

Esta vez hemos dividido la imagen en 10 colores, tantos cuantos son los intervalos de valores que obtenemos con WebHDR.

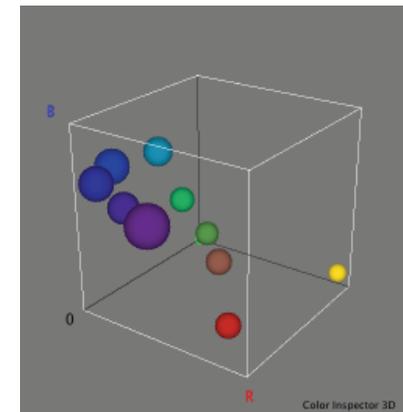
En particular en nuestra imagen analizada sabemos que en el punto de saque se refleja: el 2,452 % de luminancia superior/igual a 2172 cd/m²; el 5% entre 1944 y 1715 cd/m²; el 6,6% entre 1715 y 1029 cd/m²; el 11,6% entre 1029 y 800 cd/m²; 10% entre 800 y 572 cd/m²; el 28% entre 572 y 114 cd/m²; 36 % igual o inferior a 114 cd/m²;



Análisis de pixel con ImageJ de la imagen obtenida con WebHDR



	Pixel	%
1	14588	6.587
2	14956	6.753
3	21288	9.612
4	59087	26.680
5	32792	14.807
6	22147	10.000
7	29300	13.230
8	11185	5.050
9	10692	4.828
10	5430	2.452



- [1]. Beckers B. & Masset L., 2009, *Heliodon 2*, Software and user guide, p.35-38
- [2]. Benoit Beckers, Luc Masset & Pierre Beckers, *Una proyección sintética para el diseño arquitectónico con la luz del*, 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA, Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007
- [3]. Ferreira, T. & Rasband, W., *The ImageJ User Guide – Version 1.43*, <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf> , Apr 2010
- [4]. Battiato S., 2005, *Studio del software Java per l' Image Processing ImageJ*, Dipartimento di Matematica e Informatica, Catania



Instrumentos fotográficos portátiles para el análisis de un sitio

Solar Pathfinder

HORlcatcher

Panorama Master

SunEye

Solmetric IPV iPhone App

Instrumentos fotográficos portátiles para el análisis de un sitio

En el desarrollo de nuestra tesis hemos encontrado ciertos instrumentos que permiten un análisis del sitio en relación a su entorno, utilizando técnicas fotográficas, dotados de pequeñas cámaras internas o externas al dispositivo. La mayoría de estas herramientas están producidas y comercializadas para la instalación de paneles solares, y algunos utilizan sistemas muy simples y convencionales. Nos ha parecido interesante dedicar un pequeño capítulo a estos instrumentos en cuanto su comercialización expresa las posibilidades de nuestro método. En particular, presentaremos ciertos productos, fabricados por diferentes marcas, que nos han parecido muy interesantes y de fácil utilización.

Empezaremos nuestra exposición con el más simple e intuitivo, pasando poco a poco a sistemas más complejos y dotados de tecnología más sofisticada.

9.1 Solar Pathfinder™ [1]

El *Solar Pathfinder*, producido por una empresa de Estados Unidos, es un instrumento muy simple en su estructura y utilización. Es una herramienta no electrónica que funciona por reflexión y sirve para determinar la sombra dada por el entorno en punto. Éste está formado por una cúpula semitransparente de plástico, de alto poder de reflexión, y unos discos que representan la trayectoria solar. Se ubica la cúpula sobre un trípode en el punto que queremos estudiar y se posiciona debajo de la bóveda traslúcida ciertos elementos que representan los diagramas polares de la trayectoria solar. El dispositivo está dotado de una brújula para un correcto posicionamiento. Una vez colocado en el sitio para analizar, el usuario tendrá una visión panorámica del entorno como reflejo en la cúpula, será suficiente sacar una foto con cualquier cámara digital de la reflexión.

Estando privado de electrónica, esta herramienta se podrá usar en cualquier lugar y en cualquier condición atmosférica. Los discos de los diagramas solares son intercambiables y los proporciona el productor al momento de la compra. El *Solar Pathfinder* se puede comprar por Internet y tiene un precio relativamente bajo, aproximadamente de 300 \$ por el kit.

