

Universidad Complutense de Madrid

Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera



Mapa de contaminación lumínica de la UCM

Pablo Cepero Rodríguez

Trabajo académicamente dirigido
por los profesores Jaime Zamorano y Jesús Gallego

curso 2008-2009

ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Objetivos	2
3. Equipo	3
3.1 Luxómetro y sensor de luz	3
3.2 Cámaras fotográficas.....	3
3.3 Mapa de brillo de fondo de cielo	4
4. Procedimiento de toma de medidas	4
5. Medidas de iluminancia	5
5.1 Complejo deportivo Paraninfo Norte de la UCM	6
5.2 Fachada de la Facultad de Ciencias Físicas	15
5.3 Parque de Ciencias	16
5.4 Fachada de la Facultad de Derecho	18
5.5 Parque de Letras	20
5.6 Informática	23
5.7 Facultad de Ciencias de la Información	25
5.8 Avenida Complutense	27
5.9 Facultad de Medicina	28
5.10 Botánico	30
5.11 Terraza de la Facultad de Ciencias Físicas	32
5.12 Cúpulas de la Facultad de Ciencias Físicas	33
6. Resultados finales y conclusiones	34
7. Trabajo futuro	36
8. Agradecimientos	37
Anexo I: Estudio fotográfico	38
Anexo II: Mapa de brillo de fondo de cielo	41
Anexo III: Programa	42
Anexo IV: Niveles de servicio en vías urbanas	45

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la sociedad ha aumentado su interés por el problema medioambiental que supone la contaminación lumínica. Básicamente, esta contaminación se origina por unas malas prácticas de iluminación.

Este mal uso de la iluminación tiene sus repercusiones tanto en el ámbito medio ambiental como en el económico. Económicamente resulta imprescindible realizar una buena planificación de la iluminación para obtener un buen rendimiento respecto a la energía suministrada. Si no, estaremos derrochando parte de los recursos energéticos suministrados, con el consiguiente gasto económico. La repercusión en la naturaleza es de gran importancia puesto que este derroche energético está relacionado con el agotamiento de las fuentes energéticas que padece el planeta. Además, la iluminación en exceso puede afectar a los ciclos vitales de algunas especies, por ejemplo, a las lechuzas o las luciérnagas.

La iluminación en exceso ha llegado incluso a privar al ser humano del disfrute de uno de los mayores espectáculos de la naturaleza: la observación del cielo nocturno. Desde la antigüedad la observación de los astros ha marcado aspectos importantes de las diversas culturas que han poblado nuestro planeta. Tómese como ejemplo el observatorio de Stonehenge, la distribución de las pirámides de Gizeh, relacionadas con la constelación de Orión, o la denominación de Camino de Santiago a la Vía Lactea, por la claridad con que se observaba el disco de nuestra Galaxia desde el trazado de dicha peregrinación, sirviendo como guía a los peregrinos.

No podemos pasar por alto que la contaminación lumínica entorpece las observaciones astronómicas. Cada vez es más difícil encontrar un emplazamiento idóneo para la observación del cielo nocturno. Muchos observatorios históricos se han visto obligados a cambiar su ubicación. Así, el Observatorio Nacional se trasladó del céntrico parque madrileño de El Retiro a diferentes puntos de la geografía española, intentando escapar de los efectos de la contaminación lumínica de la capital.

Este último aspecto constituye el punto de partida para la realización de este Trabajo Académicamente Dirigido. La contaminación lumínica afecta de forma significativa a las observaciones astronómicas realizadas desde el Observatorio UCM, situado en la Facultad de Ciencias Físicas en el Campus de Moncloa (Ciudad Universitaria) de la UCM. Por ello se ha realizado un estudio de la iluminación en diversos puntos de la Ciudad Universitaria.

2. OBJETIVOS

El Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera lleva tiempo trabajando en el tema de la contaminación lumínica y su efecto en las observaciones astronómicas.

Algunos estudios han sido recogidos en los Trabajos Académicamente Dirigidos sobre constantes fotométricas del Observatorio UCM y medidas de brillo de fondo de cielo como los realizados por Luis Alejandro Ramírez, en el curso 2000-2001, y Bogdana Kozlovska en el curso 2006-2007.

Lo que pretende el siguiente trabajo es estudiar las posibles fuentes de contaminación lumínica dentro del entorno de la Ciudad Universitaria, realizando un mapa de iluminación pública y localizando los puntos contaminantes para buscar la manera de reducirlos.

Por tanto, el principal objetivo que persigue este trabajo es el de realizar un estudio de la situación del alumbrado público de la UCM y su repercusión en la observación del cielo nocturno.

Para ello se ha realizado una labor de campo donde se han obtenido medidas de iluminancia de forma sistemática en diferentes puntos de la UCM y se han analizado los resultados para compararlos con los valores de los niveles permitidos por la ley o recomendados por las normativas.

En la elección de nuestras medidas hemos hecho especial hincapié en dos factores:

- La proximidad al observatorio de la UCM, situado en la terraza de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM.
- La influencia de factores variables externos.

3. EQUIPO

3.1 Luxómetro con sensor de luz

- Modelo : PCE-174
- Rango : 400.0 lux / 4000 lux / 40.00 klux / 400.0 klux
- Resolución : 0.1 lux / 1 lux / 10 lux / 100 lux
- Precisión : $\pm 5\%$ del valor de medición
 ± 10 dígitos (< 10.000 lux)
 $\pm 10\%$ del valor de medición
 ± 10 dígitos (> 10.000 lux)
- Reproducibilidad : $\pm 3\%$



3.2 Cámaras fotográficas

Pentax Optio A10

- Sensor : CCD de 8.0 Megapíxeles
- Objetivo : 37.5 – 112.5 mm



Canon EOS 1000D

- Sensor: CMOS de 10.1 Megapíxeles
- Objetivo: Canon 18 - 55 mm



3.3 Sky Quality meter

- Máximo tiempo de muestreo: 80 s
- Resolución : 0.01 mag/($''$)²



4. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MEDIDAS

Lo que buscamos es que el presente trabajo encuentre una continuidad en cursos posteriores. De modo que las medidas tomadas, comparadas con las aquí presentadas, permitan estudiar la evolución de los valores de iluminancia en la Ciudad Universitaria y comprobar así la corrección de los defectos detectados. Con este objetivo se han adoptado sistemas de medidas estandarizados que pueden ser reproducidos con facilidad.

4.1 Medida de iluminancia media

Para la medida de la iluminancia utilizamos el método especificado en la ITC-EA-07 del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (<http://www.boe.es/boe/dias/2008/11/19/pdfs/A45988-46057.pdf>) (método de los “nueve puntos”). Para ello, se han tomado con el luxómetro valores de iluminancia en quince puntos encerrados en el rectángulo formado por la separación entre las fuentes luminosas y el ancho de la calzada, tal como muestra la imagen 1. El luxómetro fue colocado con un trípode a una altura de 1.5 metros sobre el nivel de la calzada, apuntando hacia el cenit. Es vital no situarse entre la fuente y el luxómetro, pues este hecho interferiría en las medidas.

Una vez obtenidos los 15 puntos resultantes de la intersección de las abscisas B, C y D y las ordenadas 1, 2, 3, 4 y 5, para

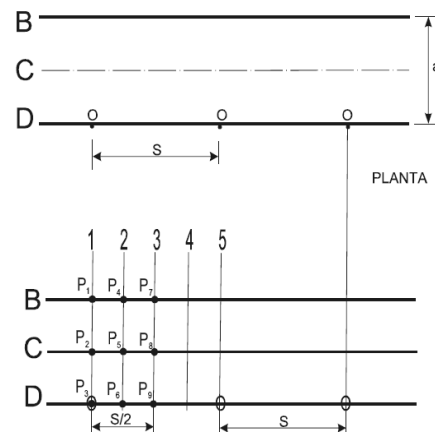


Imagen 1 – Método de los nueve puntos

minimizar los efectos producidos por la inclinación de las luminarias, se calculó el valor E_1 de la iluminancia en P_1 como el valor medio de la iluminancia en los puntos B_1 y B_5 , procediendo de forma análoga para el resto de puntos con las relaciones.

$$\begin{array}{lll}
 E_1 = \frac{B_1 + B_5}{2} & E_4 = \frac{B_2 + B_4}{2} & E_7 = B_3 \\
 E_2 = \frac{C_1 + C_3}{2} & E_5 = \frac{C_2 + C_4}{2} & E_8 = C_3 \\
 E_3 = \frac{D_1 + D_5}{2} & E_6 = \frac{D_2 + D_4}{2} & E_9 = D_3
 \end{array}$$

Para finalmente obtener el valor de la iluminancia media de la siguiente expresión.

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

Además, aprovechando los valores de esta medida podemos calcular la uniformidad media (U_m) de iluminancia, como el cociente entre el valor mínimo de iluminancia E_i calculados y la iluminancia media E_m . También podemos obtener la uniformidad general o extrema (U_g) dividiendo el valor mínimo de las iluminancias E_i entre el valor máximo de dichas iluminancias.

4.2 Estudio fotográfico

Con el fin de poder realizar una comparativa entre las diferentes fuentes luminosas, tomaremos fotografías de dichas fuentes para unos valores fijos de los parámetros de la cámara: Tiempo de exposición 13 s; diafragma f/10; sensibilidad ISO 100. Los resultados de este estudio se muestran en el Anexo I.

4.3 Mapa de brillo de fondo de cielo

El Sky Quality Meter permitió tomar medidas de la magnitud del cielo por segundo de arco al cuadrado en un mismo punto para diferentes valores de altura y azimut, y así se ha podido construir un gráfico de intensidades. Los resultados los podemos encontrar en el Anexo II.

5. MEDIDAS DE ILUMINANCIA

Las medidas de iluminancia fueron tomadas en diecinueve puntos, distribuidos en el Campus de Ciudad Universitaria, prestando especial atención a las zonas cercanas a la Facultad de Ciencias Física de la UCM por su posible repercusión en las observaciones astronómicas que se realizan en dicha Facultad.

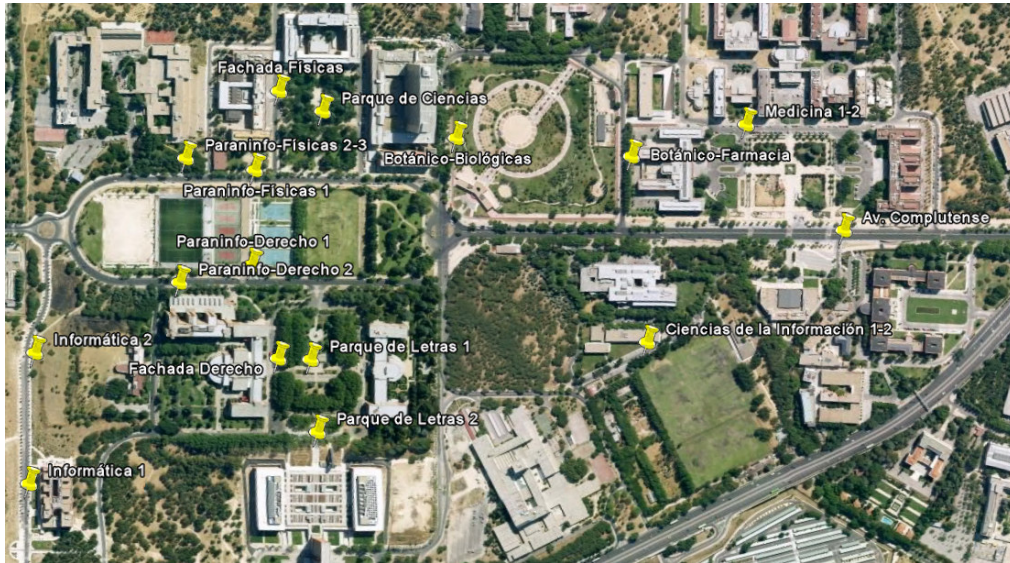


Imagen 2 – Campus de Ciudad Universitaria

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada una de las medidas de forma detallada, mostrando, de forma gráfica, cuál sería la distribución de iluminancia. Los resultados de iluminancia media y de uniformidad media y general se presentarán más adelante, en la sección 7. Las medidas de iluminancia vienen dadas todas en lux, y las fotografías fueron tomadas con la cámara Pentax Optio A10, en modo automático.

5.1 Complejo deportivo Paraninfo Norte de la UCM

El primer objetivo de nuestro estudio se centra en el nivel de iluminancia de la Avenida Complutense, en los alrededores del complejo deportivo Paraninfo Norte y los efectos de los focos, situados en los campos de deporte de dicho lugar. Para nuestro estudio, tomamos cinco zonas de medida, siempre situadas entre dos luminarias, para poder aplicar el método de los nueve puntos explicado con anterioridad. En la siguiente imagen, a cada una de las luminarias le designamos un número y delimitamos cada una de las áreas de estudio con una traza en color rojo.



Imagen 3 – Paraninfo Norte

5.1.1 Paraninfo-Físicas 1 (Luminarias 7-8)

En este caso, la influencia de los focos del campo de fútbol es prácticamente despreciable debido a que está más apartado. Además, hay unos árboles entre medias que hacen de pantalla a los focos. La zona de medida, delimitada entre las dos luminarias (puntos D1 y D5), constituye un rectángulo formado por un ancho de la calzada de 11.19 metros y una distancia entre las luminarias de 36.19 metros.