Una vez sacada las fotos y pasadas por ordenador, las imágenes serán elaboradas por un programa informático, *Pathfinder Assistance Software*, que gracias a archivos internos permite ofrecer varias posibilidades para el cálculo medio ambiental y las instalaciones de energías renovables.





9.2 HORIZatcher [2]

Producido por la industria Suiza *Meteotest*, *HORIZatcher* es un instrumento para el estudio de las obstrucciones y los obstáculos a la llegada de la radiación solar directa en un punto. Como la *Solar Pathfinder*, este sistema trabaja por reflexión siendo como el tradicional globoscopio, formado por un espejo curvo, que refleja los elementos presentes en la escena alrededor del punto analizado y un especial brazo donde está colgada la cámara digital que graba en imagen la reflexión del espejo.

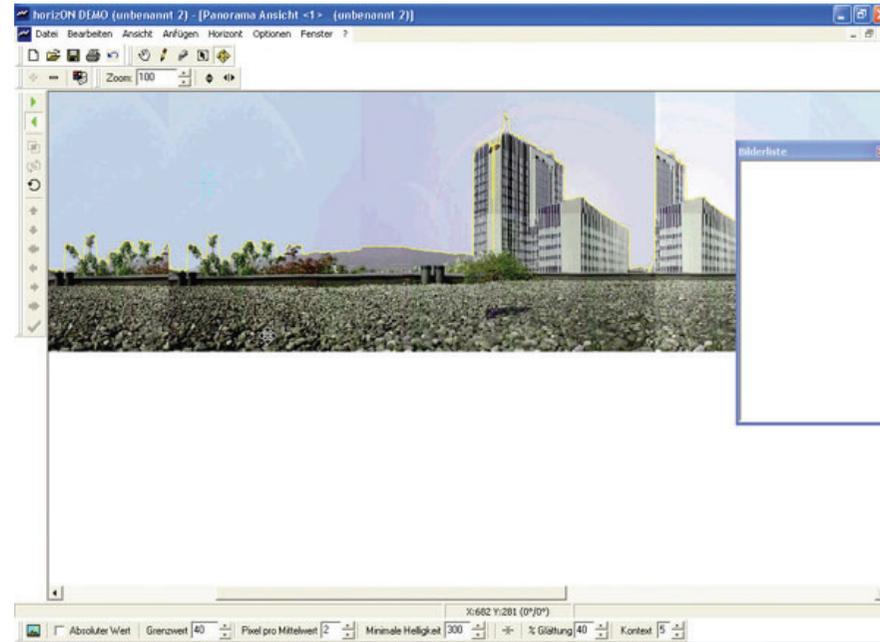
Una vez obtenidas las fotos, son elaboradas por un software para PC Window, *MeteoNorm*, que analiza las imágenes obtenidas y permite el cálculo de irradiación y soleamiento. La cámara y el espejo están posicionados encima de un normal trípode fotográfico, que permite la regulación horizontal gracias a un nivel de burbuja y una brújula. *HORIZatcher*, se puede ordenar por Internet y tiene un precio que varía entre los 900 y 1000 \$.



9.3 Panorama Master [3]

Panorama Master, producido por la empresa suiza EnergieBüro, es un especial trípode que nos permite un control de la cámara fotográfica para fotos panorámicas. Esta herramienta va acompañada de un software de análisis de imagen, *HorizOn*, producido por la misma casa, que permite realizar fotos panorámicas en modalidad *stitcher*, juntando una serie de varias fotos, para obtener una de 360° alrededor del punto, marcando en la imagen las diferentes trayectorias solares y elaborando la cantidad de horizonte libre. Este sistema, a diferencia de los que hemos presentado anteriormente, utiliza para el análisis proyecciones del entorno y diagramas cilíndricos y no polares¹. Este producto se puede comprar online y tiene un valor, alrededor de 300 €.

¹ Ver capítulo sobre los diferentes tipos de proyecciones.