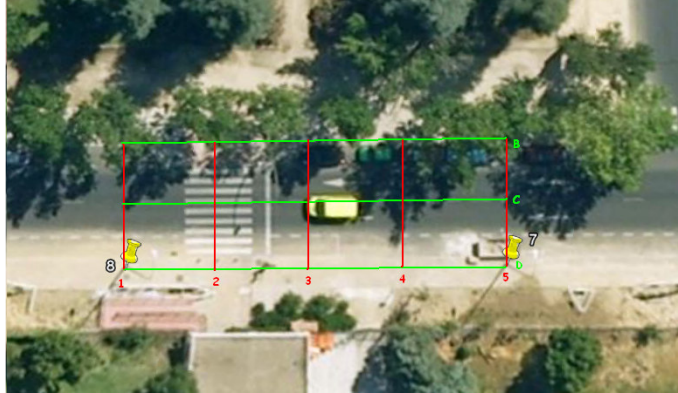
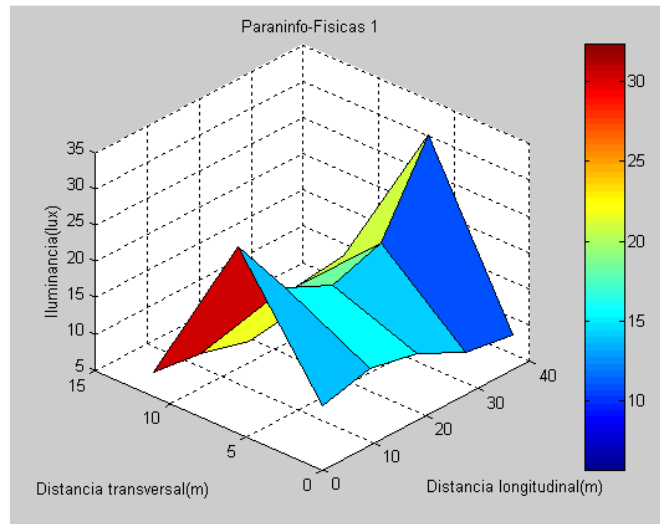


Imagen 4 – Luminarias 7-8

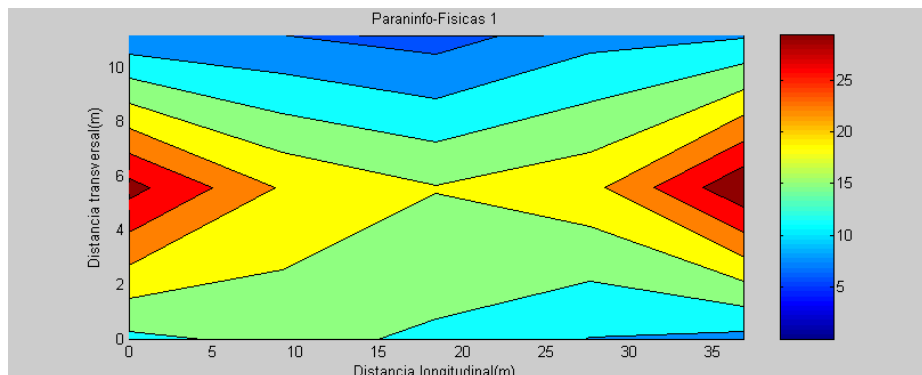


Imagen 5 – Luminarias 7-8



Gráfica 1 – Luminarias 7-8

19 de Febrero de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	13.8	15.6	14.1	10.9	9.9
C	30.6	21.6	18.5	20.9	32.3
D	8.3	7.4	5.7	9.7	10.6



Gráfica 2 – Luminarias 7-8

5.1.2 Paraninfo-Físicas 2 (Luminarias 9-10)

La influencia de los focos en este caso sí es significativa; aunque los datos no son del todo buenos, pues en el lado de la calzada contiguo a los campos de fútbol, se encontraba un autocar estacionado, por lo que algunos de los valores se encuentran sesgados por este factor. A pesar de este inconveniente, se tomaron medidas con los focos encendidos y apagados. La zona de medida está delimitada por un rectángulo de 11.19 metros de ancho y 37.81 metros de largo, que es la distancia entre las dos luminarias.

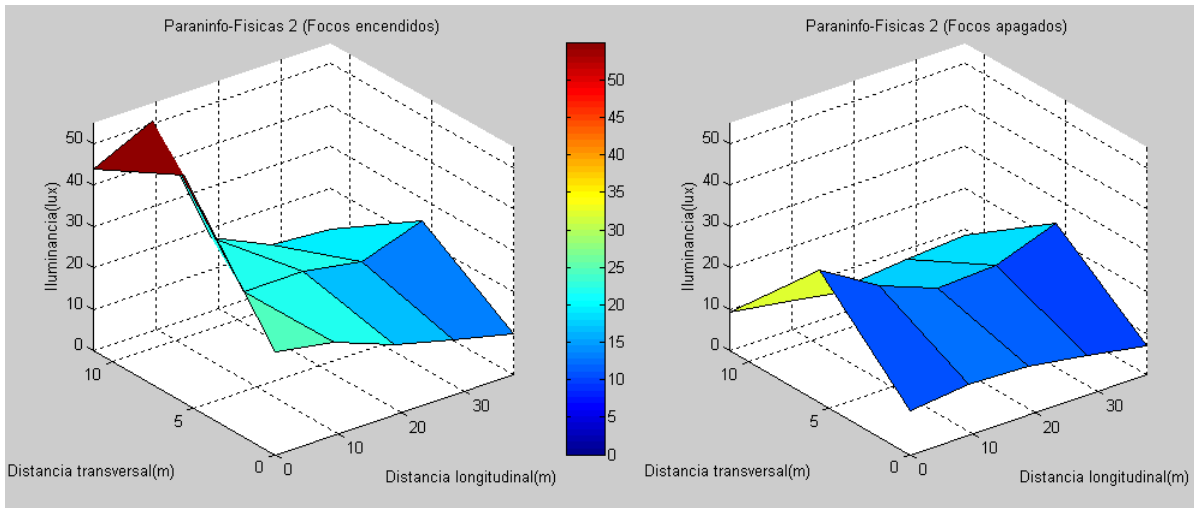


Imagen 6 – Luminarias 9-10

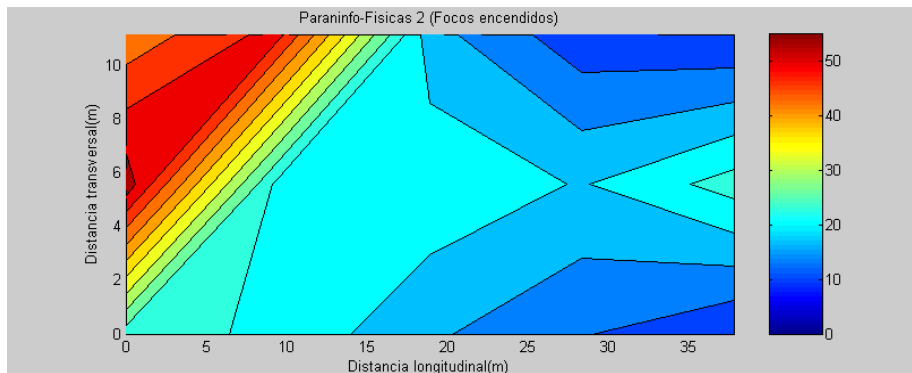


Imagen 7 – Luminarias 9-10 (focos encendidos/apagados)

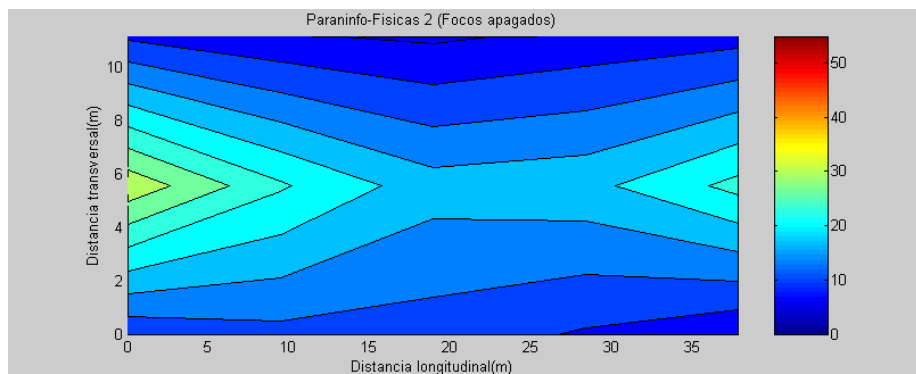
25 de Febrero de 2009					
Focos encendidos/apagados					
Punto	1	2	3	4	5
B	24.7/10.7	22.3/12.2	17.0/11.6	13.4/9.5	9.9/7.1
C	54.9/32.0	21.9/23.5	22.2/17.9	19.5/18.7	24.5/24.1
D	43.9/9.3	50.7/7.0	17.7/6.0	11.0/7.6	9.9/8.7



Gráfica 3 – Luminarias 9-10



Gráfica 4 – Luminarias 9-10



Gráfica 5 – Luminarias 9-10

En la gráfica 4 puede observarse fácilmente el contraste entre la zona afectada por los focos, de gran intensidad, y la zona sobre la cual este efecto se veía apantallado. Podríamos pensar que esta diferencia podría deberse a una diferencia entre la iluminancia emitida por cada una de las luminarias, pero como podemos observar en la gráfica 6 existe una buena homogeneidad cuando los focos están apagados.

5.1.3 Paraninfo-Físicas 3 (Luminarias 10-11)

La medida fue realizada en la zona situada enfrente del campo de fútbol, sin ningún obstáculo, por lo que se podrá observar claramente el efecto de los focos. La zona de medida, delimitada entre las dos luminarias (puntos D1 y D5), constituye un rectángulo formado por un ancho de la calzada de 11.19 metros y una distancia entre las luminarias de 35.82 metros.

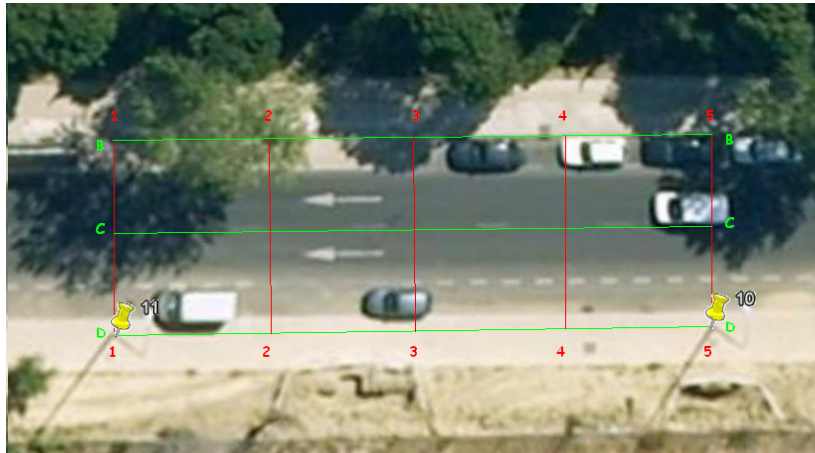
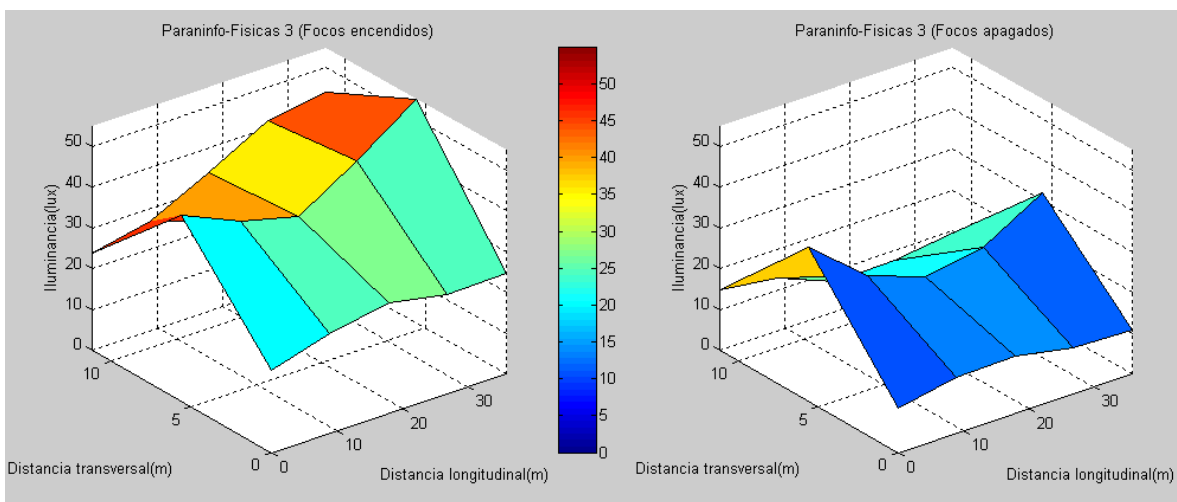
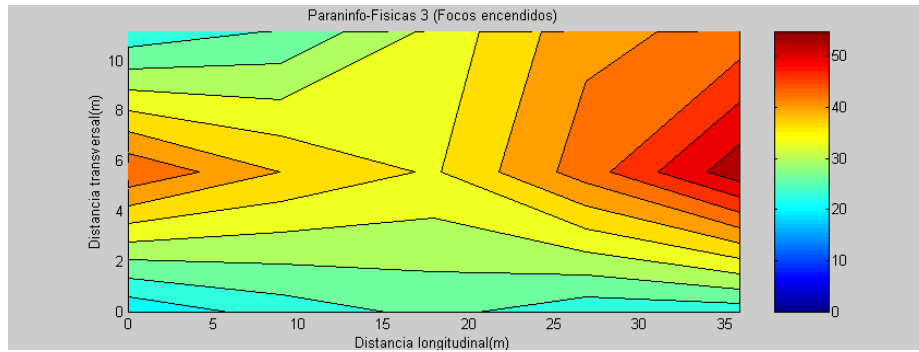


Imagen 8 – Luminarias 10-11

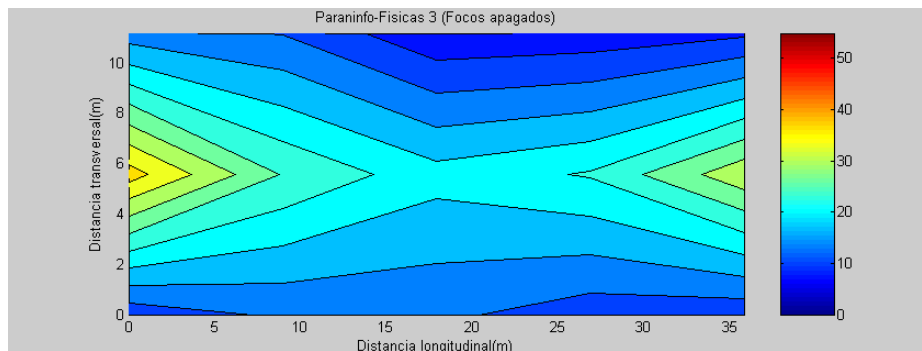
25 de Febrero de 2009					
Focos encendidos/apagados					
Punto	1	2	3	4	5
B	20.3/11.0	24.5/13.7	27.2/13.9	24.3/11.3	24.7/10.7
C	45.7/37.7	39.5/26.1	35.8/21.0	44.5/23.4	54.9/32.0
D	23.8/14.7	26.7/13.0	33.4/7.3	41.9/7.7	43.9/9.3



Gráfica 6 – Luminarias 10-11



Gráfica 7 – Luminarias 10-11



Gráfica 8 – Luminarias 10-11

Si comparamos estas dos representaciones, vemos claramente que la iluminación externa producida por los focos afecta de una forma significativa a la iluminancia en todos los puntos.

5.1.4 Parainfo-Derecho 1 (Luminarias 23-24)

Al igual que ocurría con las luminarias 7 y 8, la influencia de los focos es prácticamente nula, por las mismas razones que argumentamos en ese caso. La zona de medida está constituida por el ancho de la calzada (10.85 metros) y la distancia entre las dos luminarias (36.58 metros), situadas en los puntos D1 y D5.

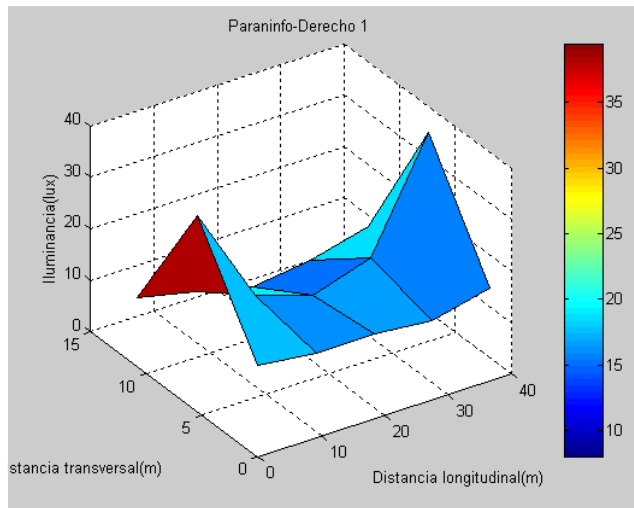


Imagen 9 – Luminarias 23-24

La zona de medida está constituida por el ancho de la calzada (10.85 metros) y la distancia entre las dos luminarias (36.58 metros), situadas en los puntos D1 y D5.

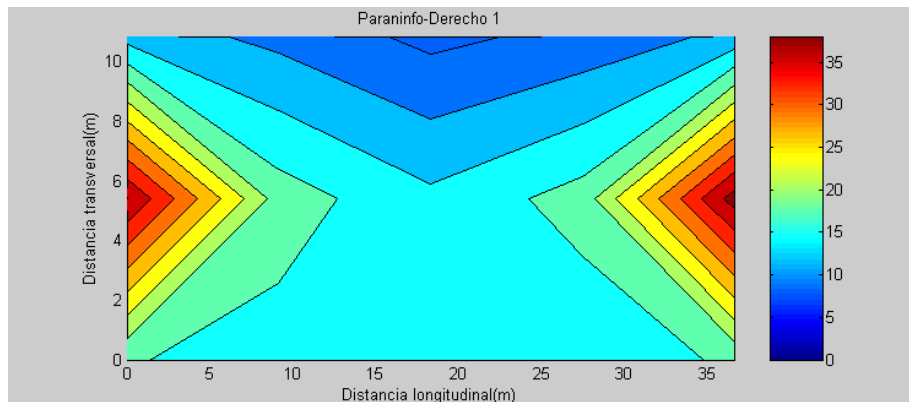


Imagen 10 – Luminarias 23-24



Gráfica 9 – Luminarias 23-24

19 de Febrero de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	17.8	16.3	16.6	15.4	18.1
C	38.1	19.0	15.3	18.8	39.5
D	13.4	10.9	8.0	9.7	12.5



Gráfica 10 – Luminarias 23-24

5.1.5 Paraninfo-Derecho 2 (Luminarias 21-22)

De nuevo nos encontramos con otro caso de equivalencia de posiciones. En este caso, el punto de medida es análogo al realizado en el tercer apartado. La zona de medida, delimitada entre las dos luminarias, constituye un rectángulo formado por un ancho de la calzada de 10.85 metros, y una distancia entre las luminarias de 36.54 metros.

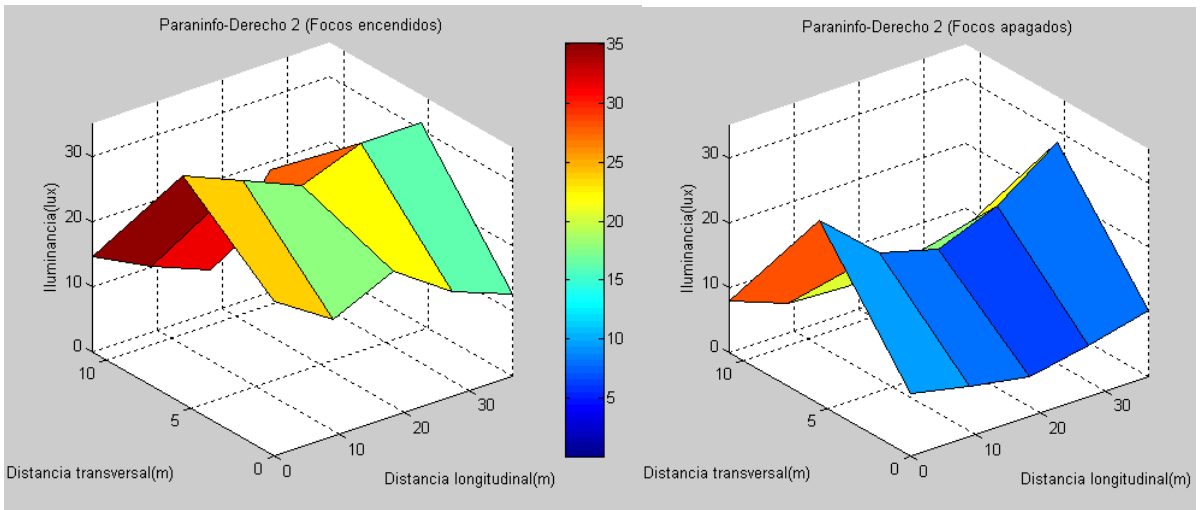


Imagen 11 – Luminarias 21-22

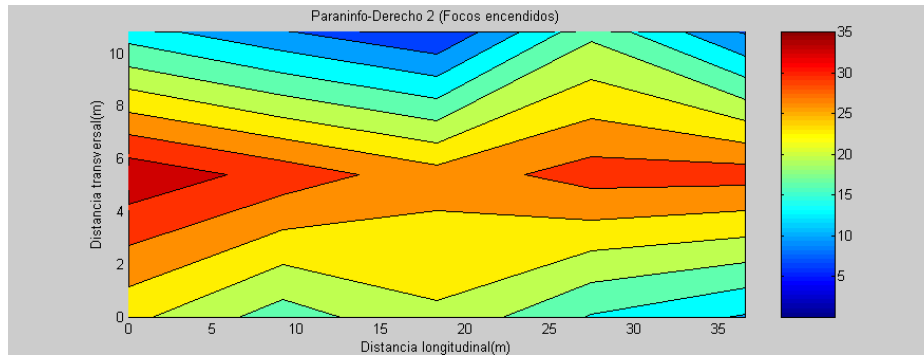


Imagen 12 – Luminarias 21-22 (focos encendidos/apagados)

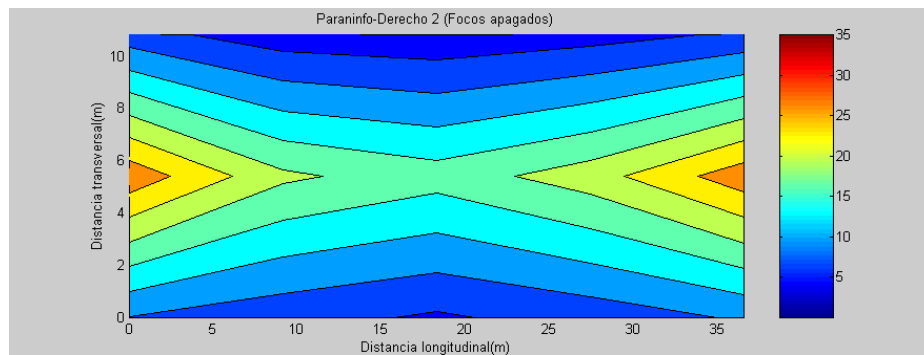
25 de Febrero de 2009					
Focos encendidos/apagados					
Punto	1	2	3	4	5
B	23.8/9.7	18.0/7.7	22.3/6.1	16.1/7.9	12.7/10.2
C	35.1/28.4	31.4/20.3	27.5/17.8	30.9/21.4	30.9/28.2
D	14.6/7.9	10.1/4.6	6.5/4.1	18.8/5.2	9.4/7.1



Gráfica 11 – Luminarias 21-22



Gráfica 12 – Luminarias 21-22



Gráfica 13 – Luminarias 21-22

5.2 Fachada de la Facultad de Ciencias Físicas

Las medidas se realizaron en la fachada de la Facultad de Ciencias Físicas, un punto de especial repercusión por la influencia que tiene en las observaciones astronómicas realizadas en dicha facultad. A la zona de medida, delimitada entre las dos luminarias (puntos D1 y D5), le corresponde un rectángulo formado por un ancho de la calzada de 9.00 metros, y una distancia entre las luminarias de 21.93 metros.

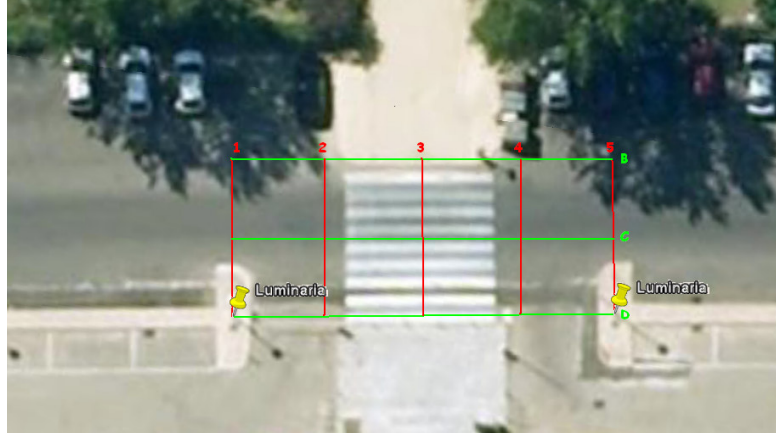
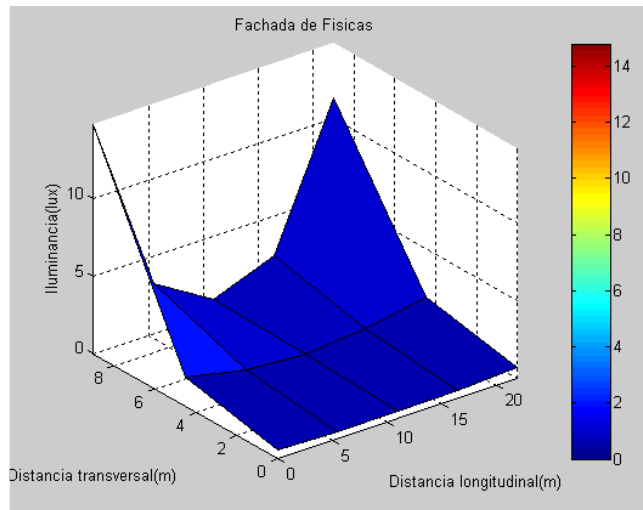


Imagen 13 – Fachada de Físicas

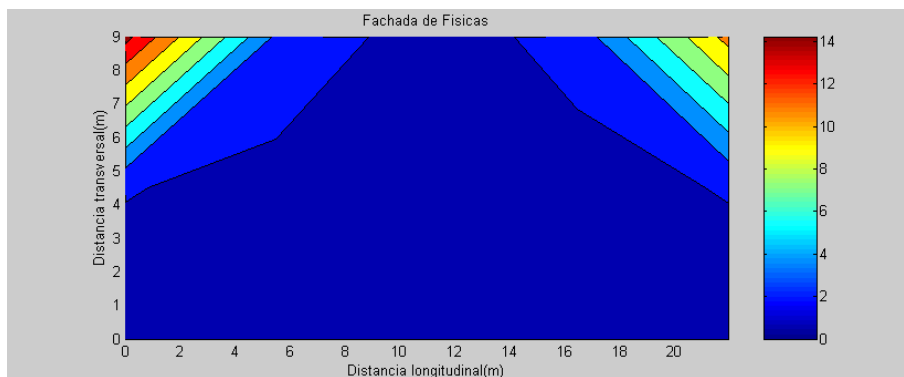


Imagen 13 – Fachada de Físicas



Gráfica 14 – Fachada de Físicas

12 de Marzo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7
C	1.9	1.1	0.8	1.1	1.9
D	14.8	3.2	0.9	2.4	11.3



Gráfica 15 – Fachada de Físicas

5.3 Parque de Ciencias

En este caso, la toma de datos corresponde al Parque de Ciencias, entre las facultades de Físicas, Químicas y Matemáticas de la UCM. Se tomaron dos series de datos en esta ubicación: una, con la iluminación antigua y otra, con las nuevas luminarias que se instalaron en los meses de abril y mayo. La toma de datos en ambos casos fue similar. Se escogió una luminaria con la menor influencia posible de otras luminarias para evitar un flujo intruso por parte de estas. Las medidas se realizaron en un rectángulo de 16.00 metros de largo con la luminaria situada en el punto medio y 8 metros de ancho, estando la luminaria situada en el centro de uno de sus extremos, como se puede observar en las imágenes.

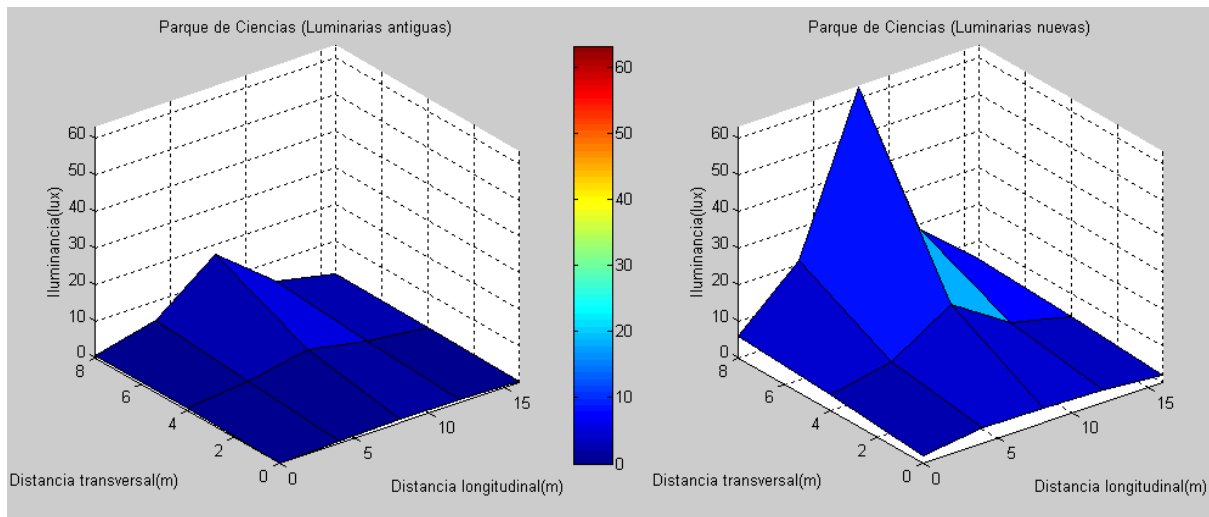


Imagen 14 - Parque de Ciencias (Luminarias antiguas / nuevas)

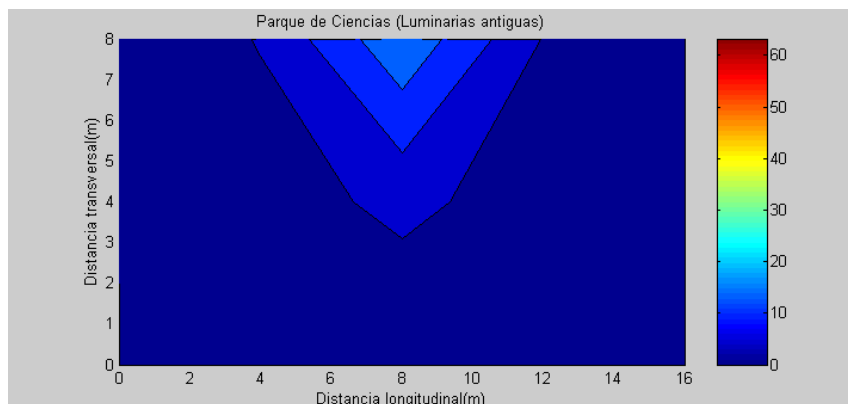


Imagen 15 - Parque de Ciencias (Luminarias antiguas / nuevas)

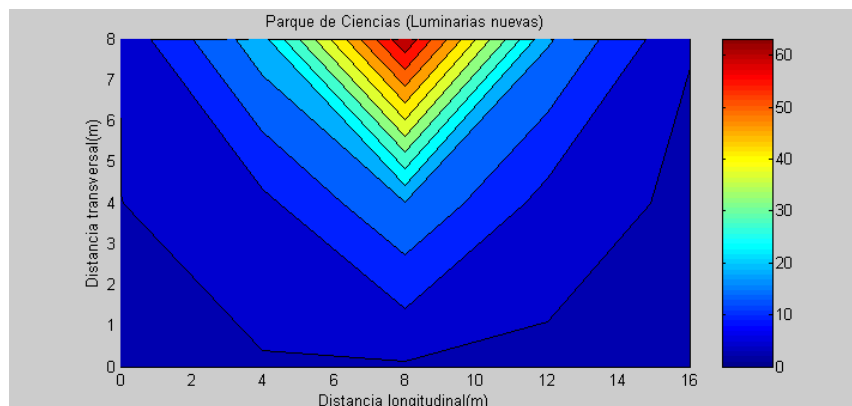
12 de Marzo y 13 de Mayo de 2009					
Luminarias antiguas / nuevas					
Punto	1	2	3	4	5
B	0.3/2.2	0.8/4.2	1.0/4.1	0.8/3.5	0.3/2.0
C	0.7/4.5	2.6/8.0	5.6/18.2	2.6/7.4	0.6/3.5
D	0.8/5.9	4.8/21.2	14.4/63.2	4.4/18.9	0.8/4.8



Gráfica 16 – Parque de Ciencias (Luminarias nuevas)



Gráfica 17 – Parque de Ciencias (Luminarias antiguas)



Gráfica 18 – Parque de Ciencias (Luminarias nuevas)

Como podemos observar el nivel de iluminancia con las nuevas luminarias es superior que con las anteriores. Este hecho se debe a que, con la nueva instalación, el flujo luminoso se proyecta hacia el suelo en un mayor porcentaje que con la anterior, con lo que reducimos el nivel de luz emitido hacia arriba de forma inútil.