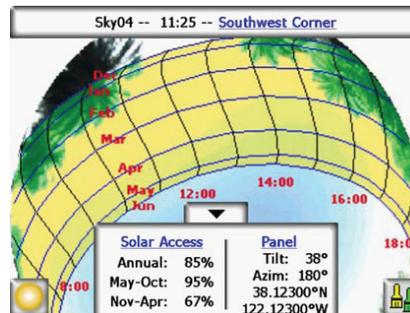
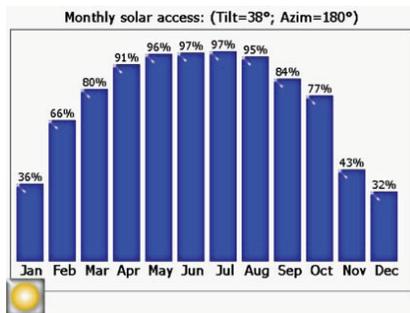
PanoramaMaster energiebüro®



9.4 SunEye [4]

Producido por la empresa estadounidense *Solmetric™*, *SunEye* es un pequeño instrumento electrónico portátil que permite evaluar el potencial de energía solar total dado por la sombra de un determinado sitio. Este aparato está presente en el mercado desde el 2006 en dos modelos, *SunEye 110* y *SunEye 210*, y es muy usado, sobre todo en los Estados Unidos, por muchos instaladores de paneles solares.

Los dos sistemas están dotados de una pequeña cámara fisheye que permite la visualización del entorno, y gracias a un sistema interno admiten procesar las imágenes en el momento. Tiene navegador satelital gracias a un sistema GPS, externo en el caso del modelo 110 e integrado en modelo 210, y mantiene la perfecta posición en cuanto está equipado de una brújula y un nivel de burbuja. Gracias a una pequeña pantalla de diferente resolución para los dos modelos, permite visualizar de modo muy rápido, los diagramas de trayectoria solar y de sombra. Produce una primera estimación de la cantidad de radiaciones potenciales en unos meses o en un año y procede a la elaboración de unos histogramas. El modelo 210, gracias a un nivel de burbuja electrónico, permite calcular los cambios de porcentaje de irradiación con el cambio de inclinación. Toda la información es almacenada en una pequeña memoria interna y luego pasada a un ordenador (compatible con sistemas Windows) por un puerto USB. El coste de esta herramienta es relativamente elevado si lo comparamos con los sistemas fotográfico más simples presentados anteriormente, y puede variar entre 1.500 \$, para el modelo 110, y 2.500\$, para el modelo 210. Los dos se pueden comprar por Internet pero el *SunEye 210*, actualmente, está disponible a la venta únicamente para el territorio estadounidense.

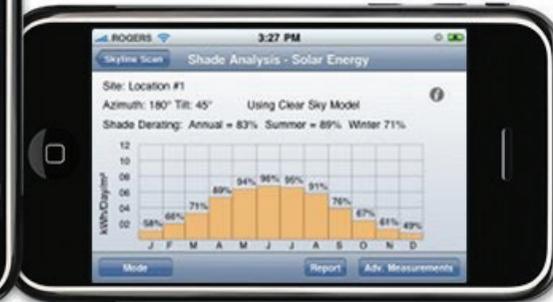


9.5 Solmetric IPV iPhone App [4]

Nos parece interesante presentar por último una aplicación de iPhone, adquirido este año por la empresa *Solmetric™*. Ésta es una aplicación menos precisa que otras que produce la misma casa, pero nos parece interesante observar cómo el cálculo solar ha entrado a ser parte de nuestra vida cotidiana y cómo un teléfono, por lo sofisticado que sea, nos permite dar un primer análisis de un sitio desde el punto de vista solar.

Solmetric IPV es una aplicación de iPhone que nos permite una evaluación de un lugar y memorizarlo en nuestro teléfono móvil. Este permite consultar los datos meteorológicos de todo el mundo y varias gamas de paneles fotovoltaicos. Utilizando la brújula interna del iPhone y el inclinómetro, permite un análisis rápido, dibujando el contorno de nuestro horizonte en la pantalla con un cursor a cruz. Utilizando una estación meteo basada en el sistema Solmetric IPV produce una primera estimación de la energía solar mensual que llega en un punto. Permite realizar perfiles de sombra, una previsión de la energía que llega, el rendimiento y la producción de un panel por cada mes.