5.4 Fachada de la Facultad de Derecho

Se tomaron dos series, una con la anterior iluminación y otra con la instalación de las nuevas luminarias. La zona de medida fue tomada en un rectángulo de 20.00 metros de largo por 10.00 de ancho, con cuatro luminarias situadas los extremos del rectángulo.

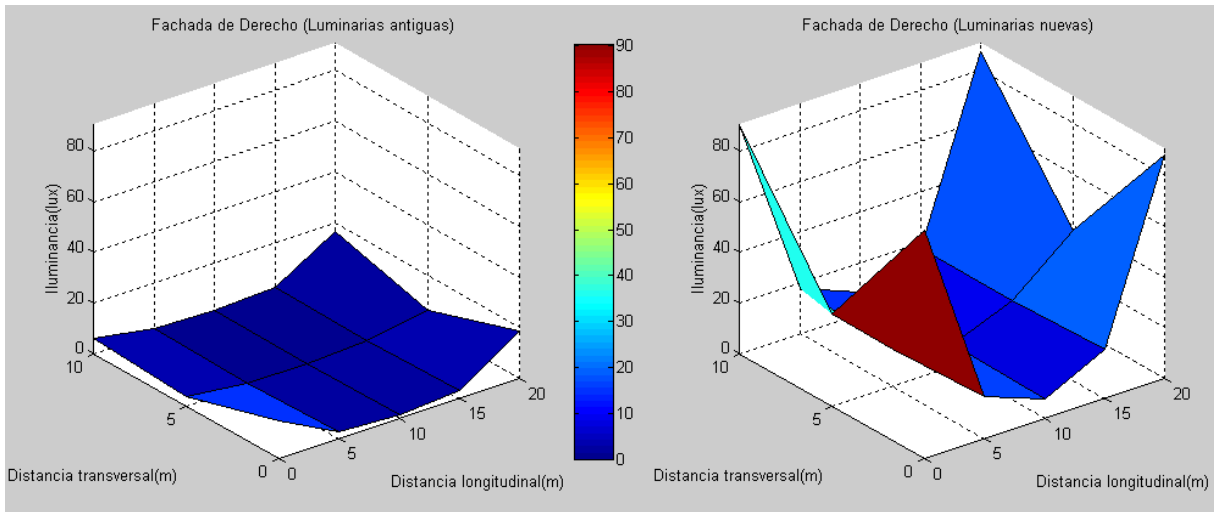


Imagen 16 – Fachada de Derecho

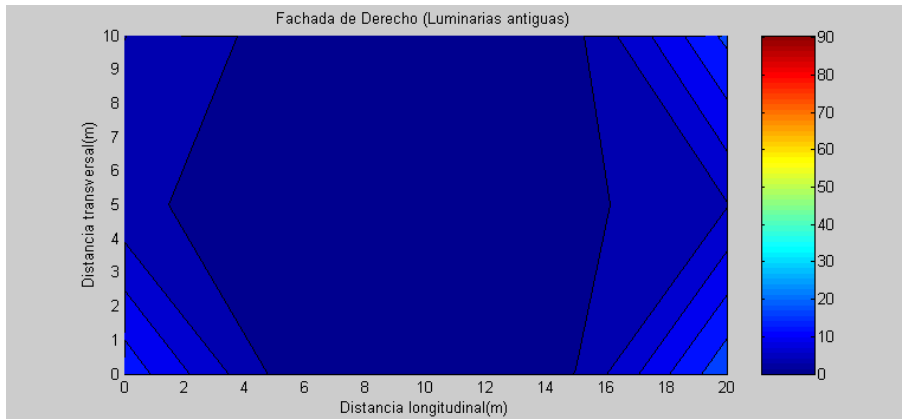


Imagen 17 – Fachada de Derecho

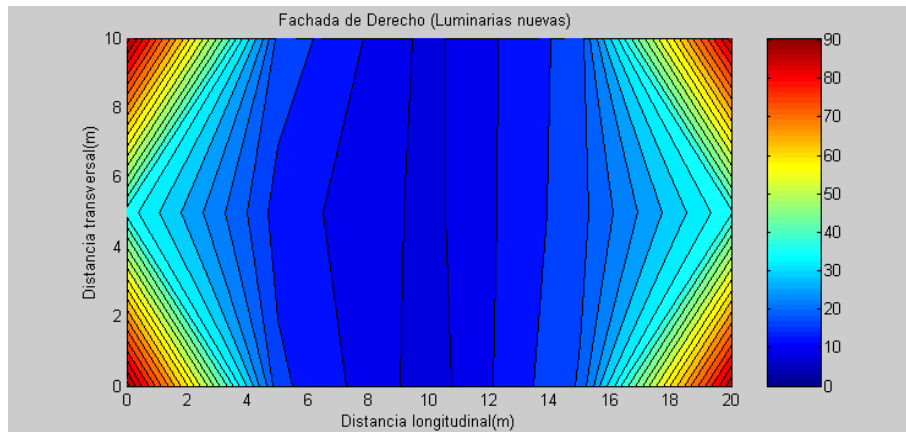
12 de Marzo y 23 de Abril de 2009					
Luminarias antiguas / nuevas					
Punto	1	2	3	4	5
B	14.9 /90.2	2.6/16.7	1.5/7.8	3.2/19.4	18.5/88.3
C	3.9/36.3	1.4/14.5	0.9/8.5	2.3/17.9	6.2/37.6
D	6.4/90.5	2.1/18.1	1.4/8.5	2.4/17.6	16.7/87.4



Gráfica 19 – Fachada de Derecho (Luminarias antiguas / nuevas)



Gráfica 20 – Fachada de Derecho (Luminarias antiguas)



Gráfica 21 – Fachada de Derecho (Luminarias nuevas)

5.5 Parque de Letras

5.5.1 Parque de Letras 1

Como podemos observar en la imagen, las medidas se tomaron en una misma ubicación, en la Plaza de Menéndez Pelayo, entre las facultades de Derecho y Filología. Las dos configuraciones diferentes corresponden a la instalación antigua (izquierda) de luminarias, tomando medidas

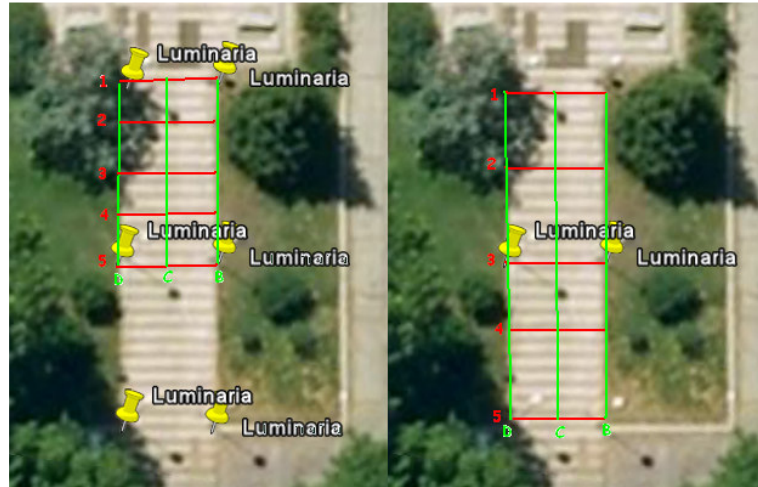


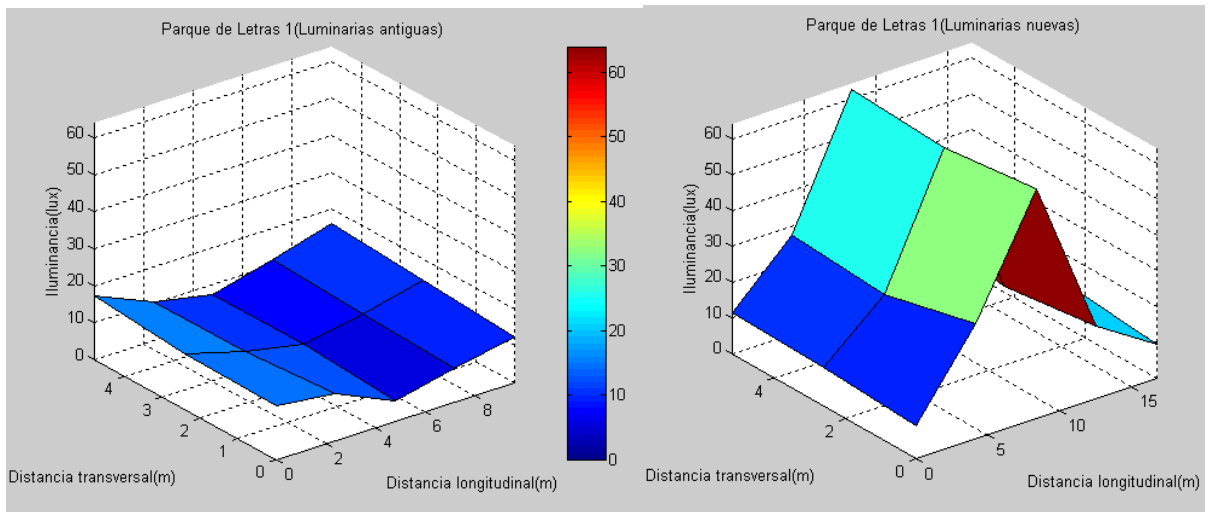
Imagen 18 – Parque de Letras 1

en el rectángulo formado por cuatro de ellas, situadas en los extremos de este, con un ancho de 4.80 metros y 9.60 metros de largo. La imagen de la derecha muestra la nueva disposición, donde las medidas fueron realizadas tomando como punto medio longitudinal la posición de las luminarias (Puntos B3 y D3), con lo que teníamos una distancia longitudinal de 16.72 metros y como ancho tomamos la distancia entre ambas luminarias, 5.19 metros.

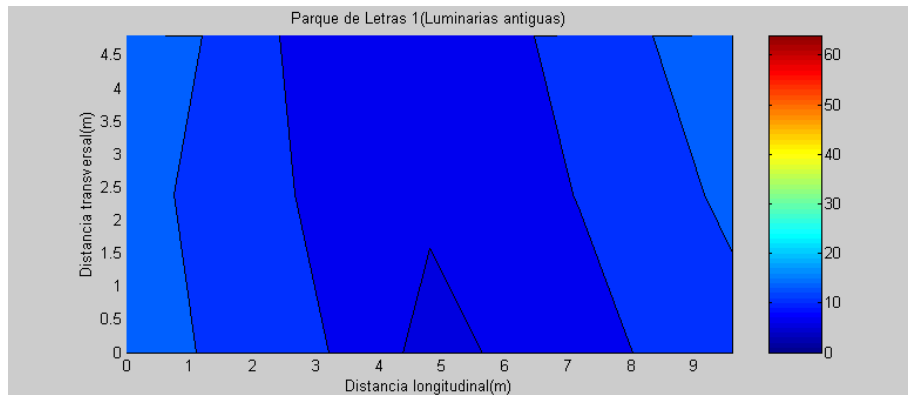


Imagen 19 – Parque de Letras 1

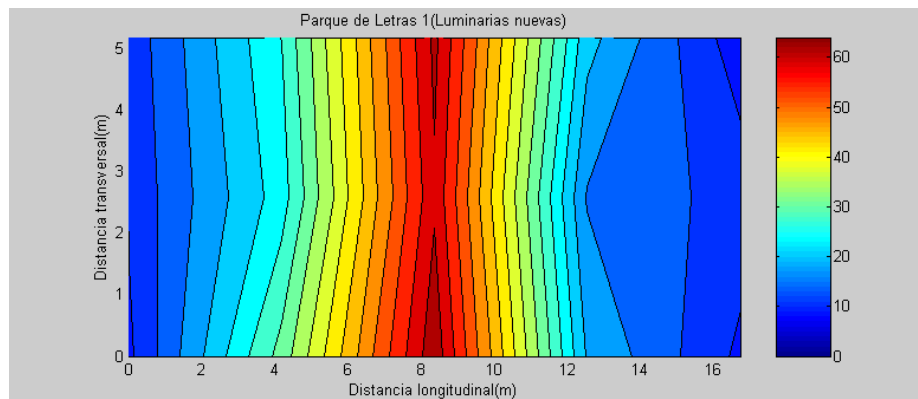
12 de Marzo y 23 de Abril de 2009					
Luminarias antiguas / nuevas					
Punto	1	2	3	4	5
B	14.6 /9.4	12.6/32.2	5.6/64.0	9.1/20.2	12.5/9.5
C	15.1/10.9	10.6/25.6	7.5/61.0	10.4/16.8	14.4/12.2
D	17.1/11.4	10.3/27.4	7.2/62.5	11.6/21.8	16.0/8.1



Gráfica 22 – Parque de Letras 1 (Luminarias nuevas/antiguas)



Gráfica 23 – Parque de Letras 1 (Luminarias antiguas)



Gráfica 24 – Parque de Letras 1 (Luminarias nuevas)

5.5.2 Parque de Letras 2

Se trata de un punto de gran importancia ya que es uno de los pocos dentro de Ciudad Universitaria en el que podemos encontrar las luminarias de uso aconsejable para el alumbrado exterior, con un mayor rendimiento que los otros

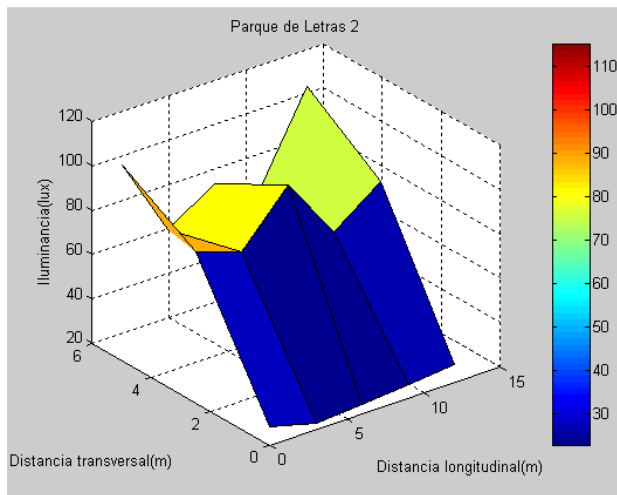


Imagen 20 – Parque de Letras 1

modelos. Las medidas fueron tomadas entre la Plaza de Menéndez Pelayo y la Plaza Multiusos. El rectángulo formado por dos luminarias (Puntos D1 y D5) tenía unas dimensiones de 12.00x5.00 metros.