La aplicación se puede bajar de Internet y es muy económica, con un gasto de 30 \$ se puede tener un instrumento de control en cualquier lugar y momento.



- [1]. <http://www.solarpathfinder.com>
- [2]. <http://www.meteotest.com>
- [3]. <http://www.energiebuero.ch>
- [4]. <http://www.solmetrics.com>



Conclusiones

Conclusiones

Cuando comenzamos este trabajo, nuestro principal objetivo era desarrollar un método que nos permitiese estudiar la luz directa y las sombras en un punto de un espacio arquitectónico, sobre la base de la técnica de la *Fotografía Hemisférica* usada en los estudios de ciencia forestal. A medida que fuimos avanzando en el análisis de las referencias y estudiando las varias aplicaciones, nuestros intereses se ampliaron hacia nuevos objetivos y temas más complejos. Durante la permanencia en Compiègne (Francia) hemos recibido diversos estímulos por parte del mundo científico que se ocupa actualmente del análisis medio ambiental en sistemas urbanos, que han influenciado tanto nuestra curiosidad, siendo capaz de orientar nuestra atención desde un simple análisis de la luz directa hacia un más amplio campo de estudio de la luz indirecta.

El interés manifestado por parte de varios profesionales, investigadores y fotógrafos, por nuestro análisis ha demostrado la validez del tema. Asimismo, la cantidad de publicaciones y material que hemos ido encontrando a medida que el argumento se profundizaba, indican la actualidad de su contenido.

El interés y el desarrollo que en los últimos años se ha mostrado por parte del mundo universitario y de la industria por el tema, manifiesta un futuro cierto para esta técnica. En efecto, muchas empresas que se ocupan de producir herramientas para el control de la luz natural para instalaciones de fuentes de energía renovable, están desarrollando nuevos dispositivos, cada vez más sofisticados, que contienen en su interior una pequeña cámara digital. En el Workshop que ha tenido cita en Compiègne en el mes de Mayo 2010¹, muchos investigadores provenientes de varias partes del mundo, expertos en el análisis de la Energía Solar a Escala Urbana, han presentado como importantes para sus estudios técnicas fotográficas de visión extrema.

Como resultado de nuestra investigación, hemos conseguido desarrollar un método que nos permite analizar con facilidad un punto de un espacio construido, sea para el análisis de la luz directa, sea para el análisis de la luz indirecta.

Resulta bastante simple e intuitivo controlar el soleamiento en el punto de saque. Para este análisis será suficiente tener una fotografía fisheye del cielo, prestando atención en el correcto posicionamiento de la cámara, disponer de la adecuada información sobre el tipo de objetivo usado y de las máscaras de la trayectoria solar en el sitio por su latitud.

El análisis del cielo resulta un poco más laborioso. Programas para la evaluación de los píxeles nos ayudan a evidenciar la parte de cielo, y contar el porcentaje de éste en relación a la totalidad de la foto para obtener factores de vista.

1 SEUS, Solar Energy at Urban Scale, 25 y 26 Mayo 2010

Desde el principio sabíamos que un análisis del punto hecho con fotografías podía dar resultados más reales y precisos de los que se pueden obtener con simulaciones del ordenador. En particular, estamos muy satisfechos de haber conseguido realizar el análisis del factor de vista en el mismo punto en diferentes épocas del año, comparando las disímiles condiciones de luz debido a la variación de la vegetación. Siendo muy complejo prever el crecimiento de las plantas, consideramos que la técnica fotográfica es un modo muy exacto para determinar la influencia de la vegetación, por la luz y la sombra, en un espacio arquitectónico. En nuestra opinión, resulta importante, con fines de investigación científica, poder disponer de un rico archivo fotográfico que permita comparar los cambios de iluminación en diferentes condiciones de luz. El hecho de ser capaces de elaborar los valores de luminancia del cielo y del entorno, nos permite controlar con elevada precisión lo que sucede alrededor del punto analizado a medida que las condiciones atmosféricas vayan mutando.