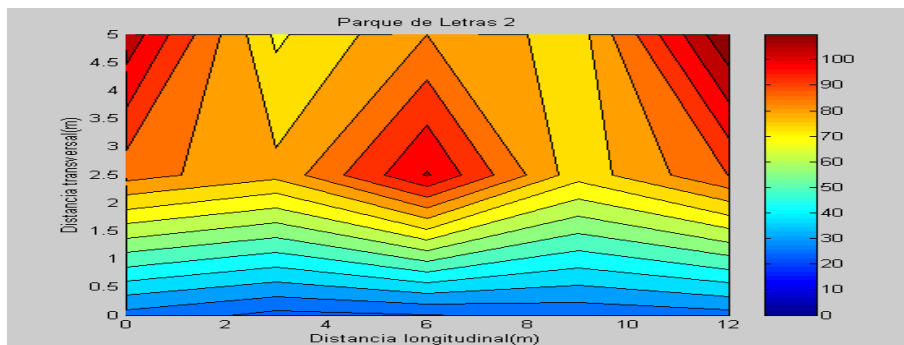


Imagen 21 – Parque de Letras 1



Gráfica 25 – Parque de Letras 2

23 de Abril de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	28.2	22.7	24.0	26.1	28.1
C	88.1	81.1	104.3	75.7	91.6
D	108.1	72.1	85.5	76.4	115.4



Gráfica 26 – Parque de Letras 2

5.6 Informática

5.6.1 Informática 1

Los datos fueron tomados en el aparcamiento situado en uno de los laterales de la Facultad de Informática de la UCM. Las medidas se han visto alteradas por la presencia de dos focos en la fachada de dicha facultad, que estaban orientados hacia este punto de medidas. En este caso las dimensiones del rectángulo de medidas son de 17.70 metros de largo por 6.80 metros de ancho. Las luminarias están situadas en los puntos D1 y D5.

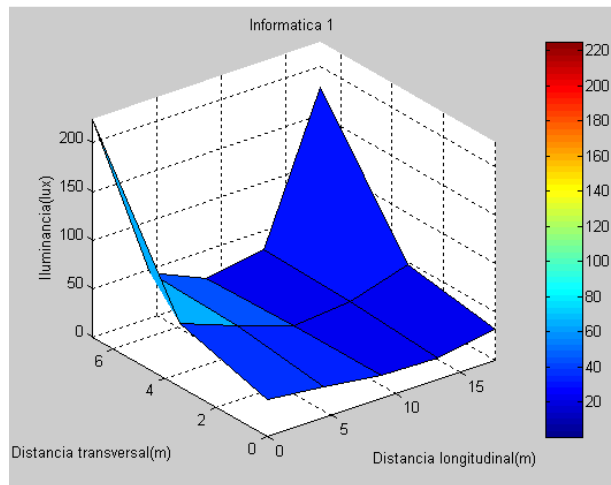


Imagen 22 – Informática 1

En este caso las dimensiones del rectángulo de medidas son de 17.70 metros de largo por 6.80 metros de ancho. Las luminarias están situadas en los puntos D1 y D5.

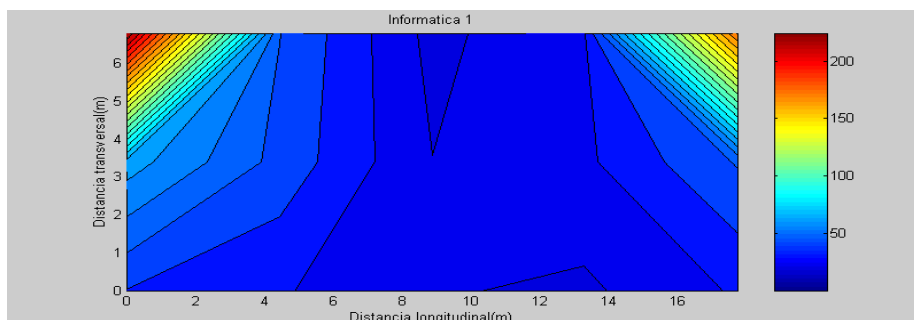


Imagen 23 – Informática 1



Gráfica 27 – Informática 1

23 de Abril de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	38.5	31.8	24.0	21.8	32.0
C	66.0	44.0	23.4	29.5	47.3
D	224.4	46.8	20.9	30.9	179.0



Gráfica 28 – Informática 1

5.6.2 Informática 2

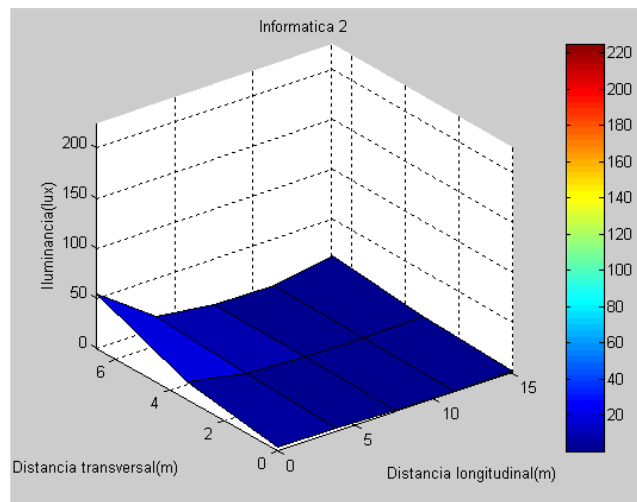
En este caso, tomamos una medida análoga a la anterior pero en un punto del aparcamiento más alejado de facultad en el cual la iluminación de los focos no tuviera repercusión sobre las medidas. Para la toma de datos se formó un rectángulo con las luminarias situadas en las esquinas de uno de sus laterales, siendo la distancia entre ellas de 15.10 metros y el ancho de la calzada de 6.70 metros.



Imagen 24 – Informática 2

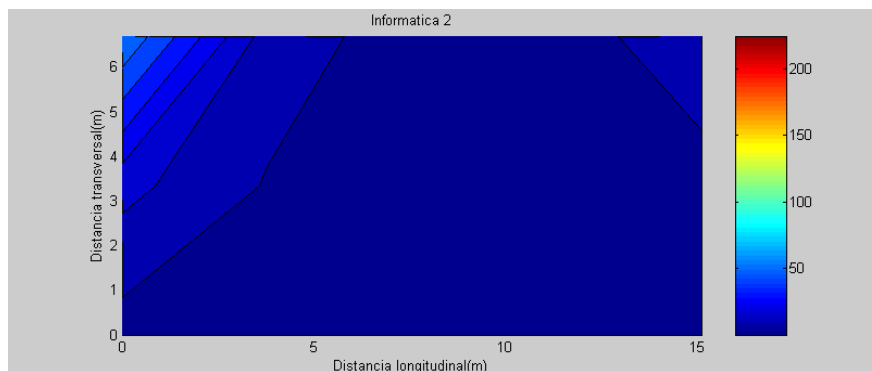


Imagen 24 – Informática 2



Gráfica 29 – Informática 2

12 de Mayo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	4.3	3.4	2.0	1.1	1.1
C	18.0	7.2	3.4	2.8	4.2
D	54.1	11.7	4.3	3.1	14.0



Gráfica 30 – Informática 2

5.7 Facultad de Ciencias de la Información

5.7.1 Facultad de Ciencias de la Información 1

El lugar elegido para estas medidas es el aparcamiento de la parte trasera de la Facultad de Ciencias de la Información. Se tomaron dos medidas. La primera de ellas es la situada en la parte inferior de la imagen y corresponde a un rectángulo de 11.90 por 7.42 metros.

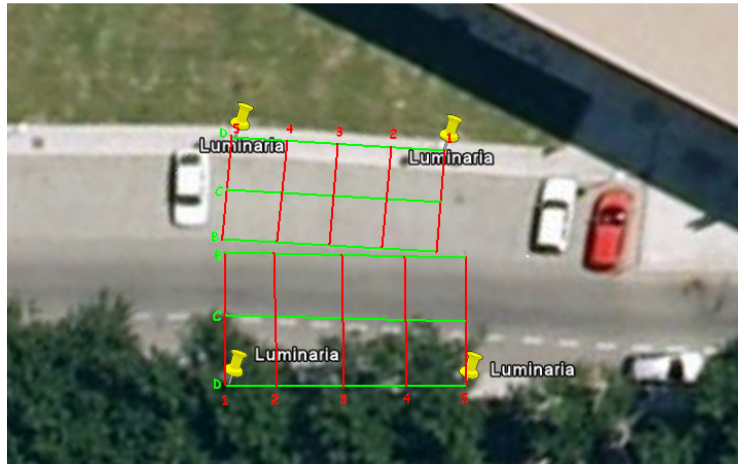


Imagen 25 – Ciencias de la Información 1-2

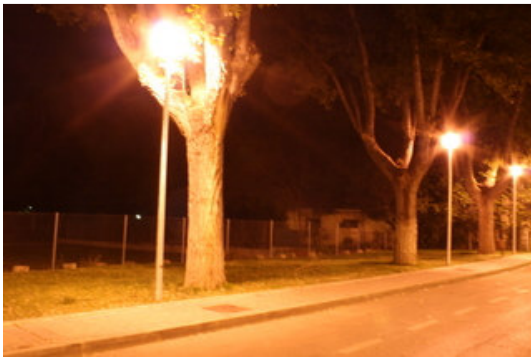
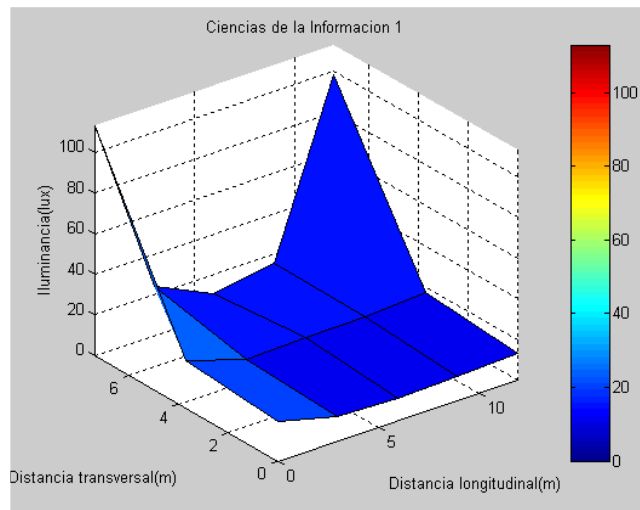
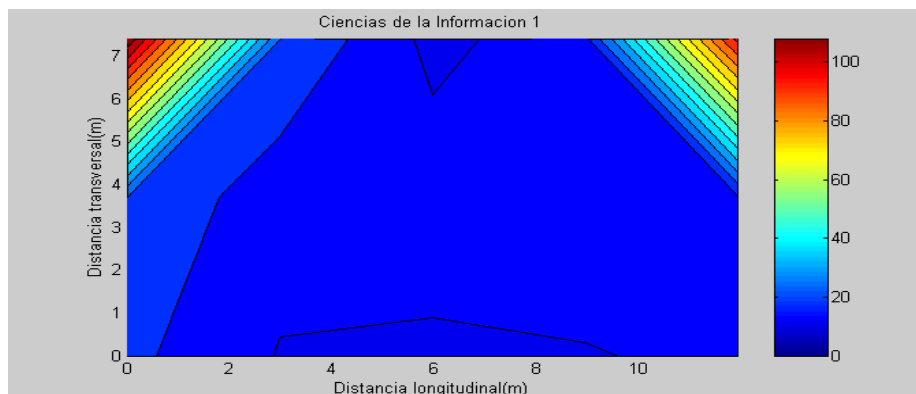


Imagen 26 – CC. de la Información 1



Gráfica 31 – Ciencias de la Información 1

12 de Mayo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	19.5	11.7	11.1	11.7	13.1
C	23.7	14.3	14.9	15.2	17.2
D	113.0	24.1	10.4	15.5	98.2



Gráfica 32 – Ciencias de la Información 1

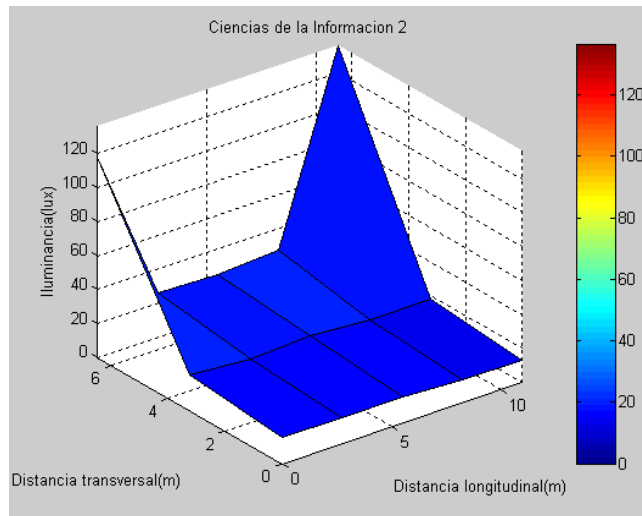
5.7.2 Facultad de Ciencias de la Información 2

La segunda de las medidas tomadas en esta ubicación corresponde al diagrama superior de la imagen 25, con el que construimos un rectángulo de 11.00 metros de largo por 6.47 metros de ancho.

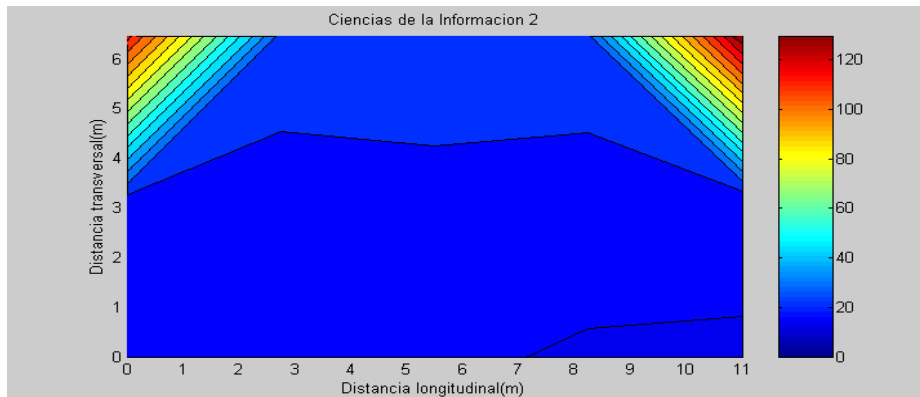
12 de Mayo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	15.6	15.3	15.5	13.7	13.3
C	20.9	18.5	20.0	17.8	17.7
D	118.1	26.2	25.2	27.4	136.2



Imagen 27 – CC. de la Información 2



Gráfica 33 – Ciencias de la Información 2



Gráfica 34 – Ciencias de la Información 2

5.8 Avenidas Complutense

Las medidas fueron tomadas en la calzada de la Avenida Complutense, en el tramo comprendido entre la estación de Metro de Ciudad Universitaria y el Rectorado de la UCM. Para las

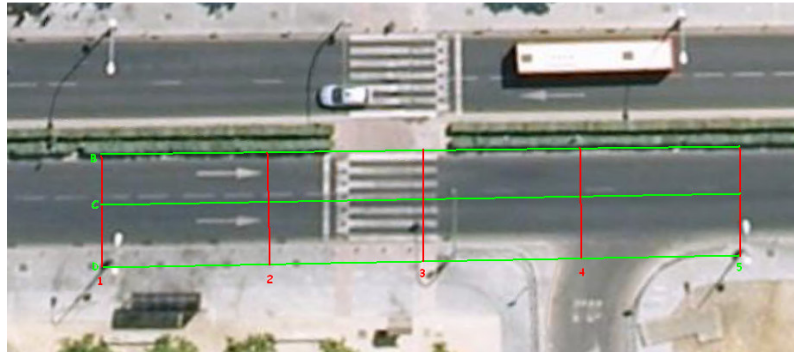


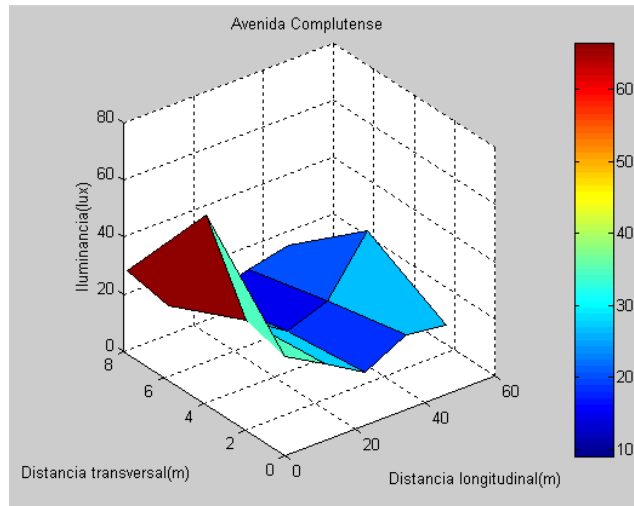
Imagen 28 – Avenida Complutense

medidas, se escogieron dos farolas situadas en uno de los lados de la calzada con una separación entre ellas de 46.13 metros. Las medidas transversales se tomaron desde el lateral hasta la mediana central, como muestra la figura, con una anchura de 7.80 metros.

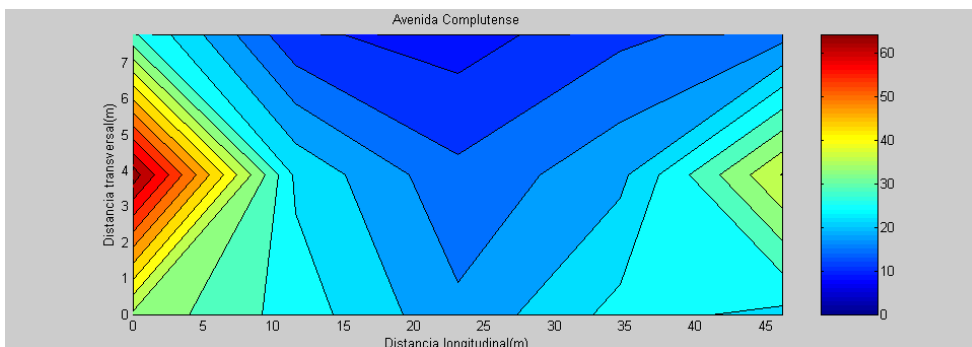


Imagen 29 – Avenida Complutense

12 de Mayo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	35.0	27.0	18.7	26.3	24.1
C	66.5	24.3	15.2	20.5	39.5
D	29.2	11.5	9.0	13.5	16.4



Gráfica 35 – Avenida Complutense



Gráfica 36 – Avenida Complutense

5.9 Facultad de Medicina

5.9.1 Facultad de Medicina 1

Como se observa en la imagen, se tomaron dos medidas en la calzada, entre la Facultad de Medicina y la Plaza de Ramón y Cajal. Estas fueron tomadas entre las dos luminarias colocadas en los extremos y el punto medio entre los dos pares de luminarias. El rectángulo superior mostrado en la imagen es el correspondiente a las primeras medidas; está compuesto por 20 metros de largo y 10 metros de ancho.

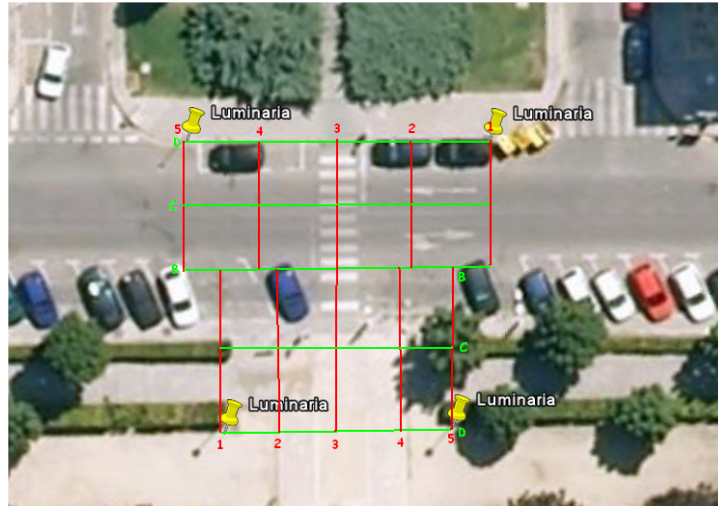
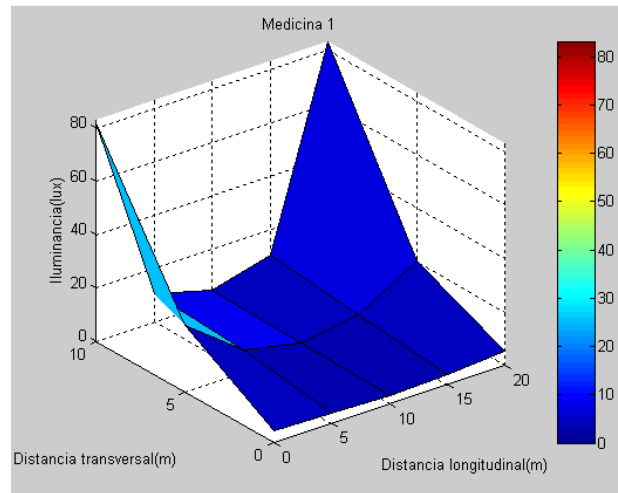


Imagen 30 – Medicina 1-2

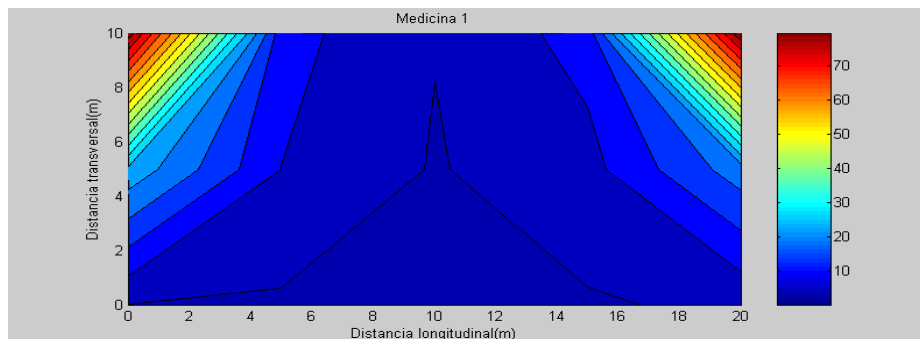


Imagen 31 – Medicina 1

9 de Marzo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	4.4	3.8	3.0	4.0	5.2
C	25.3	8.8	4.1	7.3	20.1
D	82.1	10.5	4.6	10.7	83.0



Gráfica 37 – Medicina 1



Gráfica 38 – Medicina 1

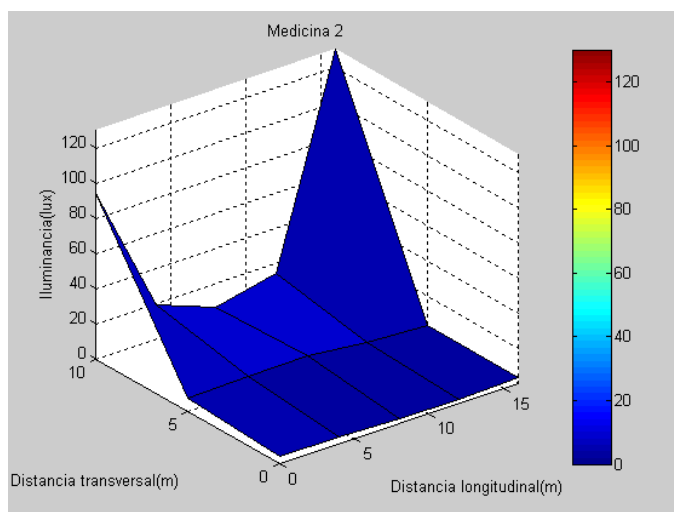
5.9.2 Facultad de Medicina 2

El esquema correspondiente a esta medida es el rectángulo inferior mostrado en la imagen 30, con 16 metros de largo y 10 de ancho.

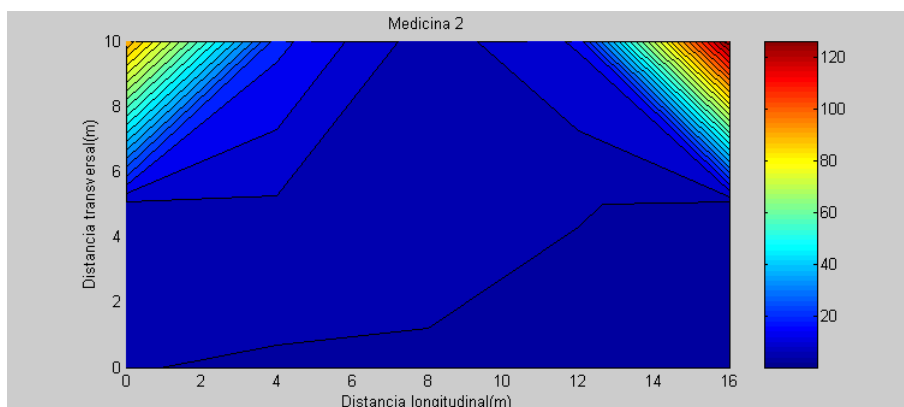
9 de Marzo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	4.7	3.9	3.1	2.8	3.5
C	7.5	8.5	9.0	4.8	3.0
D	94.5	19.5	6.5	14.2	130.2



Imagen 32 – Medicina 2



Gráfica 39 – Medicina 2



Gráfica 40 – Medicina 2

5.10 Botánico

5.10.1 Botánico-Facultad de Farmacia

Medidas tomadas en la Calle de José Antonio Novais, entre el Real Jardín Botánico Alfonso XIII y la Facultad de Farmacia. Se tomaron medidas entre dos luminarias contiguas con una distancia entre ellas de 32.00 metros. Para completar el rectángulo utilizamos el ancho de la calzada, de 8.00 metros.

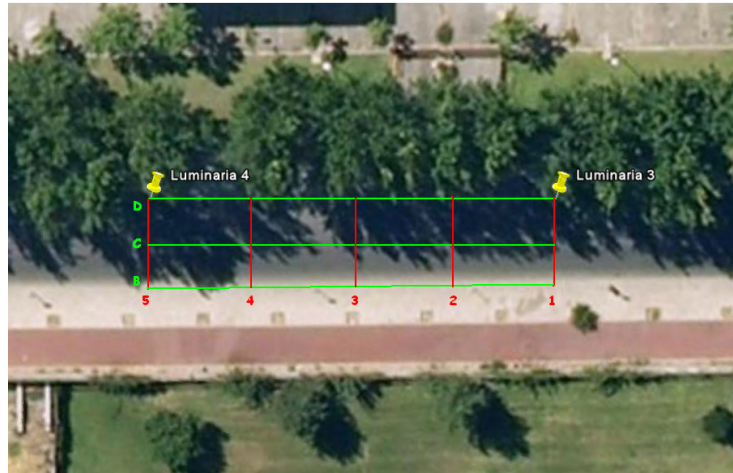
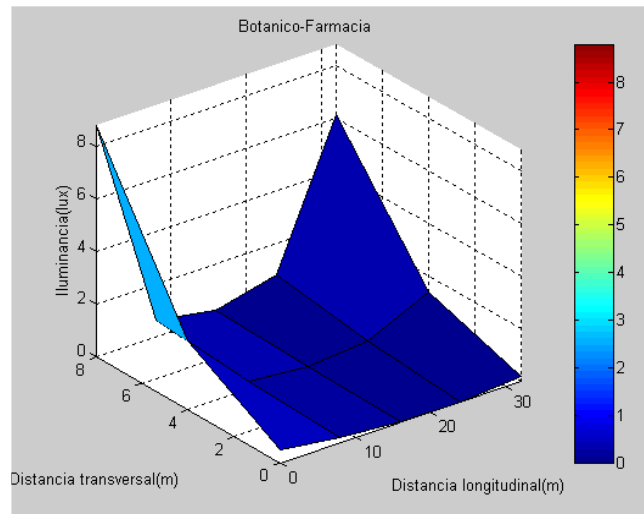


Imagen 33 – Botánico-Farmacia

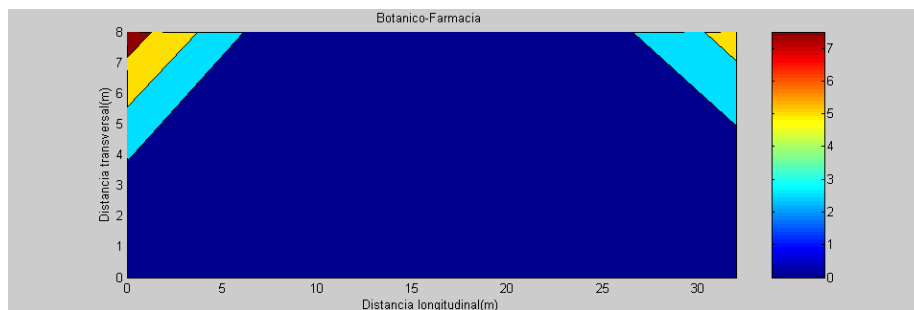


Imagen 34 – Botánico-Farmacia

9 de Marzo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	0.5	0.2	0.0	0.0	0.2
C	2.6	0.3	0.1	0.3	1.4
D	8.8	0.6	0.2	0.8	6.1



Gráfica 41 – Botánico-Farmacia



Gráfica 42 – Botánico-Farmacia

5.10.2 Botánico-Facultad de Ciencias Biológicas

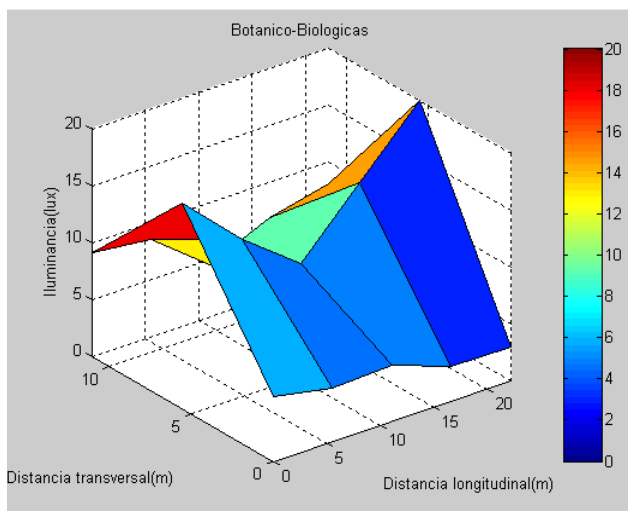
En este caso, tomamos una medida similar a la anterior entre la Facultad de CC. Biológicas y el Jardín Botánico, formando un rectángulo de la misma manera, con unas dimensiones de 22.18 por 11.08 metros.