Hemos conseguido cuantificar qué porción de la escena refleja, hacia la cámara, un determinado intervalo de luminancia, pudiendo así, estudiar dónde, cuándo y con qué porcentaje los diferentes componentes influyen en un punto. Esto nos permite considerar los elementos construidos, no solo como obstrucción al paso de la luz, si no como pantallas reflectantes, dependiendo del material y de la forma, para un mejor aprovechamiento de los rayos electromagnéticos.

La moderna fotografía digital nos permite, además, registrar un elevado número de fotografías para comparaciones y análisis. En particular, una monitorización constante y puntual del cielo, puede ayudar a comprender los repentinos saltos de niveles de radiación, que todavía resultan poco claros a los investigadores, que aparecen en las mediciones de la bóveda con piranómetro.

Para nuestro trabajo, hemos elegido realizar un método de análisis simple y accesible a cualquier tipo de usuario y por ejemplo, hemos utilizado una cámara analógica para los saques de imágenes a ojo de pez, de bajo coste y fácil de uso. Este tipo de elección si bien nos ha permitido cumplir con nuestro objetivo, ha resultado al mismo tiempo una limitación para otros estudios. Disponer de una lente fisheye para

nuestra cámara digital hubiese permitido mayor rapidez en nuestro análisis. En particular, trabajar con imágenes digitales nos hubiese permitido profundizar las posibilidades de la elaboración HDR, que en nuestra tesina se presenta con un ejemplo en capítulo 8º.

De todas formas consideramos nuestro trabajo suficiente y estamos muy satisfechos de los resultados obtenidos. Una parte relevante de nuestro tiempo de estudio ha sido necesario dedicarlo a aprender nuevos programas informáticos, como ImageJ, PhotospherU, Qtpsfgui, WebHDR, SunTools y otros que hemos ya presentado en nuestro texto, en cuanto para nosotros eran desconocidos y no tradicionales en la formación de un Arquitecto.

Pensamos que técnicas de análisis fotográfico serán la base en los próximos años para estudios medio ambientales y meteorológicos. Creemos que con los avances de la técnica digital, fotos y videos hemisféricos remplazarán los escáneres de cielo para estudios de la bóveda celeste, en cuanto son capaces de dar una mayor cantidad de información y con una elevada precisión. Opinamos que el análisis de imágenes afinará, con mayor frecuencia, estudios de modelos informáticos para el control de la luz.

Finalizamos nuestro trabajo contentos de los resultados obtenidos y con ganas de seguir profundizando sobre el tema, a fin de mejorar el método de análisis y hacerlo más rápido y preciso, quizás intentando desarrollar un software que permita ejecutar toda la elaboración en un único programa.

Bibliografia general

- A.A.V.V., 1994, *Hemiview User Manual*, Delta-T Devices Ltd, Cambridge
- AJ, SW, LG, 2008, *Per-pixel Sky Luminance with HDR Photography*; Fribourg
- Arnold C.R.,Rolls P.J., Steward J.C.J, 1974, *Fotografia Aplicada*, Omega, Barcelona
- Battiato S., 2005, *Studio del software Java per l' Image Processing ImageJ*, Dipartimento di Matematica e Informatica, Catania
- Beckers B. & Masset L., 2009, *Heliodon 2*, Software and user guide, p.35-38
- Benoit Beckers, Luc Masset & Pierre Beckers, *Una proyección sintética para el diseño arquitectónico con la luz del, 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA*, Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007
- Bosetti M.,Galetto M., 2008, *Esperimento Albedo*, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento
- Cantarell Lara Jorge, 1990, *Geometría, energía solar y arquitectura*, Trillas, México D.F.
- Carbonari A., Rossi G.. *Ombre-Urbane: A Software to Evaluate Urban Shadows Effects on Building Facade*. Proceeding of “Solar energy in architecture and urban planing. 4th European Conference”. 26-29 March 1996 Berlin - Germany. Pagg. 362 - 365. Poster session P5.18. Editors H.S. Stephens & Associates. Bedford U.K. 1996.
- Carbonari A.,1997, *Ombre-Urbane: Programma per il calcolo della radiazione solare disponibile su superfici edilizie in presenza di ostruzioni urbane*. Atti del 52º Congresso Nazionale ATI Associazione Termotecnica Italiana , Cernobbio (Como), 22 - 26 Settembre 1997. Vol. I Pagine 169 - 180. Edizioni SGE, Padova
- Calvino F, La Giannusa M., Nicoletti F, 2001, *La radiazione solare Extraterrestre*, Quaderno istituto, Dipartimento di ricerche energetiche e Ambientali (D.R.E.A.M.), Palermo
- Cheney K., 2008, *Image Based Rendering: Using High Dynamic Range Photographs to Light Architectural Scenes*, Master of Science In Architecture, University Of Washington
- De Vomécourt A., *Consejos y trucos de profesionales*, Editions VM