Imagen 35 – Botánico-Biológicas

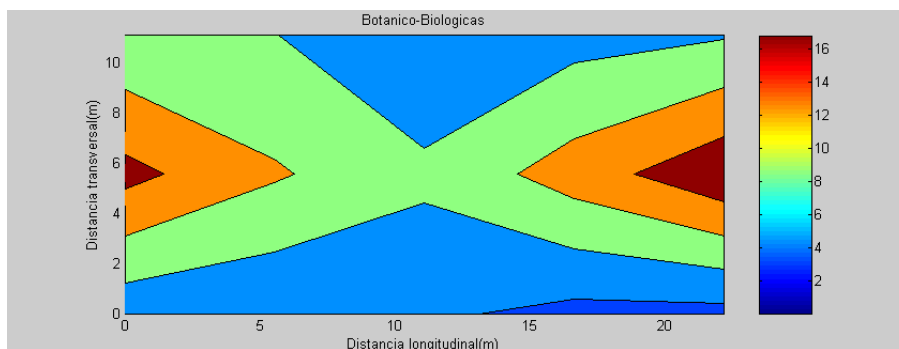


Imagen 36 – Botánico-Biológicas



Gráfica 43 – Botánico-Medicina

9 de Marzo de 2009					
Punto	1	2	3	4	5
B	5.7	4.7	4.9	3.0	3.0
C	18.1	13.1	9.3	14.6	20.1
D	9.1	8.5	4.5	6.9	8.1



Gráfica 44 – Botánico-Medicina

5.11 Terraza de la Facultad de Ciencias Físicas



Imagen 37 – Terraza de Físicas

Se realizaron medidas en los puntos indicados en la imagen (Norte arriba). Las medidas en dirección cenital dieron resultado nulo en todos los casos ya que el luxómetro no es capaz de medir flujos tan débiles. Las medidas horizontales en dirección a los focos de contaminación lumínica (campos deportivos del Paraninfo y el parque de Ciencias) se muestran en la tabla.

16 de Marzo de 2009	
Focos apagados/encendidos	
Punto	Iluminancia (lux)
P1 - Paraninfo	0.0/1.6
P1 - Parque	0.2/0.2
P2 - Paraninfo	0.0/1.1
P3 - Paraninfo	0.0/1.2
P3 - Telecomunicaciones	0.3/1.3
P4 - Paraninfo	0.0/0.2
P4 - Parque	0.1/0.1
P5 - Paraninfo	0.0/1.2
P6 - Paraninfo	0.0/1.3
P6 - Teleco	0.3/1.3
P7 - Parque	0.1/0.3
Apuntando al Parque	0.4/0.4

Como se observa, la influencia de los focos es de cierta importancia en esta ubicación, produciendo un flujo de luz intrusa que obstaculizara las observaciones astronómicas hechas desde la terraza de la Facultad de CC. Físicas.

5.12 Cúpulas de la Facultad de Ciencias Físicas

Desde el interior de la cúpula W se tomaron medidas con el luxómetro horizontal y orientándolo hacia los haces incidentes de luz según se muestra en el esquema.

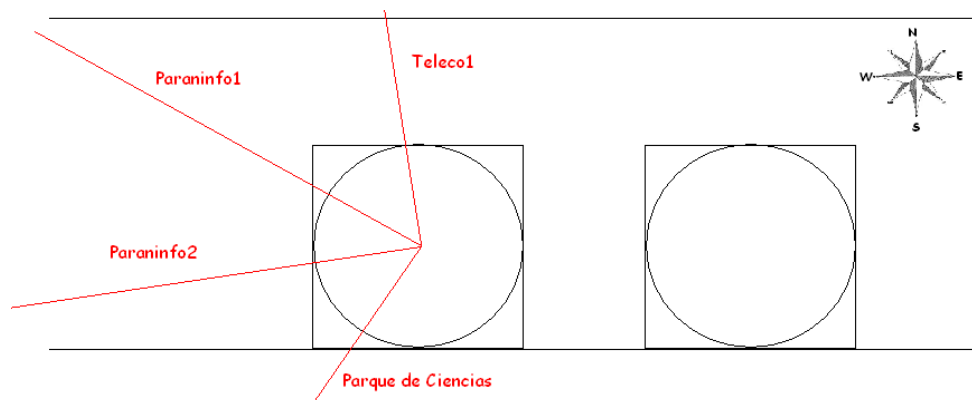


Imagen 38 – Cúpulas de Físicas

16 de Marzo de 2009			
Focos apagados/encendidos			
Punto	Posición	Medida	Iluminancia (lux)
Telecomunicaciones 1	320º	Borde Cúpula	0.2/0.2
Telecomunicaciones 1	320º	Telescopio	0.1/0.1
Paraninfo 1	265º	Borde cúpula	0.1/1.4
Paraninfo 1	265º	Telescopio	0.0/1.2
Paraninfo 2	235º	Borde cúpula	0.0/0.1
Paraninfo 2	235º	Telescopio	0.0/0.0
Parque de Ciencias	210º	Borde Cúpula	0.1/0.2
Parque de Ciencias	210º	Telescopio	0.0/0.0

Podemos apreciar como la influencia de los focos es significativa en las medidas tomadas en el borde de la cúpula, siendo menor este efecto en el telescopio, aunque no despreciable. Si el nivel de iluminancia en el telescopio no es nulo, como es el caso en el que los focos están encendidos, tendremos un flujo intruso en el telescopio que nos afectará de forma importante a todas las medidas que tomemos.

6. RESULTADOS FINALES Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de iluminancia media y uniformidad media y general obtenidos para las medidas del apartado 5, los recogemos en la siguiente tabla. Además para que la comparativa sea más fácil incluimos los valores recomendados por el Ayuntamiento para la iluminancia mínima y máxima para cada tipo de zona.

Posición		Iluminancia (lux)	Iluminancia min/max	U _m	U _g
Paraninfo-Físicas 1		16.85	15/25	0.34	0.18
Paraninfo-Físicas 2	<i>Focos encendidos</i>	23.93	15/25	0.41	0.18
Paraninfo-Físicas 2	<i>Focos apagados</i>	15.51	15/25	0.39	0.19
Paraninfo-Físicas 3	<i>Focos encendidos</i>	35.91	15/25	0.57	0.37
Paraninfo-Físicas 3	<i>Focos apagados</i>	18.78	15/25	0.39	0.19
Paraninfo-Derecho 1		18.22	15/25	0.43	0.21
Paraninfo-Derecho 2	<i>Focos encendidos</i>	22.98	15/25	0.28	0.18
Paraninfo-Derecho 2	<i>Focos apagados</i>	14.29	15/25	0.29	0.14
Fachada Físicas	<i>Luminarias antiguas</i>	1.97	15/20	0.25	0.03
Parque de Ciencias	<i>Luminarias antiguas</i>	3.14	7/10	0.10	0.02
Parque de Ciencias	<i>Luminarias nuevas</i>	12.36	7/10	0.17	0.03
Fachada Derecho	<i>Luminarias antiguas</i>	3.80	15/20	0.24	0.05
Fachada Derecho	<i>Luminarias nuevas</i>	23.63	15/20	0.01	0.01
Parque de Letras 1	<i>Luminarias antiguas</i>	10.81	15/20	0.52	0.33
Parque de Letras 1	<i>Luminarias nuevas</i>	29.84	15/20	0.31	0.15
Parque de Letras 2		71.79	15/20	0.32	0.20
Informática 1	<i>Con focos apuntando</i>	45.02	15/20	0.46	0.09
Informática 2	<i>Sin focos apuntando</i>	6.96	15/20	0.16	0.02
CC. de la Información 1	<i>Parte trasera</i>	21.00	15/20	0.50	0.09
CC. de la Información 2	<i>Parte trasera</i>	26.00	15/20	0.51	0.10
Av. Complutense		24.02	15/25	0.37	0.14
Medicina 1		13.11	15/20	0.23	0.04
Medicina 2		13.85	15/20	0.20	0.02
Botánico-Farmacia		0.94	15/25	0.00	0.00
Botánico-Biológicas		9.85	15/25	0.30	0.15

Estos valores de iluminancia recomendados por el Ayuntamiento de Madrid se encuentran recogidos en el capítulo 43 sobre Alumbrado Exterior (http://www.munimadrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/AlumbradoExterior/Ficheros/43_10.PDF). Estos valores vienen recogidos en el Anexo IV. Los resultados obtenidos los mostramos a continuación. En las zonas donde

aparecen dos colores representan dos configuraciones diferentes, por ejemplo, focos apagados/encendidos.

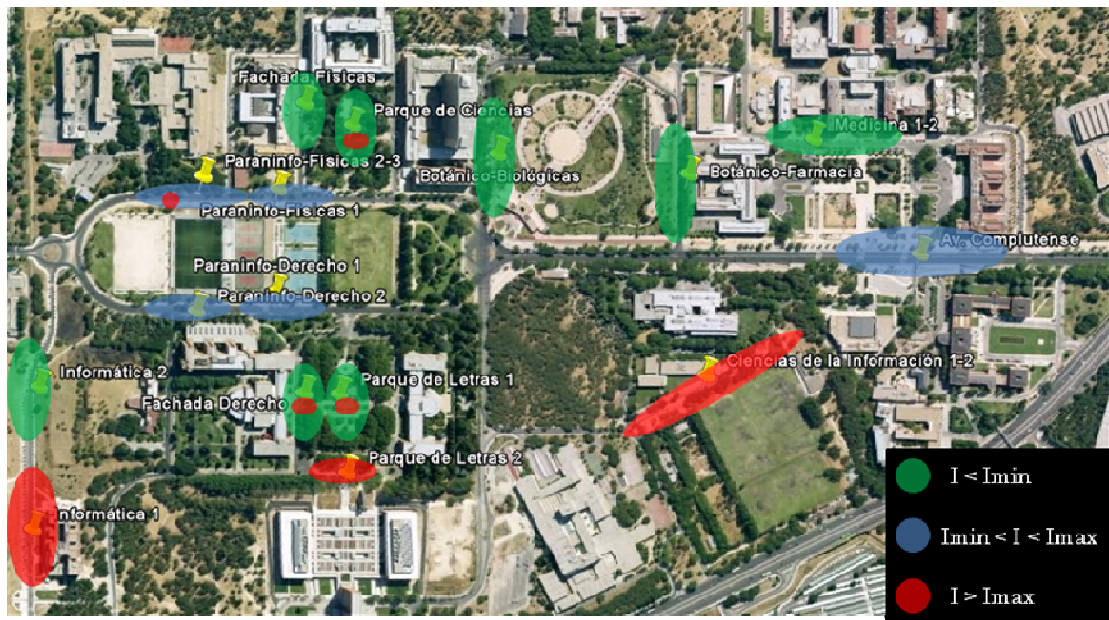


Imagen 38 – Mapa de Contaminación Lumínica

Pasamos ahora a analizar estos resultados. Los puntos marcados como excesivamente iluminados (color rojo) podemos separarlos en dos grupos, en función de las causas por las cuales se da esta alta iluminación.

- Potencia demasiado alta: El tipo de farola y su colocación es correcto, pero la potencia suministrada es excesiva, por lo que se solucionaría fácilmente disminuyendo la potencia suministrada. En esta situación se encuentran los siguientes puntos: Parque de Ciencias, Fachada de Derecho y Parque de Letras 1 y 2.
- Iluminación incorrecta: Debido a un exceso de luminarias, como puede ser el caso de Ciencias de la Información 1 y 2. Por iluminación complementaria excesiva, caso de los focos de Informática 1, que de la comparación con los valores de Informática 2 vemos que son innecesarios. Además otra de las causas puede ser la mala orientación de la fuente de luz, por la cual se iluminan zonas externas a la que sea desea iluminar, un ejemplo de este caso lo podemos encontrar en el contraste observado en el punto Paraninfo-Físicas 3 con los focos apagados y encendidos.

Los puntos marcados en color azul se encuentran dentro de los límites aconsejados para este tipo de vías. Observamos que estos puntos son los situados en las vías principales de Ciudad Universitaria.

Finalmente se encuentran puntos en los cuales los niveles de iluminancia están por debajo de los aconsejados (color verde), por lo que se deberían adaptar las luminarias para tener unos niveles aceptables.

En la imagen de la derecha mostramos una serie de puntos en los que tenemos una paridad de valores. Las zonas marcadas en dos colores corresponden a diferentes configuraciones de la iluminación, y no a una zona diferente dentro de otra. A continuación pasamos a estudiar cada una de ellas detalladamente.

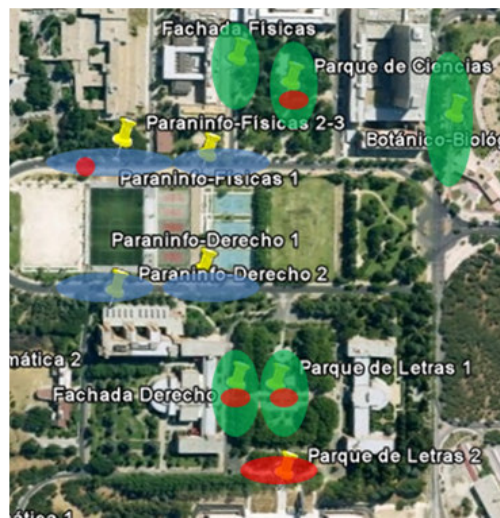


Imagen 39 – Zona ampliada

- *Parque de Ciencias, Parque de Letras 1 y Fachada-Derecho:* En estos tres puntos nos encontramos con la misma circunstancia. La zona más amplia (en verde) corresponde a las luminarias antiguas, y la zona en rojo se refiere a la iluminancia de las nuevas luminarias.
- *Paraninfo-Físicas 3:* En este caso la zona en azul simboliza el nivel de iluminación con los focos del campo de fútbol apagados. La zona roja representa la iluminación en este mismo punto con los focos encendidos, donde podemos apreciar el fuerte contraste entre ambas situaciones.

Respecto a este último punto durante el transcurso de este trabajo se ha conseguido un avance importante con la instalación de pantallas en los focos para reducir el flujo de luz en las zonas ajenas al campo de fútbol. La toma de medidas tras este cambio no ha sido posible debido a que las pantallas fueron instaladas en el mes de mayo, cuando la hora de apagado de los focos era anterior al ocaso, lo cual imposibilitaba las medidas al ser todavía de día.

7. TRABAJO FUTURO

La repetición en años posteriores de las medidas aquí presentadas constituye una de las miras primordiales de este trabajo. Lo que se pretende es llevar a cabo un control de la iluminación en la Ciudad Universitaria y observar su evolución, de manera que podamos dotar a esta zona de una iluminación plenamente eficiente y responsable, con las ventajosas consecuencias que de ello se derivan.

Una de las medidas que sería interesante repetir es la del punto Paraninfo-Físicas 3 con los focos encendidos, para analizar el efecto de las pantallas colocadas durante este curso, ya que como se ha expuesto anteriormente ha sido imposible tomarlas antes de la finalización de este trabajo.

Podría resultar también interesante el análisis del rendimiento de las luminarias respecto a la potencia suministrada y las ventajas e inconvenientes de utilizar los diferentes tipos de bombillas y soportes de las mismas.

8. AGRADECIMIENTOS

A D. Jaime Zamorano, porque sin su ayuda y apoyo, este trabajo no hubiera sido lo mismo.

A D. Jesús Gallego, por todo lo que me ha enseñado.

Al departamento de de Astrofísica y CC. de la Atmósfera, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo que me ha permitido conocer más de cerca el campo de la investigación.

A Javier García y Carlos Sánchez, por su compañía en las numerosas noches de medidas y su inestimable ayuda.

A Alejandro Sánchez, por su siempre oportuna ayuda.

A Sarah Rodríguez, Pedro Quintana y Borja Barasoain por acompañarme en este largo curso.

A Teresa Miret, Elena Ares y Gema Sáez, por su continuo apoyo y comprensión.

A mi familia, especialmente a mi madre, por todas sus atenciones y cuidados.

ANEXO I: ESTUDIO FOTOGRÁFICO

Para poder realizar una comparación cualitativa de la iluminación en la Ciudad Universitaria se tomaron fotografías en cada uno de los puntos de medida con la cámara Canon EOS 1000D. A continuación, mostramos las imágenes.



Imagen 40 – Paraninfo-Físicas 1



Imagen 41 – Paraninfo-Físicas 2-3

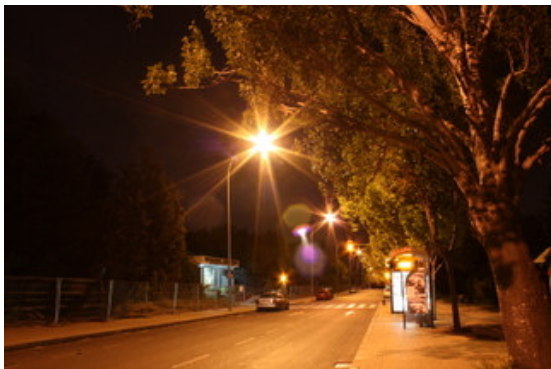


Imagen 42 – Paraninfo-Derecho 1



Imagen 43 – Paraninfo-Derecho 2



Imagen 44 – Fachada Físicas



Imagen 45 – Parque de Ciencias (Antiguas)



Imagen 46 – Parque de Ciencias (Nuevas)

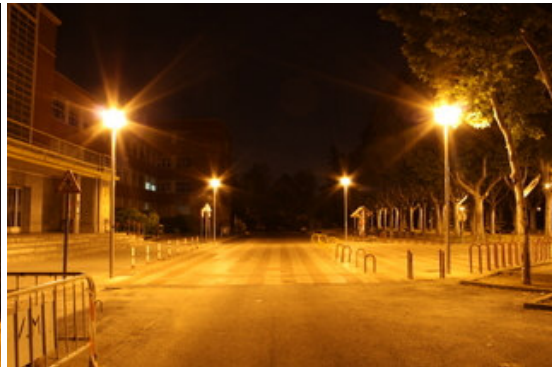


Imagen 47 – Fachada Derecho



Imagen 48 –Parque de Letras 1



Imagen 49 – Parque de Letras 2



Imagen 50 – Informática 1

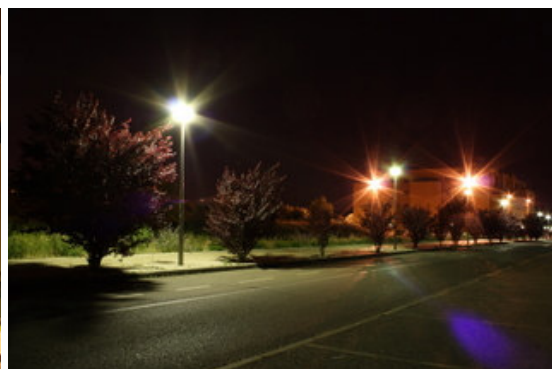


Imagen 51 – Informática 2

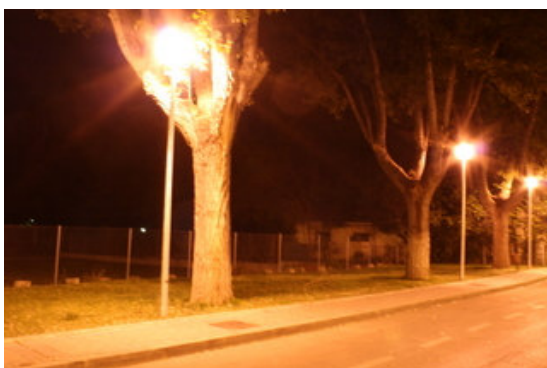


Imagen 52 – Ciencias de la Información 1

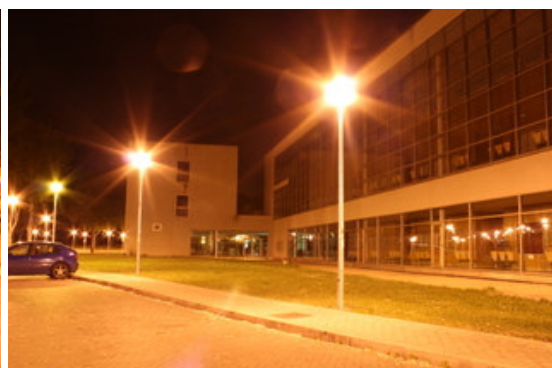


Imagen 53 –Ciencias de la Información 2



Imagen 54 –CC. de la Información Parking



Imagen 55 –Av. Complutense



Imagen 56 – Medicina 1



Imagen 57 – Medicina 2



Imagen 58 – Botánico-Farmacia



Imagen 59 – Botánico-Biológicas

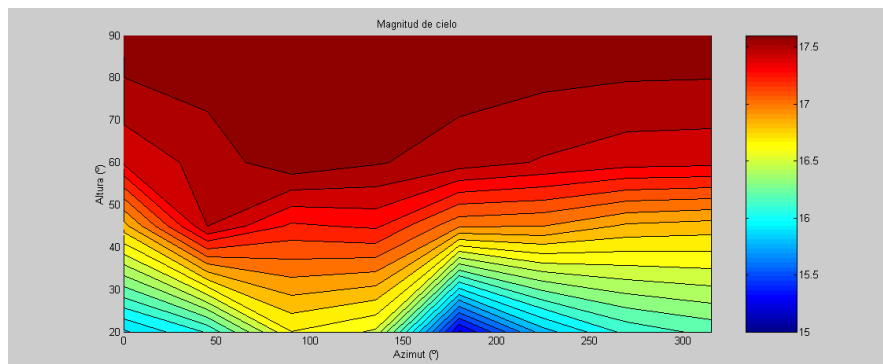
Podemos observar el fuerte contraste existente entre unas zonas y otros, por ejemplo entre la imagen 58 (Botánico-Farmacia), donde la visibilidad es bastante reducida, debido a la escasa iluminación, y la imagen 54 (Aparcamiento de CC. de la Información), donde se observa un pequeño deslumbramiento debido a la excesiva iluminación. Además resulta interesante ver las variaciones sufridas por el cambio de luminarias (Imágenes 45 y 46, Parque de Ciencias) y la influencia de elementos externos, como en el caso de los focos de la Facultad de Informática (Imágenes 50 y 51)

ANEXO II: MAPA DE BRILLO DE FONDO DE CIELO

Tal y como se indicó en el punto 4.3, para poder realizar una representación de todo el cielo tomamos valores de magnitud para diferentes valores de altura y azimut. La ubicación seleccionada fue la terraza de la Facultad de Ciencias Físicas, en el punto P1 de la imagen 37, de coordenadas $40^{\circ} 27' 2.87''$ N y $3^{\circ} 43' 36.00''$ W. Al igual que en las medidas de iluminancia, las medidas se realizaron con un trípode a una altura de 1.5 metros. Los diferentes puntos se fijaron gracias a los transportadores de ángulos del soporte colocado en el trípode. Los valores obtenidos se muestran en la tabla. El norte (Azimut 180°) es el punto de partida de todas las medidas.

Altura	Azimut	Magnitud
90°	-	17.69
60°	0°	17.42
60°	90°	17.67
60°	180°	17.55
60°	270°	17.44
45°	0°	16.86
45°	45°	17.50
45°	90°	17.28
45°	135°	17.32
45°	180°	17.02
45°	225°	17.00
45°	270°	16.88
45°	315°	16.85
20°	0°	15.88
20°	30°	15.76
20°	60°	16.46
20°	90°	16.70
20°	120°	16.59
20°	150°	16.58
20°	180°	15.28
20°	210°	15.36
20°	240°	16.34
20°	270°	16.13
20°	300°	16.50
20°	330°	15.96

Las medidas fueron tomadas el 26 de Mayo entre las 22:37 y las 22:58 de tiempo local. El cielo presentaba un aspecto despejado con una temperatura de 16°C . Cabe destacar que las medidas correspondientes a una altura de 20° y azimut 180° y 210° fueron afectadas por la iluminación exterior de la ETSIT. Además, podemos apreciar cómo cerca del horizonte los valores de la magnitud de fondo de cielo son mayores que en el cenit debido a la contaminación lumínica procedente de la ciudad. Por eso, los objetos que se observen en el cenit con magnitud límite a alturas menores no podrán ser observados. A continuación mostramos la representación gráfica.



Gráfica 45 – Magnitud de fondo de cielo

ANEXO III: PROGRAMA

Para el cálculo de los valores de iluminancia media y uniformidad media y general, y para la obtención de las gráficas se utilizó el siguiente programa en Matlab.

```
function [Em,Um,Ug] = iluminancia(x,y,I)

Lum=input('Escriba ubicacion de la fuente:','s');
nx=input('Numero de puntos longitudinales: ');
ny=input('Numero de puntos transversales: ');

% x = distancia entre los focos luminosos
% y = anchura de la calzada
% I = matriz de iluminancia

% Definimos unos ejes coordenados

j=0:(nx-1);
hor(j+1) = j*x/(nx-1);
k=0:(ny-1);
ver(k+1) = k*y/(ny-1);

% Calculo de iluminancia media

E1 = (I(1,1)+I(1,5))/2;
E2 = (I(2,1)+I(2,5))/2;
E3 = (I(3,1)+I(3,5))/2;
E4 = (I(1,2)+I(1,4))/2;
E5 = (I(2,2)+I(2,4))/2;
E6 = (I(3,2)+I(3,4))/2;
E7 = I(1,3);
E8 = I(2,3);
E9 = I(3,3);

Em = (E1 + 2*E2 + E3 + 2*E4 + 4*E5 + 2*E6 + E7 + 2*E8 + E9)/16;

% Calculo de uniformidad media

Emin = min(I(:));
Um = Emin/Em;

% Calculo de uniformidad general
```

```
Emax = max(I(:));  
Ug = Emin/Emax;
```

```
% Representaciones graficas  
% Mapa de contornos. En primer lugar tenemos que definir las isóneas con el  
vector v
```

```
vmax=round(Emax)+1;  
N=input('Numero de isóneas: ');
```

```
i=0:(N-1);  
v(i+1) = i*vmax/(N-1);
```

```
% Representacion en dos dimensiones
```

```
figure  
contourf(hor,ver,I,v);  
xlabel('Distancia longitudinal(m)');  
ylabel('Distancia transversal(m)');  
colorbar('vert');  
title(Lum);
```

```
% Representacion en tres dimensiones
```

```
figure  
surf(hor,ver,I);  
xlabel('Distancia longitudinal(m)');  
ylabel('Distancia transversal(m)');  
zlabel('Iluminancia(lux)');  
title(Lum);  
axis([0 x 0 y 0 Emax]);  
caxis([0 Emax]);  
colorbar('vert');
```

ANEXO IV: NIVELES DE SERVICIO EN VÍAS URBANAS

Valores de iluminancia recomendados por el Ayuntamiento de Madrid, recogidos en el capítulo 43 sobre Alumbrado Exterior.

NIVELES EN SERVICIO EN VÍAS URBANAS
CUADRO 43.10.1.1.

Tipo de vía o área	Zona	Iluminancia media en servicio (lux)		Coeficiente de uniformidad media mínimo	Tipo y altura de soportes	Tipo de lámpara y potencia (W)
		Mínima	Máxima			
Calzadas de autopistas, autovías, vías arteriales radiales y de circunvalación	Tramos	25	35	0,5	Báculos o columnas (10 - 18 m)	VSAP (250 a 750)
	Enlaces	35	45	0,5	Báculos o columnas (12 - 30 m)	VSAP (400 A 1000)
Calzadas de ejes de Distrito	Tramos	25	35	0,4	Báculos o columnas (10 - 12 m)	VSAP (250 a 400)
	Intersecciones	30	40	0,4	Báculos o columnas (12 - 18 m)	VSAP (250 a 750)
Calzadas de calles colectoras de Barrio	Tramos	20	25	0,4	Báculos o columnas (9 - 10 m)	VSAP (150/250)
	Intersecciones	20	30	0,4	Báculos o columnas (10 - 12 m)	VSAP (250/400)
Calzadas de calles locales residenciales		15	25	0,3	Báculos, columnas (8 - 9 m) o candelabros	VSAP (70 a 150)
	Calzadas de calles comerciales	25	30	0,3	Definir en proyecto (altura máxima 12 m)	VSAP (70 a 250)
Aceras y zonas peatonales	Centros históricos y vías comerciales	15	Estudio específico	Estudio específico	Definir en proyecto Recomendados candelabros	VSAP (70 a 250)
	Vías principales	15	20	0,3	Definir en proyecto necesidad y tipo	VSAP (70 a 250)
	Vías locales	10	15	0,2	Definir en proyecto necesidad y tipo	VSAP (70 a 150)
	Aparcamientos en superficie	15	20	0,3	Definir en proyecto Recomendados báculos o columnas (8 - 18 m)	VSAP
Parques y jardines	Paseos	7	10	-	Columnas (4 - 6 m)	VSAP (70 a 150)
	Plazas y zonas estanciales	7	15	0,2	Columnas (4 - 10 m) o candelabros	VSAP (70 a 150)
	Focos de especial interés	-	30	-	Definir en proyecto	VSAP (70 a 150)