- Debevec P. E., Malik J., *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*, Computer Science Division, University of California at Berkeley , <http://www.cs.berkeley.edu/~debevec/Research>
- Facchi A., Baroni G., Boschetti M., Gandolfi C.,, *Comparazione di metodi per la determinazione dell'indice di area fogliaria (LAI) in un campo a mais*, IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, a Ischia Porto, 12-16 settembre 2009, memoria n. 2-29
- Ferreira, T. & Rasband, W., *The ImageJ User Guide –Version 1.43*, <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf> , Apr 2010
- Fontuberta J., 1995, *Fotografía: Conceptos y procedimientos, una propuesta metodológica*, G.Gili, Barcelona
- Hedgece John,1992, *Manual de Técnica Fotográfica*, Tursan, Madrid
- Huang Shengli, Fu Pinde, “*Modeling Small Areas Is a Big Challenge ,Using the solar radiation analysis tools in ArcGIS Spatial AnalystMay*”, ArcUser, Spring 2009, p 28-30
- Hudson-Smith Andrew, 2008, *Digital Geography: Geographic Visualisation for Urban Enviroments*, Casa, London
- Know Alison G., Grondzik Walter T., 2007, *The Green Studio Handbook: environmental Strategies for Schematic Design*, Architectural Press, Oxford
- La Gennusa Maria, Marzo 2008, *Gestione delle ricerche energetiche per il territorio: Radiazione solare Percorsi solari Ombre Portate*, Dipartimento di ricerche energetiche e Ambientali (D.R.E.A.M), Palermo
- Langford Michael, 1991, *Fotografía Básica*, Omega, Barcelona
- Lechner Norbert, 2008, *Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects*, Wiley, Hoboken, New Jersey
- Mardaljevic John, 1999, *Daylight Simulation: Validation, Sky Models and Daylight Coefficiente*, Institute of Energy and Sustainable Development De Montfort University Leicester
- Neila Gonzáles F.J., 2004, *Arquitectura Bioclimática en un intorno sostenibile*, Munilla-Lería, Madrid
- Olgyay Victor, 2006, *Arquitectura y Clima, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, GG, Barcelona
- Pradera Alejandro, 2004, *El libro de la fotografía*, Alianza Editorial, Madrid

- Rich Paul M., 1989, *A Manual for Analysis of Hemispherical Canopy Photography*, Los Alamos National Laboratory Los Alamos, New Mexico
- Rodolò Giuseppe, Ruggero Volpes, 1999, *Appunti di fisica tecnica: Fotometri*, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Energetica, Palermo
- Seiz G., Baltasvias, E.P., 2000: *Cloud mapping using ground-based imagers*. XIXth ISPRS Congress Amsterdam 2000, July 2000, Amsterdam, The Netherlands, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol.XXXIII
- Torzo Giacomo, *Nozioni Elementari di Fotometria*, ICIS-CNR, INFN-PD e Dipartimento di Fisica, Padova
- Wieser Rey Martín, 2006, Geometría solar para arquitectos. Movimiento solar y herramientas de diseño. Proyecciones solares para las diferentes latitudes del Perú, CEETyDeS, Lima
- Zanner Italo, 1991, Breve storia della fotografia d'architettura, Laterza, Bari
- Zanner Italo, 1993, Storia e Tecnica della fotografia, Laterza, Bari

*Master en Arquitectura, Energía y Medio
Ambiente:
IDERA
Fundació UPC*



colabora



avenues
Université de Technologie
Compiègne



utc
Université de Technologie
Compiègne